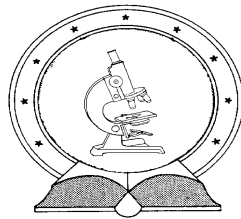


DE TTK



1949

ÉPÜLETEK FŰTÉSI ENERGIAIGÉNYÉNEK VIZSGÁLATA

Egyetemi doktori (PhD) értekezés

a szerző neve: Verbai Zoltán

témavezető neve: Dr. Kalmár Ferenc

DEBRECENI EGYETEM
Természettudományi Doktori Tanács
Földtudományi Doktori Iskola
Debrecen, 2016.

Ezen értekezést a Debreceni Egyetem Természettudományi Doktori Tanács Földtudományok Doktori Iskola Tájvédelem és éghajlat programja keretében készítettem a Debreceni Egyetem természettudományi doktori (PhD) fokozatának elnyerése céljából.

Debrecen, 2016.05.10

*Verbai Zoltán
a jelölt aláírása*

Tanúsítom, hogy Verbai Zoltán doktorjelölt 2011 - 2016 között a fent megnevezett Doktori Iskola Tájvédelem és éghajlat programjának keretében irányításommal végezte munkáját. Az értekezésben foglalt eredményekhez a jelölt önálló alkotó tevékenységével meghatározóan hozzájárult. Az értekezés elfogadását javasolom.

Debrecen, 2016.05.10

*Dr. Kalmár Ferenc
a témavezető aláírása*

ÉPÜLETEK FŰTÉSI ENERGIAIGÉNYÉNEK VIZSGÁLATA

Értekezés a doktori (Ph.D.) fokozat megszerzése érdekében
a Földtudományok tudományágban

Írta: Verbai Zoltán okleveles létesítménymérnök

Készült a Debreceni Egyetem Földtudományi doktori iskolája
(Tájvédelem és éghajlat programja) keretében

Témavezető: Dr. Kalmár Ferenc

A doktori szigorlati bizottság:

elnök:	Dr. Lóki József.....	
tagok:	Halász Györgyné Dr.	
	Dr. Puhl Antal	

A doktori szigorlat időpontja: 2016. január 24.

Az értekezés bírálói:

.....	
.....	

A bírálóbizottság:

elnök:	Dr.	
tagok:	Dr.	
	Dr.	
	Dr.	
	Dr.	

Az értekezés védésének időpontja: 2016.

Tartalomjegyzék

1.	BEVEZETÉS	9
2.	HŐFOKHÍD, HŐFOKGYAKORISÁG	13
2.1	FŰTÉSI HATÁRHŐMÉRSÉKLET	14
2.2	BELŐ REFERENCIA HŐMÉRSÉKLET	17
2.3	A HŐNYERESÉGEK HASZNOSÍTÁSI FOKA	18
3.	A FŰTÉSI ENERGIAIGÉNY SZÁMÍTÁSA VÁLTOZÓ HŐFOKHÍD ÉRTÉKEK ALAPJÁN	22
3.1	DEBRECEN HŐFOKHÍDJA	23
3.2	A VÁROSI HŐSZIGET HATÁSA	28
3.3	AZ EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE	29
3.4	ÖSSZEFOGLALÁS	30
4.	HŐFOKHÍD ÉRTÉKEK MAGYARORSZÁGON	31
4.1	NAPI ÁTLAGHŐMÉRSÉKLETEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA	32
4.2	VÁROSKOK HŐFOKGYAKORISÁGI GÖRBÉI ÉS HŐFOKHÍDJAI	35
4.3	AZ EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE	39
4.4	ÖSSZEFOGLALÁS	41
5.	SZÁRAZ KÜLSŐ MÉRETEZÉSI HŐMÉRSÉKLETEK MEGHATÁROZÁSA	42
5.1	FŰTÖTT TEREK IDŐÁLLANDÓJA	43
5.2	MAGYARORSZÁGON ALKALMAZOTT KÜLSŐ MÉRETEZÉSI HŐMÉRSÉKLETEK	45
5.3	JAVASLAT ÚJ KÜLSŐ MÉRETEZÉSI HŐMÉRSÉKLETEKRE MAGYARORSZÁGON	46
5.3.1	<i>Rendelkezésre álló adatok.....</i>	<i>46</i>
5.3.2	<i>A kumulatív gyakoriság szerepe.....</i>	<i>48</i>
5.4	ESETTANULMÁNYOK	51
5.4.1	<i>Befektetési költségek vizsgálata</i>	<i>51</i>
5.4.2	<i>A kazán szezonális hatásfokának vizsgálata</i>	<i>53</i>
5.4.3	<i>Szakaszos fűtés hatékonyságának vizsgálata</i>	<i>55</i>
5.5	ÖSSZEFOGLALÁS	56
6.	FŰTÉSI HATÁRHŐMÉRSÉKLETTEL KAPCSOLATOS MÉRÉSEK ÉS SZÁMÍTÁSOK.....	57
6.1	PASSOL LABORATÓRIUM	57
6.2	AZ MSZ EN ISO 13790 SZABVÁNY SZÁMÍTÁSI MÓDSZERE	59
6.3	MÉRÉSEK A PASSOL LABORATÓRIUMBAN	61
6.4	SZÁMÍTÁSOK AZ MSZ EN 13790 SZABVÁNY ALAPJÁN	70
6.5	A HŐNYERESÉGEK HASZNOSÍTÁSI FOKA	77
6.6	ÖSSZEFOGLALÁS	81
7.	EREDMÉNYEK.....	84
7.1	ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK	84
7.2	A KUTATÁS EREDMÉNYEINEK GYAKORLATI HASZNOSÍTÁSA	85
7.3	ÚJ KUTATÁSI FELADATOK KIJELÖLÉSE	85
8.	ÖSSZEFOGLALÁS	86
9.	SUMMARY	88
10.	KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	91

Alkalmazott jelölések listája

jel	A mennyiség megnevezése	Mértékegység
t_b	fűtési határhőmérséklet	[°C]
H_j	fűtési nap hőfokhídja	[°nap]
t_i	belső léghőmérséklet	[°C]
$\bar{t}_j$	adott nap átlagos külső hőmérséklete	[°C]
H	valamely időszak hőfokhídja	[°nap]
N	fűtési napok száma	[nap]
$\bar{t}_a$	egy időszakra számított külső átlaghőmérséklet	[°C]
$\dot{Q}_t$	az épület transzmissziós hővesztesége tömör és transzparens szerkezeteken keresztül	[W]
$\dot{Q}_{tb}$	a hőhidakon fellépő hőveszteség	[W]
$\dot{Q}_v$	szellőzési hőveszteségek	[W]
$\dot{Q}_s$	az épület sugárzásos hőnyereségei	[W]
$\dot{Q}_i$	az épület belső hőnyereségei	[W]
$\dot{Q}_f$	a fűtési rendszer által időegység alatt leadott hőmennyiség	[W]
η_H	hőnyereségek hasznosítási foka	
K	az épület hőveszteségtényezője	[W/K]
U_j	a j határolószerkezet hőátbocsátási tényezője	[W/m ² K]
A_j	a j szerkezet felülete belméretek szerint	[m ²]
Ψ_j	a j hőhíd vonalmenti hőátbocsátási tényezője	[W/mK]
l_j	a j hőhíd (csatlakozási él) hossza	[m]
n	légcsereszám	[h ⁻¹]
V	a helyiség térfogata	[m ³]
C_j	korrekciós tényező	
E	fűtési energiaigény	[kWh/év]
A/V	épületjellemző (felület/térfogat arány)	[m ² /m ³]
t_{ir}	belső referencia hőmérsékletet	[°C]
t_{ij}	belső tervezési hőmérséklet a j helyiségben	[°C]
V_j	a j helyiség térfogata	[m ³]

γ_H	hőnyereségek és hőveszteségek aránya	
a_H	mértékegység nélküli tényező	
$a_{H,0}$	mértékegység nélküli referencia érték	
$\tau_{H,0}$	referencia időállandó	[h]
k	korrelációs tényező	
D	korrelációs tényező	
$N_{elméleti}$	elméleti fűtési napok száma	[nap]
$N_{valós}$	valós fűtési napok száma	[nap]
$t_{köz}$	hőmérsékletek középérték	[°C]
t_7	7 órakor mért hőmérséklet értéke	[°C]
t_{14}	14 órakor mért hőmérséklet értéke	[°C]
t_{21}	21 órakor mért hőmérséklet értéke	[°C]
U	hőátbocsátási tényező	[W/m ² K]
Ψ	vonalmenti hőátbocsátási tényező	[W/mK]
A_n	épület fűtött alapterülete	[m ²]
q	az épület fajlagos hőveszteség tényezője	[W/m ³ K]
$t_{i,átl}$	az átlagos belső hőmérséklet	[°C]
Δt_b	téli egyensúlyi hőmérsékletkülönbség	[°C]
l	csatlakozási élek hossza	[m]
Q_F	éves nettó fűtési energiaigény	[kWh/év]
q_f	a fűtés fajlagos nettó hőenergia igénye	[kWh/m ² a]
$q_{f,h}$	a teljesítmény és a hőigény illesztésének pontatlansága miatti fajlagos veszteségek	[kWh/m ² a]
$q_{f,v}$	az elosztóvezeték fajlagos vesztesége	[kWh/m ² a]
$q_{f,t}$	a hőtárolás fajlagos vesztesége	[kWh/m ² a]
σ	a szakaszos üzemvitel hatását kifejező korrekciós tényező	
Z_F	a fűtési idény hosszának ezredértéke	[h/1000a]
q_b	a belső hőterhelés fajlagos értéke	[W/m ²]
E_F	a fűtés fajlagos primer energiaigénye	[kWh/m ² a]
C_k	a hőtermelő teljesítménytényezője	[kWh/m ² a]
α_k	a hőtermelő által lefedett energiaarány	
e_F	a fűtésre használt energiahordozó primer energia átalakítási tényezője	
E_{FSZ}	a keringtetés fajlagos energiaigénye	[kWh/m ² a]

E_{FT}	a tárolás segédenergia igénye	[kWh/m ² a]
$q_{k,v}$	segédenergia igény	[kWh/m ² a]
e_v	a villamos energia primer energia átalakítási tényezője	
T	egy adott helyiség időállandója	[h]
C, C_m	egy adott helyiség hőtároló kapacitása	[J/K]
K	a helyiség hővesztésgtényezőjének	[W/K]
ρ_{ij}	a j épületszerkezet i rétegének testsűrűsége	[kg/m ³]
c_{ij}	a j épületszerkezet i rétegének fajhője	[J/kgK]
d_{ij}	a j épületszerkezet i rétegének vastagsága	[m]
A_j	a j épületszerkezet felülete, (belméretek szerint)	[m ²]
τ	az idő	[s]
$\dot{Q}_R$	a fűtőtest által időegység alatt leadott hőmennyiség	[W]
T_e	a belső és külső hőmérsékletek különbsége	[K]
t_{emin}	az utóbbi 50 évben mért legkisebb átlagos napi külső hőmérséklet érték	[°C]
t_{em}	Január hónap átlagos hőmérséklete az elmúlt 50 év adatai alapján	[°C]
η_s	szezonális hatásfok	
$\eta_{kazán,i}$	a kazán hatásfoka az i időszakban	
T_e	a belső és külső hőmérsékletek különbsége a fűtőberendezés kikapcsolását követően (pillanatnyi érték)	[K]
T_{e0}	a belső és külső hőmérsékletek különbsége, abban a pillanatban, amikor a fűtési rendszert kikapcsolták	[K]
τ_{hup}	felfűtési idő (a belső hőmérséklet elérje a tervezési értéket)	[h]
$\tau_{üsz}$	az üzemszüneti idő	[h]
ζ	a beépített fűtőtest teljesítményének és a helyiség pillanatnyi hőigényének az aránya	
e_s	Egy teljes fűtési időnyre vonatkozóan a szakaszos fűtéssel elérhető energiamegtakarítás a folyamatos üzemmódhoz viszonyítva	[kWh/a]
N_h	a fűtési napok száma egy fűtési időnyben	[nap]
H_{ve}	a szellőzési hővesztéséget/hőnyereséget jellemző tényező	[W/K]
θ_{air}	lég hőmérséklet (MSZ EN ISO 13790 modellben)	[°C]
θ_{sup}	a befűjt levegő hőmérséklet (MSZ EN ISO 13790 modellben)	[°C]
$H_{tr,w}$	transzparens szerkezetek transzmissziós hővesztésgtényezője	[W/K]
$H_{tr,op}$	tömör szerkezetek transzmissziós hővesztésgtényezője	[W/K]

$H_{tr,em}$	transzmissziós hőveszteségtényező	[W/K]
$H_{tr,ms}$	az m és s csomópontok közötti hőveszteségtényező	[W/K]
Φ_{sol}	sugárzásos hőnyereség	[W]
Φ_{int}	belső hőnyereség	[W]
θ_s	a közepes sugárzási hőmérsékletet adó érték	[°C]
θ_m	a hőtároló tömeg hőmérséklete	[°C]
h_{is}	a léghőmérséklet csomópont (θ_{air}) és a központi csomópont (θ_s) közötti hőátadási tényező	[W/m ² K]
A_{tot}	a vizsgált helyisége(ke)t határoló összes épületszerkezet felülete belméretek szerint	[m ²]
b_{vj}	korrekciós tényező	
$\Phi_{HC,nd}$	a hűtési energiaigény	[W]
Φ_{int}	a belső hőnyereségek teljesítménye	[W]
θ_e	a külső léghőmérséklet	[°C]
A_{wj}	a j nyílászáró felülete, belméretek szerint	[m ²]
U_{wj}	a j nyílászáró hőátbocsátási tényezője	[W/m ² K]
A_j	a j hőtároló szerkezet felülete	[m ²]
d_j	a j réteg vastagsága	[m]
c_j	a j réteg anyagának fajhője	[J/kgK]
ρ_j	a j réteg anyagának sűrűsége	[kg/m ³]
h_{ms}	az m és az s csomópontok közötti hőátadási tényező	[W/m ² K]
$A_{op,j}$	a j tömör szerkezet felülete belméretek szerint	[m ²]
$U_{op,j}$	a j tömör szerkezet hőátbocsátási tényezője	[W/m ² K]
l_j	a j lineáris hőhíd hossza	[m]
Ψ_j	a j lineáris hőhíd vonalmenti hőátbocsátási tényezője	[W/mK]

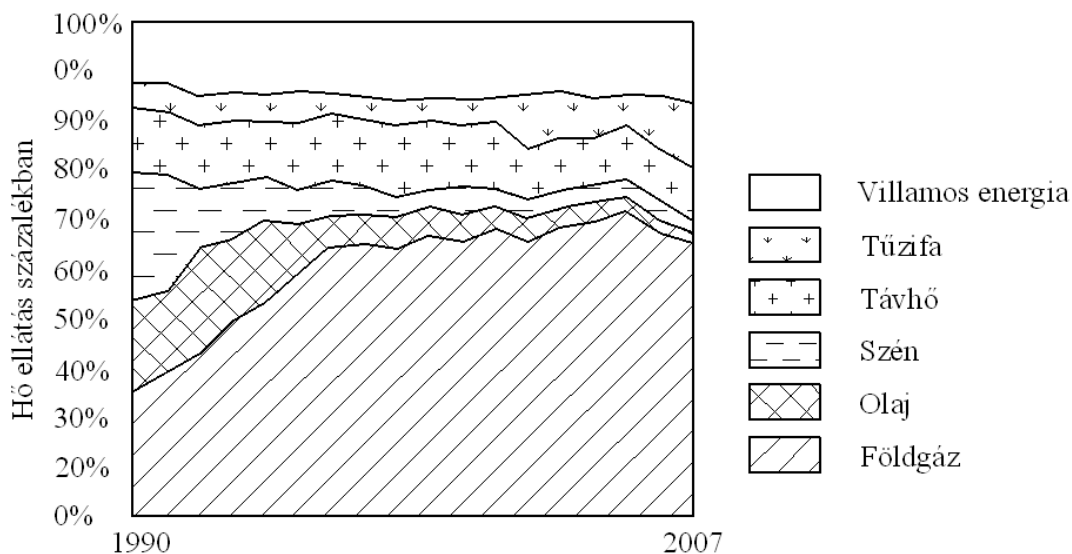
1. BEVEZETÉS

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).

1.1 táblázat Magyar épületállomány becsült referencia értékei
 Forrás: Magyar Építőanyagipari Szövetség, KÉK Munkacsoport
 (Nemzeti Energiastratégia 2030)

	Családi ház	Panel	Középületek	Új építés
átlagos alapterület (m ² /lakás)	90	55	1200	80
átlagos fajlagos hőenergia-felhasználás (kWh/m ² /év)	320	200	340	100

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 (1.1 ábra). (Nemzeti Energiastratégia 2030)



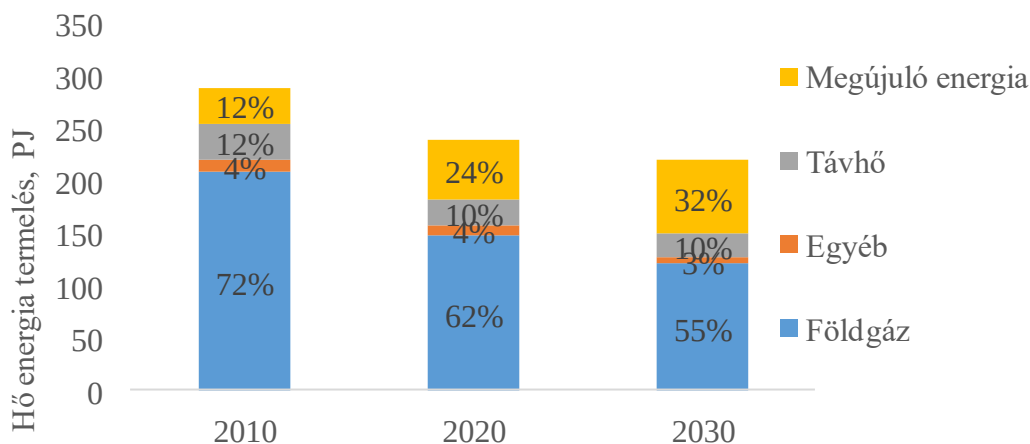
1.1 ábra Magyarországi háztartások energia felhasználása energiahordozónként
 Forrás: Energiaközpont Nonprofit Kft. (Nemzeti Energiastratégia 2030)

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 (1.2 ábra).

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



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

Magyarországon az ellátásbiztonság növelésének leghatékonyabb és legeredményesebb, rövidtávon is megvalósítható módja a fogyasztás csökkentése, az energiatakarékosság és az energiahatékonyság prioritásként való kezelése, (Nemzeti Fejlesztési Minisztérium: Nemzeti Energiastratégia 2030).

Az épületek energiahatékonyságáról szóló 2010/31/EU Irányelv előírja, hogy a tagországok számára a közel nulla követelményszintet 2021. január 1-től új épületek esetében kötelező lesz alkalmazni, emellett középületek esetében 2019. január 1-től. Ezért a meglévő épületek felújítása helyetti új építés esetében a közel nulla követelményszintet kell figyelembe venni. A középületek terén figyelembe kell venni a 2012/27/EU irányelv 5. cikke szerinti kötelezettséget, hogy a központi kormányzat tulajdonában és használatában lévő 500 négyzetméternél nagyobb fűtött és/vagy hűtött igazgatási épületek hasznos alapterületének évente legalább 3%-át fel kell újítani. Majd ezt az értéket 2015. július 9-étől 250 m² -re kellett csökkenteni.

A Nemzeti Épületenergetikai Stratégia a Nemzeti Energiastratégia 2030-ban megfogalmazottak figyelembevételével az épületek energiafelhasználásánál 2020. évre 49 PJ/év, 2030-ra 111 PJ/év primerenergia megtakarítás elérését tűzi ki célul. A 2020-ig tervezett épületenergetikai energia megtakarítási célkitűzéseket a 1.2 táblázat foglalja össze:

1.2 táblázat A NÉeS 2020-ig tervezett épületenergetikai energia megtakarítási célkitűzései (Nemzeti Épületenergetikai Stratégia).

		Primerenergia megtakarítási cél 2020-ig (PJ)
1	A lakóépület és középület állomány felújítása (a kereskedelmi épületekkel együtt)	40
3	A vállalkozások épületeinek felújítása	4
4	Egyéb energia megtakarítások épületeknél	5
5	ÖSSZESEN	49

A NÉeS minden épülettípus esetében lehetőséget kíván biztosítani a felújításra. A lakóépületek és középületek felújításával elérendő energia megtakarítási célokat 2020-ig a 1.3 táblázatban foglaltak szerint határozza meg:

1.3 táblázat A lakóépületek és középületek felújításával elérendő primerenergia megtakarítási célok 2020-ig (Nemzeti Épületenergetikai Stratégia).

	2020. évi épületenergetikai célérték [PJ]	Felújított lakások és középületek száma 2020-ig [db]	Becsült összes ráfordítás igény 2020-ig [Mrd Ft]
Családi ház	17,6	130.000	743
Iparosított technológiájú társasház (panel)	12,8	380.000	536
Hagyományos társasház	8,0	190.000	329
Lakóépületek Összesen	38,4	700.000	1608
Középületek	1,6	2.400	152
ÖSSZESEN	40,0		1760

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 kaphatunk, amennyiben megfelelő meteorológiai adatok állnának rendelkezésünkre (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.

A kutatások fő 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 hőfokhid 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.

2. Hőfokhíd, hőfokgyakoriság

Fűtési nap alatt olyan napot értünk, amelynek átlagos hőmérséklete kisebb vagy egyenlő az épület fűtési határhőmérsékleténél (t_b), azaz annál a külső hőfoknál amely mellett az épület hőnyereségei egyenlők az épület hőveszteségeivel. Valamely fűtési nap hőfokhídja alatt (H_j) a t_i belső tervezési hőmérséklet és az adott nap $\bar{t}_j$ átlagos hőmérséklete közötti különbséget értjük:

$$H_j = t_i - \bar{t}_j \quad (2.1)$$

Valamely időszak H hőfokhídja alatt az illető időszakban előforduló N számú fűtési nap hőfokhídjainak összegét értjük:

$$H = \sum_{j=1}^N H_j = \sum_{j=1}^N (t_i - \bar{t}_j) = N(t_i - \bar{t}_a) \quad (2.2)$$

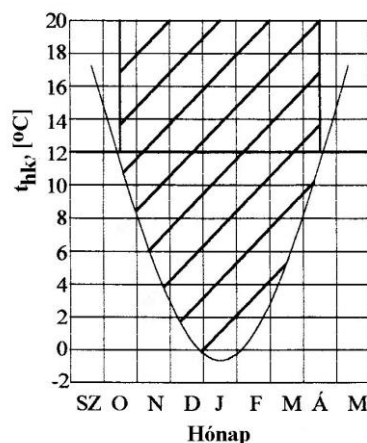
ahol: $\bar{t}_a$ az időszakra számított külső átlaghőmérséklet.

A hőfokhidat aszerint, hogy milyen időszakra vonatkoztatjuk, nevezzük téli, havi, heti, napi és pillanatnyi hőfokhídna. A tényleges hőfokhíd az időjárási viszonyok szerint évről évre változik, azonban több esztendő átlagának hőfokhídja egy helyiség vagy vidék időjárási viszonyaira jellemző. Néhány hazai város és külföldi nagyváros téli hőfokhídját, $t_i=20^\circ\text{C}$ és $t_b=12^\circ\text{C}$ mellett, a 2.1 táblázat tartalmazza.

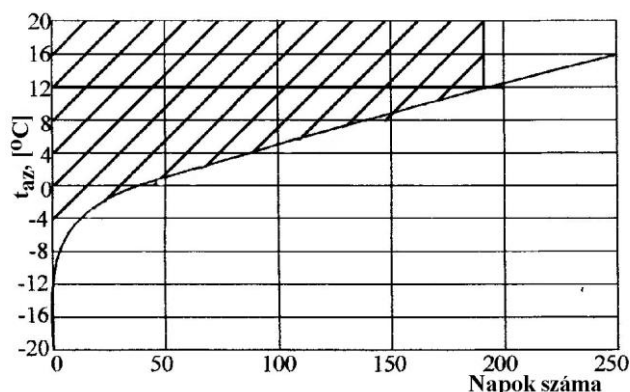
2.1 táblázat Néhány hazai és külföldi város éves fűtési hőfokhídja (Menyhárt, 1978)

Város	$N_{20/12}$, [nap]	$H_{20/12}$, [°nap]
Budapest	188	3061
Debrecen	202	3353
Miskolc	201	3414
Pécs	187	2650
Nyíregyháza	203	3372
Békéscsaba	187	3001
Sopron	205	3283
Bécs	211	3500
Helsinki	273	5350
Párizs	215	3040
Lisszabon	92	840

A hőfokhíd grafikus számítása a közepes havi hőmérsékletek alapján (2.1 ábra) vagy a hőfokgyakoriság görbe alapján történik (2.2 ábra), (Kalmár, 2003).



2.1 ábra Téli hőfokhíd a havi hőmérsékletátlag alapján



2.2 ábra Téli hőfokhíd a hőfokgyakorisági görbe alapján

Mindkét esetben a fűtési határhőmérséklet határozza meg a napok számát a fűtési időnyben. A belső méretezési hőmérsékletet ábrázoló vonal valamint a havi illetve napi átlagos hőmérsékletet ábrázoló görbe által határolt vonalkázott terület adja meg a hőfokhíd értékét.

2.1 Fűtési határhőmérséklet

Ha eltekintünk az épületszerkezetekben tárolt hő változásától, akkor egy épület energiamérlege az alábbi összefüggéssel írható fel (Zöld, 1999):

$$\dot{Q}_t + \dot{Q}_{tb} + \dot{Q}_v + \dot{Q}_s + \dot{Q}_i + \dot{Q}_h = 0 \quad (2.3)$$

ahol: $\dot{Q}_t$ - az épület transzmissziós hővesztesége tömör és transzparens szerkezeteken keresztül, [W]; $\dot{Q}_{tb}$ - a hőhidakon fellépő hőveszteség, [W]; $\dot{Q}_v$ - szellőzési hőveszteségek, [W]; $\dot{Q}_s$ - az épület sugárzásos hőnyereségei, [W]; $\dot{Q}_i$ - az épület belső hőnyereségei, [W]; $\dot{Q}_h$ - a fűtési rendszer által időegység alatt leadott hőmennyiség, [W].

A fűtési rendszer által termelt és leadott hőmennyiség függ az éghajlati adatoktól és a belső hőmérséklet tervezési értékétől. A fő cél a hőveszteségek és ezzel a fűtési energiaigény minimalizálása. Energetikai szempontból előnyös az, ha minél hosszabb ideig tudjuk tartani az előírt belső hőmérsékletet fűtés nélkül. Egy épületben, ha a fűtési rendszer nem működik, a belső és sugárzásos hőnyereségek miatt, a belső hőmérséklet nagyobb, mint a külső hőmérséklet. Az épület fűtési határhőmérséklete (t_b) az a külső átlagos hőmérséklet, mely mellett az épület hőnyereségei egyenlőek az épület hőveszteségeivel úgy, hogy az épületben kialakul az elvárt belső hőmérséklet (t_i).

$$t_b = t_i - \eta_H \frac{\dot{Q}_s + \dot{Q}_i}{K} \quad (2.4)$$

ahol: η_H - a hőnyereségek hasznosítási foka; K - az épület hőveszteségtényezője, [W/K], melyet a (2.5) összefüggéssel határozhatunk meg:

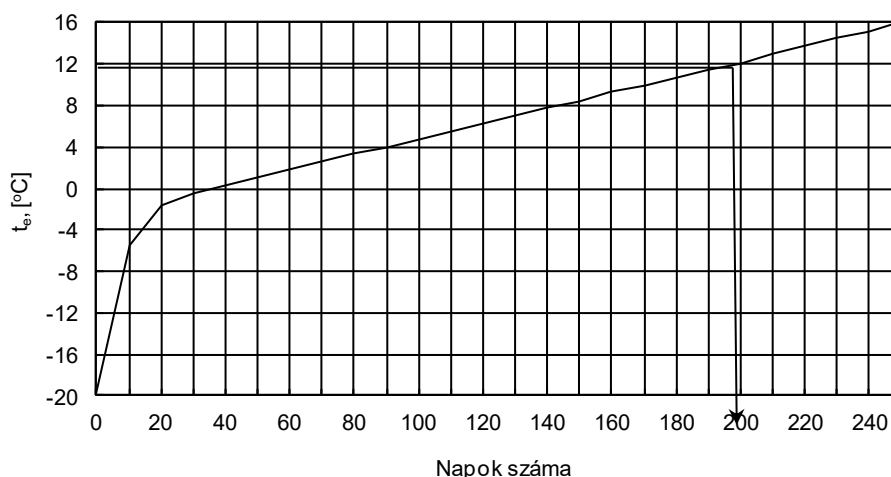
$$K = \sum U_j A_j C_j + \sum \Psi_j l_j + 0,35nV \quad (2.5)$$

ahol: U_j - a j határolószerkezet hőátbocsátási tényezője, [W/m²K]; A_j - a j szerkezet felülete belméretek szerint, [m²]; Ψ_j - a j hőhíd vonalmenti hőátbocsátási tényezője, [W/mK], l_j - a j hőhíd (csatlakozási él) hossza, [m], n - a légcserezszám, [h⁻¹]; V - a helyiség térfogata, [m³];

0,35 – a levegő fajhőjének és sűrűségének szorzata osztva 3600-al, C_j – korrekciós tényező, mely figyelembe veszi, hogy a szomszédos térben a külső méretezési hőmérséklettől eltérő (t_x) hőmérséklet található:

$$C_j = \frac{(t_i - t_x)}{(t_i - t_e)} \quad (2.6)$$

Egy adott épület esetében, ha ismerjük a fűtési határhőmérsékletet és a hőfokgyakorisági görbét meghatározhatjuk a fűtési idény hosszát (2.3 ábra).



2.3 ábra A fűtési idény hosszának meghatározása

Kalmár (2002) meghatározta a Macskásy féle hőfokgyakorisági görbe matematikai összefüggését, mely megfelelő pontossággal alkalmazható a fűtési idényre vonatkozóan:

$$t_e = -15 + 3,55x^{0,3835} \quad (2.7)$$

Ha a (2.7) összefüggésben a külső hőmérséklet helyett az épület fűtési határhőmérsékletét helyettesítjük be, akkor az egyenletből megállapítható a fűtési napok száma egy fűtési idényben (Kalmár, 2002):

$$N = \left(\frac{t_b - t_{e0}}{3,55} \right)^{2,6} \quad (2.8)$$

Az épület hőtechnikai felújítása során, az épület hővesztésgtényezője nagymértékben csökken (K'), míg a hőnyereségek alig változnak, vagy akár állandónak is tekinthetők. Ennek megfelelően a felújított épület fűtési határhőmérséklete (t_b'), az alábbi összefüggéssel számítható, (Kalmár, 2002):

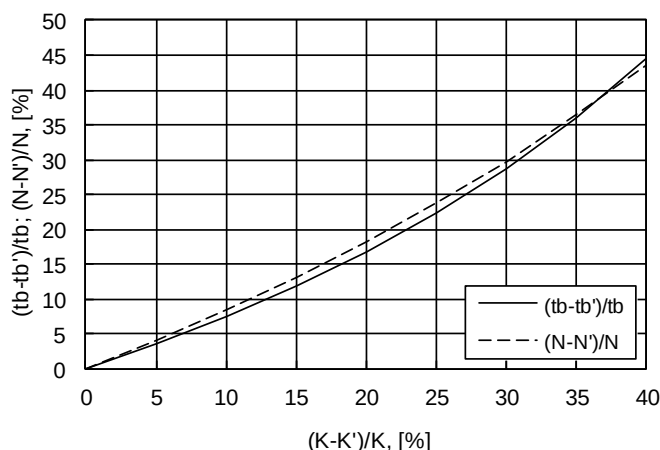
$$t_b' = t_i - \frac{t_i - t_b}{K'/K} \quad (2.9)$$

Miután ismerjük a felújított épület fűtési határhőmérsékletét, meghatározhatjuk a fűtési idény hosszát (a fűtési napok számát) a felújított épületre vonatkozóan:

$$N' = N \left(t_i - t_{e0} - \frac{t_i - t_b}{K'/K} \right) / (t_b - t_{e0}) \quad (2.10)$$

A fűtési hőhordozók esetében, Magyarországon a '90-es évekig a legelterjedtebb tervezési hőfoklépcső 90/70 °C volt. A távfűtési rendszereket akkor indították el, ha három egymást követő napon a napi külső átlaghőmérséklet nem emelkedett 12 °C fölé. Valójában tehát azt

feltételezték, hogy az épületek fűtési határhőmérséklete 12 °C. Napjainkban egyre több épületet újítanak fel és a különböző technológiákkal épült épületek fűtési határhőmérséklete nagyon eltér egymástól. A távfűtési rendszereknél is a fűtést, gyakorlatilag a lakóházak igénye alapján indítják. Ha azt feltételezzük, hogy egy épület fűtési hőmérséklete 12 °C, akkor a felújítás utáni fűtési határhőmérséklet értékeit a felújítás mértékétől függően a 2.4 ábra mutatja be (Kalmár, 2004).

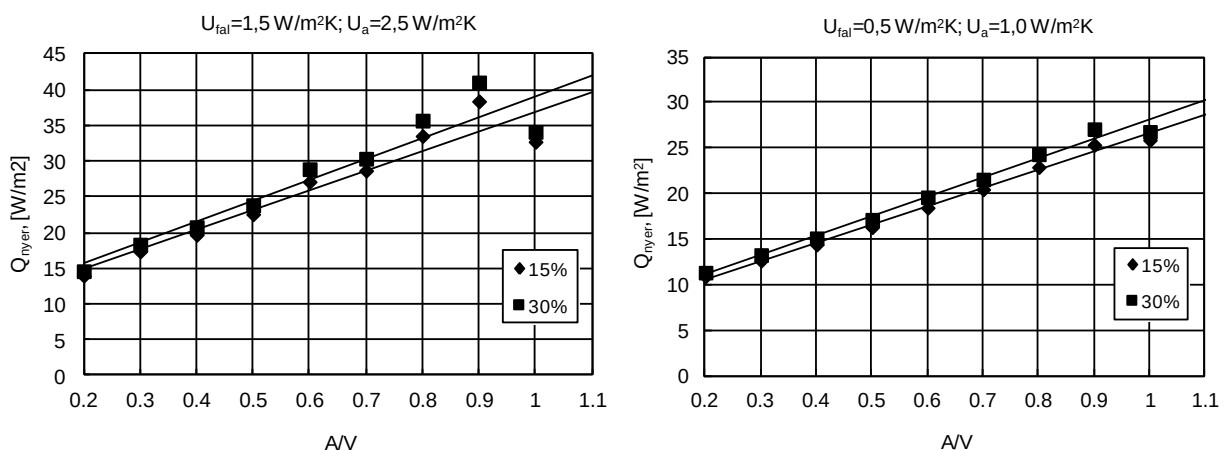


2.4 ábra határhőmérséklet és fűtési napok száma a felújítás függvényében

Egy épület fűtési energiaigényét a (2.11) összefüggéssel határozhatjuk meg:

$$E = K \int (t_i - t_e) d\tau - \eta_H \int (\dot{Q}_g + \dot{Q}_i) d\tau \quad (2.11)$$

Egy épület hőnyereségeit a belső hőnyereségek és a sugárzásos hőnyereségek alkotják. A sugárzásos hőnyereségek a homlokzati tájolástól, az évszaktól és pillanatnyi meteorológiai állapotoktól, a transzparens szerkezetek arányától és az üvegezések sugárzás-átbocsátó képességétől függenek. A belső hőnyereségeket a bent tartózkodók hőleadása, világítás, háztartási gépek által leadott hő összege adja meg. Ennek megfelelően a belső hőnyereségeket állandónak vehetjük, de fajlagos értékük annál kisebb, minél nagyobb alapterületű épületről beszélünk. Ahhoz, hogy az épületek fűtési határhőmérséklete 12 °C legyen, a fajlagos hőnyereség értékeit különböző épülettípusoknál a 2.5 ábra mutatja be, különböző A/V aránnyal, de azonos határoló szerkezetekkel rendelkező épületeknél, ha a homlokzati üvegezési arány 15% vagy 30%, (Kalmár, 2004).



2.5 ábra A hőnyereségek fajlagos értékei ($t_b=12$ °C, $\eta_H=1$ mellett)

Látható, hogy egy családi ház esetében, melynek A/V jellemzője 1,0, a hőnyereségek fajlagos értéke kétszer akkora kell legyen, mint egy 0,4 A/V jellemzővel rendelkező társasház esetében. Ez természetesen a gyakorlatban lehetetlen, ezért a családi házak fűtési határhőmérséklete nagyobb, mint az iparosított technológiával épült épületek esetében. Látható, hogy egy adott A/V jellemző esetében a 15-30% közötti üvegezés arány változásának alig van hatása a fűtési határhőmérsékletre.

Egy épület energiaigényének meghatározásához, az adott településre jellemző meteorológiai paramétereket és ezek alapján számított hőfokhid értékeit alkalmazzuk. Kiemelten fontos a hőfokhid értékek pontos ismerete, mert ezek nélkül az eredmények félrevezetőek lehetnek, melyek alapján hibás következtetéseket vonunk le és hibás döntéseket hozhatunk. A hőfokhid értékének pontos ismerete tehát elengedhetetlen egy épület energetikai számításaihoz.

2.2 Belső referencia hőmérséklet

A fűtési idény hosszát a fűtési határhőmérséklet és a hőfokgyakorisági görbe alapján határozhatjuk meg. A fűtési határhőmérséklet mellett a hőveszteségek egyenlők a hőnyereségekkel. Ha a külső hőmérséklet a fűtési határhőmérséklet alá csökken, akkor a fűtési rendszer működésbe lép és szolgáltatja a szükséges hőmennyiséget, ahhoz, hogy biztosítsuk az épületben az elvárt hőmérsékletet. A hőfokhidat gyakorlatilag a fűtési napokra vonatkoztatott belső hőmérséklet és a napi külső átlaghőmérséklet különbségeinek összegzésével kapjuk meg. Egy épület esetében nem minden helyiségben azonos a belső hőmérséklet. Kiemelten fontos tehát megállapítani, hogy mennyi a belső hőmérséklet referencia értéke, melyhez viszonyítunk. A CIBSE (2006) szerint ez az érték lehetne akár a fűtési határhőmérséklet is. A számításokhoz viszont a CIBSE módszer azt feltételezi, hogy a hőnyereségek értéke állandó egy adott időszakban (pl. hónap), (CIBSE, 2006). Ez viszont nem igaz, mivel ezek értéke egy nap folyamán is sokat változhat. Magyarországon az egyes helyiségek belső tervezési hőmérsékleteinek alapján határozzuk meg az épület belső referencia hőmérsékletét és ehhez az értékhez viszonyítva állapítjuk meg a hőfokhid értékét. Ez természetesen kis mértékben eltér a valóságtól, mivel a hőnyereségek (ha vannak) a hőfokhid csökkenését eredményezik, azonban ezt csak a megfelelően szabályozott és szabályozott fűtési rendszereknél tudjuk figyelembe venni. A CIBSE módszer éppen ellenkezőleg alulméretezést okoz, ha a hőnyereségek értékét állandónak tekintjük egy adott időszakra vonatkozóan és egyenlőnek az időszakra vonatkozó legnagyobb értékkel. Day és munkatársai (2003) bemutatták az „energetikai aláírás” (*energy signature*) módszerét, melynek segítségével meghatározható egy épület belső hőmérsékletének referencia értéke. A módszer alapján megrajzolták az épület energetikai aláírását (napi energiafogyasztás a külső hőmérséklet függvényében). Ez a módszer valóban a pontos referenciaérték meghatározását eredményezi, de csak meglévő/üzemelő épületek esetében alkalmazható. Ugyanakkor nagyon időigényes, ugyanis legalább kétvényi mérési eredmény szükséges hozzá. Új épületekre vonatkozóan, vagy felújítás előtt álló régi épületekre vonatkozóan nem lehet alkalmazni, mivel a beavatkozás (építés vagy felújítás) előtti időszakban nem lehetséges a mérések lebonyolítása. Ennek megfelelően a biztonságos megoldás az, ha a referencia hőmérsékletet

egyenlőnek vesszük a belső méretezési hőmérséklettel (helyiségenként megfelelően átlagolva).

$$t_{ir} = \frac{\sum_{j=1}^z V_j t_{ij}}{\sum_{j=1}^z V_j} \quad (2.12)$$

ahol: t_{ij} a belső tervezési hőmérséklet a j helyiségben, [$^{\circ}\text{C}$]; V_j – a j helyiség térfogata, [m^3].
A referencia hőmérséklet meghatározása után a hőfokgyakorisági görbét kell lehetőleg minél pontosabban meghatározni.

2.3 A hőnyereségek hasznosítási foka

Az MSZ EN 13790 szabvány szerint a hőnyereségek hasznosítási foka függ a hőnyereségek és hőveszteségek pillanatnyi arányától (γ_H) és a helyiség/zóna/épület időállandójától (τ).

A hőnyereségek és hőveszteségek aránya (MSZ EN 13790):

$$\gamma_H = \frac{\dot{Q}_i + \dot{Q}_s}{\dot{Q}_t + \dot{Q}_{tb} + \dot{Q}_v} \quad (2.13)$$

Ha $\gamma_H > 0$ és $\gamma_H \neq 1$, akkor a hőnyereségek hasznosítási foka a (2.14) összefüggéssel számítható (MSZ EN 13790):

$$\eta_H = \frac{1 - \gamma_H^{a_H}}{1 - \gamma_H^{a_H + 1}} \quad (2.14)$$

Ha $\gamma_H = 1$, akkor a hőnyereségek hasznosítási foka a (2.15) összefüggéssel számítható (MSZ EN 13790):

$$\eta_H = \frac{a_H}{a_H + 1} \quad (2.15)$$

Ha $\gamma_H < 0$, akkor a hőnyereségek hasznosítási foka a (2.16) összefüggéssel számítható (MSZ EN 13790):

$$\eta_H = \frac{1}{\gamma_H} \quad (2.16)$$

Ez viszont azt jelentené, hogy a hasznosítási fok nagyobb 1-nél, ami nem lehetséges.

Korábban, a szabvány előkészítésekor, ha $\gamma_H < 0$ a hasznosítási fok képlete ugyanaz volt, mint a $\gamma_H > 0$ tartományban:

$$\eta_H = \frac{1 - \gamma_H^{a_H}}{1 - \gamma_H^{a_H + 1}} \quad (2.16a)$$

A 2.14-2.15 összefüggésekben az a_H egy mértékegység nélküli tényező, mely a helyiség/zóna/épület időállandójának függvényében határozhatunk meg (MSZ EN 13790):

$$a_H = a_{H,0} + \frac{T}{T_{H,0}} \quad (2.17)$$

ahol: $a_{H,0}$ – egy mértékegység nélküli referencia érték (2.2 táblázat); $\tau_{H,0}$ – egy referencia időállandó (2.2 táblázat).

2.2 táblázat $a_{H,0}$ és $T_{H,0}$ értékei

Számítási módszer	$a_{H,0}$	$T_{H,0}$
Havi	1,0	15
Szezonális	0,8	30

Kérdéses tehát a hasznosítási fok értéke, abban az időszakban, amikor a hőnyereségek nem érik el a hőveszteségek értékét.

Yohanis és Norton (1999) szerint a hasznosítási fok az alábbi összefüggéssel határozható meg:

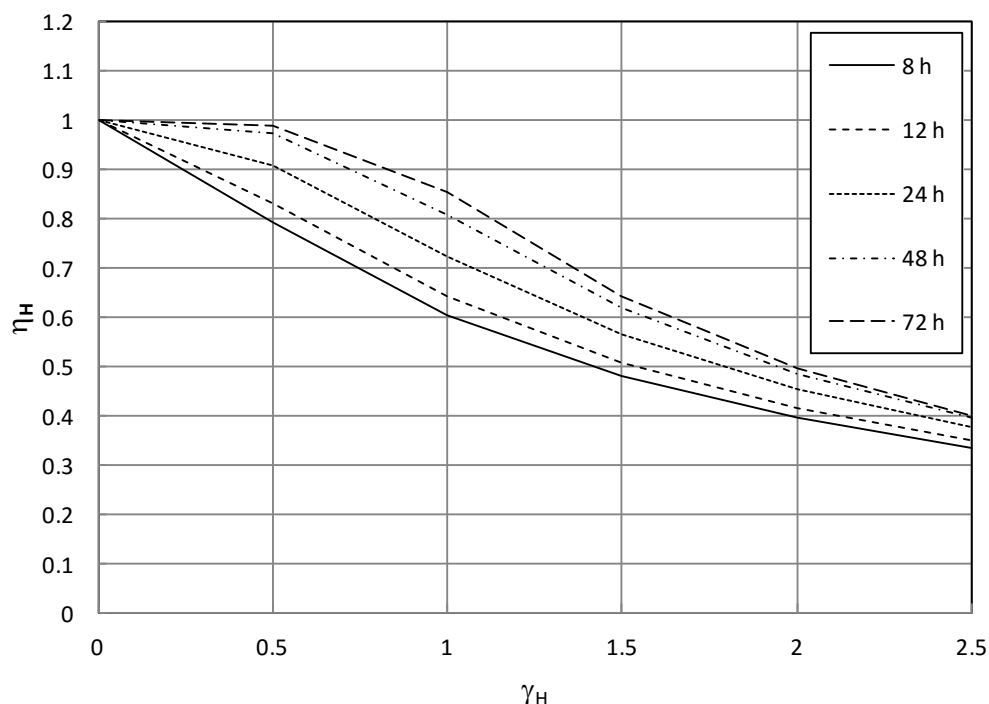
$$\eta_H = 1 - e^{\frac{-k}{\gamma - D}} \quad (2.18)$$

ahol a k és a D korrelációs tényezők értéke az időállandó függvénye:

$$k = 1,0785 + 0,0041T - 6 \times 10^{-7}T^2 \quad (2.19)$$

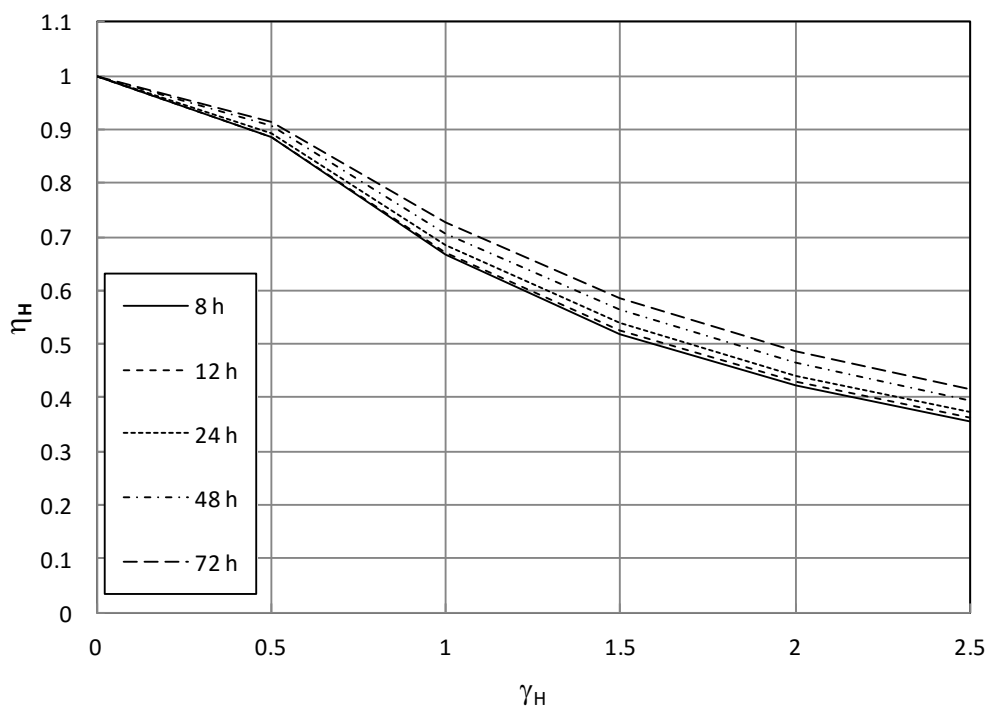
$$D = -0,0087 - 0,007T + 7 \times 10^{-8}T^2 \quad (2.20)$$

Havi számítási módszer esetében, $\gamma_H \geq 1$ mellett a hasznosítási fok értékeinek alakulását különböző időállandóval rendelkező helyiségek esetében a 2.6 ábra mutatja be.



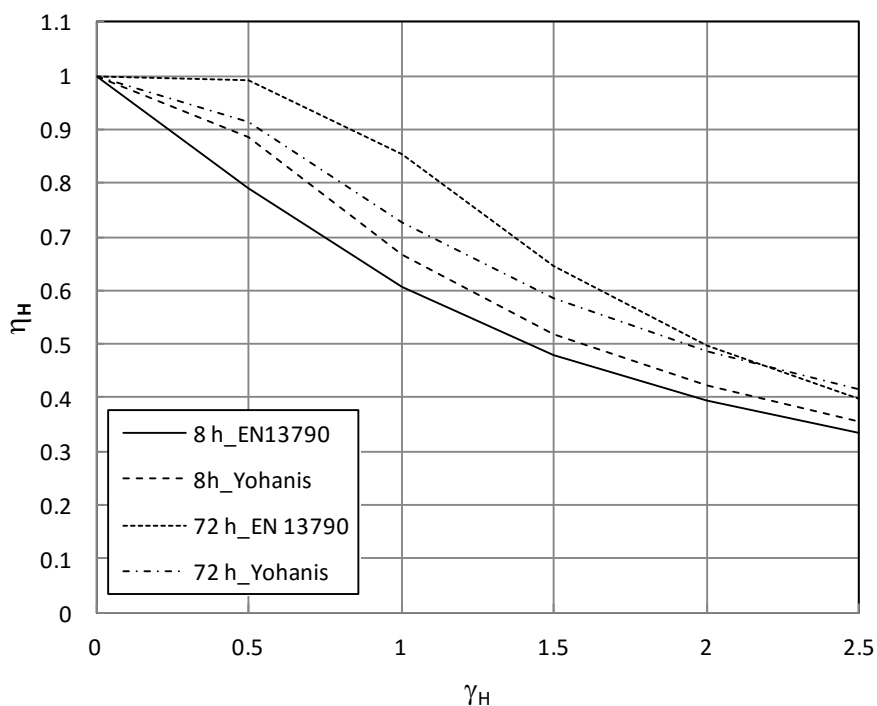
2.6 ábra A hasznosítási fok értékei, MSZ EN 13790 szerint

Yohanis és Norton által megadott számítási módszer esetében, azonos időállandók esetében a hasznosítási fok értékeit a 2.7 ábra mutatja be.



2.7 ábra A hasznosítási fok értékei, Yohanis-Norton módszere alapján

Látható, hogy ez utóbbi esetben $\gamma_H < 1$ értékek mellett is lehetséges a hasznosítási fok meghatározása. Két időállandó esetében ($T=8$ h és $T=72$ h) a két módszerrel számított hasznosítási fok értékeket $\gamma_H \geq 1$ mellett, a 2.8 ábra mutatja be.



2.8 ábra Hasznosítási fok számított értékei (MSZ EN 13790 vs. Yohanis-Norton módszer)

Megállapítható, hogy alacsony időállandó esetében (könnyűszerkezetes épületek) a Yohanis-Norton módszerrel számított értékek nagyobbak, mint az MSZ EN 13790 szabvány alapján

meghatározott értékek, míg a nagy időállandó esetében (nehéz szerkezetű épületek) a szabvány alapján számított értékek a nagyobbak. Alacsony időállandó esetében a két módszerrel számított értékek közötti különbség csaknem azonos a különböző γ_H arányok mellett, míg nagy időállandó mellett a különbségek a legnagyobbak $\gamma_H=1$ mellett és csökkennek nagyobb γ_H értékeknél.

A további számításaimnál a Yohanis-Norton módszerrel határoztam meg a hőnyereségek hasznosításai fokát.

3. A FÜTÉSI ENERGIAIGÉNY SZÁMÍTÁSA VÁLTOZÓ HŐFOKHÍD ÉRTÉKEK ALAPJÁN

A 2002/91/EC EU irányelv szerint, az épületek az összes felhasznált energia 40%-ért felelősek és ez az érték az előrejelzések szerint növekszik. Ennek következményeként akár a széndioxid kibocsátás is növekedhet ebben a szektorban. A 2002/91/EC irányelv kiemeli azokat a beavatkozási lehetőségeket, melyek szerint az épületek energetikai felújítását a lokális éghajlat paraméterek, a belső mikrokörnyezeti paraméterek és a helyi gazdasági feltételek figyelembevételével kell elvégezni. Magyarországon több program is indult annak érdekében, hogy az állam támogassa a lakástulajdonosokat az épület felújításában. Az ilyen típusú pályázatok mindegyikében ki kellett mutatni a felújítás utáni energia megtakarítást. Egy-egy energetikai pályázat esetében a fűtési energia megtakarítást a lehető legpontosabban kell meghatározni. Magyarországon jelenleg a fűtési energiaigény meghatározásához sok esetben a Macskásy által kidolgozott hőfokgyakorisági görbét alkalmazzák, mely 1900-1930 közötti mérések alapján készült. Ezt a hőfokgyakorisági görbét szükséges átdolgozni annak érdekében, hogy megfelelő fűtési energiaigény számításokat végezzünk és ezek alapján a lehető legpontosabban becsülhessük meg a befektetések megtérülési idejét. A hőfokhíd pontos értékének meghatározása kiemelten fontos. Ezt az ezzel kapcsolatos nagyszámú nemzetközi publikáció is bizonyítja. Dall'O és munkatársai (2012) kidolgoztak egy módszert az épületállomány felújításával megtakarítható energiamennyiség meghatározásához, figyelembe véve a technológiai és gazdasági adottságokat. Több kutató is vizsgálta az épületek utólagos hőszigetelésnek optimális vastagságát (Bolattürk, 2008; Ozel, 2011; Ozel, 2012, Kalmár, 2002). Dascalaki (2011) kidolgozott egy épülettípológia adatbázist, ami nagyon hasznos lehet a jelenlegi épületállomány energetikai minőségének meghatározásához. A Svájci épületállomány felújításában rejlő gazdasági lehetőségeket Amstalden vizsgálta (2007), figyelembe véve az energiapolitikát és az energiaárak várható változását. Pfeiffer és munkatársai (2005) továbbléptek és megvizsgálták, hogy mik a lehetőségei Svájcnak a „2000 W társadalom” kiépítésére. Mindazonáltal, az épületek hőtechnikai adottságai és a felújítási technológiák vizsgálata mellett, kiemelten kell vizsgálni a hőtermelő és hőelosztó rendszerek hatékonyságát is. Az épületek fűtési hőigényének meghatározásához elengedhetetlen az éghajlati paraméterek, a hőfokhíd pontos ismerete. Durmayaz (2000) leírta, hogyan lehet alkalmazni a hőfokhidat a lakóépületek energiaigényének meghatározásához Isztambulban. A görög Aristotle Egyetem munkatársai, felhasználva a Tesszaloniki és Athéni órai száraz léghőmérséklet adatokat meghatározták a két városra vonatkozó hőfokgyakorisági görbéket (Papakostas and Kyriakis, 2005). Törökország területére vonatkozó hőfokhíd értékeket Büyükalaca és munkatársai határozták meg (2001). Sen és Kardioglu feltérképezték a hőfokhíd értékének regionális változásait Törökországban és meghatározták a hőfokhíd-domborzat összefüggéseit. a Görög Meteorológiai Hivatal adatai alapján Matzarakis és Balafoutis (2004) tíz fűtési hőfokhíd térképet dolgozott ki, melyek hasznosnak bizonyultak különböző energetikai és környezetvédelmi projekteknél. Quayle és Diaz (1980) elemezte az 1898-1978 időszakot és kidolgozott egy scenáriót az éghajlattól függő lakossági energiafogyasztásra vonatkozóan. Frank (2005) készített egy tanulmányt melyben vizsgálta az éghajlat változás hatásait a fűtési-hűtési energiafogyasztásra. Az éghajlatváltozást illetően

Easterling és munkatársai (2000) vizsgálták az éghajlattal kapcsolatos extrém jelenségeket és bebizonyították, hogy a jövőben a nagyon alacsony hőmérsékletű időszakok, a nagyon magas hőmérsékletű időszakok időtartama, illetve gyakorisága változni fognak. Olonscheck és munkatársai (2011) egy összetett vizsgálatban elemezték hogyan alakul az épületállomány Németországban figyelembe véve az éghajlatváltozást, az épületek- és fűtési rendszerek várható felújításait. Saros (1984) készített egy nagyon hasznos módszert az optimális épületfelújításokra vonatkozóan, de sajnos az ő módszere nem veszi figyelembe a hőfokhíd változásait. Különböző kutatók figyelembe vették a városi hősziget hatásait is a hőfokhíd meghatározásánál (Torraxe and Shum, 1976; Kolokotroni et al, 2010). Day és Karayiannis (1998) különböző hőfokhíd számítási módszert hasonlított össze. Megállapították, hogy ha a fűtési határhőmérséklet alacsony, akkor a számítással járó bizonytalanságok növekednek.

A CIBSE egy segédletet adott ki a hőfokhíd számításokkal kapcsolatosan, melyben a módszer hasznosságát is részletesen leírják (TM41:2006). Day és Karayiannis (1999) kidolgozott egy módszert, melynek segítségével megállapíthatóak a hőfokhíd számítással együtt járó bizonytalanságok egy épület fűtési hőigényének meghatározásánál. Bebizonyították, hogy a hosszabb időszakokra vonatkoztatva állapítjuk meg a fűtési energiaigényt, akkor a bizonytalanságok csökkennek. A felsorolt tudományos munkák igazolják a téma fontosságát és azt, hogy a hőfokhíd pontos ismerete nélkül a várható fűtési energiafogyasztás nem állapítható meg megbízható módon. Ennek megfelelően azt feltételeztük, hogy a Macskásy féle hőfokgyakorisági görbe ma már nem alkalmazható kellő pontossággal az energetikai számításoknál. Ha a cél csak két épület összehasonlítása energetikai szempontból (pl. energia tanúsítvány kiállításánál) akkor a Macskásy görbe alkalmazható, hiszen a nem a pontos energiaigény meghatározása a cél, az arányosítás során pedig a számítási hibák valószínűleg eltűnnek. Ha viszont egy épületnél kell megállapítani a várható energiafogyasztást, akkor a görbe már csak fenntartásokkal alkalmazható.

Az épületek energiaigénye ma már számítógépes programokkal meghatározható. Az egyszerűsített számítási módszereknél is szükséges a hőfokhíd ismerete, a bonyolult szimulációs számítások esetében pedig, az éghajlati paraméterek vonatkozásában órai értékekre van szükség. Nagyobb települések esetében a számítógépes programok rendelkeznek egy referencia év adataival, azonban, ha ezt alkalmazzuk, akkor az éves változásokat elhanyagoljuk. Az épületfelújítások előzetes elemzéséhez, a megtérülési idő számításához megfelelő módon alkalmazható a hőfokhíd, ha annak értéke jól van meghatározva. Ellenkező esetben a befektetőket kellemetlen meglepetések érhetik. A fenti szakirodalom tanulmányozása után a debreceni Agrometeorológiai központ adatszolgáltatása alapján kidolgoztam Debrecenre (Magyarország második legnagyobb városára) vonatkozóan a hőfokhíd értékeit. A száraz hőmérséklet adatokat az elmúlt 50 évre vonatkozóan kaptam meg.

3.1 Debrecen hőfokhídja

A Debreceni Agrometeorológiai Állomás (Kismacs), (3.1. ábra) jóvoltából rendelkezésemre álltak a külső száraz léghőmérséklet adatok 1964-2012 évekre vonatkozóan.

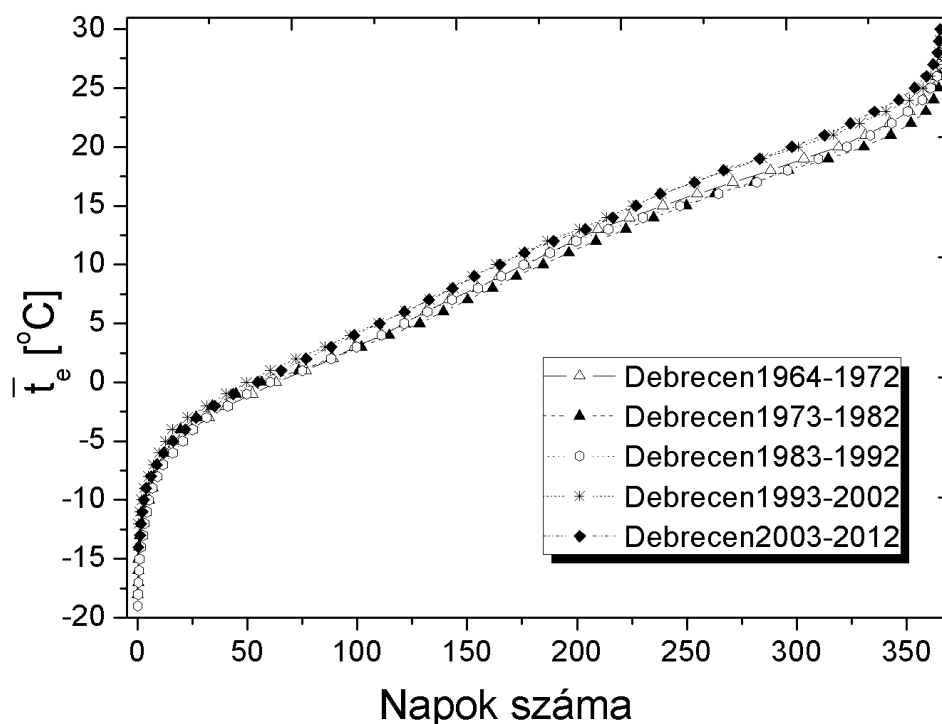


3.1. ábra Agro-Meteorológiai Állomás Debrecen-Kismacs (fotó: Rácz Csaba)

A száraz léghőmérséklet értékét, valamint a levegő relatív nedvességtartalmát és a szélsébséget 1,0 m, 2,0 m, 4,0 m és 10,0 m magasságban mérik. A Pt100-1/10 hőmérsékletérzékelők mérési pontossága $\pm 0,1$ °C.

Az adatokat órai felbontásban kaptam meg a Meteorológiai Állomástól. Egy évben 8760 db. globál sugárzás-, illetve 8760 db. léghőmérséklet adat került feldolgozásra, mindösszesen 429240 db. adat alapján határoztam meg a környezeti paramétereket.

Ennek megfelelően ezen adatokból elkészítettük a Debrecenre vonatkozó hőfokgyakorisági görbéket az elmúlt öt évtizedre vonatkozóan (3.2 ábra).



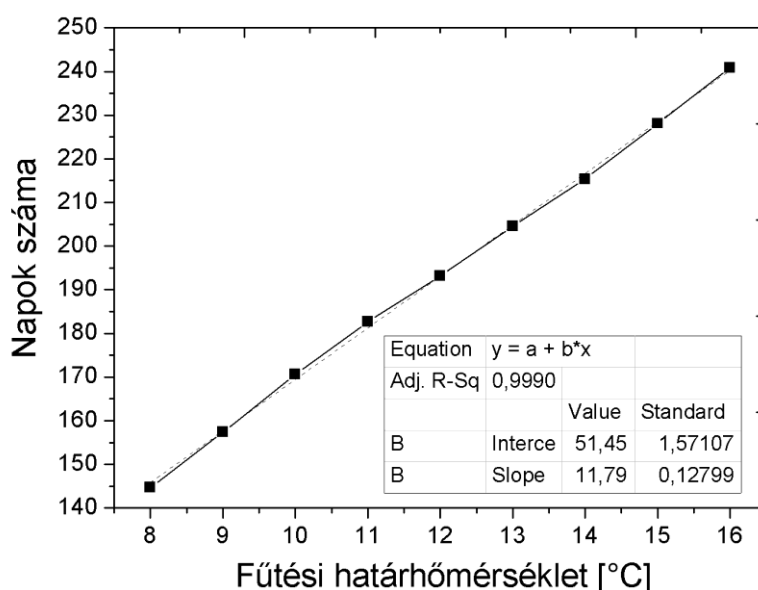
3.2 ábra Debrecen hőfokhídja, 1964-2012

Statisztikai módszerekkel megvizsgáltam, hogy van-e szignifikáns eltérés az 1964-72, 1973-82, 1983-92, 1993-2002, 2003-12 hőfokgyakorisági görbék között, $p=0,5$ empirikus szignifikancia szint mellett. A nullhipotézis az, hogy a különbség egyenlő vagy kisebb, mint 0,5 K. Az alternatív hipotézis az, hogy a hőmérsékletkülönbség nagyobb, mint 0,5 K. A normális eloszlás vizsgálatához a Kolmogorov-Smirnov módszert használtam, (Sokal és Rohlf, 1969) a hipotézisvizsgálatot pedig ennek alapján a páros t-próbával végeztem.

3.1 táblázat Szignifikáns eltérések a különböző hőfokgyakorisági görbék között. (szürke szín+I: $p<0,5$)

	1964-72	1973-82	1983-92	1993-2002	2003-2012
1964-72	N	I	I	N	N
1973-82	I	N	I	N	N
1983-92	I	I	N	N	N
1993-2002	N	N	N	N	I
2003-2012		N	N	I	N

Látható, hogy szignifikáns különbségek lépnek fel az egyes fűtési idények között. Különböző fűtési határhőmérsékleteket feltételezve (8-16 °C között), a Macskásy féle elméleti hőfokgyakorisági görbe alapján meghatároztuk a fűtési napok számát egy fűtési idény során (3.3 ábra).



3.3 ábra Fűtési napok száma a fűtési határhőmérséklet függvényében

A 3.2 táblázat bemutatja az eltéréseket a valós és az elméleti fűtési nap értékek között, százalékban. Az eltéréseket az alábbi összefüggéssel számítottuk:

$$dev_N = \frac{N_{elméleti} - N_{valós}}{N_{elméleti}} 100, \quad [\%] \quad (3.1)$$

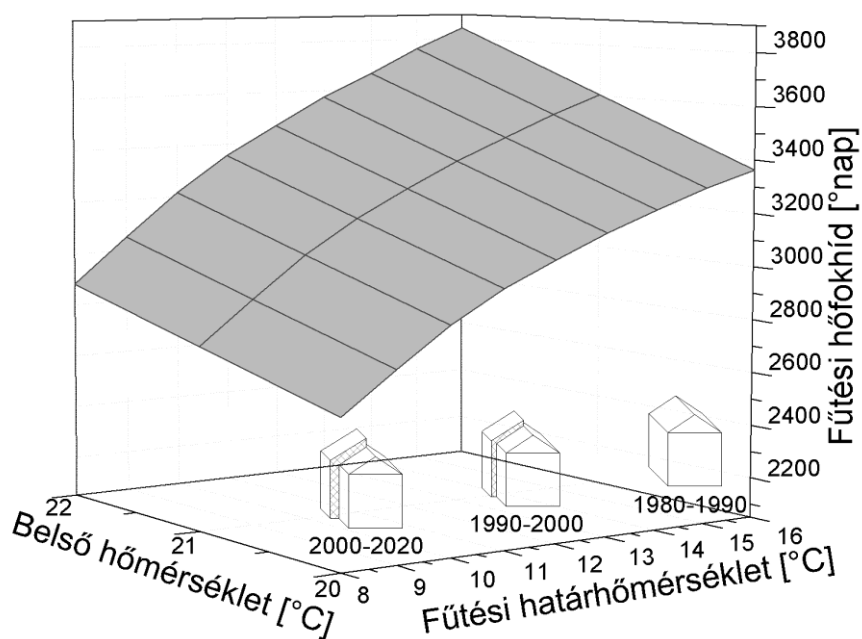
3.2 táblázat Eltérések a valós és az elméleti fűtési napok száma között, [%]

Évtized	Fűtési határhőmérséklet, [°C]								
	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1963-1972	-6,87	-4,46	-3,48	-2,58	-2,53	-2,46	-3,90	-4,79	-5,73
1973-1982	-11,66	-9,52	-8,14	-7,44	-7,96	-8,60	-9,02	-9,57	-9,06
1983-1992	-7,10	-5,13	-2,92	-2,78	-3,30	-4,73	-6,79	-8,26	-9,77
1993-2002	0,50	3,19	4,23	3,73	3,48	1,62	0,87	1,17	0,90
2003-2012	1,05	2,74	3,35	3,63	1,98	0,40	-0,43	0,56	1,27

A legtöbb magyarországi lakásban a belső referencia hőmérséklet 20 °C körüli értékre vehető fel a gyakorlatban. Ha ezeket a hőmérsékleteket vesszük figyelembe referencia értéként, akkor integrálva a hőfokgyakorisági görbe feletti területet megkapjuk a hőfokhíd értékeit.

A 3.4 ábrában különböző időszakokban épült és az adott időszaknak megfelelő hőtechnikai paraméterekkel rendelkező épületek fűtési hőfokhídjai figyelhetők meg. A hőfokhíd értékek között nagy különbségek jelentkeznek. Ráadásul az 1993-2002 közötti időszakban az eltérések már pozitív tartományba esnek. Ha az épület jól hőszigetelt és a belső hőmérséklet 20 °C (1 eset), akkor a fűtési hőfokhíd értéke: 2591,7 [Kd] (foknap)

Ha a belső hőmérséklet 22 °C, akkor ugyanennél az épületnél (2 eset) a fűtési hőfokhíd 11,2%-al lesz több. Ha az épület hőtechnikai minősége rossz, és az épületben az átlaghőmérséklet 20 °C, akkor az első esethez viszonyítva 30%-os lesz az eltérés. Ha ráadásul ebben a rosszul hőszigetelt épületben 22 °C az átlaghőmérséklet, akkor az első esethez viszonyítva már 48,4%-os lesz az eltérés.



3.4 ábra Hőfokhíd értéke különböző időszakban épült épületek esetében

A kidolgozott hőfokgyakorisági görbéket figyelembe véve, a hőfokhíd eltérései az elméleti értékekhez képest (3.3 ábra) az alábbi összefüggéssel határoztuk meg:

$$dev_H = \frac{H_{elméleti} - H_{valós}}{H_{elméleti}} 100, [\%] \quad (3.2)$$

A 20 °C belső referencia hőmérsékletre vonatkozó eltéréseket a 3.3 táblázat mutatja be.

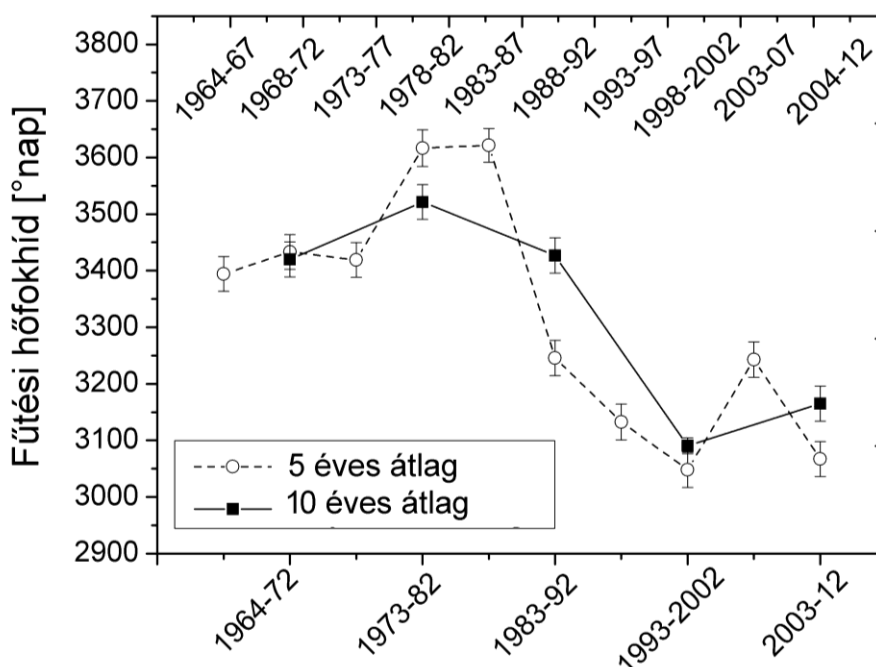
3.3 táblázat Eltérések a valós és az elméleti hőfokhíd értékek között ($t_{ir}=20\text{ °C}$), [%]

Évtized	Fűtési határhőmérséklet, [°C]								
	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1963-1972	-15,22	-13,18	-12,15	-11,30	-11,01	-10,75	-11,20	-11,38	-11,57
1973-1982	-17,82	-16,07	-14,89	-14,23	-14,31	-14,45	-14,50	-14,60	-14,35
1983-1992	-15,52	-13,77	-11,97	-11,55	-11,57	-12,04	-12,77	-13,20	-13,60
1993-2002	-3,01	-1,04	-0,19	-0,31	-0,33	-1,12	-1,39	-1,23	-1,27
2003-2012	-4,48	-3,07	-2,41	-2,03	-2,75	-3,38	-3,66	-3,22	-2,92

Magasabb belső hőmérsékleteket feltételezve a valós és az elméleti hőfokhidak közötti eltérések csökkennek.

A számításaink azt bizonyítják, hogy egy épület fűtési energiaigényének meghatározásánál a hőfokhidak értékei között olyan eltérések léphetnek fel, melyeket nem lehet a számítások során figyelmen kívül hagyni. A vizsgált évekre vonatkozóan, Debrecenben, a hőfokhíd változását mutatja be a 3.5 ábra.

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.



3.5 ábra Hőfokhíd változása 1964-2012 között

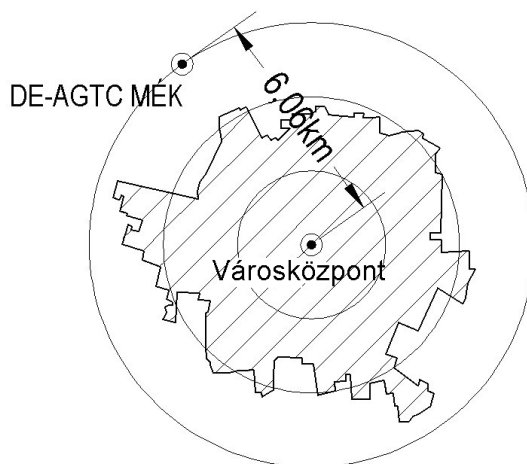
Az ábra alapján megállapítható, hogy az épületenergetikai felújítások megtérülési idejének számításánál, amikor több évet (akár több mint egy évtizedet) kell figyelembe venni, ha egy

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. Ebben az esetben meggyőződésem, hogy az 5%-nál nagyobb eltérések a valós és a számított energiafogyasztás között elkerülhetőek lennének.

A legjobb megoldás természetesen az lenne, ha a hőfokhíd változásokat matematikai függvényekkel írhatnánk le és ezeket a függvényeket, illetve az éghajlat modelleket együtt kezelnénk. Az Európai éghajlat alakulásáról több tanulmány is beszámol és számos információt ad, ami hasznos a hőfokhíd pontosabb meghatározásában (Luterbacher et al, 2004; Räisänen et al, 2004; Moberg et al, 2005).

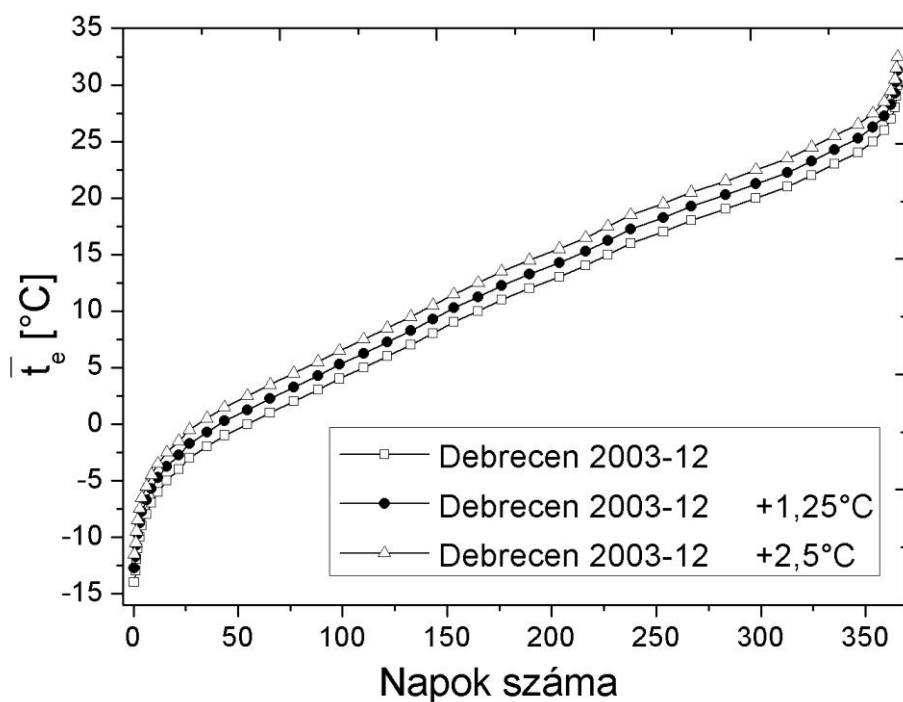
3.2 A városi hősziget hatása

Mivel a lakóépületek esetében az energiafogyasztás túlnyomó részét a fűtés adja (klimatizálás nem elterjedt) kiemelten a fűtési hőfokhídra gyakorolt hatást elemezzük. Szegedi és Kircsi (2003)-ban publikált tanulmánya szerint Debrecenben a városi hősziget hatása a városközpontban $2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ körül van. Ezt az értéket figyelembe véve Debrecen városát három zónára osztottuk (3.6 ábra).



3.6 ábra A vizsgált hőmérsékletzónák Debrecenben

A városi hősziget hatását lineáris növekedéssel vettük figyelembe és a három különböző városrészre meghatároztuk a hőfokhíd értékeket. A város periferiáin főleg családi házak találhatóak, saját központi fűtési rendszerrel ellátva. Az energiahordozó tipikusan földgáz, de vannak esetek ahol két kazán található: egy földgáz egy pedig szilárd energiahordozóra (főleg fa). A középső gyűrűben a családi házak mellett lakótelepek is megtalálhatóak. A lakótelepek hőellátását távfűtés biztosítja. A családi házak esetében többnyire gázkazán biztosítja a hőtermelést, de elterjedt a gázkonvektor is. A városközpontban hagyományos szerkezetű sok esetben száz éves épületek találhatóak, melyeknek az energiaellátását többnyire földgáz alapú fűtéssel biztosítják. A 3.7 ábrában látható, hogy a városi hősziget nem elhanyagolható eltéréseket okoz a város különböző részein található épületek fűtési hőfokhídja között. A külső városgyűrűre vonatkozó hőfokhíd értékeket tekintettük referenciának.



3.7 ábra Hőfokhíd alakulása Debrecenben a városi hősziget figyelembe vételével

A vizsgált évtizedekre vonatkozóan az eltéréseket a (3.2) összefüggéssel számolhatjuk. A 2003-2012 időszakra vonatkozó értékeket a 3.3 táblázat mutatja be.

3.3 táblázat A valós hőfokhíd értékek eltérései a város periferiájára vonatkozó valós hőfokhíd értékektől [%]
(belső referencia hőmérséklet, 20 °C)

Városi hősziget hatása	Fűtési határhőmérséklet, [°C]								
	8	9	10	11	12	13	14	15	16
+ 1.25 °C	11,00	10,36	10,69	10,20	10,54	10,50	10,02	9,61	9,61
+ 2.5 °C	21,66	20,45	20,20	20,04	19,93	20,18	19,73	19,00	18,70

A külső gyűrűhöz viszonyítva a középső zónában az eltérés 9% körüli, míg a központban a hőfokhíd akár 20%-al is kisebb lehet. Természetesen az épületek felújításával a városi hősziget hatása csökken, mivel a hőveszteségek csökkennek.

3.3 Az eredmények értékelése

Napjainkban a fűtési energiaigényt meghatározó számítógépes programok az elméleti hőfokgyakorisági görbét alkalmazzák. A kutatásaim eredményeként megállapítottam, hogy az elméleti hőfokgyakorisági görbe alkalmazása a fűtés tekintetében félrevezető eredményekhez vezethet. Magyarországon a lakások mintegy 50%-a található családi házban. Hogy

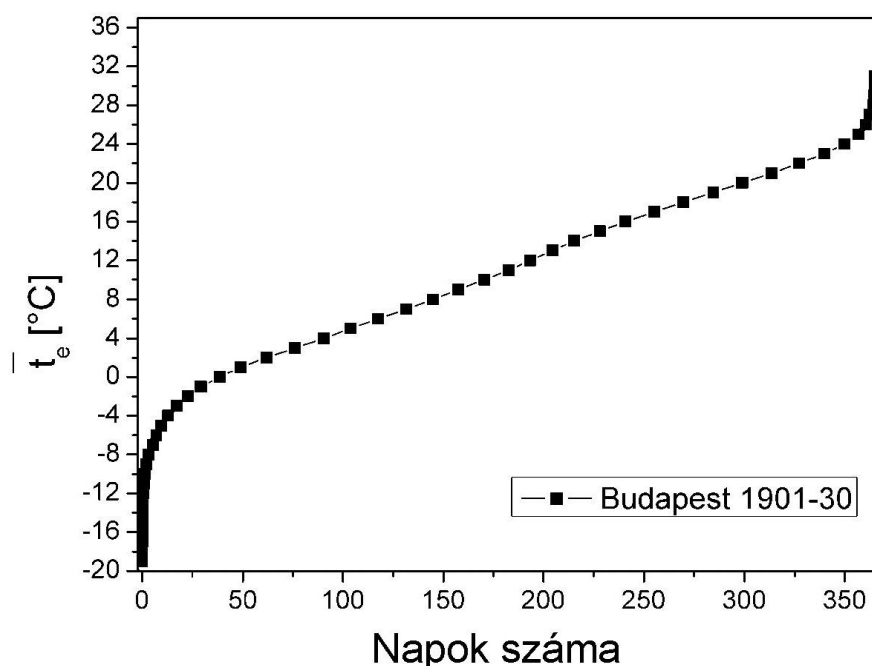
bemutassam az elméleti és a valós hőfokhíd számítások közötti különbséget egy tipikus családi ház energiafogyasztását vizsgáltam 1990-2010 között. A családi ház Debrecen külső gyűrűjében található, 114 m² alapterülettel rendelkezik és a hőveszteségi tényezője 577,44 W/K. A jelenlegi számítási módszer alapján az éves fűtési energiaigénye 32,77 MWh. Ez azt jelenti, hogy 21 év alatt az elméleti fűtési energiaigény 688,17 MWh. A kidolgozott módszer alapján a vizsgált időszakban a fűtési energiafogyasztás 749,13 MWh lesz. A különbség 60,96 MWh, ami 6454.6 m³ földgáz energiatartalmának felel meg. Ez a földgázmennyiség az épület fűtési energiaigényét két évig fedezné! Ha az épületet felújították volna 1990-ben a mai követelményeknek megfelelően, akkor a hőveszteségtényezője 251,16 W/K lenne, az éves fűtési energiaigénye pedig 11,88 MWh. Ez azt jelenti, hogy az eredeti állapothoz képest évente 20,89 MWh energiát takarítunk meg. Az elméleti hőfokgyakorisági görbe alapján tehát a 21 év alatt az épület fűtési energiaigénye 249,48 MWh lesz. A kidolgozott változó hőfokhíd alkalmazásával a vizsgált időszakban az épület fűtési energiaigénye 313,97 MWh lesz. A különbség a valós és az elméleti értékek között 6829,3 m³ földgáznak felel meg, ami az épület fűtési energiaigényét 5.4 éven keresztül fedezné. ez gyakorlatilag azt jelenti, hogy a felújítás befektetési költségeinek a megtérülési ideje jóval hosszabb lesz, mint ahogy azt elméletileg tervezték.

3.4 Összefoglalás

A fejezetben bemutattam a Debrecenre vonatkozó hosszú távú időszakra elvégzett hőfokhíd elemzést. Az vizsgálataim alapján kimutattam, hogy a jelenleg alkalmazott hőfokgyakorisági görbe nem nyújt minden esetben megbízható eredményt ezért nem kellene minden esetben alkalmazni a számítógépes programokban. Megállapítottam, hogy az épületenergetikai beruházások megtérülési idejének számításánál, egyetlen hőfokhíd érték alkalmazása nem vezet megbízható eredményre. Ezen felül a pontos megtérülési számításoknál még a városi hősziget hatását is figyelembe kell venni, ellenkező esetben jóval kisebb lesz az energiamegtakarítás a vártnál és így hosszabb lesz a megtérülési idő (akár 22% eltérés is lehetséges). Az állami támogatásoknál a megtérülési idő hangsúlyosan szerepel a döntés meghozatalában, ezért a lehető legpontosabb meghatározás elengedhetetlen. Az eredményeket a városi hősziget hatásainak figyelembe vételével korrigálni szükséges.

4. HŐFOKHÍD ÉRTÉKEK MAGYARORSZÁGON

Egy adott épület pontos energiafelhasználásának megállapítása összetett feladat. Az energiafelhasználás egyrészt megállapítható mérésekkel, ennek azonban fizikai korlátai lehetnek, ugyanis az esetek többségében nincs rá mód, vagy nagyon körülményes. Másik lehetőség a számítás. A számítási eljárás során, az épület határoló szerkezeteinek ismeretében, meghatározzuk a hőveszteséget, majd a beépített gépészeti villamos és egyéb rendszerek ismeretében kiszámítjuk az energiafogyasztást. Egy számítási módszert a 7/2006 (V.24) TNM rendelet tartalmaz, melyet az évek során többször módosítottak. 2012-ben jelent meg a 40/2012 (VIII. 13) BM rendelet, majd 2014-ben pedig a 20/2014 (III. 7) BM rendelet. A külső hőmérsékletek pontos ismerete az energiafogyasztás meghatározása mellett a fűtési rendszerünk megfelelő megtervezésében is nagy jelentőséggel bír, hiszen az indokolatlanul túlméretezett fűtési rendszerünknel magasabb beruházási költségek jelentkeznek. Emellett a beépítésre kerülő nagyobb méretű berendezések előállítására több nyersanyagra és energiára van szükség. A legtöbb esetben az épület hőszükségletének meghatározása a meteorológia adatokból előállított hőfokgyakorisági görbe segítségével történik. A 4.1 ábra a Macskásy féle hőfokgyakorisági görbét mutatja.



4.1 ábra Macskásy féle hőfokgyakorisági görbe

A hőfokgyakorisági görbe megszerkesztése Budapest 1901-1930 évek napi középhőmérséklet adataiból történt (Macskásy, 1952). A napi középhőmérséklet egy napon háromszor mért (reggel, délben, este) hőmérsékletek középértéke:

$$t_{köz} = \frac{t_7 + t_{14} + 2t_{21}}{4} \quad (4.1)$$

Az indexek a mérések időpontját jelzik. A görbével kimutatható, hogy Budapesten egy adott hőmérséklet értékhez viszonyítva hány nagyobb illetve kisebb közepes hőmérséklettel

rendelkező nap van. A következőkben vizsgáljuk meg, hogy az 1901-1930-as napi középhőmérsékletekből előállított hőfokgyakorisági görbe és az 1960-2010 közötti hőmérséklet adatok alapján meghatározott hőfokgyakorisági görbék felhasználásával számított hőfokhíd értékek között milyen mértékű a különbség.

4.1 Napi átlaghőmérsékletek összehasonlítása

A Macskásy féle hőfokgyakorisági görbén kívül rendelkezésemre állt a Debreceni Egyetem Kismacsi Agrometeorológiai állomás által mért adatsor és a Carpath Clim napi középhőmérséklet adatai. A DE METEO állomás napi középhőmérséklet adatai 1963-tól 2012-ig állnak rendelkezésre. A napi középhőmérséklet értékeket órai hőmérséklet értékekből származtatták. A Carpath Clim a Kárpát medencét 10x10 kilométeres raszterekre felosztotta, a programban szereplő mérőállomások mért értékei alapján meghatározta az adott raszterpont napi átlaghőmérséklet értékeket 1960-tól 2010-ig (Szalai et al., 2013). Ezeket az értékeket a napi minimum és maximum értékekből származtatja. Sajnos a Carpath Clim mérései nem fedik le teljes egészében Magyarország területét, csak Keszthely vonaláig, de a középhőmérséklet értékekből jó közelítéssel mégis megállapíthatók a nagyobb városok hőfokgyakorisági görbéi.

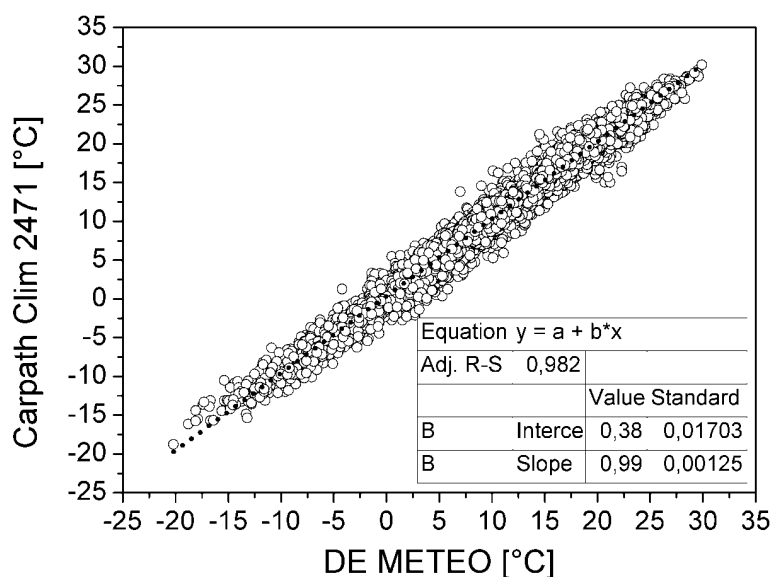
A DE METEO állomás napi középhőmérséklet adatai mivel órai értékekből származnak, így pontosnak tekinthetők. Sajnos ilyen pontosságú napi középhőmérséklet adatok nem állnak rendelkezésemre az egész ország területére, így a Carpath Clim adatait használok a következőkben. Elsőként elvégzem az alapstatisztikákat a két adatbázis összehasonlítására. Mindkét adatbázisból az 1981-2010 közötti intervallumot vizsgáltam. A Debreceni Egyetem Kismacsi Agro-Meteorológiai Állomás GPS koordinátái 21,581 / 47,576. A Balti tengerszint feletti magassága 125 méter. Megnéztem, hogy a Carpath Clim mérési helyei közül melyik esik a legközelebb az állomáshoz. Ez a Carpath Clim 2471 mérőpont a 21,60 / 47,60 GPS koordinátával rendelkező állomás. A mérőpont Balti tengerszint feletti magassága 129 méter. A 4.1a táblázat a két mérőállomás napi középhőmérséklet értékeire elvégzett alapstatisztikák eredményeit mutatja.

4.1a 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 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 4.2a ábrából jól látható, hogy a pontthalmaz homogenitást mutat. Az ábrán látható továbbá a trend vonal és a vonalat leíró függvény. A pontos összehasonlítás érdekében nem csak a legközelebbi mérőállomás értékeit veszem alapul, hanem annak környezetében lévő összes állomás napi középhőmérséklet értékét.



4.2a ábra DE METEO Carpath Clim-2471 pontdiagramja

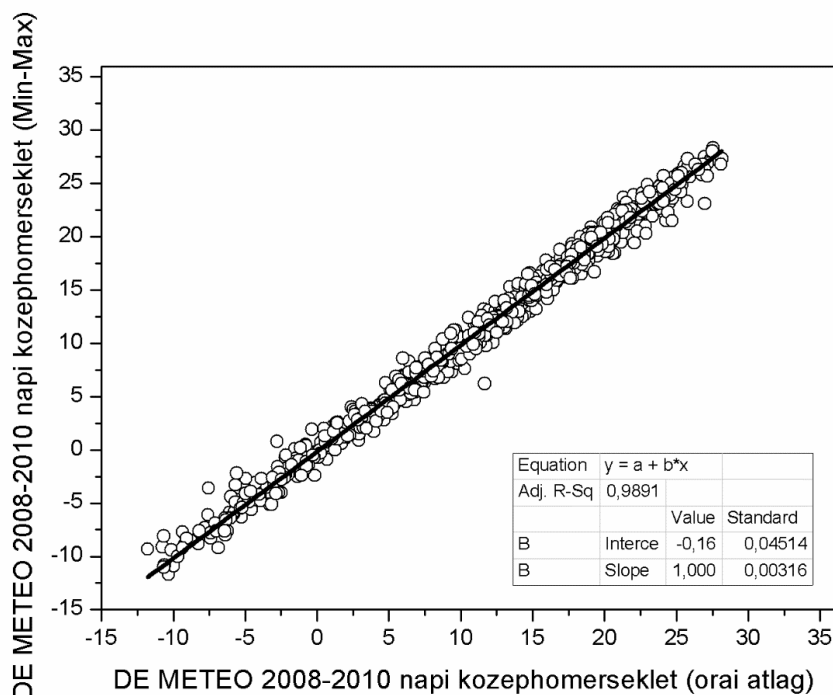
A Kismacsi DE METEO adatbázisban az napi középhőmérséklet értékek 2008-ig a napi minimum, maximum értékekből származnak. 2008-tól 2012-ig pedig az általánosan használt (és elfogadottan pontosabb) órás adatok alapján. A 2008-2012 közötti adatbázissort újra összehasonlítottam a CarpathClim napi minimum, maximum értékekből származó napi középhőmérséklet értékeivel (4.1b táblázat).

4.1b táblázat Napi középhőmérséklet (Min-Max) és órai átlag

	DE METEO Min-Max - DE METEO Órai átlag ABS	DE METEO Min-Max - DE METEO Órai átlag
Min	0,00	-3,95
Max	5,47	5,47
Átlag	0,70	0,15

A táblázatban látható, hogy a a DE METEO és a 2371 mérőpont abszolút értékének minimum és maximum értékekben 5,47 °C eltérés tapasztalható. Továbbá látható az is, hogy az átlag eltérés 0,70 °C. Ez az eltérés a különböző napi átlag hőmérséklet meghatározásnak tudható be.

A következő diagramon a DE METEO állomás 2008-2010-ig rendelkezésre álló napi középhőmérséklet adatait hasonlítom össze. Az függőleges tengelyen a minimum-maximumból származó napi középhőmérséklet értékek, a vízszintes tengelyen pedig az órai mérésekből származó napi átlaghőmérséklet értékek láthatók. Az ábrán látható továbbá a trend vonal, a vonalat leíró függvény, és hogy a ponthalmaz homogenitást mutat.



4.2b ábra DE METEO napi középhőmérséklet (Min-Max) és órai átlag

4.2 táblázat CarpathClim-2471 körüli mérőállomások GPS és bm adatai

Carpath-2369 (GPS 21.50 / 47.70) bm: 106m	Carpath-2370 (GPS 21.60 / 47.70) bm: 131m	Carpath-2371 (GPS 21.70 / 47.70) bm: 140m
Carpath-2470 (GPS 21.50 / 47.60) bm: 131m	<u>Carpath-2471</u> <u>(GPS 21.60 / 47.60)</u> <u>bm: 129m</u>	Carpath-2472 (GPS 21.70 / 47.60) bm: 130m
Carpath-2571 (GPS 21.50 / 47.50) bm: 106m	Carpath-2572 (GPS 21.60 / 47.50) bm: 109m	Carpath-2573 (GPS 21.70 / 47.50) bm: 122m

A környező állomások alapstatisztikáit a 4.3 táblázat tartalmazza. A mérőpontok első oszlopában a DE METEO és az adott mérőpont abszolút értékét, míg második oszlopában a DE METEO és az adott mérőpont értékeit hasonlítjuk össze. A táblázatból látható, hogy a legnagyobb átlagos eltérés 1,01°C. A mérőállomások és a Debreceni Egyetem Kismacsi Meteorológiai állomás közötti értékek eltérése homogénnek tekinthető.

4.3 táblázat CarpathClim-2471 körüli mérőállomások és a DE METEO állomás alapstatisztikai értékei

	Carpath-2369		Carpath-2370		Carpath-2371	
Min	0,00	-6,81	0,00	-6,84	0,00	-6,98
Max	6,81	6,13	6,84	6,20	6,98	6,24
Átlag	0,95	-0,34	0,94	-0,30	0,95	-0,35

	Carpath-2470		<u>Carpath-2471</u>		Carpath-2472	
Min	0,00	-6,80	0,00	-6,82	0,00	-6,78
Max	6,82	6,15	6,82	6,17	6,78	6,36
Átlag	0,94	-0,35	0,93	-0,33	0,92	-0,21
	Carpath-2571		Carpath-2572		Carpath-2573	
Min	0,00	-7,07	0,00	-7,31	0,00	-6,93
Max	7,07	6,10	7,31	6,47	6,93	6,29
Átlag	1,01	-0,57	0,96	-0,45	0,94	-0,37

Elkészítettem a Debreceni Egyetem Kismacsi Meteorológiai állomás és a Carpath Clim-2471 mérőállomás 1981-2010 közötti 30 év napi középhőmérséklet értékeiből a hőfokgyakorisági görbéket. A hőfokgyakorisági görbékből 12°C-os határhőmérséklet és 20°C-os belső hőmérséklet mellett meghatároztam a hőfokhidak értékét és a fűtési napok számát (4.4 táblázat).

4.4 táblázat CarpathClim-2471 DE METEO hőfokhíd és fűtési napok száma

30 év átlagok	hőfokhíd	fűtési napok száma
CarpathClim 2471	3156,4	187,43
DE METEO	3262,76	193
eltérés [%]	-3,37	-2,97

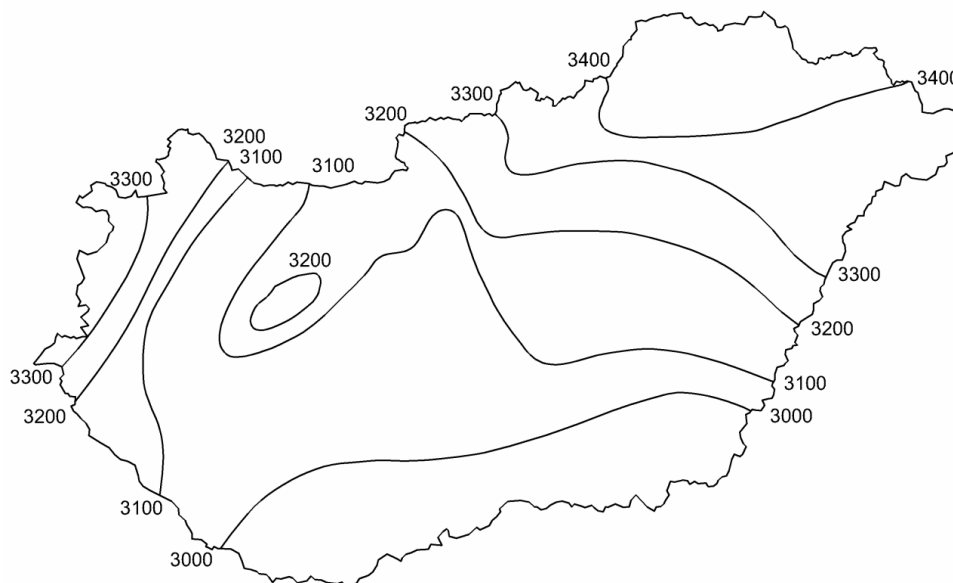
A táblázatból látható, hogy a két mérőállomás napi középhőmérséklet adataiból előállított hőfokhíd értékek között 3,37% eltérést, míg a fűtési napok száma között 2,97% eltérés tapasztalható. Mivel a napi középhőmérséklet átlag értékeinek eltérése is 1°C, így a következőkben a városok hőfokgyakorisági görbéinek meghatározásához is a Carpath Clim napi középhőmérséklet értékeit használom.

4.2 Városok hőfokgyakorisági görbéi és hőfokhídjai

Macskásy Árpád a Budapesti 1901-30-as hőfokgyakorisági görbe mellett megalkotta Magyarország hőfokhíd térképét is. Az adatok meghatározásánál átlagos napi hőfokadatokkal nem rendelkeztek, ezért a hőfokhidakat havi középhőmérsékletek segítségével határozták meg. Az értékek a Balti tengerszint feletti 150 méternél alacsonyabban fekvő helyekre vonatkoznak. A 4.3 ábra a Macskásy féle azonos hőfokhíddal rendelkező pontokat mutatja.

A következőkben elkészítettem Magyarország nagyobb városainak hőfokgyakorisági görbéit a Carpath Clim adatai alapján, majd ezekből meghatározom a városok hőfokhídját és a fűtési napok számát. Mivel rendelkezem a napi középhőmérséklet értékekkel, így a Macskásy féle országos hőfokhídnál pontosabb értékeket kapok. Vizsgálataim során nem csak a 150 méterrel tenger szintjénél alacsonyabb fekvő helyeket elemzem, hanem az összest. A vizsgált városok GPS koordinátái és Balti tengerszint magassági értékeinek meghatározásához a Google Earth programot használtam. Ezek ismeretében kigyűjtöttem az adott GPS pontokhoz legközelebb eső állomásokat, majd ezen adatokból elkészítettem a városok hőfokgyakorisági görbéjét. Mivel a Carpath Clim 10x10 kilométeres raszterekben mérte az hőmérsékleteket nem a

városokban, így adott városhoz legközelebb eső mérőállomás értékét használom fel a hőfokgyakorisági görbék elkészítéséhez.



4.3 ábra a Macskásy féle izo-hőfokhíd vonalak Magyarországon

Mindenképpen vizsgálnom kellett az adott mérőállomás magassági adatait is, ugyanis a domborzati viszonyok nagyban befolyásolhatják eredményeinket. Azoknál a városoknál, ahol a városhoz közeli mérőállomás magassági értéke nagyon eltér az adott város magassági értékétől, ott egy szomszédos mérőállomás értékét fogom felhasználni, aminek magassági értéke a város értékéhez legközelebb esik. A 4.5 táblázat a vizsgált városok hőfokhídját, fűtési napok számát, ezek százalékos eltérését a Macskásy Budapest 1901-30 közötti hőfokgyakorisági görbéjéhez képest, az adott város és mérőállomás GPS és magassági koordinátáit tartalmazza.

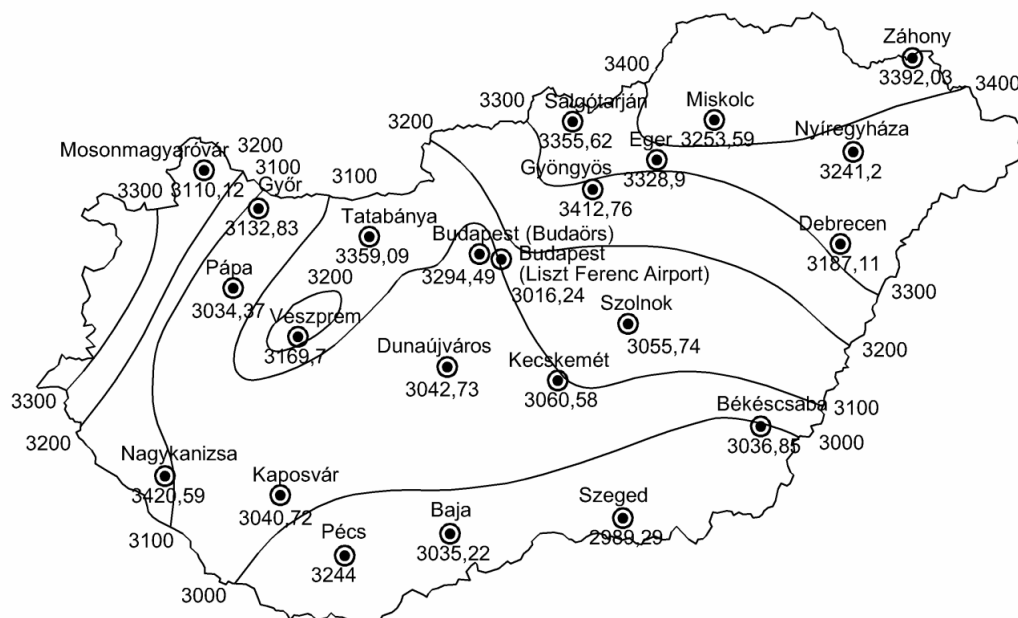
4.5 táblázat Magyarország városainak hőfokhíd és fűtési napok száma

Belső referencia hőmérséklet 20°C					Carpath	Google	GPS koordináta
Fűtési határhőmérséklet 12°C					Clim	Earth	
1981-2010	[napok]	[%]	[°nap]	[%]	[Bfm.]	[Bfm.]	
Budapest 1901-1930	193,2	0	3080,44	0			
Budapest (Budaörs)	198,9	-2,95	3294,49	-6,95	226	150	47.46 / 18.95
Budapest (Airport)	185,8	3,85	3016,24	2,08	117	147	47.43 / 19.26
Baja	185,5	3,97	3035,22	1,47	113	94	46.18 / 18.95
Békéscsaba	183,4	5,06	3036,85	1,42	83	85	46.67 / 21.09
Debrecen	189,2	2,06	3187,11	-3,46	109	120	47.53 / 21.63
Dunaújváros	186,9	3,26	3042,73	1,22	122	138	46.96 / 18.94
Eger	196,0	-1,43	3328,9	-8,07	233	179	47.90 / 20.38
Gyöngyös	201,7	-4,41	3412,76	-10,79	188	176	47.78 / 19.93
Győr	192,1	0,59	3132,83	-1,70	113	111	47.69 / 17.65
Kaposvár	187,3	3,08	3040,72	1,29	137	153	46.36 / 17.80
Kecskemét	186,2	3,64	3060,58	0,64	110	114	46.90 / 19.69

Kékestető	215,3	-11,41	3513,33	-14,05	672	1014	47.87 / 20.01
Mátraháza	215,3	-11,43	3514,44	-14,09	410	712	47.87 / 19.98
Miskolc	192,2	0,53	3253,59	-5,62	115	178	48.10 / 20.76
Mosonmagyaróvár	191,3	0,97	3110,12	-0,96	120	122	47.87 / 17.27
Nagykanizsa	206,1	-6,69	3420,59	-11,04	170	157	46.46 / 16.99
Nyíregyháza	191,8	0,73	3241,2	-5,22	109	109	47.95 / 21.72
Pápa	188,5	2,44	3034,37	1,50	164	150	47.33 / 17.47
Pécs	195,3	-1,09	3244	-5,31	170	141	46.00 / 18.20
Salgótarján	199,9	-3,44	3355,62	-8,93	242	264	48.09 / 19.80
Szeged	181,8	5,93	2989,29	2,96	73	77	46.25 / 20.14
Szolnok	184,8	4,37	3055,74	0,80	83	87	47.16 / 20.18
Tatabánya	200,5	-3,78	3359,09	-9,05	194	154	47.57 / 18.40
Veszprém	193,7	-0,25	3169,7	-2,90	216	246	47.10 / 17.91
Záhony	198,7	-2,85	3392,03	-10,12	102	104	48.40 / 22.18

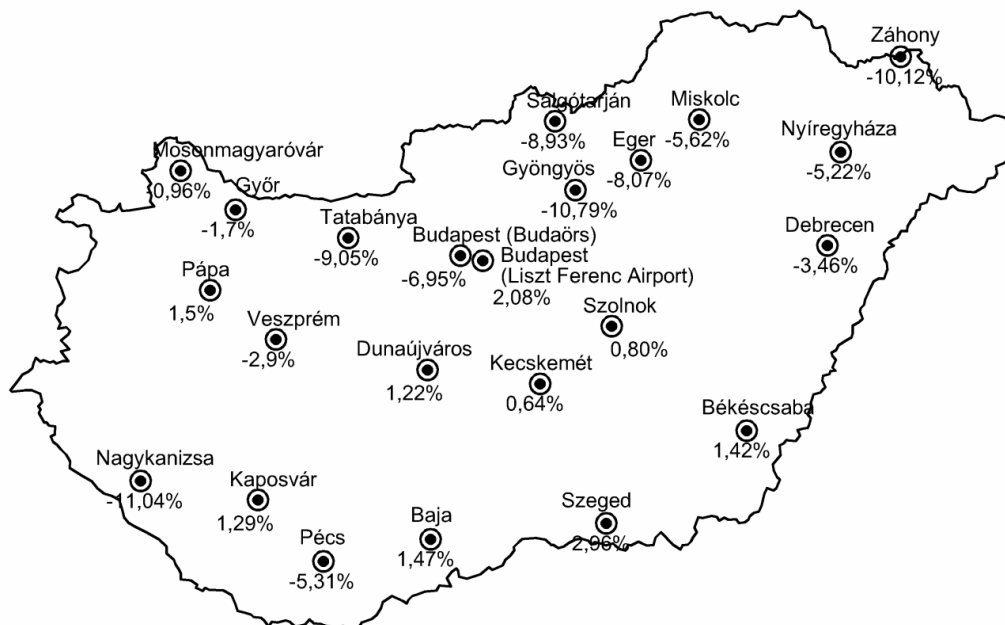
A táblázatból látható, hogy a Macskásy által készített országosan használt Budapesti 1901-30-as hőfokgyakorisági görbéből számított hőfokhidak és fűtési napok száma közötti százalékos eltérés. A fűtési napoknál a maximális eltérés negatív értékben a Kékestetőn és Mátraházán tapasztalható, melynek értéke -11% fölötti. Itt 22 nappal többet kell fűteni a fűtési szezon alatt, míg Szegeden és Békéscsabán ez az érték megközelíti a 6%-ot, azaz ott 11 nappal kevesebbet kell fűtenünk. Ha a hőfokhíd különbségeket vizsgáljuk, akkor Kékestetőn és Mátraházán -14%, míg Szegeden 3% körüli az eltérés.

Az 4.5 ábra a Macskásy féle Magyarország hőfokhíd és az általam készített városok hőfokhídjának összehasonlítása látható.



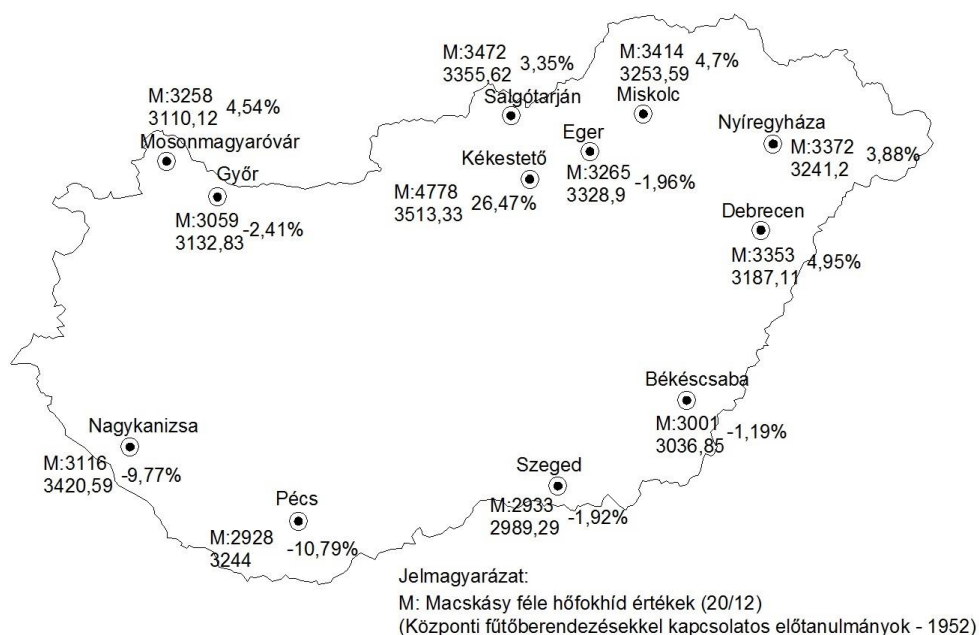
4.4 ábra A Macskásy féle Magyarország hőfokhíd és a szerző által számított hőfokhidak összehasonlítása

Az ábrából kitűnik, hogy általam elkészített városok hőfokhídja eltér a Macskásy féle hőfokhíd térképtől. Ennek oka az, hogy a Macskásy által készített hőfokhidak meghatározása havi átlagokból történt, másrészt pedig, hogy csak a Balti tenger 150 méteres szintje alatti értékekből határozta meg. A 4.5a ábra Magyarország nagyobb városainak a Macskásy féle Budapest 1901-30 hőfokhídja közötti százalékos eltérést mutatja.



4.5a ábra Magyarország városai hőfokhídjának százalékos eltérése a Macskásy féle Budapest 1901-1930-as hőfokhídtól

Macskásy nem csak Budapestre, hanem több településre vonatkozóan is meghatározta a hőfokhíd értéket. Ezen településeknél külön megvizsgáltam az eltéréseket (4.5b ábra).



4.5b ábra Magyarországi városok hőfokhídjának százalékos eltérése a Macskásy féle tanulmányban megadott hőfokhíd értékektől

4.3 Az eredmények értékelése

Mivel fűtési hőveszteség és az épület energiafogyasztás számítással történő meghatározásánál a Budapesti hőfokgyakorisági görbét használjuk, így a következőkben egy a 80'-as években épület átlag családi házon keresztül megvizsgálom a városok hőfokgyakorisági görbéjének ismeretében, hogy mekkora eltérések mutatkoznak az éves gázfelhasználás és CO₂ kibocsátás terén. Az épület külső falszerkezete szigetetlen B30-as téglafalazat $U=1,81 \text{ W/m}^2\text{K}$ hőátbocsátási tényezővel, a födémje 5cm polisztirolhabbal szigetelt monolit vasbeton szerkezet, melynek hőátbocsátási tényezője $U=1,53 \text{ W/m}^2\text{K}$. A talajra fektetett padló szigetelés nélküli $\Psi=1,55 \text{ W/mK}$ értékkel. Nyílászárói a korára jellemző gerébtokos ablakok. Az nyílászárók hőátbocsátási tényezője $U=2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$. A bejárati ajtót lecserélték, így annak hőátbocsátási tényező értéke $U=1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$. Számítások alapján az épület hővesztesége 18,9 kW. Az épületünk szerkezete épületeink többségével megegyező.

- Az épület fűtött alapterülete $A_n = 114,5 \text{ m}^2$
- Fűtött épület térfogat $V = 309,1 \text{ m}^3$
- Az épület fajlagos hőveszteség tényezője $q = 1,68 \text{ W/m}^3\text{K}$
- Az átlagos belső hőmérséklet $t_{i, \text{átl}} = 17,6 \text{ }^\circ\text{C}$

A fajlagos hőveszteségtényező a következő összefüggéssel határozható meg

$$q = \frac{\sum AU - \frac{Q_{sd}}{72}}{V} = 1,68 \frac{\text{W}}{\text{m}^3\text{K}}$$

A téli egyensúlyi hőmérsékletkülönbség meghatározása

$$\Delta t_b = \frac{Q_{sd} + Q_{sid} + A_n q_b}{\sum AU + \sum l\Psi + 0,35nV} + 2 = 3,5^\circ\text{C}$$

A fűtési határhőmérsékletünk

$$t_{\text{hat}} = t_{i, \text{átl}} - \Delta t_b = 14,1^\circ\text{C}$$

A fűtési nettó hőenergia igény meghatározása a következő összefüggéssel történik

$$Q_F = HV(q + 0,35 \cdot n)\sigma - Z_F A_N q_b$$

A fűtési rendszer fajlagos energiaigénye

$$E_F = (q_f + q_{f,h} + q_{f,v} + q_{f,t}) \cdot \sum (C_k \cdot \alpha_k \cdot e_f) + (E_{FSz} + E_{FT} + q_{k,v})e_v$$

A számítást nem végeztem el az előzőekben tárgyalt összes városra, hanem kiragadtam belőle hármat. Nyíregyházát, ahol a Macskásy féle hőfokhídhöz képest 5% eltérést, Nagykanizsát, ahol 11% körüli eltérést és Kékestetőt, ahol 14% körüli eltérés tapasztalható 12 °C-os

határhőmérséklet és 20 °C-os belső hőmérséklet mellett. A 4.6 táblázatban az adott épületre jellemző energiafogyasztási és CO₂ kibocsátási értékek láthatók négy különböző város hőfokhídjával számolva. Itt nem a megszokott 12/20 °C-os hőmérséklet értékeknél számolt hőfokhidakat hasonlítjuk össze, hanem a tényleges hőfokhidakat.

4.6 táblázat Magyarország városainak hőfokhíd, fűtési napok száma, és energiafogyasztási adatai 14,1/17,6 °C-os hőmérséklet értékek mellett

			Budapest	Nyíregyháza	Nagykanizsa	Kékestető
Hőfokhíd értéke	H	dK	2599,90	2902,60	3063,32	3147,99
Hőfokhíd eltérése		%	-	-11,64	-17,82	-21,08
Fűtési napok száma	Z _f	d	214,91	218,59	236,47	248,62
Fűtési napok eltérése		%	-	-1,71	-10,03	-15,69
Fűtési nettó hőenergia igény	Q _F	kWh/a	31677,12	35658,44	37553,52	38514,36
Fűtési rendszer fajlagos energiaigénye	E _f	kWh/m ² a	384,66	429,17	450,35	461,10
Fűtési rendszer éves energiaigénye		kWh/a	44043,77	49139,87	51565,56	52795,44
Becsült éves hőenergia fogyasztás	E _{prim}	kWh/a	43316,70	48412,79	50838,49	52068,37
Becsült éves CO ₂ kibocsátás (földgáz)	E _{CO2}	t/a	8,79	9,83	10,32	10,57
Becsült éves gázfogyasztás	V	m ³ /a	4586,47	5126,06	5382,90	5513,12
Gázfogyasztás eltérése		%	-	-11,76	-17,36	-20,20
Becsült éves villamos energia fogyasztás	E _{prim}	kWh/a	727,08	727,08	727,08	727,08
Becsült éves CO ₂ kibocsátás (elektromos)	E _{CO2}	t/a	0,27	0,27	0,27	0,27

A táblázatból jól látszik, hogy hőfokhidak százalékos eltérése még nagyobb értéket mutat. Az általunk használt Budapesti adatokhoz képest a Kékestetőn több mint egy hónappal többet kell fűtenünk évente, ami 926,65 m³, azaz 20,2% többlet gázfogyasztást eredményez.

4.4 Összefoglalás

A fejezetben összevetésre került a DE Kismacs agro-meteorológiai állomás által mért külső száraz hőmérséklet adatsor a CarpathClim adatsorral. Bizonyítást nyert, hogy a két adatbázis adataiból számított átlagok közötti eltérés $0,93\text{ }^{\circ}\text{C}$. A napi középhőmérséklet adatokból előállított hőfokhíd értékek között $3,37\%$ eltérés, míg a fűtési napok száma között $2,97\%$ eltérés tapasztalható. Mindezek alapján, Magyarország területén 25 pontban (nagyobb városok) meghatároztam a jellemző hőfokhíd értékeket. Három helyszín esetében kimutattam az eltéréseket, melyek a jelenleg alkalmazott, illetve az általam számított hőfokhíd értékek különbségeiből adódnak.

5. SZÁRAZ KÜLSŐ MÉRETEZÉSI HŐMÉRSÉKLETEK MEGHATÁROZÁSA

Egy épület esetében a fűtési energiaigény csökkentését elsősorban a határolószervezetek hőátbocsátási tényezőjének csökkentésével (utólagos hőszigetelés, ablakcsere) érhetjük el, de jelentős mértékű energiamegtakarítást eredményez az elavult hőtermelő berendezések cseréje, a cirkulációs szivattyúk cseréje, az elosztócsövek hőszigetelése és hatékony szabályozó elemek beépítése is. Ugyanakkor a fűtési rendszer elemeinek megfelelő méretezése és kiválasztása az egyik legfontosabb tényező, ami jelentősen befolyásolja a rendszer hatásfokát, valamint az egyes berendezések élettartamát és a karbantartási költségeket. A hőtermelő, illetve az egyes rendszerelemek kiválasztása viszont az egyes helyiségek és a teljes épület hőszükséglete alapján történik. A hőszükséglet számításánál, tehát alapvető kérdés a méretezési külső hőmérséklet értéke. Az ASHRAE (2009) a hőszükséglet számításánál alkalmazott külső száraz léghőmérséklet meghatározását 99% illetve 99,6% pontossággal írja elő. Ez gyakorlatilag azt jelenti, hogy egy adott évben a meghatározott hőmérséklet értéknél alacsonyabb hőmérsékletek 35 óra, illetve 88 óra időtartamban fordulhatnak elő (és ez az időtartam nem egy összefüggő, folyamatos időszak).

Bulut et al. (2003) az ASHRAE módszert alkalmazva, meghatározta Törökország területén 78 település esetében a téli méretezési külső hőmérséklet értékeket. Gugliermetti és Bisegna (2003) azt javasolták, hogy a méretezéshez egy valós napot vegyenek figyelembe az adott területre vonatkozó tipikus meteorológiai év esetében, vagy a valós nap legyen egy, az adott területre vonatkozó, referencia év egyik napja. Yang és társai kidolgozták a tipikus meteorológia év adatait Kína vonatkozásában hat éghajlatra (2011). Az éghajlatokat a következők szerint csoportosították: nagyon hideg, hideg, forró nyár és hideg tél, átlagos, valamint forró nyár és enyhe tél. Több kutató szerint, egy adott területre vonatkozó éghajlat adatait, a sztochasztikus megközelítéssel lehet a legnagyobb pontossággal jellemezni (Hokoi et al., 1990; Jiang és Hong, 1993; Hong és Jiang, 1995). Kína vonatkozásában, a külső méretezési hőmérséklet értékeket Lam és Hui négyféle módszerrel határozta meg (1995). Összehasonlították az ASHRAE módszerrel számított adatokat, az Ausztráliában alkalmazott, a Kínában alkalmazott és a CIBSE által előírt módszerrel számított adatokkal. Szignifikáns eltérések nem jelentkeztek az eredmények között.

Lam et al. megvizsgálta három meteorológiai paraméter esetében (száraz léghőmérséklet, napsugárzás és szél) az egyidejűséget és a gyakoriságot (2004). A vizsgálatokat öt város vonatkozásában végezték el, melyek az öt Kínára jellemző éghajlattal rendelkező területeken helyezkedtek el. Hong Kong esetében megvizsgálták a klímaváltozás hatását is az épületek energiafogyasztására az elmúlt 40 év során mért meteorológiai adatok alapján. A meteorológiai jellemzők előfordulási gyakorisága alapján számított értékek viszont nem mutattak számukra szignifikáns változást.

A dolgozat második és harmadik fejezetében bemutatott számítások alapján viszont azt feltételeztem, hogy Magyarország esetében az egyes településekre vonatkozó, jelenleg érvényben lévő külső tervezési léghőmérsékletek változtak az elmúlt évtizedek során. A fűtési rendszerek megfelelő üzemeltetéséhez és az energiafogyasztás minimalizálásához, viszont elengedhetetlen a pontos méretezés. Szimulációs programok segítségével, illetve numerikus

számítási módszerekkel rendkívül pontosan határozhatjuk meg az energiafogyasztást (He et al., 2009; Lam et al., 2008; Yang et al., 2008), ugyanakkor a meteorológiai paraméterek ismeretének hiányában a legjobb számítógépes program sem nyújthat megbízható eredményt. A második fejezetben bemutatásra került a változó hőfokhíd értékek alapján végzett energetikai számítás. Központi fűtési rendszerek méretezésénél viszont, a megfelelő méretezési eljárások alkalmazása, figyelembe véve az épület hőtechnikai, hőtárolási jellemzőit elengedhetetlen az energiafogyasztás minimalizálása érdekében (Ellis és Mathews, 2001; Ellis és Mathews, 2002; Rousseau és Mathews, 1993).

5.1 Fűtött terek időállandója

Egy fűtött tér esetében a belső hőmérséklet ingadozását nagymértékben befolyásolja a tér időállandója, (T , [h]). Az időállandó a helyiség hőtároló kapacitásának (C , [J/K]) és hővesztésgtényezőjének (K , [W/K]) az aránya, (Fekete et al., 1985).

$$T = \frac{C}{K} \quad (5.1)$$

Egy helyiség hőtároló kapacitása a 5.2 egyenlettel határozható meg:

$$C = \sum_j \sum_i \rho_{ij} c_{ij} d_{ij} A_j \quad (5.2)$$

ahol: ρ_{ij} – a j épületszerkezet i rétegének testsűrűsége, [kg/m³]; c_{ij} – a j épületszerkezet i rétegének fajhője, [J/kgK]; d_{ij} – a j épületszerkezet i rétegének vastagsága, [m]; A_j – a j épületszerkezet felülete, belméretek szerint, [m²].

A hővesztésgtényező értékét a (2.5) összefüggéssel határozhatjuk meg.

Az elmúlt évtizedekben Magyarországon és egyéb Közép-Európai országokban a lakóépületek építéséhez a legtöbb esetben égetett agyagból készült üreges falazóblokkokat, pórusbeton falazóelemeket alkalmaztak. Egyre több esetben építenek könnyűszerkezetes épületeket is. Középületek esetében a legelterjedtebb a monolit vasbeton, melyet megfelelően hőszigetelnek (a legtöbb esetben közetgyapottal). A határolószerkezetekre vonatkozó hőtechnikai követelmények szigorítása miatt, a legtöbb esetben már elengedhetetlen a hőszigetelő réteg, melyet az esetek többségében a szerkezet külső oldalán helyeznek el. Az így kialakított helyiségek, kivéve a könnyűszerkezetes épületek helyiségeit, viszonylag nagy hőtároló kapacitással és kis hővesztésgtényezővel rendelkeznek. Így az időállandó értéke is nagy lesz. Öt különböző geometriával rendelkező helyiséget feltételezve, melyekkel lakó-, iroda- és oktatási épületeknél gyakran találkozhatunk, az előzőekben felsorolt építőanyagok felhasználásával különböző helyiség modelleket alakítottam ki. A modell helyiségek tömör szerkezeteinek hőátbocsátási tényezőre 0,2-1,6 W/m²K közötti értékeket, a transzparens szerkezetekre 1,0-1,6 W/m²K közötti értékeket vettem fel. A modell helyiség egy, kettő vagy három külső szerkezettel rendelkezhetett. A légcsereszámot 0,5 h⁻¹ és 0,2 h⁻¹ értékekre vettem fel. Az így megvizsgált összesen 144 helyiség modell esetében az időállandó 35 h – 110 h közötti értékekre adódott, amennyiben a légcsereszám 0,5 h⁻¹ volt. Ha a légcsereszámot 0,2 h⁻¹ értékre vettem fel, akkor a modellek időállandói 40 h – 130 h közötti értékekre adódtak. Ha azt feltételezzük, hogy az aktív hőtároló tömeg hőmérséklete egyenlő a helyiség

léghőmérsékletével, akkor a helyiségre vonatkozó energiamérleg a következőképpen írható fel:

$$KT_e d\tau + CdT_e = \dot{Q}_R d\tau \quad (5.3)$$

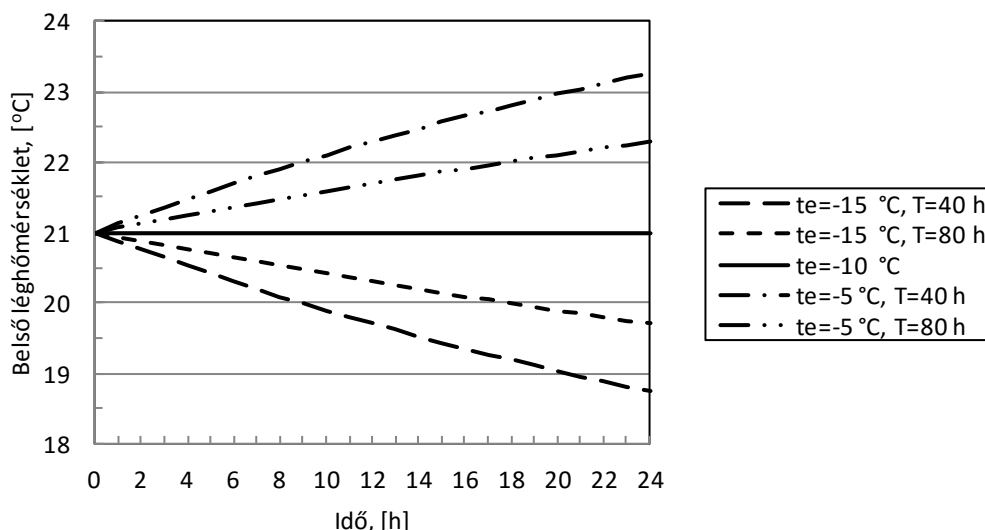
ahol: τ az idő, [s]; $\dot{Q}_R$ - a fűtőtest által időegység alatt leadott hőmennyiség, [W]; T_e - a belső és külső hőmérsékletek különbsége, [K]:

$$T_e = t_i - t_e \quad (5.4)$$

A továbbiakban a belső és külső méretezési hőmérsékletek megkülönböztetésére „o” indexet alkalmazok (t_{i0} és t_{e0}). Ha a külső hőmérséklet eltér a méretezési értéktől és a fűtőtest teljesítményének szabályozása sem minőségi, sem pedig mennyiségi módszerrel nem lehetséges, akkor változás lép fel a belső hőmérséklet esetében is. A belső hőmérséklet új értékeit a (5.5) összefüggéssel határozhatjuk meg:

$$t_i = t_{i0} + t_e - t_{e0} + (t_{e0} - t_e) e^{-\frac{\tau}{T}} \quad (5.5)$$

Feltételezve, hogy a belső és külső méretezési hőmérsékletek értékei $t_{i0} = 21$ °C, illetve $t_{e0} = -10$ °C, ahhoz, hogy állandó értéken tartsuk a belső hőmérsékletet, a hőleadó teljesítményét folyamatosan hozzá kell illeszteni az állandóan változó külső hőmérsékletekhez. Ha a hőleadó teljesítményének illesztését nem tudjuk megfelelő módon elvégezni, akkor a belső hőmérséklet el fog térni a tervezett értéktől. Az eltérés mértéke nem csak a külső hőmérséklet függvénye, hanem a helyiség időállandója is befolyásoló tényező. Az (5.1) ábrában a belső hőmérséklet alakulása látható egy nap folyamán, állandó külső hőmérséklet és különböző időállandó értékek esetében.



5.1 ábra Belső léghőmérséklet alakulása különböző külső hőmérsékletek és helyiség időállandók esetében (a külső hőmérséklet ugrásfüggvény szerinti változása esetén változatlan fűtési hőleadás mellett)

Látható, hogy a méretezési értéknél nagyobb külső hőmérsékletek esetében a belső hőmérséklet emelkedni kezd. A nagyobb belső hőmérsékletek hőérzeti szempontból jobban tolerálhatók, így vélhetően ebből a szempontból nem lesz panasz a benntartózkodók részéről. Azonban a nagyobb belső hőmérsékletek nagyobb hőveszteséget jelentenek, és energia

pazarláshoz vezetnek. Hőérzeti szempontból rosszabb a helyzet akkor, amikor a méretezési értéknél hosszabb ideig alacsonyabb külső hőmérsékletek alakulnak ki. A hőmérséklet csökkenés viszont 24 óra alatt mindössze 1-2 K. Magyarországon rendkívül ritkán fordul az elő, hogy 24 óra átlaghőmérséklete -15 °C legyen.

5.2 Magyarországon alkalmazott külső méretezési hőmérsékletek

Magyarországon elsőként Macskásy dolgozta ki a fűtési hőszükséglet számításoknál alkalmazható külső méretezési hőmérsékleteket (1952). Tanulmányában 35 település esetében az alábbi összefüggéssel határozta meg ezeket az értékeket:

$$t_{e_design} = 0.6t_{e_min} + 0.4t_{em} \quad (5.6)$$

ahol: t_{emin} – az utóbbi 50 évben mért legkisebb átlagos napi külső hőmérséklet érték, [°C]; t_{em} – Január hónap átlagos hőmérséklete az elmúlt 50 év adatai alapján, [°C].

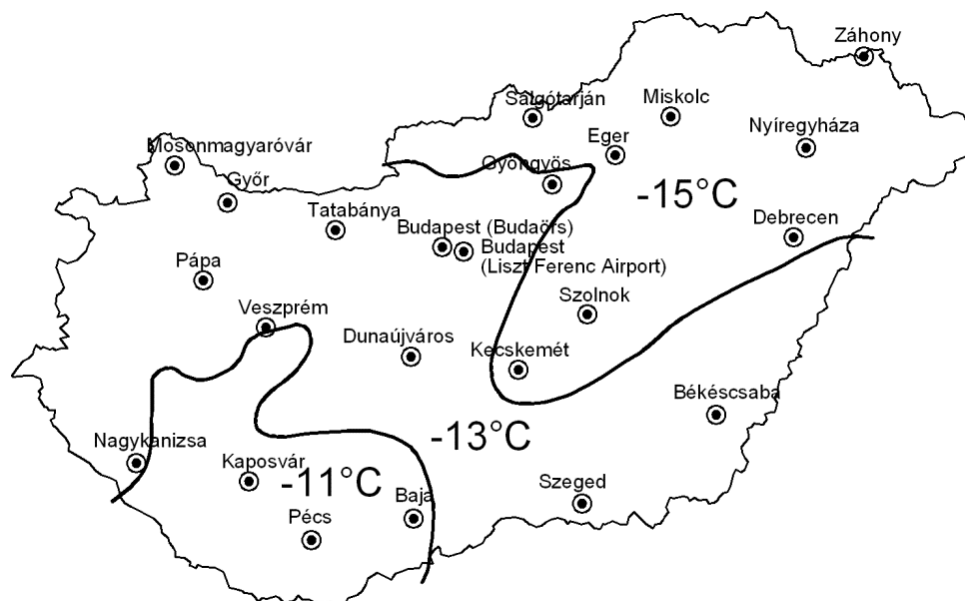
Az 5.1 Táblázat 23 település esetében mutatja be a Macskásy által meghatározott méretezési külső hőmérséklet értékeket.

5.1 táblázat Macskásy által meghatározott külső hőmérsékletek (1952)

No.	Település	Tengerszint feletti magasság, [m]	Külső méretezési hőmérséklet, [°C]
1	Budapest_1	130	-13.0
2	Budapest_2	474	-15.0
3	Sopron	234	-12.0
4	Szombathely	214	-12.0
5	Nagykanizsa	163	-12.0
6	Pécs	145	-13.0
7	Paks	103	-14.0
8	Székesfehérvár	111	-15.0
9	Győr	119	-13.0
10	Veszprém	252	-14.0
11	Siófok	112	-14.0
12	Keszthely	133	-12.0
13	Mosonmagyaróvár	123	-13.0
14	Salgótarján	250	-15.0
15	Eger	170	-15.0
16	Miskolc	120	-16.0
17	Nyíregyháza	110	-15.0
18	Debrecen	129	-15.0
19	Békéscsaba	90	-13.0
20	Szeged	88	-15.0
21	Jászberény	107	-17.0
22	Dobogókő	698	-14.0
23	Kékes	1000	-14.0

Az 1987-ben megjelent MSZ 04140-3 Szabvány Magyarországon három külső méretezési hőmérsékletet határozott meg (5.2 ábra). Ha összevetjük a Szabványban megadott méretezési külső hőmérséklet értékeket, a Macskásy által korábban meghatározott értékekkel, akkor

megállapíthatjuk, hogy csak néhány esetben észlelhetők kisebb eltérések. Az MSZ 04140 Szabvány azonban 2012-ben visszavonásra került.



5.2 ábra MSZ 04140-3 Szabványban megadott méretezési külső hőmérsékletek

Felmerült a kérdés, hogy az elmúlt évek során tapasztalt globális hőmérsékletnövekedésnek volt-e hatása a külső méretezési hőmérséklet értékekre? Ennek megfelelően, ahhoz, hogy a lehető legpontosabban mértezzük a fűtési rendszer elemeit, az elmúlt 50 év adatai alapján szükséges meghatározni az új tervezési külső hőmérsékletértékeket.

5.3 Javaslat új külső méretezési hőmérsékletekre Magyarországon

5.3.1 Rendelkezésre álló adatok

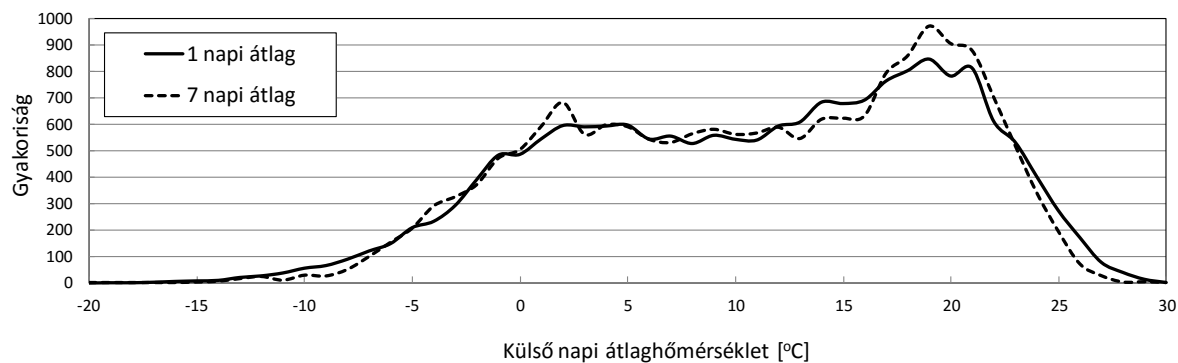
A Kápat medence területén a napi átlaghőmérsékletek értékei, 1961 és 2010 közötti időszakra vonatkozóan, 5895 cellában álnak rendelkezésre (1 cella mérete 10 km×10 km) (Szalai et al., 2013). Ez azt jelenti, hogy egy cellára vonatkozóan 18262 hőmérséklet adattal kell számolni. Az elemzést 24 cellára vonatkozóan végeztem el figyelembe véve 1-nap, 3-nap, 5-nap és 7-nap átlaghőmérsékleteit (5.2 táblázat). Mivel az épületek (a hőtechnikai jellemzőktől függően) bizonyos idő (3-7 nap) alatt reagálnak a külső hőmérséklet csökkenésére, ezért a több napos átlaghőmérsékletet célszerű vizsgálni. Ennek megfelelően a 3, 5 és 7 nap esetében, egymást követő napokat vizsgáltam az 50 évre kiterjedő időszakban.

5.2 táblázat A vizsgált cellák listája

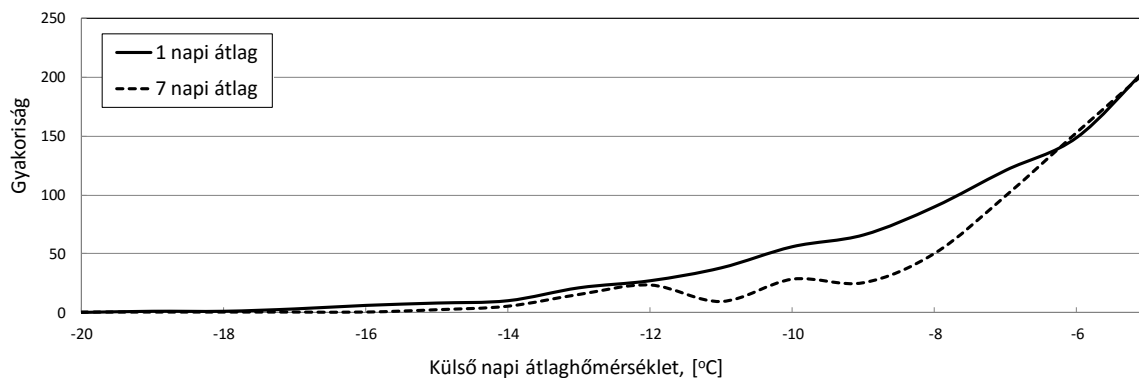
Ssz.	Kód	Cella neve
1	1669	Záhony
2	1948	Salgótarján
3	1958	Miskolc
4	2125	Mosonmagyaróvár
5	2151	Kékestető
6	2156	Eger

7	2169	Nyíregyháza
8	2252	Gyöngyös
9	2331	Győr
10	2439	Tatabánya
11	2546	Budapest_1 (Budaörs)
12	2572	Debrecen
13	2650	Budapest_(Liszt Ferenc Airport)
14	2733	Pápa
15	2861	Szolnok
16	2939	Veszprém
17	3050	Dunaújváros
18	3159	Kecskemét
19	3375	Békéscsaba
20	3536	Nagykanizsa
21	3645	Kaposvár
22	3859	Baja
23	3870	Szeged
24	4053	Pécs

Példaként a 5.3 és 5.4 ábrában látható a hőmérséklet gyakoriság eloszlása a 2572 cellában (Debrecen) 1-nap és 7-nap átlaghőmérsékleteire vonatkozóan. Az nagyszámú adathalmaz miatt (18262 per cella) a gyakoriság eloszlási függvények pontosan írják le a sűrűségfüggvényeket, ami azt eredményezi, hogy a két függvény közötti eltérések elhanyagolhatóak.



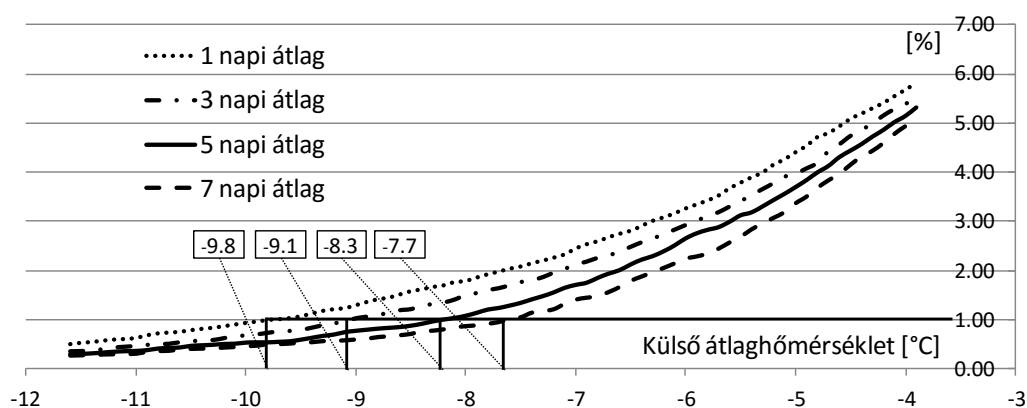
5.3 ábra Átlaghőmérsékletek gyakorisági eloszlása Debrecenben



5.4 ábra Átlaghőmérsékletek gyakorisági eloszlása Debrecenben 1-nap és 7-nap vonatkozásában [-20 °C,-5 °C]

5.3.2 A kumulatív gyakoriság szerepe

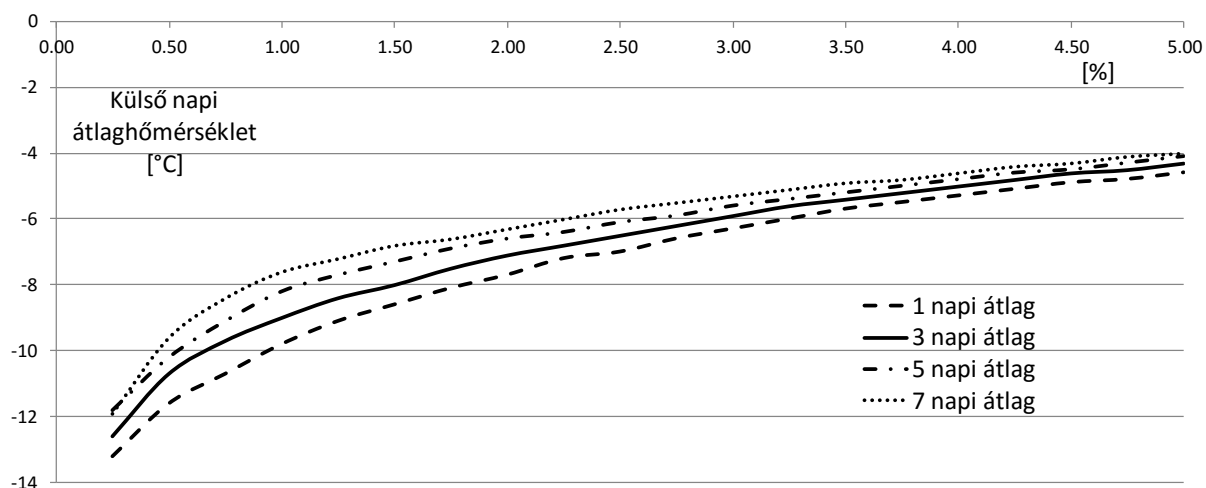
A külső napi átlaghőmérsékletek hosszú távú elemzése megbízható és a költségek szempontjából gazdaságos tervezési hőmérséklet értékek meghatározását teszi lehetővé. A javasolt tervezési hőmérsékletet a sűrűségfüggvény alapján határozhatjuk meg **p** megbízhatósági szinten. A **p** értékét az előírások 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 5.5 ábrában például láthatóak a relatív kumulált átlaghőmérséklet gyakoriságának eloszlásai és az **p**=1% -nak megfelelő hőmérséklet értékek a „2572” (Debrecen) cella esetében.



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

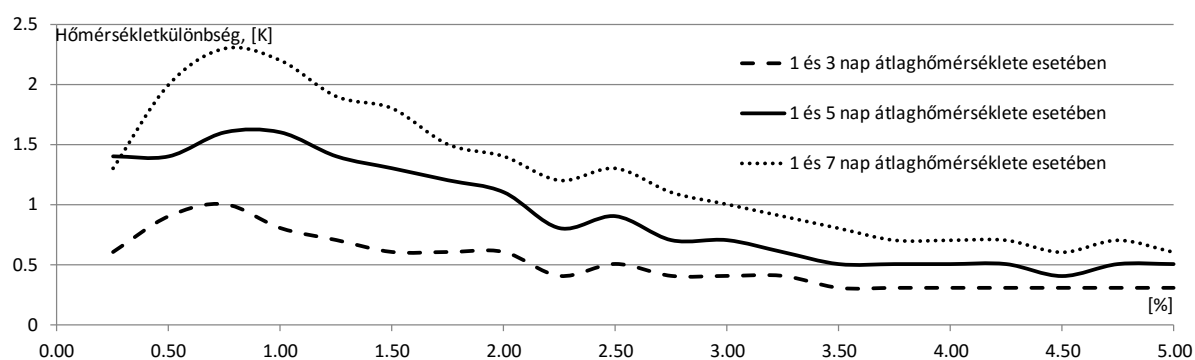
Az 5.6 ábrában látható a külső átlaghőmérsékletek gyakoriságának eloszlása [0,25%, 5%] **p** értékek esetében, szintén a „2572” (Debrecen) cellára vonatkozóan.

Az ábrák alapján megállapítható, hogy, egy adott **p** érték mellett, a napok száma, melyre a külső átlaghőmérsékletet meghatározzuk jelentősen befolyásolja a keresett tervezési külső hőmérséklet értéket.



5.6 ábra Átlaghőmérséklet gyakoriság eloszlások a "2572" cellára vonatkozóan, [0.25%, 5%] p értékek esetében

A tervezési külső hőmérsékletek közötti különbséget a vizsgált időintervallumok függvényében az 5.7 ábra mutatja be.



5.7 ábra A tervezési külső hőmérsékletek közötti különbség a vizsgált időintervallumok függvényében ("2572" cella, p érték [0.25%, 5%] között)

0,5- és 1-százalékos hőmérséklet értékek a vizsgált 24 cellában

A külső tervezési hőmérséklet értékeket az átlaghőmérsékletek gyakorisági függvényei alapján 0,5 és 1% p érték mellett határoztam meg. Ez azt jelenti, hogy az elmúlt 50 évben mért külső hőmérsékletek adatai alapján 0,5% illetve 1% alatti az előfordulási gyakorisága a meghatározott hőmérsékleteknél kisebb hőmérsékleteknek.

A javasolt tervezési hőmérséklet értékeket az 5.3 táblázat tartalmazza a vizsgált 24 cella esetében.

5.3 táblázat. Javasolt külső tervezési hőmérséklet értékek 1-nap, 3-nap, 5-nap, és 7-nap időintervallumra meghatározott átlag hőmérséklet eloszlások alapján

Város	p=0.5%				p=1%			
	1-nap	3-nap	5-nap	7-nap	1-nap	3-nap	5-nap	7-nap
Záhony	-11.6	-11.4	-10.8	-10.4	-9.8	-9.7	-9	-8.4
Salgótarján	-10.6	-9.9	-9.4	-8.7	-9	-8.6	-8	-7.4
Miskolc	-10.9	-10.3	-9.8	-9.5	-9.3	-8.7	-8	-7.4
Mosonmagyaróvár	-9.80	-8.90	-8.50	-8.10	-8.40	-7.80	-7.40	-6.90

Kékestető	-12.9	-12.2	-11.7	-11.1	-11.3	-10.9	-10.4	-10
Eger	-11.1	-10.5	-10.2	-9.7	-9.5	-9	-8.3	-7.8
Nyíregyháza	-11.6	-10.7	-10.1	-9.8	-9.7	-9	-8.4	-7.7
Gyöngyös	-10.8	-10.1	-9.7	-9.1	-9.2	-8.7	-8	-7.5
Győr	-10.3	-9.2	-8.8	-8.3	-8.6	-8	-7.6	-7.2
Tatabánya	-10.7	-9.9	-9.5	-9.2	-9.2	-8.8	-8.2	-7.8
Budapest_1	-9.8	-9.2	-8.7	-8.2	-8.5	-7.9	-7.3	-6.8
Debrecen	-11.6	-10.7	-10.3	-9.7	-9.8	-9.1	-8.3	-7.7
Budapest_2	-9.2	-8.4	-8.1	-7.6	-7.8	-7.2	-6.6	-6.2
Pápa	-9.6	-8.8	-8.2	-7.9	-8	-7.5	-7	-6.6
Szolnok	-10.6	-10	-9.5	-9	-9.2	-8.4	-7.7	-7.2
Veszprém	-10.2	-9.6	-9	-8.6	-8.6	-8	-7.6	-7.2
Dunaújváros	-9.7	-9.1	-8.6	-8.1	-8.2	-7.6	-7	-6.5
Kecskemét	-10.5	-9.7	-9.3	-8.7	-9	-8.2	-7.6	-7.1
Békéscsaba	-11.4	-10.7	-10	-9.4	-9.5	-8.7	-8	-7.5
Nagykanizsa	-11	-10.3	-9.5	-9	-9.2	-8.6	-8.1	-7.7
Kaposvár	-10.1	-9.3	-8.7	-8.3	-8.2	-7.8	-7.3	-6.8
Baja	-10.8	-9.9	-9.4	-8.5	-8.7	-8.3	-7.6	-7.2
Szeged	-10.7	-10.1	-9.3	-8.7	-9	-8.3	-7.7	-7.2
Pécs	-9.7	-9	-8.5	-8	-8	-7.4	-7.1	-6.6

A javasolt tervezési külső hőmérséklet értékek és a jelenleg alkalmazott tervezési értékek közötti különbséget mutatja be az 5.4 táblázat. Látható, hogy a javasolt értékek és jelenleg alkalmazott értékek között jelentős különbség van.

5.4 táblázat A javasolt tervezési külső hőmérséklet értékek és a jelenleg alkalmazott tervezési értékek közötti különbség 1-nap, 3-nap, 5-nap, és 7-nap időintervallumra meghatározott átlag hőmérséklet eloszlások alapján

Város	p=0.5%				p=1%			
	1-nap	3-nap	5-nap	7-nap	1-nap	3-nap	5-nap	7-nap
Záhony	3.4	3.6	4.2	4.6	5.2	5.3	6	6.6
Salgótarján	4.4	5.1	5.6	6.3	6	6.4	7	7.6
Miskolc	4.1	4.7	5.2	5.5	5.7	6.3	7	7.6
Mosonmagyaróvár	3.2	4.1	4.5	4.9	4.6	5.2	5.6	6.1
Kékestető	2.1	2.8	3.3	3.9	3.7	4.1	4.6	5
Eger	3.9	4.5	4.8	5.3	5.5	6	6.7	7.2
Nyíregyháza	3.4	4.3	4.9	5.2	5.3	6	6.6	7.3
Gyöngyös	2.2	2.9	3.3	3.9	3.8	4.3	5	5.5
Győr	2.7	3.8	4.2	4.7	4.4	5	5.4	5.8
Tatabánya	2.3	3.1	3.5	3.8	3.8	4.2	4.8	5.2
Budapest_1	3.2	3.8	4.3	4.8	4.5	5.1	5.7	6.2
Debrecen	3.4	4.3	4.7	5.3	5.2	5.9	6.7	7.3
Budapest_2	3.8	4.6	4.9	5.4	5.2	5.8	6.4	6.8
Pápa	3.4	4.2	4.8	5.1	5	5.5	6	6.4
Szolnok	4.4	5	5.5	6	5.8	6.6	7.3	7.8

Veszprém	2.8	3.4	4	4.4	4.4	5	5.4	5.8
Dunaújváros	3.3	3.9	4.4	4.9	4.8	5.4	6	6.5
Kecskemét	4.5	5.3	5.7	6.3	6	6.8	7.4	7.9
Békéscsaba	1.6	2.3	3	3.6	3.5	4.3	5	5.5
Nagykanizsa	2	2.7	3.5	4	3.8	4.4	4.9	5.3
Kaposvár	0.9	1.7	2.3	2.7	2.8	3.2	3.7	4.2
Baja	0.2	1.1	1.6	2.5	2.3	2.7	3.4	3.8
Szeged	2.3	2.9	3.7	4.3	4	4.7	5.3	5.8
Pécs	1.3	2	2.5	3	3	3.6	3.9	4.4

A magasabb külső tervezési hőmérséklet alkalmazásának mellékhatásai az alacsonyabb befektetési költségek mellett, a nagyobb tervezési pontosság miatt a kiválasztott kazán szezonális hatásfokának változása illetve, a szakaszos fűtéssel megtakarítható energiamennyiségek változása.

5.4 Esettanulmányok

5.4.1 Befektetési költségek vizsgálata

A magasabb tervezési külső hőmérsékletek miatt egy adott épület esetében kisebb mérettel rendelkező berendezéseket kell választani, ezért a befektetési költségek csökkennek. A csökkenés mértékének vizsgálatát két tipikus lakóépület esetében végeztem el. Az egyik egy családi ház (5.8 ábra) a második pedig egy társasház (5.9 ábra). Utóbbiban 16 lakás található. Az épületek határolószerkezeteinek hőtechnikai tulajdonságait az 5.5 táblázat mutatja be.



5.8 ábra Az elemzett családi ház

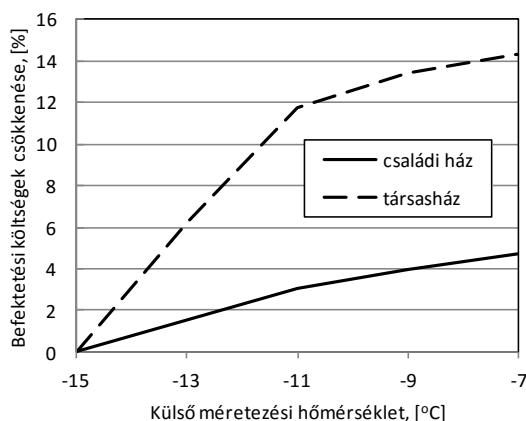


5.9 ábra A vizsgált társasház

5.5 táblázat A vizsgált épületek főbb hőtechnikai adatai

Épület	Nettó alapterület, [m ²]	U_{fal} , [W/m ² K]	$U_{padló}$, [W/m ² K]	$U_{tető}$, [W/m ² K]	U_{abak} , [W/m ² K]
Családi ház	127.4	1.48	1.35	0.438	2.5
Társasház	1081.7	1.48	1.15	0.359	2.5

Megállapítható, hogy a határolószervezetek hőátbocsátási tényezői között nincsenek nagy különbségek. Az 1990 előtt épült lakóépületek esetében nagy számban találhatók hasonló paraméterekkel rendelkező épületek. Az épületek fűtési rendszereinek paraméterei viszont jelentősen eltérnek egymástól. A Debrecenben jelenleg érvényes -15 °C méretezési hőmérséklet mellett, a családi ház hőszükséglete 16,56 kW, míg a társasház hőszükséglete 162,2 kW. Ezekhez a hőigényekhez viszonyítva kell méretezni és kiválasztani a piacon lévő termékek közül a fűtési rendszer egyes elemeit. Ha a két épület hőigényét az 5.3 pontban $p=0,5\%$ és 1-nap intervallum mellett Debrecenre vonatkozóan meghatározott -11,6 °C külső méretezési hőmérsékletet feltételezve számítjuk ki, akkor a hőigények jelentősen csökkennek (14,95 kW a családi ház esetében és 146,44 kW a társasház esetében). A -15 °C külső hőmérsékletre méretezett rendszert véve viszonyítási alapnak, az 5.10 ábrában bemutatásra kerül a fűtési rendszer befektetési költségeinek a csökkenése nagyobb külső hőmérsékletek mellett (két fokként növelve a méretezési külső hőmérséklet értékét).

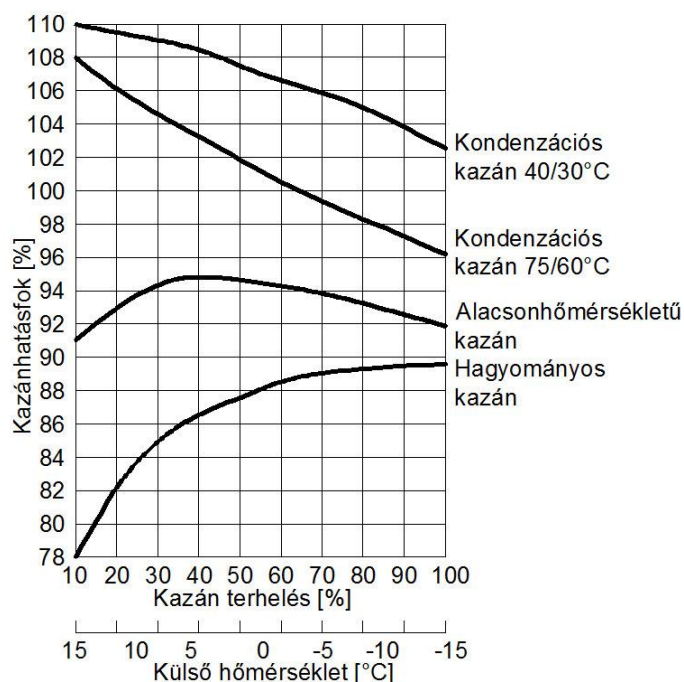


5.10 ábra Befektetési költségek csökkenése a vizsgált két épületnél különböző külső tervezési hőmérsékletek mellett

Megállapítható, hogy a befektetési költségek csökkenése jóval nagyobb mértékű a társasház esetében. Ennek egyik alapvető oka az, hogy családi házaknál a gyakorlatban a használati melegvíz előállításra és fűtésre egy kazánt építenek be. Általában a HMV előállításához szükséges teljesítmény összemérhető (vagy akár meghaladja) a fűtési teljesítmény igényt. Ebben az esetben tehát a fűtési teljesítmény csökkenése nem okoz jelentős csökkenést a kiválasztott kazán teljesítményében, így az árában sem.

5.4.2 A kazán szezonális hatásfokának vizsgálata

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. Az 5.5.1 alfejezetben vizsgált két épület esetében, miután kiszámítottam az épületekre vonatkozó fűtési határhőmérsékletet, meghatároztam a beépített kazánok éves hatásfokát. Három kazántípust vettem figyelembe: hagyományos kazánt, alacsony hőmérsékletű kazánt és kondenzációs kazánt. A kazánok hatásfokának változását az 5.11 ábra mutatja be (Baumann et al., 2009; Janneman, 1996)).



5.10 ábra Kazánhatásfok alakulása részterhelésen (Baumann, 2009)

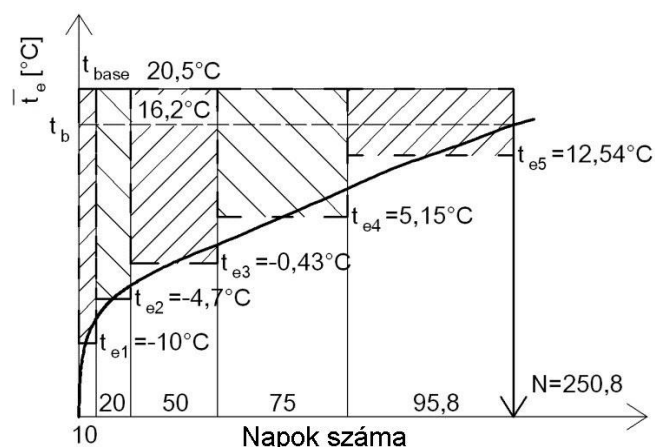
A fűtési rendszerre vonatkozó hőfoklépcsőt 75/60 °C-ra vettem fel.

Az alkalmazott hőfokgyakorisági görbe a 2. fejezetben leírt módon került meghatározásra (az elmúlt három évtized órai átlag külső hőmérsékletek adatai alapján).

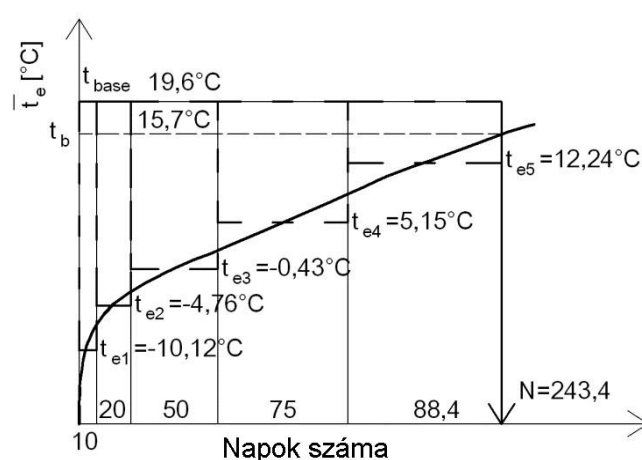
A fűtési idényt öt szakaszra osztottam fel (5.12 és 5.13 ábrák). Meghatároztam a kazánok hatásfokát mindegyik működési szakaszban, majd a szezonális hatásfokot az (5.7) összefüggéssel állapítottam meg:

$$\eta_s = \frac{5}{\sum_{i=1}^5 \frac{1}{\eta_{kazán,i}}} \quad (5.7)$$

ahol: $\eta_{kazán,i}$ – a kazán hatásfoka az i időszakban, melyet az i időszakra vonatkozó átlagos külső hőmérséklet alapján határoztam meg.



5.12 ábra A fűtési napok száma, illetve az öt időszak átlaghőmérsékletei (családi ház)



5.13 ábra A fűtési napok száma, illetve az öt időszak átlaghőmérsékletei (társasház)

A kazánok hatásfokát a földgáz fűtőértékének alapján határoztam meg. A fűtési idényre vonatkozó kazánhatásfok értékeit, különböző kazántípusok és külső méretezési hőmérsékletek mellett az 5.6 táblázat tartalmazza.

5.6 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

Látható, hogy a nagyobb külső tervezési hőmérséklet értékek mellett a hagyományos kazánok szezonális hatásfoka kismértékben növekszik, a kondenzációs kazánok esetében viszont kismértékű csökkenés tapasztalható. A vizsgált külső hőmérsékletek esetében az alacsony hőmérsékletű kazánok hatásfoka csaknem állandónak tekinthető.

5.4.3 Szakaszos fűtés hatékonyságának vizsgálata

A szakaszos üzem olyan üzemeltetési módja a központi fűtési rendszereknek, amikor valamilyen időszakban (pl. éjszaka, hétvégén stb.) a belső hőmérséklet a tervezett érték alá süllyedhet.

Az egyik meghatározó tényező, egy fűtési rendszer szakaszos üzemmódjának elemzésénél, a fűtött tér hőtárolóképessége. A fűtött tér effektív hőtárolóképessége, C , az épületszerkezetekben tárolt hő változása egy megadott idő alatt, a belső hőmérséklet ± 1 K amplitúdójú, szinuszos változása esetén. Értéke az adott zóna belső levegőjével közvetlen kapcsolatban lévő belső határolószerkezetek hatásos (effektív) hőtárolóképességének összege.

A szakaszos fűtés a fűtőtéljesítmény ugrásfüggvények adott periódusú sorozataként jellemezhető. A fűtőberendezés kikapcsolását követően a helyiség hőmérsékletének változását a következő egyenlet írja le, (Fekete et al., 1985):

$$T_e(\tau) = T_{e0} \exp\left(-\frac{\tau}{T}\right) \quad (5.8)$$

ahol T_{e0} – a belső és külső hőmérsékletek különbsége, abban a pillanatban, amikor a fűtési rendszert kikapcsolták, [K];

Amikor a fűtési rendszert bekapcsolják a felfűtési idő, ami ahhoz szükséges, hogy a belső hőmérséklet elérje a tervezési értéket, az 5.9 összefüggéssel határozható meg:

$$\tau_{hup} = T \ln \frac{\zeta - \exp\left(-\frac{\tau_{usz}}{T}\right)}{\zeta - 1} \quad (5.9)$$

ahol τ_{usz} – az üzemszüneti idő, [h]; ζ – a beépített fűtőtest teljesítményének és a helyiség pillanatnyi hőigényének az aránya.

Egy teljes fűtési idényre vonatkozóan a szakaszos fűtéssel elérhető energiamegtakarítás a folyamatos üzemmódhoz viszonyítva az (5.10) összefüggéssel határozható meg:

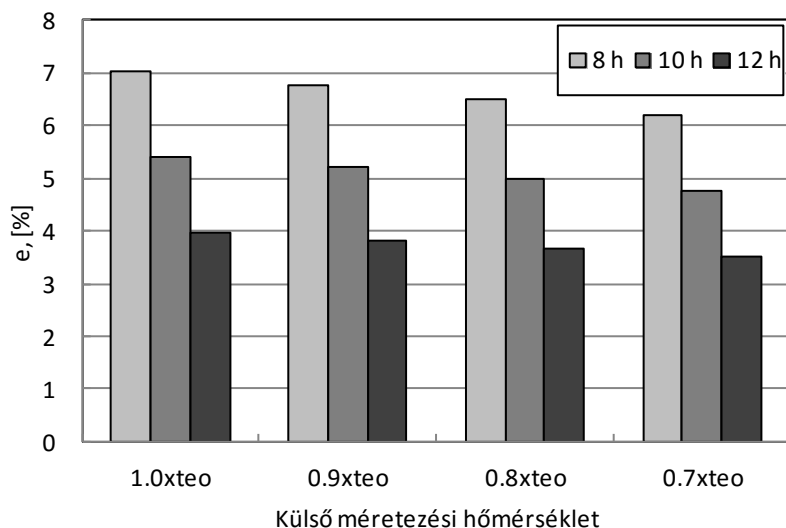
$$e_s = 1 - \frac{\int_1^{N_h} \left[\tau_{op} + \zeta(N) T \ln \left[\zeta(N) - \exp\left(-\frac{\tau_{uop}}{T}\right) \right] / [\zeta(N) - 1] \right] dN}{\int_1^{N_h} dN} \quad (5.10)$$

ahol: N egy fűtési nap; N_h – a fűtési napok száma egy fűtési idényben.

Az összefüggésből megállapítható, hogy a szakaszos üzemmóddal megtakarítható energiamennyiség nagymértékben függ a radiátor beépített teljesítményének a pillanatnyi hőigénynek az arányától.

Tekintsük a jelenlegi méretezési hőmérsékletekkel történő méretezést alaphelyzetnek. A magasabb méretezési hőmérsékletek mellett megtakarítható energiamennyiség változását az alaphelyzethez viszonyítva egy $T=40$ h időállandóval rendelkező helyiség esetében vizsgáltam. Alaphelyzetben a helyiség hőszükségletét -15 °C mellett kell meghatározni. Feltételeztem, hogy a kiválasztott és beépített fűtőtest teljesítménye 10%-al haladta meg a számított hőszükségletet. Különböző helyiség használati időket feltételezve meghatároztam a

szakaszos fűtéssel elérhető energiamegtakarítás mértékét az alaphelyzetben ($1 \times t_{e0}$), illetve azokban az esetekben, amikor a tervezési külső hőmérséklet 10%, 20%, illetve 30%-al nagyobb az alaphelyzethez képest (pl. -15 °C helyett, a tervezési hőmérsékletek: $-13,5\text{ °C}$, vagy -12 °C , vagy $-10,5\text{ °C}$). Az új tervezési hőmérsékletekre való méretezés esetében, a fűtőtest teljesítményét ugyanúgy 10%-al választottam nagyobbra, mint az alaphelyzetben. Az 5.14 ábrában látható, hogy különböző használati idő mellett, az új tervezési hőmérsékletek esetében a szakaszos fűtéssel megtakarítható energiamennyiség csökken. Minél nagyobb a tervezési hőmérséklet értéke, annál kisebb a szakaszos üzemmel megtakarítható energiamennyiség.



5.14 ábra Energiamegtakarítás szakaszos üzem esetében

5.5 Összefoglalás

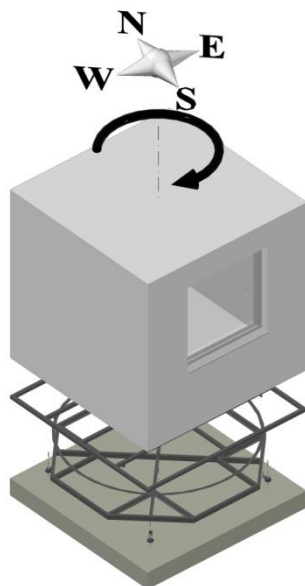
A CarpathClim adatbázis adatai alapján megállapításra kerültek az 1, 3, 5, és 7 nap átlaghőmérsékleteinek gyakorisági függvényei. A kumulált gyakorisági függvények alapján, 99% és 99,5% megbízhatósági szinten, megállapításra kerültek az új tervezési külső hőmérsékletek értékei. A vizsgálatok bebizonyították, hogy az épületek/helyiségek hőtároló kapacitása és időállandója nagymértékben befolyásolja a tervezési külső hőmérséklet értékét. A befektetési költségek a nagyobb külső méretezési hőmérséklet miatt csökkennek, de a csökkenés mértéke eltérő a kisebb, illetve a nagyobb lakóépületek esetében. A nagyobb épületek esetében a fűtési teljesítményigény jobban érvényesül egy adott kazán teljesítményében, ezért a tervezés hőmérséklet növekedése nagyobb hatással lesz a befektetési költségekre. A nagyobb tervezési hőmérséklet hatása megnyilvánul a kazánok szezonális hatásfokának változásában is. Hagyományos kazánoknál növekedés, kondenzációs kazánoknál csökkenés tapasztalható, de gyakorlati szempontból ezek a változások elhanyagolhatóak. Szakaszos üzem esetében az alaphelyzethez viszonyítva a megtakarítható energiamennyiség annál nagyobb mértékben csökken, minél nagyobb mértékben növekszik a tervezési hőmérséklet értéke.

6. FŰTÉSI HATÁRHŐMÉRSÉKLETTEL KAPCSOLATOS MÉRÉSEK ÉS SZÁMÍTÁSOK

6.1 PASSOL laboratórium

Csáky (2015) a kutatásai során megépített egy laboratóriumot, mely alkalmas a napsugárzás hatásainak vizsgálatára egy könnyű szerkezetes teszhelyiségben.

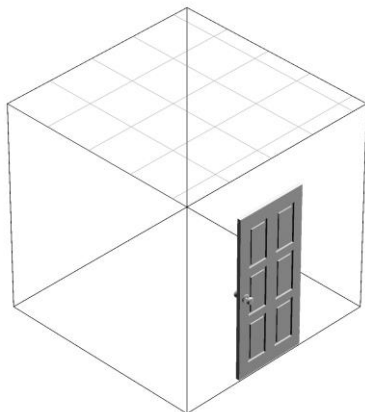
A PASSOL laboratórium tulajdonképpen egy mérőkamra, melynek méretei elegendően nagyok ahhoz, hogy akár egy valóságos épület helyisége is legyen. A helyiség egyik külső falán egy ablak van elhelyezve. Az alapvető gondolat az volt, hogy tegyük lehetővé egy valóságos helyiségben a hőmérséklet mérését, de úgy, hogy a helyiség transzparens szerkezetét különböző tájolásoknak tehesük ki. Cél volt továbbá, hogy változtatható legyen a helyiség hőtároló tömege és a kontrollált módon lehessen biztosítani a szellőzést. Mindezen célok eléréséhez egy $3,0 \times 3,0 \times 3,0$ m külső méretekkkel rendelkező forgatható mérőkamra áll rendelkezésre (6.1. ábra). A szerkezeteket egységesen hűtőházi panelekből van kivitelezve, mivel ezen szerkezetek hőátbocsátási tényezője elég alacsony ahhoz, hogy a napjainkban érvényes de akár még a közeljövő épületenergetikai követelményeit is teljesítse, ugyanakkor a súlya még nem olyan nagy, hogy ellehetetlenítse a forgatást. A panelek nút-féder kapcsolata egyrészt megfelelő légtömörséget, másrészt állékonyságot is biztosít a szerkezet számára, így külön tartószerkezetre a tervezett méretek mellett nem volt szükség. Így a szerkezetek csatlakozásánál kialakuló hőhidak hatását is minimalizáltuk. A helyiség egyik függőleges határolószerkezetére egy nyílászárót terveztünk, ezzel átellenben pedig egy szintén hűtőházi követelményeknek megfelelő ajtó lett tervezve.



6.1. ábra PASSOL laboratórium tervezési sémája (Csáky, 2015)

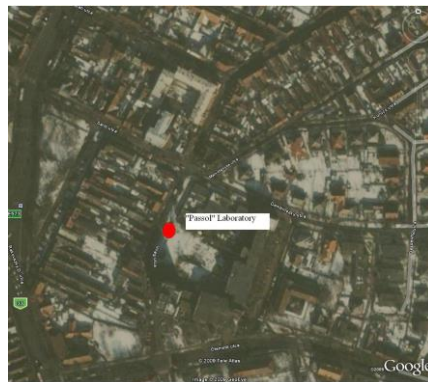
A PASSOL laboratórium egyik legfontosabb eleme a forgathatóságot biztosító fém tartószerkezet. Egy betonlapra megfelelő rögzítéssel került elhelyezésre a zárt szelvényekből összeállított tartószerkezet alsó eleme. A szerkezet tengelye csatlakozik a dobozba, a doboz aljára egy keret került rögzítésre, mely egy kör alakú sima acélszelvényen gördülőcsapágyak beépítésével körbeforgatható. A doboz „lapostetős” és a csapadékvíz beszivárgását horganyzott lemez bádgozással tudtuk megakadályozni.

A PASSOL laboratórium megépítését az INOXTHERM Kft. végezte. A felhasznált hűtőházi panelek szerkezete (két lemez között 20 cm vastagságban PUR hab) 0,146 W/m²K számított hőátbocsátási tényező értéket biztosított.



6.2. ábra PASSOL laboratórium építése, (Csáky, 2015)

A 90 cm parapet magassággal beépített, 150×150 cm méretekkkel, kétrétegű hőszigetelt üvegezéssel és ALUPLAST IDEAL 4000 5 légkamrás profilszerkezettel rendelkező ablak hőátbocsátási tényezője 1,4 W/m²K, a teljes sugárzásátbocsátó képessége pedig $g=0,70$ a gyártó adatai szerint. Az ablak transzparens felülete 1,91 m². A PASSOL laboratórium a Debreceni Egyetem Műszaki Kar Campusán került elhelyezésre (6.3. ábra). A hely GPS koordinátái: 47° 31.8' N és 21° 37.8' E. Tekintettel arra, hogy a célom a belső hőmérséklet értékének vizsgálata volt március-április hónapokban, megvizsgáltam, hogy a környező fák, épületek milyen árnyékolást okoznak a laboratórium külső szerkezeteire vonatkozóan az adott időszakban. Mivel az ablakszerkezet nem a külső síkban került elhelyezésre, hanem 5 cm behúzással, a szerkezet önárnyékolását is megvizsgáltam. A benapozás vizsgálat eredménye az volt, hogy kizárólag a K-i tájolású szerkezet van árnyékban, a vizsgált hónapokban minden esetben 7:30-8:00 óráig.



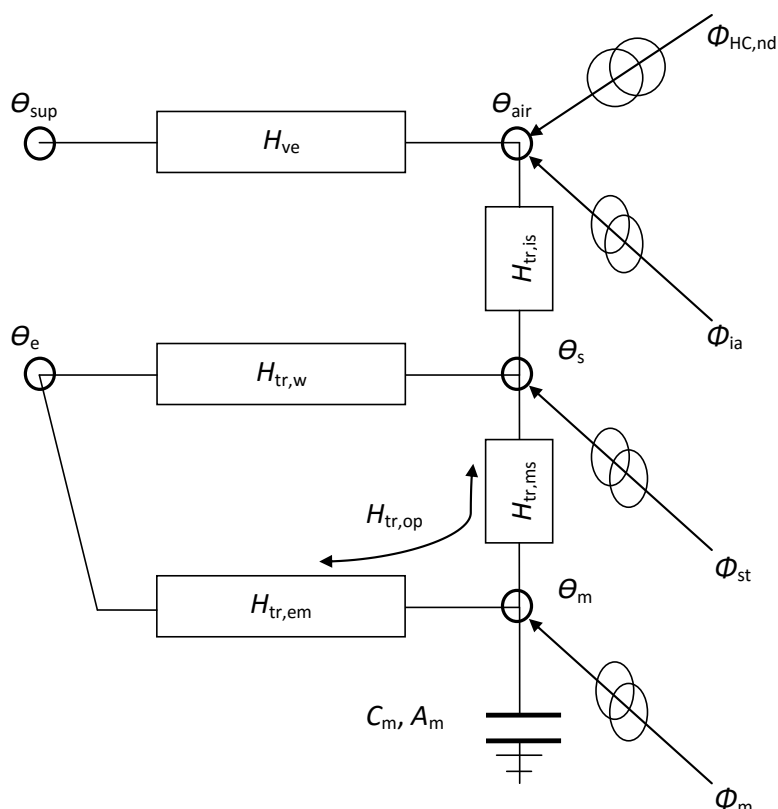
6.3. ábra PASSOL laboratórium elhelyezése (Csáky, 2015)

A teszthelyiségben a léghőmérsékletet egy KIMO KH 100 adatgyűjtő segítségével mértem, melyet 1,1 m magasságban a helyiség közepén helyeztem el. A mérőeszközben egy NTC szenzor van beépítve, melynek mérési tartománya -40 °C-+120 °C. A szenzor mérési pontossága ±0,4 °C, +5 °C és 70 °C közötti hőmérséklettartományban, illetve ±0,6 °C, -20 °C

és +5 °C közötti hőmérséklettartományban. A mérések folyamatosak voltak a 2009-2013 évek során.

6.2 Az MSZ EN ISO 13790 szabvány számítási módszere

Az MSZ EN ISO 13790 szabvány komplex módszert ajánl a belső léghőmérsékletek számítására figyelembe véve a hőtároló tömeg, a szellőzés, az éjszakai szellőzés, az előhűtés hatását. Havi és órai módszer is rendelkezésre áll, egy vagy több zónás épületek esetére is, (MSZ EN ISO 13790:2008). A módszer figyelembe veszi továbbá a hőnyereségek hasznosítási fokát és a lehetőség nyílik a hűtési energiaigény meghatározására különböző elvárt belső léghőmérséklet értékek mellett. A számítási módszer alapja a 6.1 ábrában bemutatott RC hálózat.



6.1 ábra A hőáramok RC modellje, (MSZ EN ISO 13790:2008)

A szellőzési hőveszteséget/hőnyereséget jellemző tényező (H_{ve} , [W/K]) közvetlenül kapcsolódik a léghőmérséklet csomópontához (θ_{air}) és a befűjt levegő hőmérséklet csomópontához (θ_{sup}). A transzmissziós hőveszteséget/hőnyereséget jellemző tényező tartalmazza a nyílászárókra vonatkozó tényezők értékét ($H_{tr,w}$, [W/K]), melyeknek a hőtároló tömegét nullára vesszük fel, illetve a hőtároló tömeggel rendelkező szerkezetek tényezőjének értékét ($H_{tr,op}$, [W/K]). Utóbbi érték két részből áll: $H_{tr,em}$, [W/K] és $H_{tr,ms}$, [W/K]. A sugárzásos (Φ_{sol}) és a belső hőnyereségek (Φ_{int}) három csomópontra oszlanak: θ_{air} , θ_s (a közepes sugárzási hőmérsékletet adó érték) és θ_m (a hőtároló tömeg hőmérséklete). A hőtároló tömeget egy hőtároló kapacitás képviseli a hálózatban (C_m), mely a $H_{tr,em}$ és $H_{tr,ms}$ között található. A léghőmérséklet csomópont (θ_{air}) és a központi csomópont (θ_s) közötti kapcsolatot a $H_{tr,is}$ tényező, [W/K], jellemzi. A szabvány szerint a helyiség/épület hőtároló kapacitását a belső felülettől számított 10 cm vastagságig kell figyelembe venni.

A számításokhoz a szabvány a Cranck-Nicholson módszert alkalmazza. Lehetőség van havi átlagértékek alapján, illetve órai átlagértékek alapján elvégezni a számításokat.

A léghőmérsékletet a (6.1) összefüggés segítségével határozhatjuk meg, (MSZ EN ISO 13790:2008):

$$\theta_{air} = (H_{tr,is}\theta_s + H_{ve}\theta_{sup} + \Phi_{ia} + \Phi_{HC,nd}) / (H_{tr,is} + H_{ve}) \quad (6.1)$$

ahol:

$$H_{tr,is} = h_{is}A_{tot} \quad (6.2)$$

melyben: h_{is} – a léghőmérséklet csomópont (θ_{air}) és a központi csomópont (θ_s) közötti hőátadási tényező, [W/m^2K] (értéke $3,45 W/m^2K$); A_{tot} – a vizsgált helyisége(ke)t határoló összes épületszerkezet felülete belméretek szerint, [m^2].

$$H_{ve} = \rho_a c_{ap} \sum_j b_{vj} q_{vj} \quad (6.3)$$

ahol: b_{vj} – korrekciós tényező, melyet abban az esetben kell alkalmazni, amikor a helyiségbe befűjt levegő hőmérséklete eltér a külső levegő hőmérsékletétől; j – a helyiséget levegővel ellátó légbefűvő sorszáma.

A (6.1) egyenletben a $\Phi_{HC,nd}$ – a hűtési energiaigény, [W]; $\Phi_{ia} = 0,5\Phi_{int}$, ahol Φ_{int} – a belső hőnyereségek teljesítménye, [W].

A központi csomópont hőmérséklete a (6.4) összefüggéssel határozható meg:

$$\theta_s = \{H_{tr,ms}\theta_m + \Phi_{st} + H_{tr,w}\theta_e + H_{tr,1}[\theta_{sup} + (\Phi_{ia} + \Phi_{HC,nd})/H_{ve}]\} / (H_{tr,ms} + H_{tr,w} + H_{tr,1}) \quad (6.4)$$

ahol θ_e – a külső léghőmérséklet, [$^{\circ}C$].

$$H_{tr,w} = \sum_j A_{wj} U_{wj} \quad (6.5)$$

ahol: A_{wj} – a j nyílászáró felülete, belméretek szerint, [m^2]; U_{wj} – a j nyílászáró hőátbocsátási tényezője, [W/m^2K].

$$\Phi_{st} = \left(1 - \frac{A_m}{A_{tot}} - \frac{H_{tr,w}}{9,1A_{tot}}\right) (\Phi_a + \Phi_{sol}) \quad (6.6)$$

A hőtároló tömeg effektív felületét a (6.7) összefüggéssel számíthatjuk:

$$A_m = \frac{C_m^2}{\sum_j A_j \kappa_j^2} \quad (6.7)$$

ahol: A_j – a j hőtároló szerkezet felülete, [m^2]; $\kappa_j = \sum d_j \rho_j c_j$, [J/m^2K]; d_j – a j réteg vastagsága, [m] (10 cm összvastagságig kell figyelembe venni a rétegeket); c_j – a j réteg anyagának fajhője, [J/kgK]; ρ_j – a j réteg anyagának sűrűsége, [kg/m^3].

$$H_{tr,ms} = h_{ms} A_m \quad (6.8)$$

ahol: h_{ms} – az m és az s csomópontok közötti hőátadási tényező, [W/m^2K], ($9,1 W/m^2K$);

$$H_{tr,1} = \frac{1}{1/H_{ve} + 1/H_{tr,is}} \quad (6.9)$$

A t időpontban az m csomópont hőmérsékletét, a $t-1$ időpontban mért érték függvényében határozzuk meg:

$$\theta_{m,t} = \{\theta_{m,t-1}[(C_m/3600) - 0,5(H_{tr,3} + H_{tr,em})] + \Phi_{m,tot}\} / [(C_m/3600) + 0,5(H_{tr,3} + H_{tr,em})] \quad (6.10)$$

Az összefüggésben a helyiség hőkapacitása, C_m , [J/K] a 6.11 összefüggéssel számítható:

$$C_m = \sum_j \kappa_j A_j \quad (6.11)$$

További értékek, (MSZ EN ISO 13790:2008):

$$H_{tr,2} = H_{tr,1} + H_{tr,w} \quad (6.12)$$

$$H_{tr,3} = \frac{1}{1/H_{tr,2} + 1/H_{tr,ms}} \quad (6.13)$$

$$H_{tr,em} = \frac{1}{1/H_{op} - 1/H_{tr,ms}} \quad (6.14)$$

$$H_{op} = \sum_j A_{op,j} U_{op,j} + \sum_j l_j \Psi_j \quad (6.15)$$

ahol $A_{op,j}$ – a j tömör szerkezet felülete belméretek szerint, [m²]; $U_{op,j}$ – a j tömör szerkezet hőátbocsátási tényezője, [W/m²K]; l_j – a j lineáris hőhíd hossza, [m]; Ψ_j – a j lineáris hőhíd vonalmenti hőátbocsátási tényezője, [W/mK].

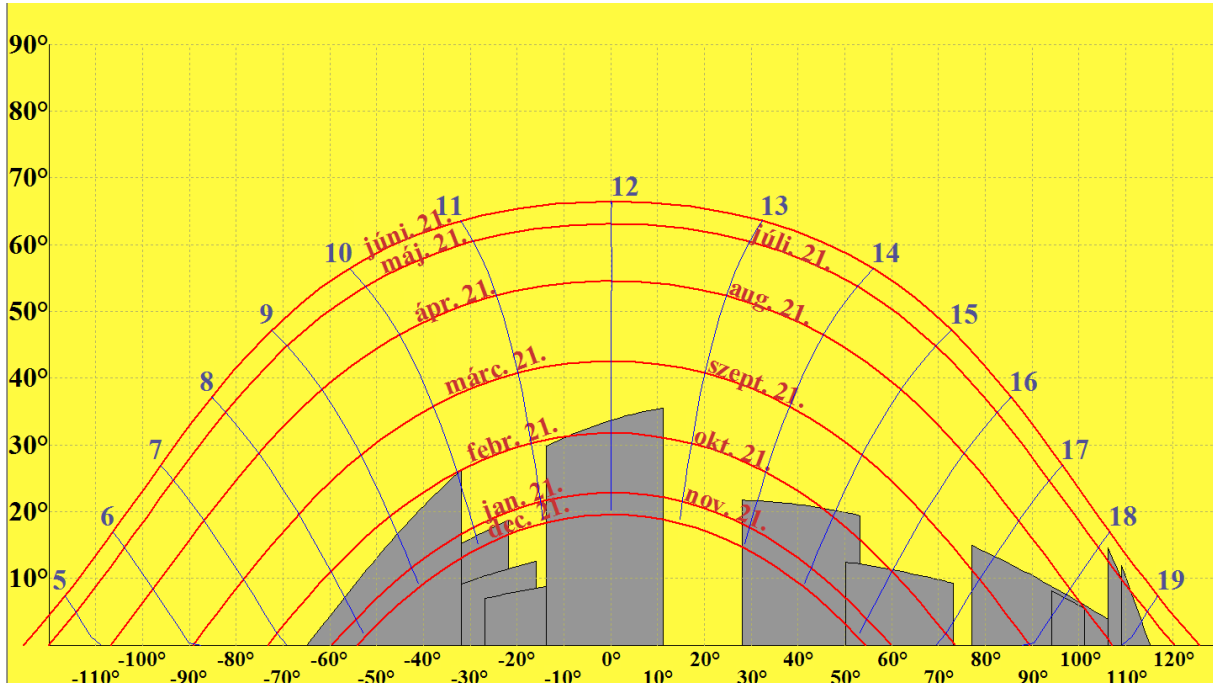
$$\Phi_{m,tot} = \Phi_m + H_{tr,em} \theta_e + H_{tr,3} \left\langle \Phi_{st} + H_{tr,w} \theta_e + H_{tr,1} \left\{ \left[(\Phi_{ia} + \Phi_{HC,nd}) / H_{ve} \right] + \theta_{sup} \right\} \right\rangle / H_{tr,2} \quad (6.16)$$

Az operatív hőmérséklet a vizsgált helyiségben, (MSZ EN ISO 13790:2008):

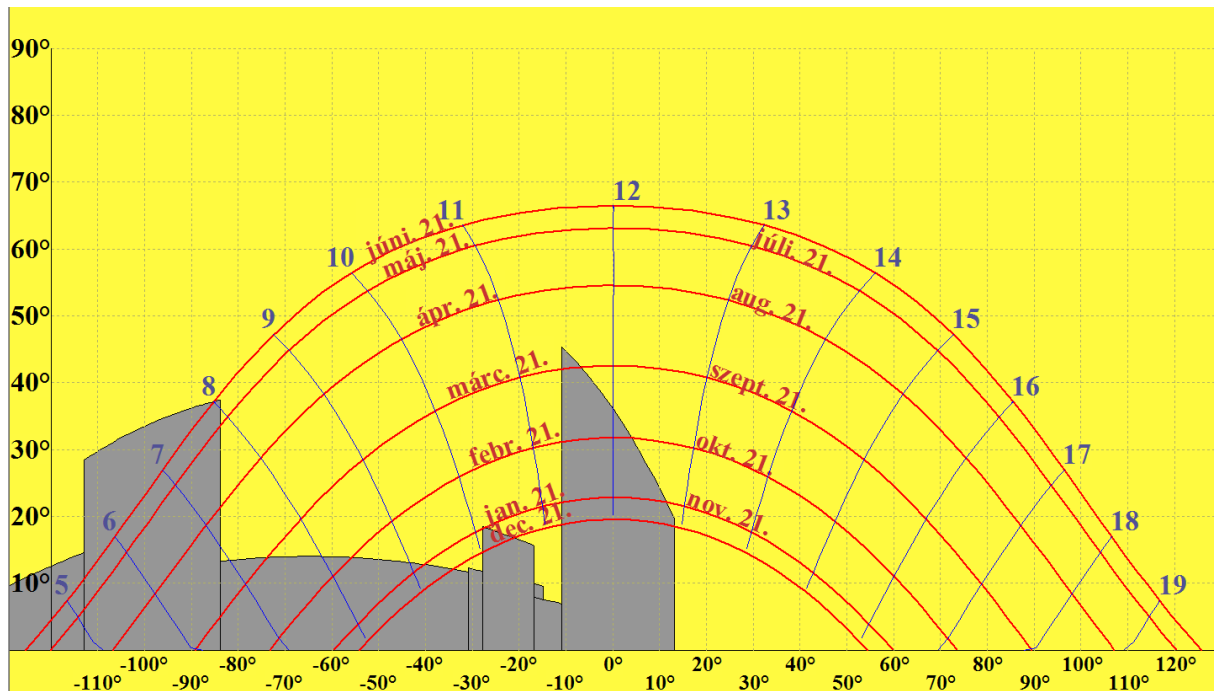
$$\theta_{op} = 0,3\theta_{air} + 0,7\theta_s \quad (6.17)$$

6.3 Mérések a PASSOL laboratóriumban

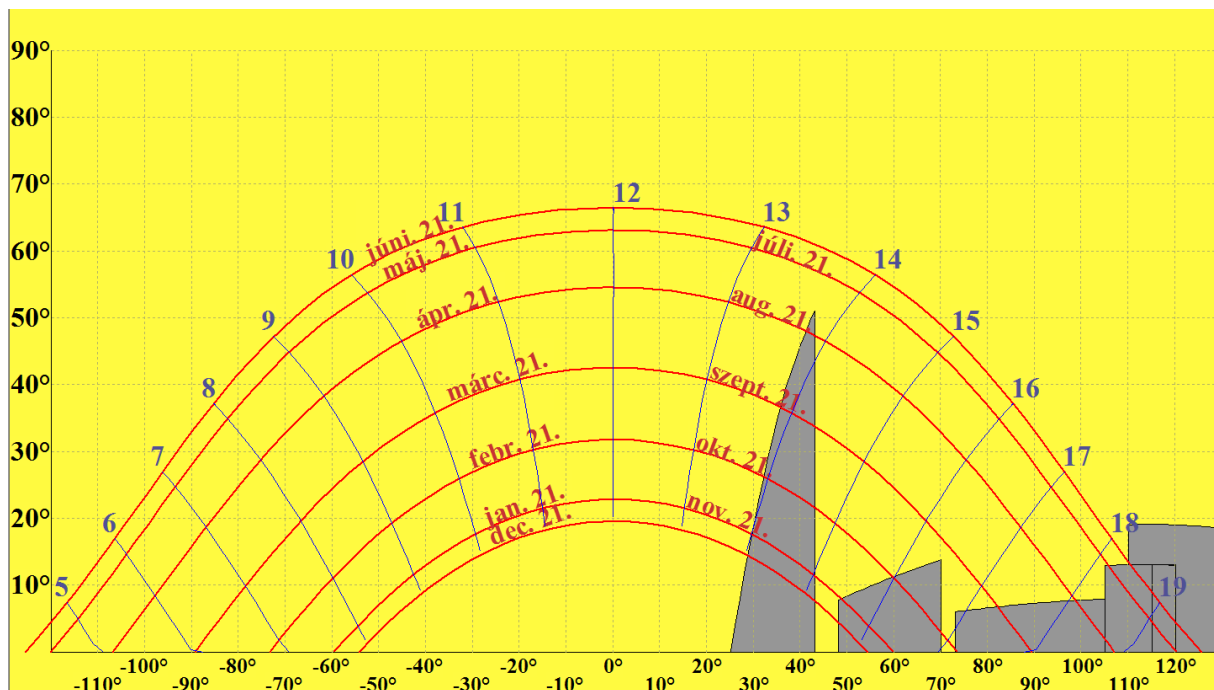
2011-2014 évek során méréseket végeztem a PASSOL laboratóriumban, annak érdekében, hogy megállapítsam hogyan alakul a belső léghőmérséklet szeptember-október, illetve március-április hónapokban. A mérések célja a teszt helyiség fűtési határhőmérsékletének megállapítása volt. Elsősorban megvizsgáltam, hogyan alakul a laboratórium transzparens szerkezetének a benapozottsága a vizsgált hónapokban. Ehhez a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Épületenergetikai és Épületgépészeti Tanszéke által fejlesztett benapoz.exe programot alkalmaztam. Az egyes tájolásokra vonatkozó árnyékmáskok a 6.2a-6.2c ábrákban láthatók.



6.2a ábra Passol labor transzparens szerkezetének árnyékmáskja D-i tájolás esetében



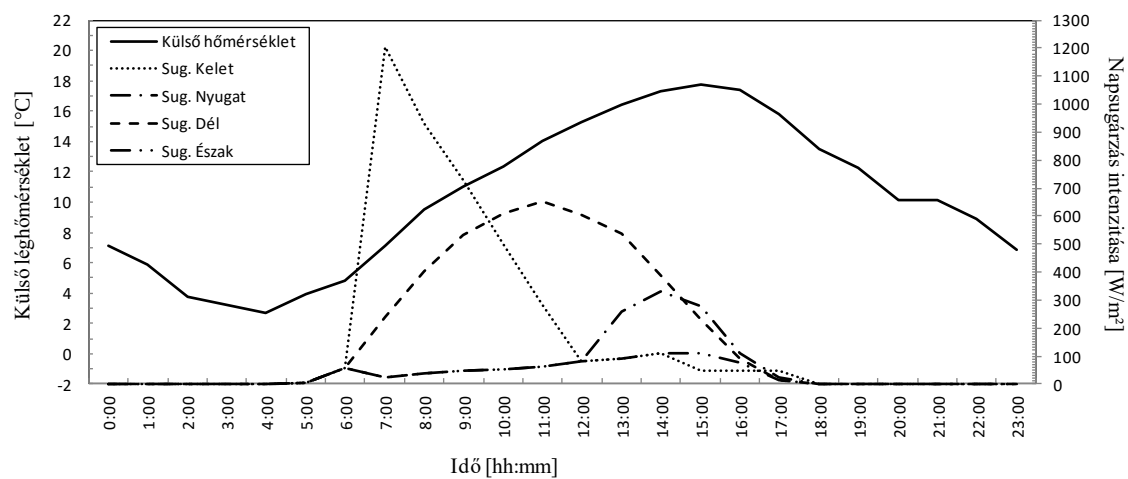
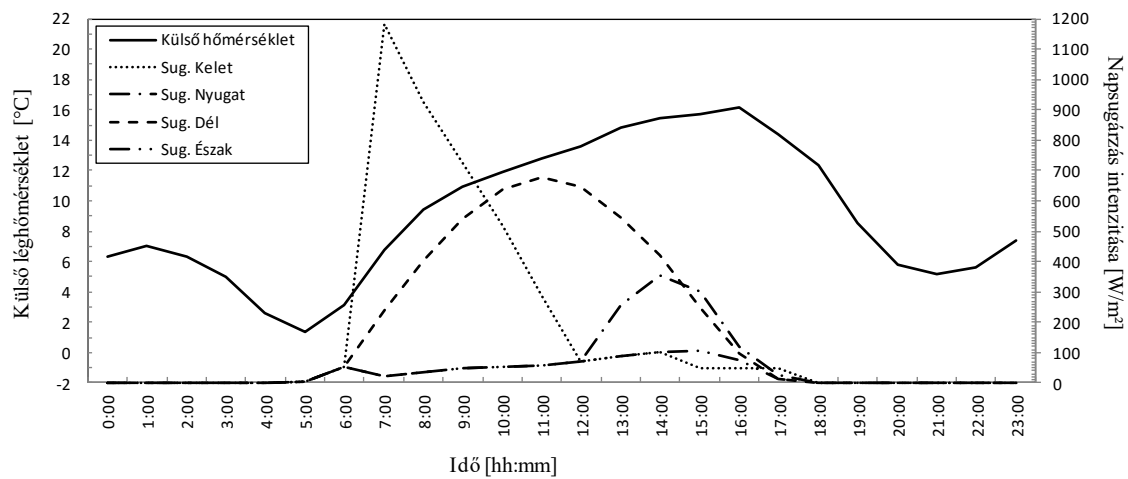
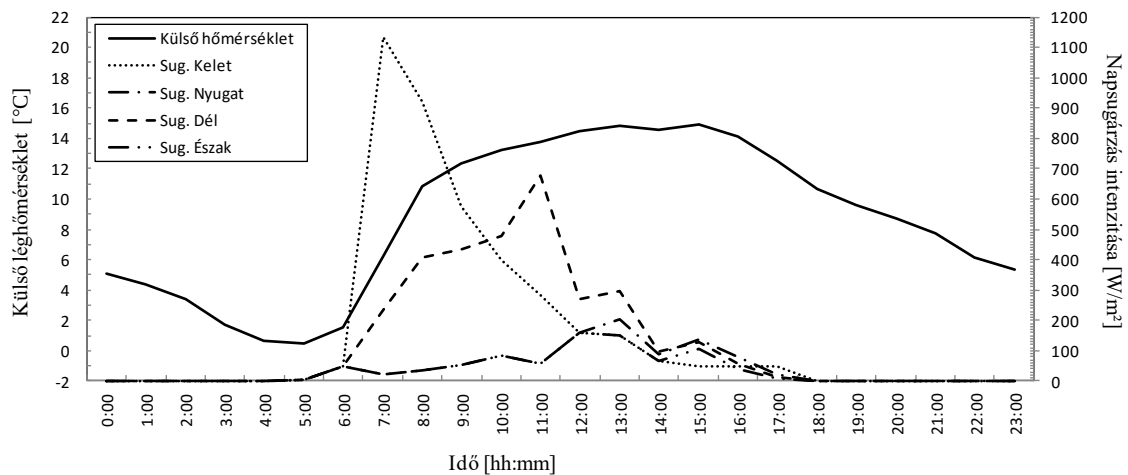
6.2b ábra Passol labor transzparens szerkezetének árnyékmáskja K-i tájolás esetében



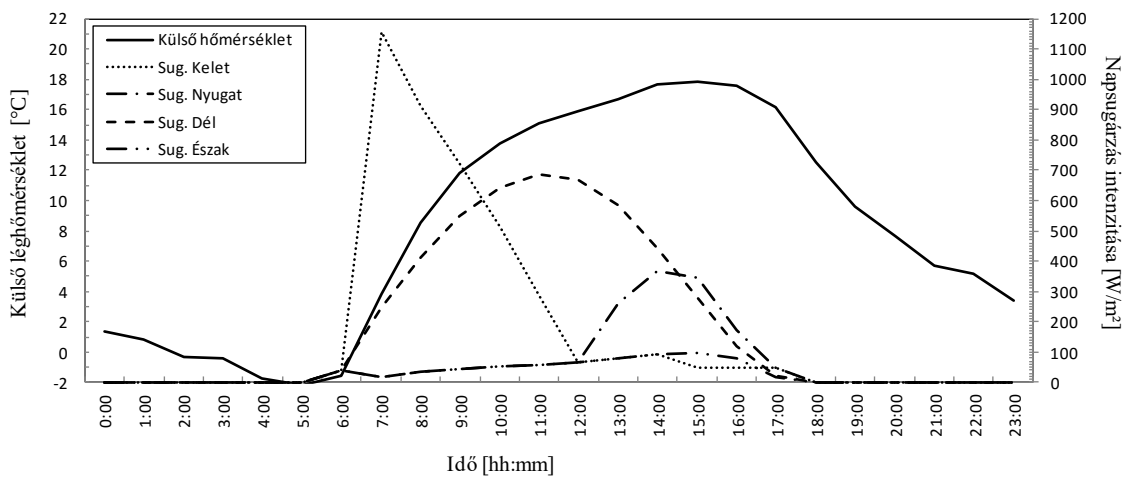
6.2c ábra Passol labor transzparens szerkezetének árnyékmáskja Ny-i tájolás esetében

Megállapítható, hogy mindhárom tájolás esetében vannak olyan időszakok, amikor a transzparens szerkezetet nem éri direkt napsugárzás.

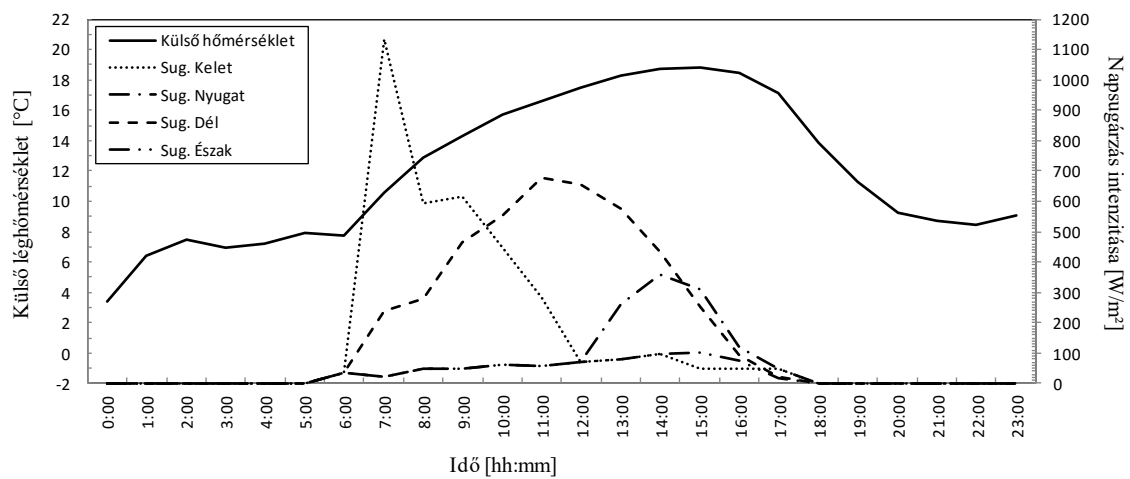
A mért hőmérséklet adatok kiértékelése után meghatároztam mindegyik tájolás esetében azt az egymást követő három napot, amikor a mért belső hőmérséklet adatok átlagértéke 17-22 °C között adódott. Ezekre a napokra vonatkozóan látható a 6.3-6.6 ábrákban a külső léghőmérséklet, valamint a függőleges felületekre érkező sugárzás intenzitásának a változása.



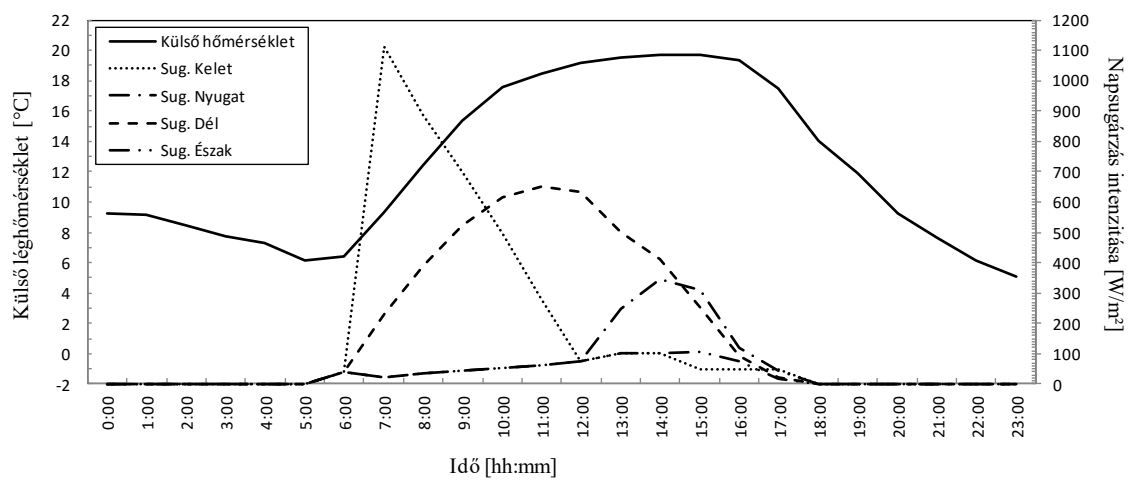
6.3 ábra Külső hőmérséklet és napsugárzás intenzitása a transzparens szerkezet K-i tájolása esetében



2012. március 21

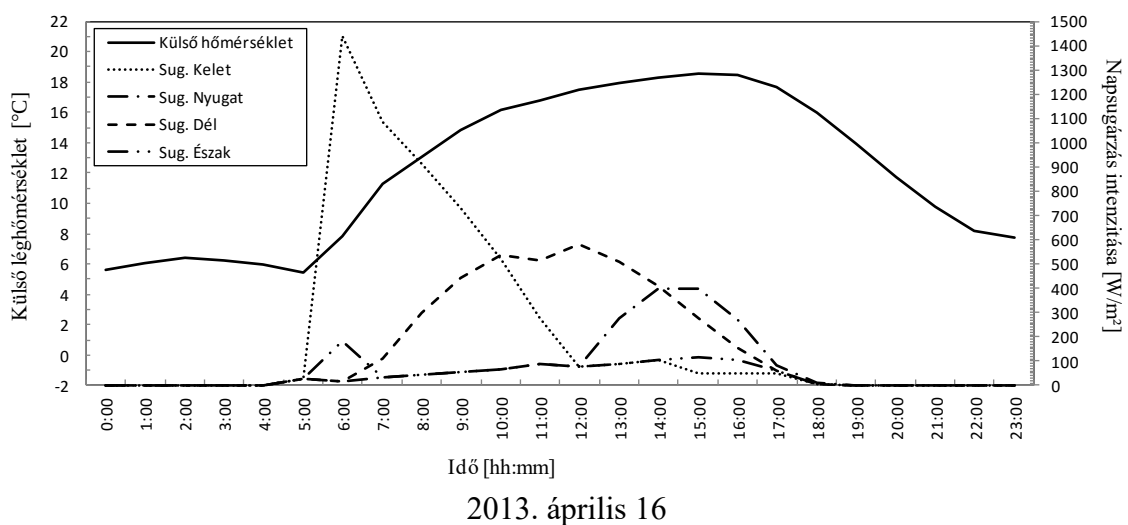
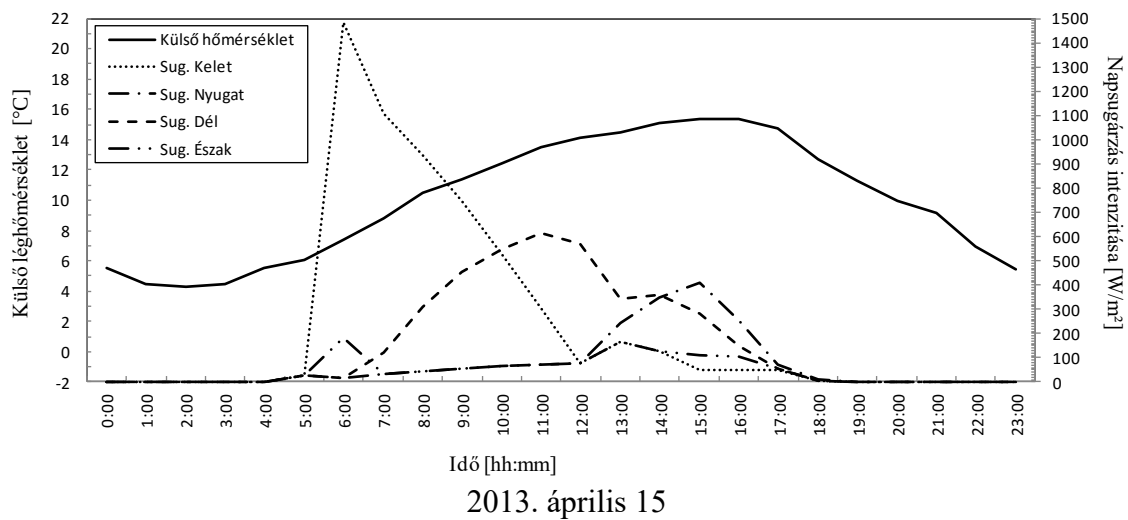
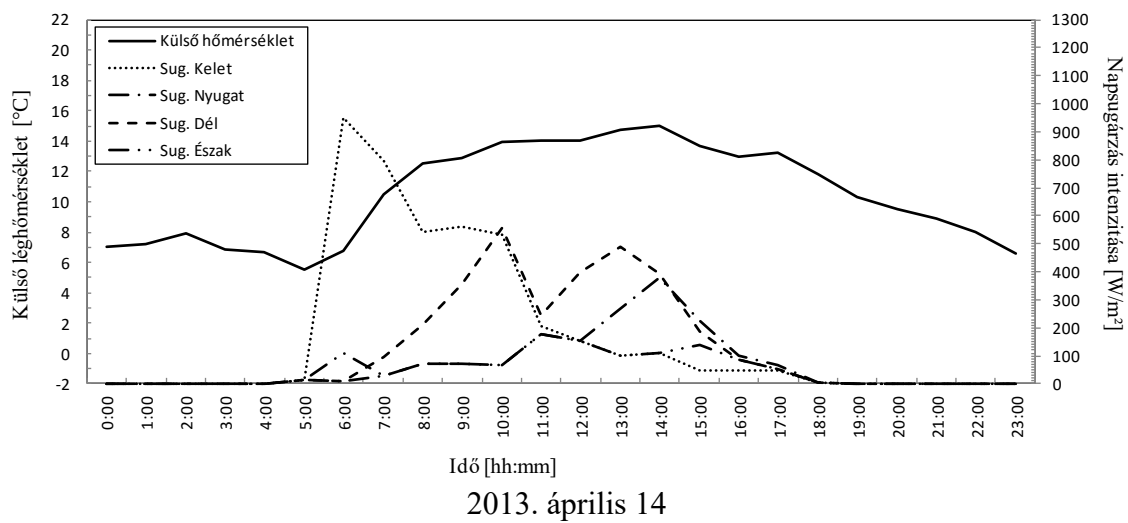


2012. március 22

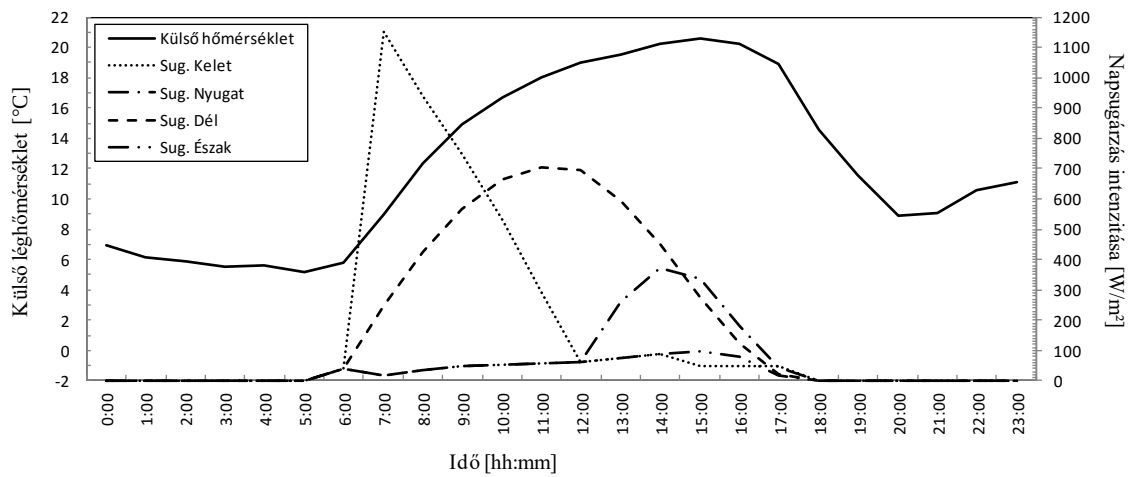


2012. március 23

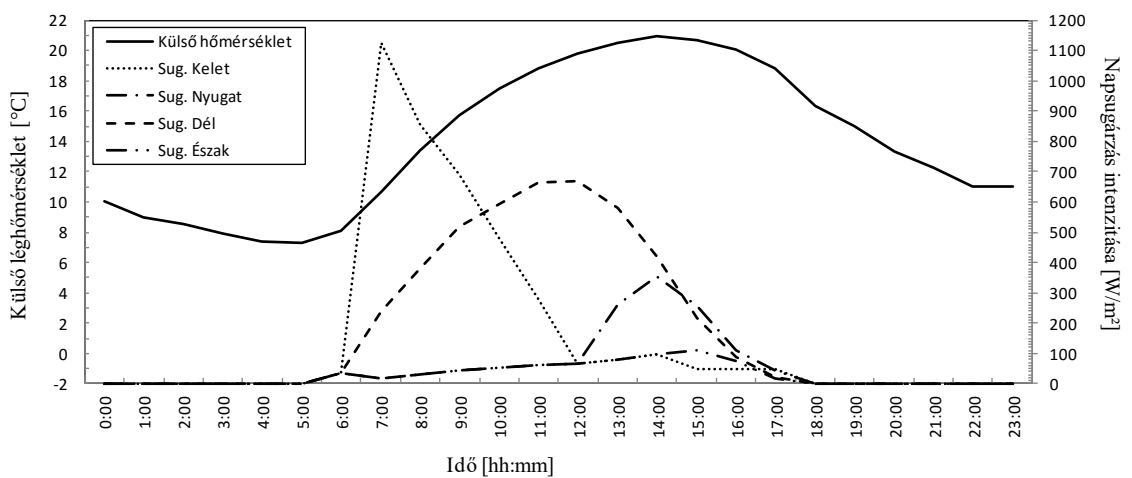
6.4 ábra Külső hőmérséklet és napsugárzás intenzitása a transzparens szerkezet D-i tájolása esetében



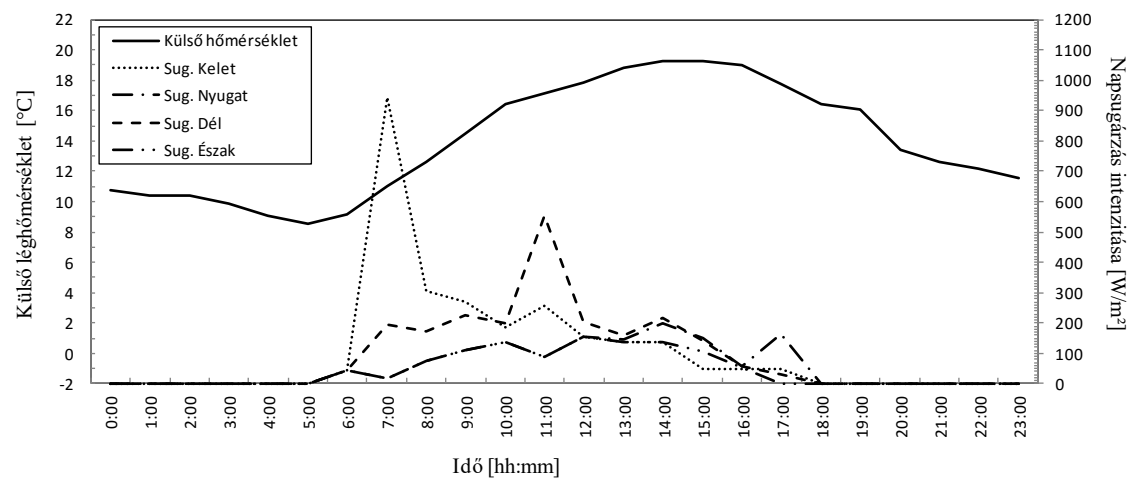
6.5 ábra Külső hőmérséklet és napsugárzás intenzitása a transzparens szerkezet Ny-i tájolása esetében



2014. március 21



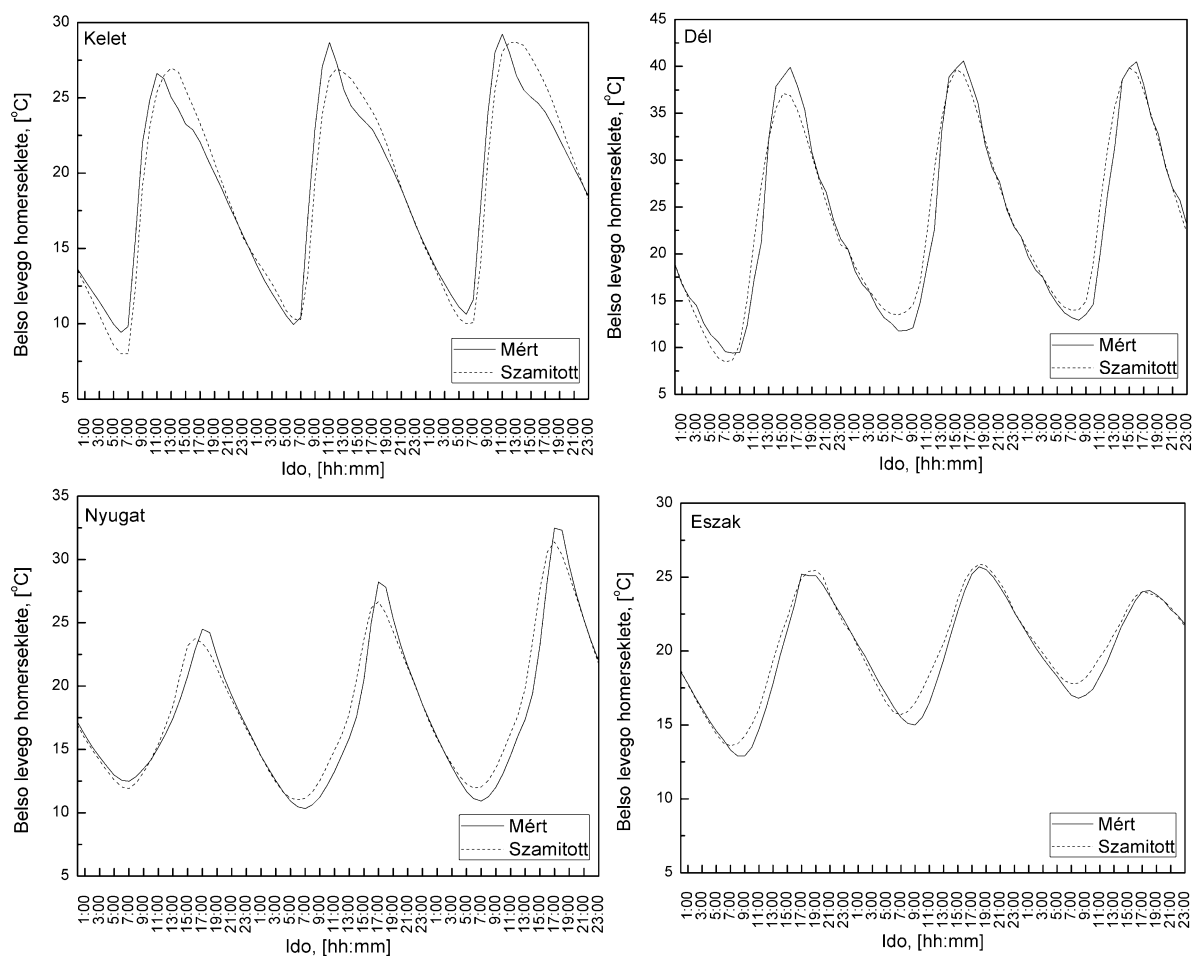
2014. március 22



2014. március 23

6.6 ábra Külső hőmérséklet és napsugárzás intenzitása a transzparens szerkezet É-i tájolása esetében

A mért és az MSZ EN ISO 13790 módszerrel számított hőmérséklet adatokat (figyelembe véve az árnyékolást is) mutatja be a 6.7 ábra.



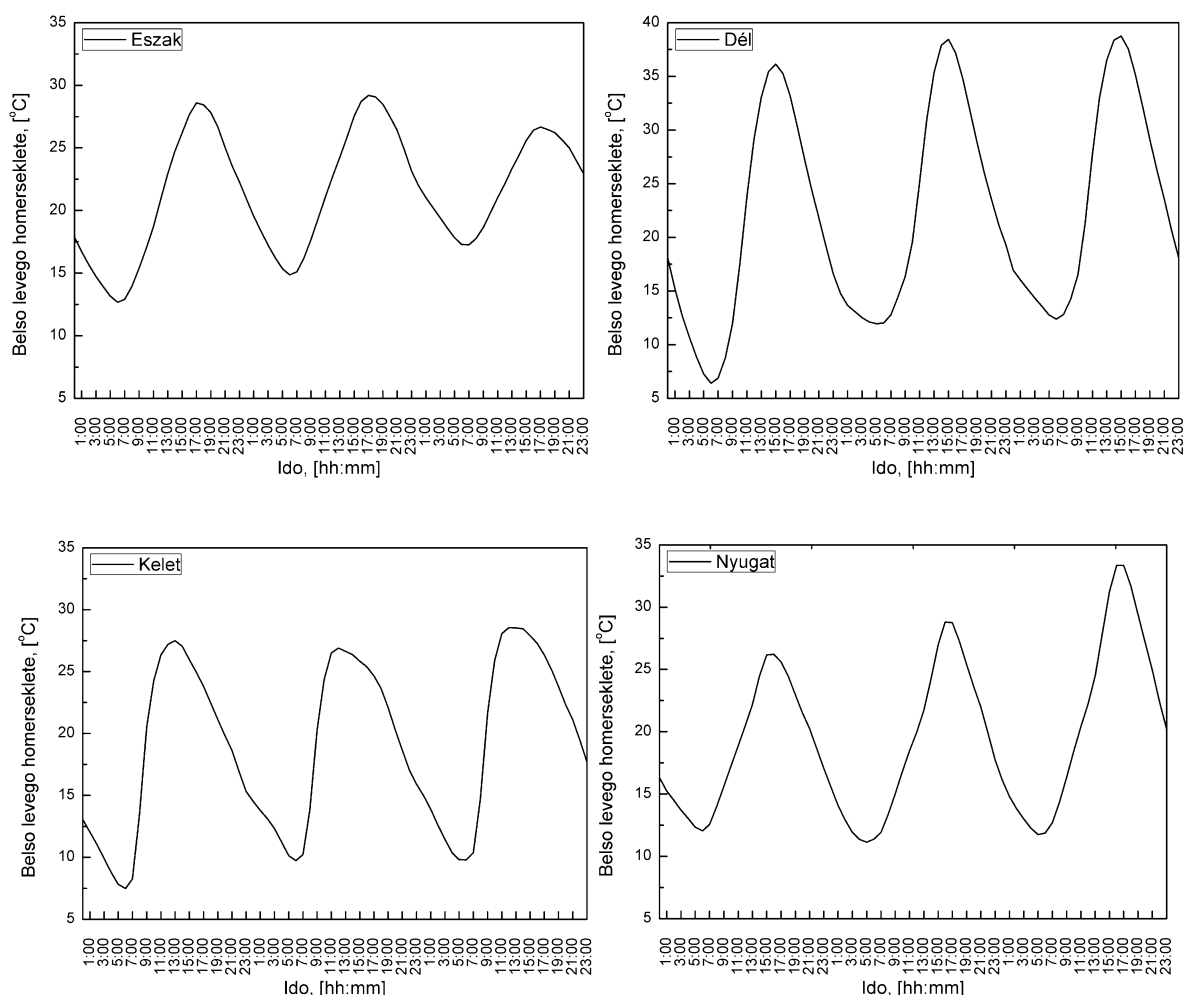
6.7. ábra Mért és számított operatív hőmérsékletek a teszt helyiségben

MSZ EN 15251 szabvány szerint II. komfortkategória esetében téli időszakban (a ruházat hőszigetelő képessége 1 clo) az operatív hőmérséklet előírt minimális értéke $t_{op} \geq 20^\circ\text{C}$.

6.1 táblázat Az operatív hőmérsékletek számított értékei a teszt helyiségben

Tájolás	Dátum	$\bar{t}_e$, [°C]	Sug. hőnyereség, [W]	$\bar{t}_{op}$, [°C]	Idő, [h] ($t_{op} \geq 20^\circ\text{C}$),	Idő, [h] ($t_{op} \geq 26^\circ\text{C}$),
Kelet	2011.03.23.	8,64	97,21	17,86	10:00-19:00	12:00-14:00
	2011.03.24.	9,10	102,83	18,93	9:00-20:00	11:00-14:00
	2011.03.25.	10,30	104,71	20,00	9:00-22:00	11:00-16:00
Dél	2012.03.21.	8,11	138,29	21,83	11:00-23:00	13:00-20:00
	2012.03.22.	11,95	128,6	24,41	11:00-24:00	12:00-21:00
	2012.03.23.	12,35	128,71	25,18	10:30-24:00	12:00-21:00
Nyugat	2013.04.14.	10,44	70,22	17,13	14:00-20:00	-
	2013.04.15.	9,94	81,74	17,39	14:00-22:00	16:00-18:00
	2013.04.16.	12,13	89,75	19,80	13:00-23:00	15:00-20:00
Észak	2014.03.21.	12,34	88,29	19,10	14:00-23:00	-
	2014.03.22.	13,92	70,02	20,66	13:00-24:00	-
	2014.03.23.	13,91	65,56	20,96	12:00-24:00	-

Megállapítható, hogy a vizsgált napokon voltak olyan időszakok is, amikor a teszhelyiségben kialakult operatív hőmérséklet értékek meghaladták az MSZ EN 15251 szabvány által a II. komfortkategóriára előírt követelményértéket (26 °C). Ugyanakkor ezek a hőmérséklet értékek kizárólag a sugárzási hőnyereségek hatására alakultak ki. A gyakorlatban, ha egy helyiségben nem tartózkodnak, akkor az operatív hőmérséklet lecsökkenhet az előírt érték alá, vagy meghaladhatja az előírt értéket is. Ezért a számításokat elvégeztem arra az esetre is, ha van belső hőnyereség is. Azt feltételeztem, hogy a helyiségben egy ember ($F_{Du}=1,8 \text{ m}^2$) tartózkodik 8:00-21:00 óra között 1,2 met tevékenységet végez. 21:00-8:00 óra között pedig 0,7 met értékkel vettem figyelembe a leadott hőt. Ezzel a belső hőnyereséggel kiegészítve a sugárzásos hőnyereségeket, újra meghatároztam a helyiségben az operatív hőmérséklet értékeket (6.8 ábra). Figyelembe kellett venni, hogy a helyiségben tartózkodó ember friss levegő igénye $30 \text{ m}^3/\text{h}$. Az előző méréseknél és számításoknál nem volt figyelembe véve légcseré, mivel a PASSOL labor légtömörségi mérései során 200 Pa belső-külső nyomáskülönbségnél sem jelzett szivárgást a BLOWER DOOR műszer (Csáky, 2015).



6.8 ábra Operatív hőmérséklet értékek a teszt helyiségben) figyelembe véve a belső hőterhelést is

Az új helyzetnek megfelelően újra meghatároztam azokat az időszakokat, amikor a helyiségben a hőmérséklet meghaladja a 20 °C-t (II. komfortkategória elvárása), illetve,

amikor a helyiségben a hőmérséklet meghaladja a 26 °C-t (II. komfortkategória elvárása). Ezeket az adatokat a 6.2 táblázat mutatja be.

6.2 táblázat Operatív hőmérsékletek a teszt helyiségben a belső hőnyereségek figyelembevételével

Tájolás	Dátum	$\bar{t}_{op}$, [°C]	Idő, [h] ($t_{op} \geq 20$ °C),	Idő, [h] ($t_{op} \geq 26$ °C),
Kelet	2011.03.23.	18,29	9:00-20:00	11:00-15:00
	2011.03.24.	19,12	9:00-20:00	11:00-15:00
	2011.03.25.	20,24	9:00-21:00	10:00-17:00
Dél	2012.03.21.	20,77	11:00-21:00	12:00-19:00
	2012.03.22.	22,92	11:00-22:00	12:00-20:00
	2012.03.23.	23,76	10:00-22:00	11:00-20:00
Nyugat	2013.04.14.	18,71	12:00-21:00	15:00-17:00
	2013.04.15.	18,93	13:00-22:00	15:00-19:00
	2013.04.16.	21,19	11:00-23:00	14:00-20:00
Észak	2014.03.21.	20,44	12:00-23:00	15:00-20:00
	2014.03.22.	22,22	11:00-24:00	15:00-21:00
	2014.03.23.	22,22	11:00-24:00	16:00-19:00

Megállapítható, hogy mind a négy tájolás esetében az operatív hőmérséklet napi átlagértéke (D-i és É-i tájolás esetében mindhárom napon, míg K-i és Ny-i tájolás esetében a harmadik napon) elérte az elvárt 20 °C-t.

A továbbiakban 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 (6.9 ábra).

aa

6.9 ábra referencia nap külső hőmérséklete és a napsugárzás intenzitása

A 6.9 ábrában bemutatott értékekre vonatkozó szórások értékeit a 6.3 táblázatban foglaltam össze.

6.3 táblázat A referencia nap hőmérséklet és sugárzás intenzitás szórásai

Külső hőmérséklet, [K]	Sugárzás intenzitása, [W/m ²]			
	D	K	Ny	É
2.81	0.00	0.00	0.00	0.00
2.55	0.00	0.00	0.00	0.00
2.92	0.00	0.00	0.00	0.00
2.89	0.00	0.00	0.00	0.00
3.27	0.00	0.00	0.00	0.00
3.35	9.72	9.72	9.72	9.72

3.20	36.10	569.95	36.10	55.70
2.38	65.21	118.12	13.09	13.09
1.70	93.39	202.74	23.06	23.06
1.74	111.52	145.17	30.24	30.24
2.02	138.06	108.50	36.16	36.16
2.03	142.46	48.20	44.63	44.63
2.11	185.00	50.16	50.16	50.16
2.08	163.77	50.52	70.23	50.52
2.10	140.34	62.10	120.25	62.10
2.18	100.20	0.00	122.11	61.48
2.19	62.20	0.00	87.73	51.20
1.96	18.06	0.00	38.69	20.51
1.84	1.96	1.96	3.67	2.15
2.25	0.00	0.00	0.00	0.00
2.16	0.00	0.00	0.00	0.00
2.25	0.00	0.00	0.00	0.00
2.13	0.00	0.00	0.00	0.00
2.45	0.00	0.00	0.00	0.00

6.4 Számítások az MSZ EN 13790 szabvány alapján

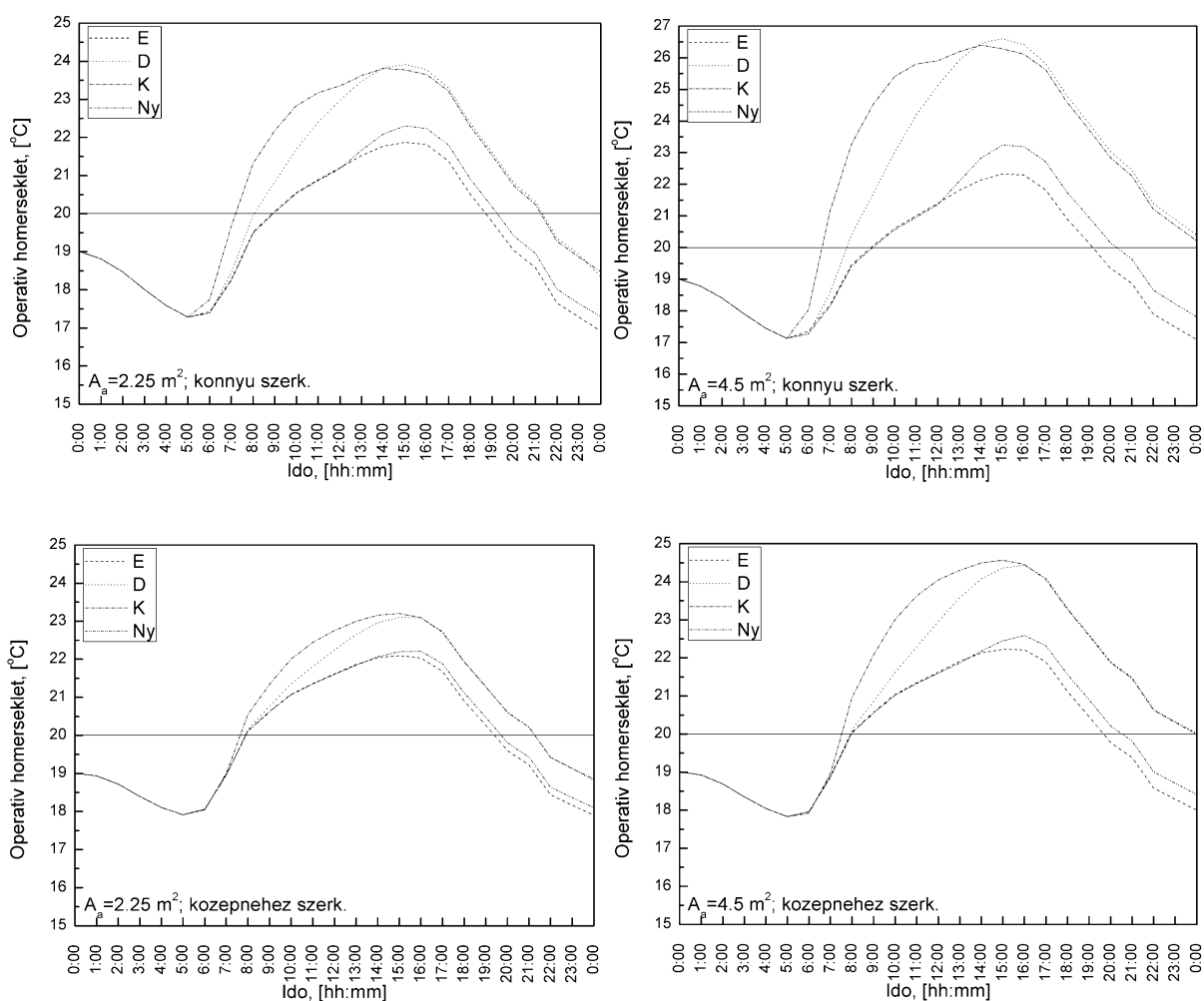
A referencia nap hőmérséklet és sugárzás intenzitás értékeit felhasználva megvizsgáltam hogyan alakul az operatív hőmérséklet egy 5,0×4,0×2,8 m geometriai méretekkel rendelkező, közbelső emeleti helyiségben, mely egy külső falszerkezettel rendelkezik. A számításokat elvégeztem három különböző épületszerkezetet véve figyelembe: tömör téglát, Ytong és könnyűszerkezet (gipszkarton, közetgyapot, OSB lap, polisztirol és külső vakolat). Mindegyik esetben azonos hőátbocsátási tényezőt vettem figyelembe a külső falszerkezetenél ($U_{kfal}=0,24$ W/m²K). A tömör téglát és az Ytong esetében ezt az értéket külső oldali EPS hőszigeteléssel értem el. A külső falszerkezeten egyik feltételezett esetben 150×150 méretekkel rendelkező nyílászáró van elhelyezve. A tokszerkezet a nyílászáró összfelületének 32%-át teszi ki. Másik feltételezett esetben a külső falszerkezeten egy 300×150 méretekkel rendelkező nyílászáró van elhelyezve ($U_a=1,0$ W/m²K). Ebben az esetben a tokszerkezet a nyílászáró összfelületének 24%-át teszi ki. A helyiség összes és alapterületre vetített fajlagos hőtároló tömegét, valamint hőtároló kapacitását és időállandóját a 6.4 táblázat tartalmazza. Látható, hogy a helyiségek hőtároló tömege, hőtároló kapacitása és időállandója között kétszeres a különbség.

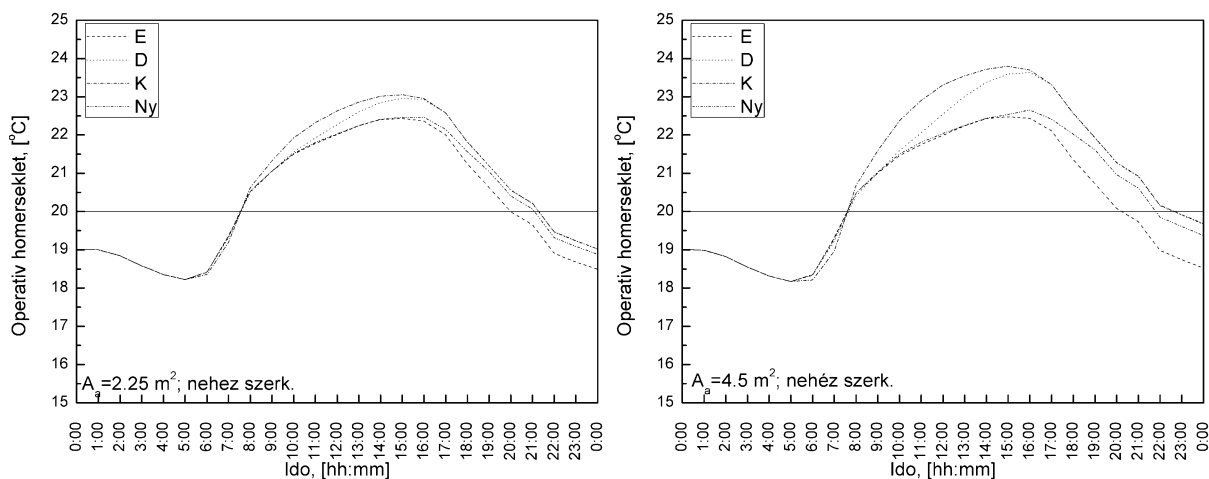
6.4 táblázat A vizsgált helyiség hőtároló tömege, hőtároló kapacitása és időállandója

Ablakméret	Anyag	M , [kg]	m , [kg/m ²]	C , [MJ/K]	T , [h]
$A_a=2,25$ m ²	t. téglát (nehéz szerk.)	15009	750,45	13,162	124,97
	Ytong (középnagy szerk.)	7687	384,36	6,931	65,61
	könnyű szerk.	3815	190,75	3,317	31,24

$A_d=4,50 \text{ m}^2$	t. téгла (nehéz szerk.)	14623	731,17	12,82	113,03
	Ytong (középhehez szerk.)	7505	375,25	6,768	69,5
	könnyű szerk.	3757	187,86	3,271	28,63

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

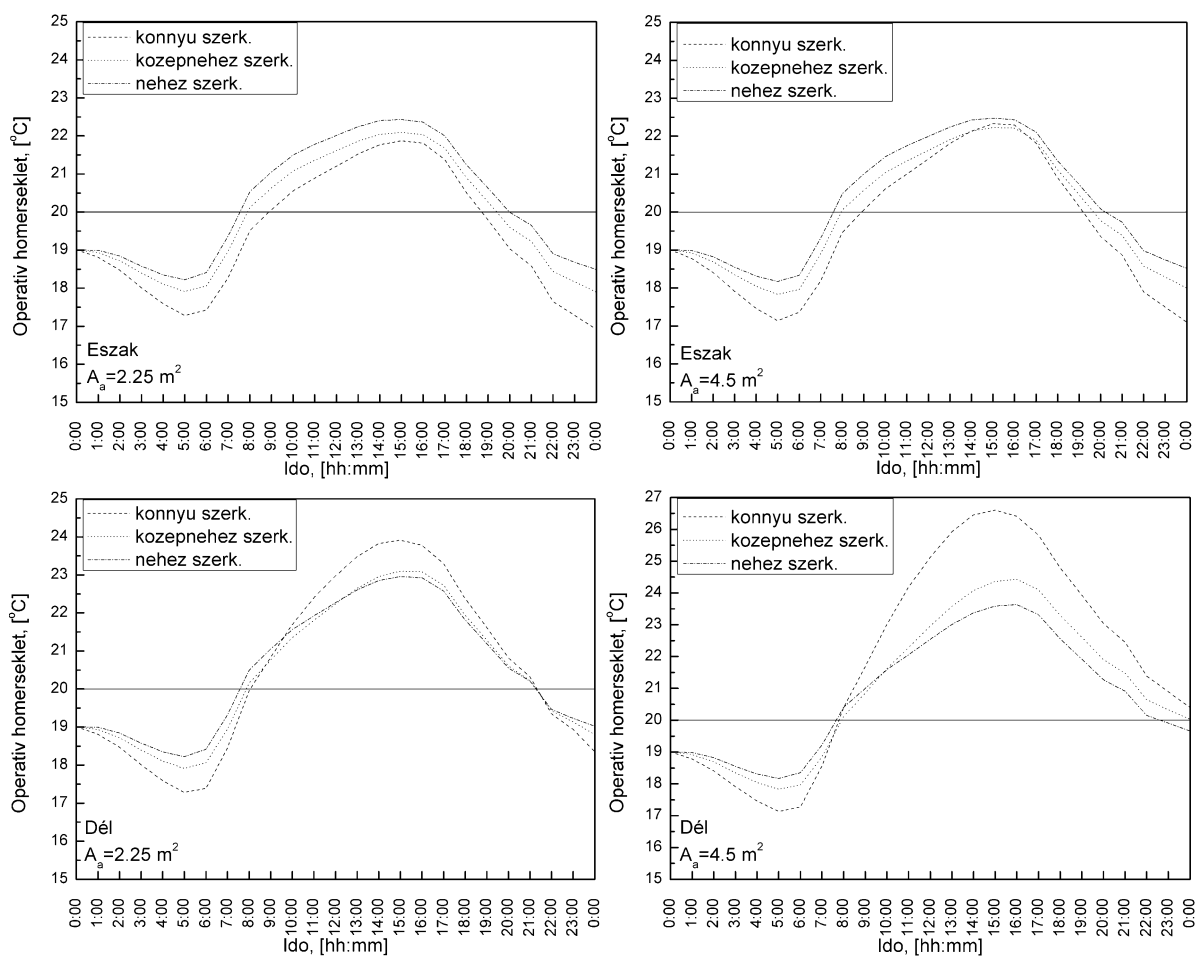


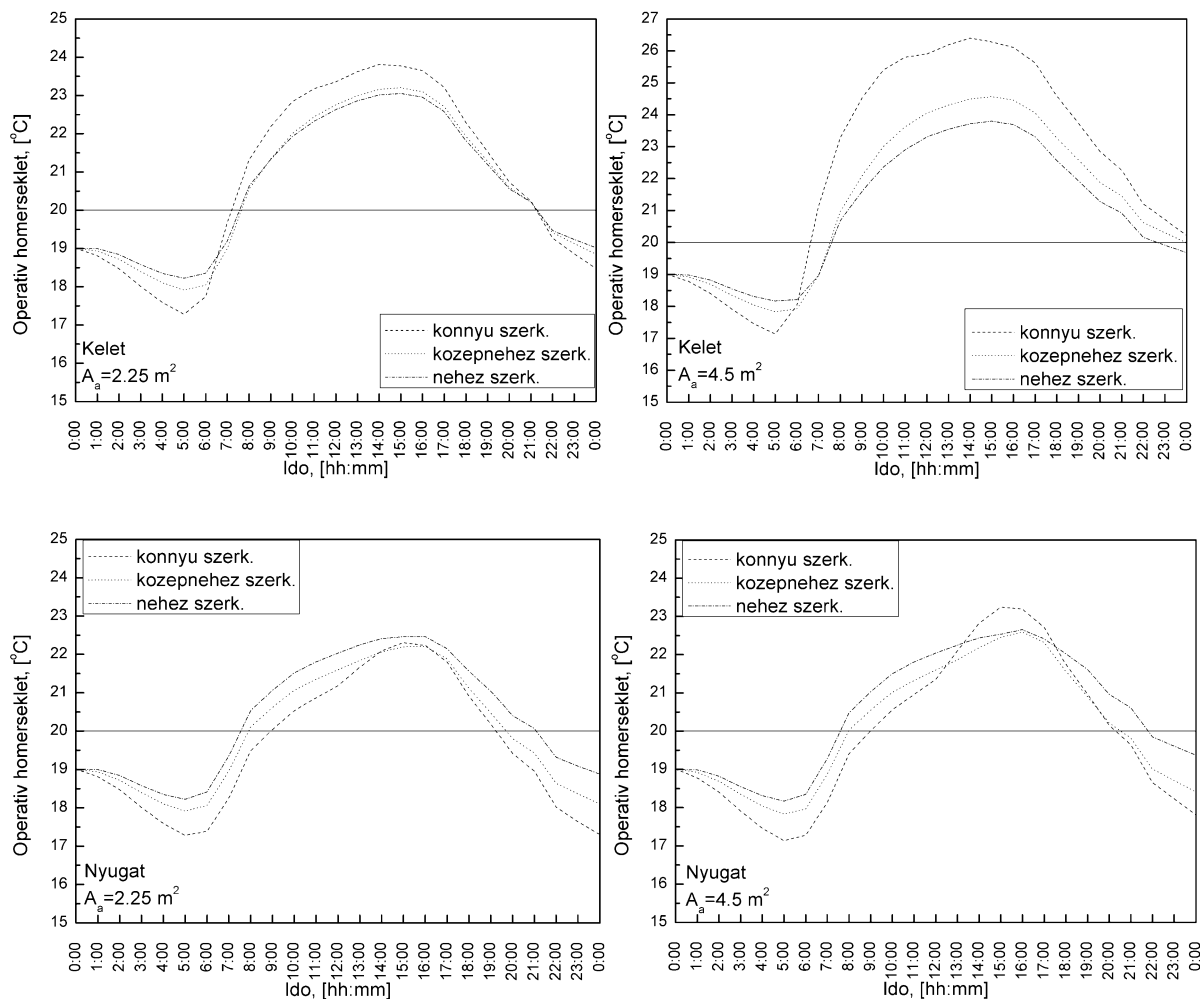


6.10 ábra Operatív hőmérséklet a vizsgált helyiségekben tájolás szerint

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.

A transzparens szerkezet különböző tájolásai mellett külön megvizsgáltam, a hőtároló tömeg hatását az operatív hőmérséklet napi lefutására (6.11 ábra).





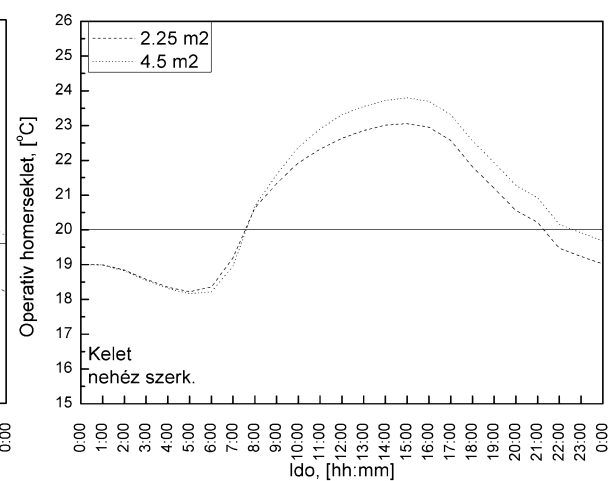
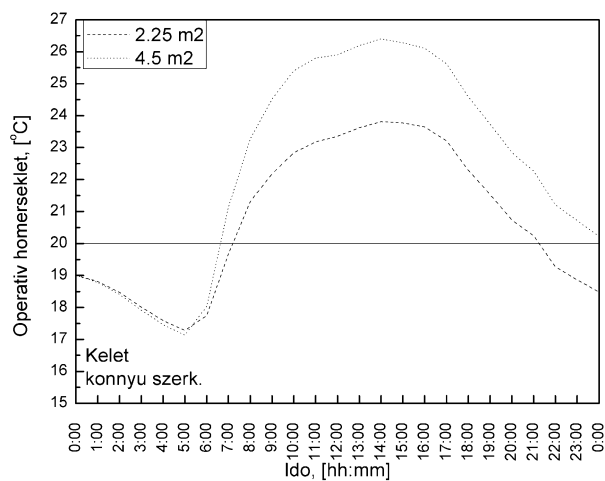
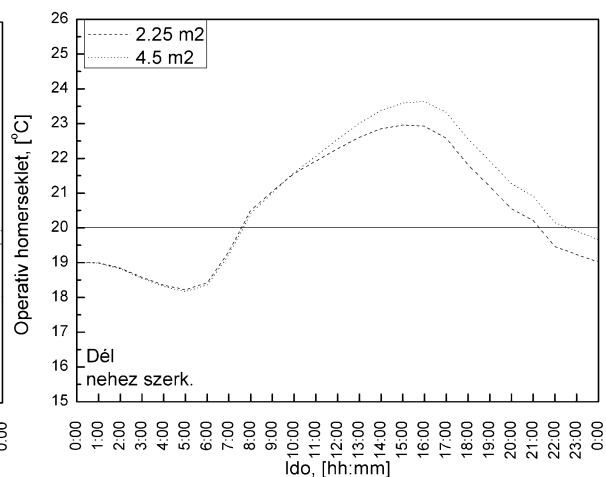
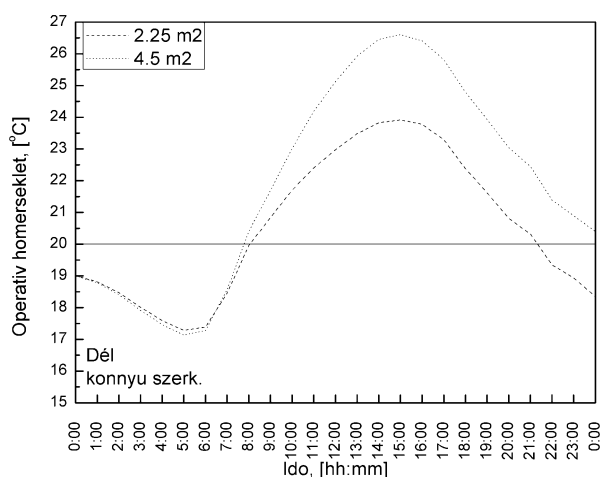
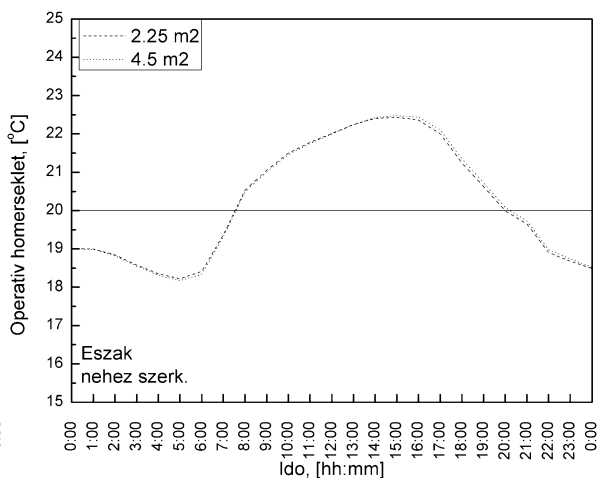
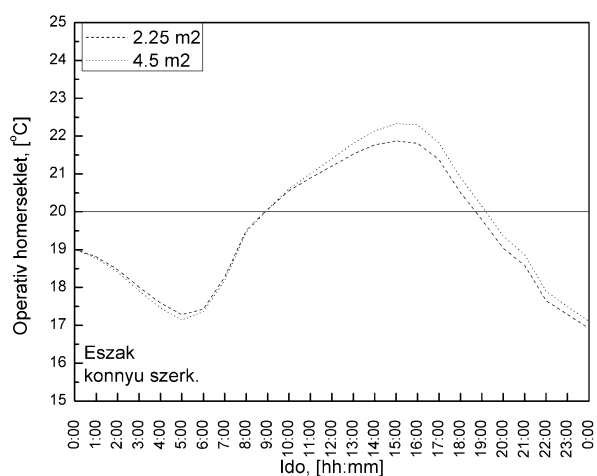
6.11 ábra A hőtároló tömeg hatása az operatív hőmérsékletre

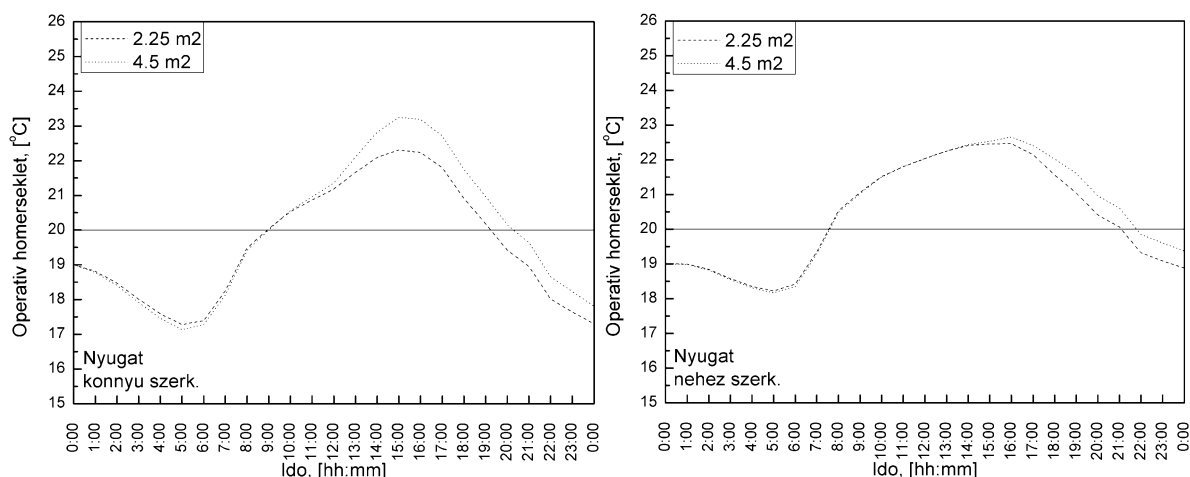
Látható, hogy Északi és Nyugati tájolások mellett az ablakmérettől függetlenül a nagyobb hőtároló tömeg minden esetben hosszabb olyan időszakot eredményez, amelyben az operatív hőmérséklet meghaladja az elvárt 20 °C-t. Ezeknél a tájolásoknál nagyobb ablakméret mellett az operatív hőmérséklet maximum értéke nagyobb a kisebb hőtároló tömeg mellett. Déli és keleti tájolásoknál viszont egyértelműen a nagyobb operatív hőmérsékletek a kisebb hőtároló tömeg mellett alakulnak ki (ablakmérettől függetlenül). Azok az időszakok, melyben az operatív hőmérséklet meghaladja az elvárt 20 °C értéket nagyobbak a kisebb hőtároló tömegek mellett.

A továbbiakban külön megvizsgáltam az ablakméret hatását az operatív hőmérsékletre (6.12 ábra).

Megállapítható, hogy északi tájolás mellett, nehéz szerkezetek esetében az operatív hőmérséklet értékek szinte azonosak a vizsgált két ablakméret esetében. Könnyű szerkezet esetében csekély eltérés jelentkezik az operatív hőmérsékletek között. Nyugati tájolás mellett már nagyobb az ablakméret hatása, de inkább az operatív maximum értékét befolyásolja. Keleti és Déli tájolások mellett, könnyű szerkezet esetében az ablakméret szignifikáns eltérést okoz az operatív hőmérsékletek között. Megállapítható, hogy tájolástól és hőtároló tömegtől függetlenül annak az időszaknak a kezdete, amikor az operatív hőmérséklet meghaladja az

elvárt 20 °C-t. Az időszak, amikor a belső térben az operatív hőmérséklet meghaladja a 20 °C értéket könnyű szerkezet esetében tájolástól és hőtároló tömegtől függetlenül hosszabb.





6.12 ábra Operatív hőmérséklet az ablakméret függvényében

Statisztikai módszerekkel megvizsgáltam, hogy van-e szignifikáns eltérés az operatív hőmérsékletek között, $p=0,05$ empirikus szignifikancia szint mellett, a tájolások, az ablakméret, illetve a hőtároló tömeg függvényében. A nullhipotézis az, hogy a különbség egyenlő vagy kisebb, mint $0,5$ K. Az alternatív hipotézis az, hogy a hőmérsékletkülönbség nagyobb, mint $0,5$ K. A normális eloszlás vizsgálathoz a Kolmogorov-Smirnov módszert használtam, (Sokal és Rohlf, 1969) a hipotézisvizsgálatot pedig ennek alapján a páros t-próbával végeztem.

Mivel a mérési napok meteorológiai adatai alapján a referencia nap sugárzási adatai aszimmetriát mutatnak (K-i tájolás esetében nagyobb hőnyereségek, mint a Ny-i tájolás esetében) szignifikáns eltérés volt várható a K-i, illetve Ny-i és É-i tájolású helyiségekben kialakuló operatív hőmérsékletek között. Kérdés volt azonban, hogy van-e szignifikáns eltérés a K-i és a D-i tájolású helyiségek adatai között. A hipotézisvizsgálat eredményeit a 6.5-6.7 táblázatok tartalmazzák.

6.5 táblázat Szignifikáns eltérés tájolásonként, adott ablakméret és hőtároló tömeg mellett (a referencia napon; szürke szín+I: $p<0,05$)

Ablakméret	Anyag	Tájolás	É	D	K	Ny
$A_a=2,25 \text{ m}^2$	t. tégl (nehéz szerk.)	É	N	N	N	N
		D	N	N	N	N
		K	N	N	N	N
		Ny	N	N	N	N
	Ytong (középnéz szerk.)	É	N	N	I	N
		D	N	N	N	N
		K	I	N	N	N
		Ny	N	N	N	N
	könnyű szerk.	É	N	I	I	N
		D	I	N	N	I
		K	I	N	N	I
		Ny	N	I	I	N

$A_a=4,50 \text{ m}^2$	t. tégl (nehéz szerk.)	É	N	N	I	N
		D	N	N	N	N
		K	I	N	N	N
		Ny	N	N	N	N
	Ytong (középnéz szerk.)	É	N	I	I	N
		D	I	N	N	I
		K	I	N	N	I
		Ny	N	I	I	N
	könnyű szerk.	É	N	I	I	N
		D	I	N	N	I
		K	I	N	N	I
		Ny	N	I	I	N

6.6 táblázat Szignifikáns eltérés különböző hőtároló tömeg esetében, adott ablakméret és tájolás mellett (referencia nap)

Ablakméret	Anyag	Tájolás	N. szerk	KN. szerk	K. szerk
$A_a=2,25 \text{ m}^2$	É	N. szerk	N	N	N
		KN. szerk	N	N	N
		K. szerk	N	N	N
	D	N. szerk	N	N	N
		KN. szerk	N	N	N
		K. szerk	N	N	N
	K	N. szerk	N	N	N
		KN. szerk	N	N	N
		K. szerk	N	N	N
	Ny	N. szerk	N	N	N
		KN. szerk	N	N	N
		K. szerk	N	N	N
$A_a=4,5 \text{ m}^2$	É	N. szerk	N	N	N
		KN. szerk	N	N	N
		K. szerk	N	N	N
	D	N. szerk	N	N	I
		KN. szerk	N	N	N
		K. szerk	I	N	N
	K	N. szerk	N	I	I
		KN. szerk	N	N	N
		K. szerk	I	I	N
	Ny	N. szerk	N	N	N
		KN. szerk	N	N	N
		K. szerk	N	N	N

6.7 táblázat Szignifikáns eltérés különböző ablakméretek esetében, adott tájolás és hőtároló tömeg mellett (referencia nap)

Hőtároló tömeg	Anyag	Tájolás	2,25 m ²	4,5 m ²
Nehéz szerk.	É	2,25 m ²	N	N
		4,5 m ²	N	N
	D	2,25 m ²	N	N
		4,5 m ²	N	N
	K	2,25 m ²	N	N
		4,5 m ²	N	N
	Ny	2,25 m ²	N	N
		4,5 m ²	N	N
Középnéhéz szerk.	É	2,25 m ²	N	N
		4,5 m ²	N	N
	D	2,25 m ²	N	N
		4,5 m ²	N	N
	K	2,25 m ²	N	I
		4,5 m ²	I	N
	Ny	2,25 m ²	N	N
		4,5 m ²	N	N
Könnyű szerk.	É	2,25 m ²	N	N
		4,5 m ²	N	N
	D	2,25 m ²	N	I
		4,5 m ²	I	N
	K	2,25 m ²	N	I
		4,5 m ²	I	N
	Ny	2,25 m ²	N	N
		4,5 m ²	N	N

A könnyű szerkezettel rendelkező helyiségben, 2,25 m² ablakméret mellett, összehasonlítva a K-Ny, K-É, D-Ny, D-É tájolások esetében kialakuló operatív hőmérséklet értékeket, szignifikáns eltérés állapítható meg. Azonos ablakméret mellett, középnehéz szerkezetű helyiségben az operatív hőmérsékletek csak a K-É tájolások összevetésében mutatnak szignifikáns eltérést.

6.5 A hőnyereségek hasznosítási foka

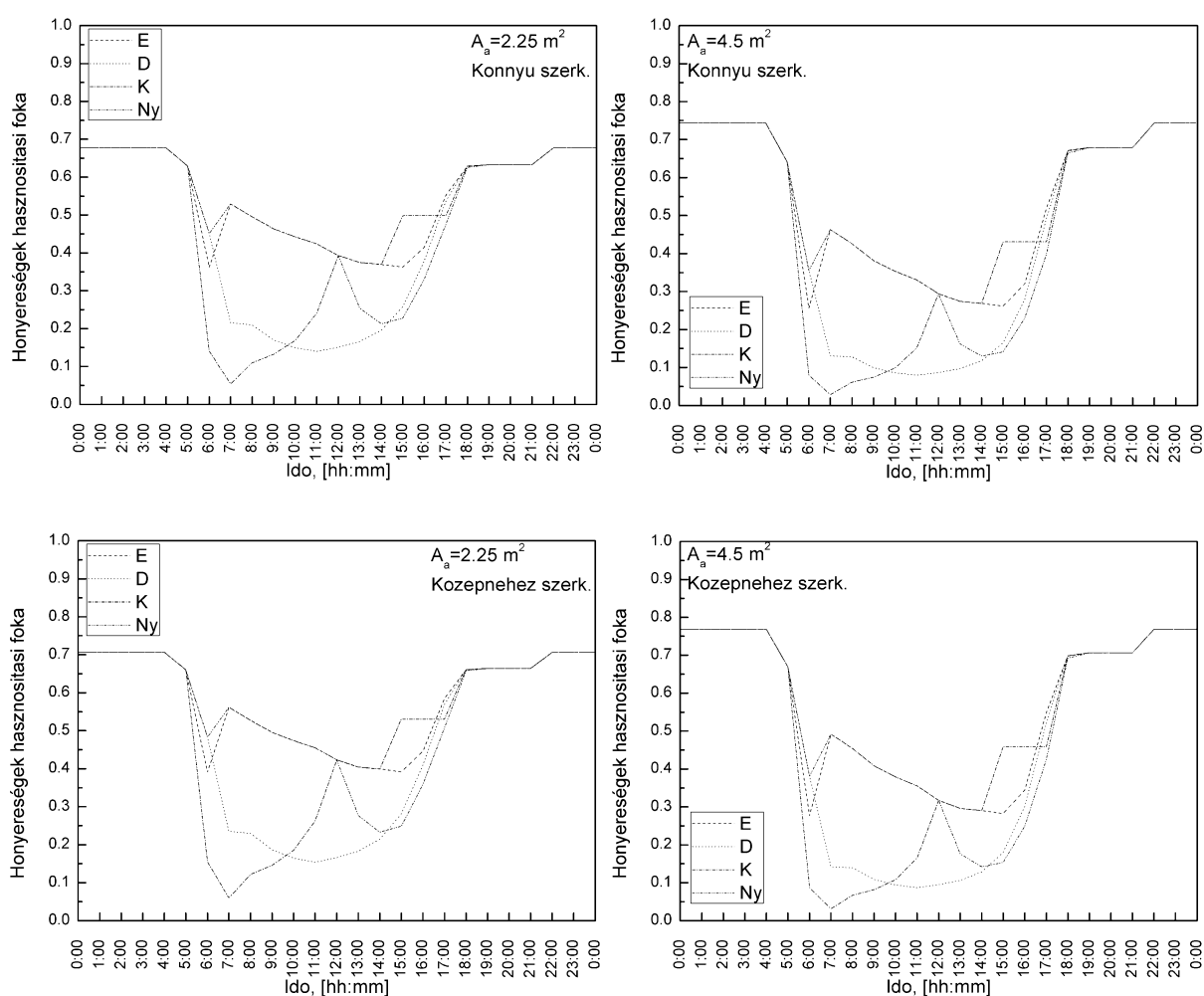
A 2.3 fejezetben került sor a hőnyereségek hasznosítási fokának tárgyalására. A szabványban megadott összefüggések és a Yohanis-Norton összefüggés szerint is a hasznosítási fok a hőnyereségek/hővesztések arányának, illetve a helyiség időállandójának függvényében számítható. Mivel a hőnyereségek függnek a tájolástól és általuk a helyiségben kialakult belső

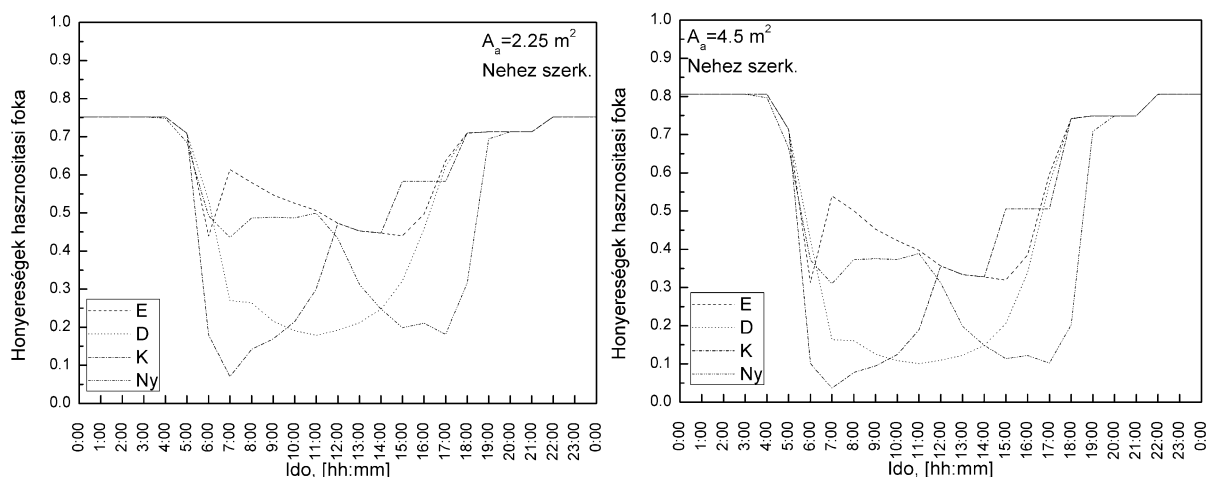
hőmérsékletek is tájolásonként változóak, így a hőveszteségek is tájolásonként eltérőek. Ennek eredményeként a hőnyereségek/hőveszteségek aránya egy adott helyiség esetében is eltérő, sőt óránként változik. Megvizsgáltam hogyan alakul a hőnyereségek hasznosítási foka a 6.4 fejezetben tárgyalt helyiségek esetében (egy adott referencia napra vonatkozóan).

Az eredményeket a tájolások, a hőtároló tömeg és az ablakméret függvényében a 6.13 ábra mutatja be.

Megállapítható, hogy:

- egy adott ablakméret mellett nagyobb hőtároló tömeg esetében nagyobb lesz a hőnyereségek hasznosítási foka;
- azonos hőtároló tömeg mellett a kisebb ablakfelület esetében lesz nagyobb a hőnyereségek hasznosítási foka (a nagyobb sugárzásos hőnyereséget ugyanaz a hőtároló tömeg rosszabbul hasznosítja).





6.13 ábra A hőnyereségek hasznosítási foka (referencia nap – órai értékek)

A hasznosítási fok napi átlagértékeit a 6.5 táblázat tartalmazza. A 2.4 összefüggést felhasználva megállapítottam az egyes helyiségekre vonatkozó fűtési határhőmérsékletet is (6.5 táblázat).

6.5 táblázat A hasznosítási fok napi átlagértékei (referencia nap)

Ablakméret	Anyag	Tájolás	η	t_b , [°C]
$A_a=2,25 \text{ m}^2$	t. tégl (nehéz szerk.)	É	0,629	17,28
		D	0,532	15,42
		K	0,564	15,18
		Ny	0,621	15,96
	Ytong (középnéz szerk.)	É	0,581	17,50
		D	0,489	15,79
		K	0,508	15,56
		Ny	0,560	17,12
	könnyű szerk.	É	0,550	17,65
		D	0,464	16,03
		K	0,482	15,81
		Ny	0,531	17,29
$A_a=4,50 \text{ m}^2$	t. tégl (nehéz szerk.)	É	0,604	16,82
		D	0,509	13,02
		K	0,532	12,56
		Ny	0,508	14,24
	Ytong (középnéz szerk.)	É	0,563	17,05
		D	0,477	13,48
		K	0,498	13,06
		Ny	0,542	16,26
	könnyű szerk.	É	0,538	17,19
		D	0,457	13,78
		K	0,477	13,38
		Ny	0,518	16,45

Látható tehát, hogy 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. Megállapítható, 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.

A fűtési határhőmérséklet ismeretében, felhasználva a 3.1 fejezetben 2008-2012 (5 év) időszakra, Debrecen városra, meghatározott hőfokgyakorisági görbét, integrálással kiszámítottam a vizsgált helyiségekre vonatkozó fűtési hőfokhíd, illetve a fűtési energiaigény értékét (6.6 táblázat). A táblázat alapján megállapítható, hogy adott ablakméret és tájolás mellett a hőfokhíd értéke kisebb lesz, nagyobb hőtároló tömeg mellett. Ugyanakkor, azonos tájolás és hőtároló tömeg mellett a nagyobb ablakméret nagyobb fűtési energiaigényt eredményez.

6.6 táblázat A hőfokhíd és a fűtési energiaigény értékei (referencia nap)

Ablakméret	Anyag	Tájolás	Hőfokhíd [K·nap]	Fűt. energiaigény, [kWh]
$A_a=2,25 \text{ m}^2$	t. tégl (nehéz szerk.)	É	3428,58	2407,43
		D	3326,38	2335,67
		K	3308,72	2323,27
		Ny	3352,68	2354,13
	Ytong (középnéz szerk.)	É	3435,94	2419,70
		D	3348,40	2358,05
		K	3335,30	2348,82
		Ny	3423,43	2410,89
	könnyű szerk.	É	3439,60	2434,85
		D	3359,05	2377,83
		K	3349,23	2370,86
		Ny	3428,61	2427,07
$A_a=4,50 \text{ m}^2$	t. tégl (nehéz szerk.)	É	3409,61	2578,23
		D	3161,58	2390,68
		K	3120,74	2359,79
		Ny	3262,54	2467,02
	Ytong (középnéz szerk.)	É	3420,58	2593,59
		D	3203,14	2428,72
		K	3166,67	2401,07
		Ny	3373,66	2558,01
	könnyű szerk.	É	3425,60	2609,92
		D	3230,02	2460,91
		K	3194,60	2433,93
		Ny	3387,40	2580,82

A táblázat alapján megállapítható, hogy abszolút értékben nincsenek nagy különbségek az egyes energiaigények között. De ezek az értékek csak egy közbenső szinten elhelyezett 4,0×5,0×2,8 m méretekkal rendelkező helyiségre vonatkoznak. Az eltéréseket a 6.7 és 6.8 táblázatok tartalmazzák. Ezeket úgy határoztam meg, hogy egy adott ablakméret esetében, különböző tároló tömeg és tájolás mellett látható az eltérés, a vizsgált állapotot véve viszonyítási alapnak, az összes vizsgált 24 esethez viszonyítva (a táblázat sorai). Látható, hogy a vizsgált esetek vonatkozásában, akár 11%-os eltérés is jelentkezhet a fűtési energiaigények között. A legnagyobb eltérések a nagyobb ablakméret - É-i tájolás és könnyű szerkezet, illetve a kisebb ablakméret - K-i /D-i tájolás és nehéz szerkezet esetei között jelentkeznek.

6.6 Összefoglalás

Méréseket végeztem annak érdekében, hogy megvizsgáljam hogyan alakul a belső léghőmérséklet egy könnyűszerkezetes teszhelyiségben, március-április hónapokban 2011-2014 között. Meghatároztam azokat a három nap terjedelmű időszakokat, amikor az operatív hőmérséklet napi átlagértéke legalább a harmadik napon meghaladta a 20 °C értéket. Megvizsgáltam, hogy az adott napokon hogyan alakul azon órák száma, amikor a helyiséget már hűteni kell, mivel az operatív hőmérséklet értéke meghaladta a 26 °C-t. A mérések alapján meghatároztam egy referencia napra vonatkozó külső hőmérséklet és sugárzás intenzitás órai lefutását. Az MSZ 13790 szabvány által megadott számítási módszert alkalmazva meghatároztam a referencia nap adatai alapján az operatív hőmérséklet változását É, D, K és Ny ablaktájolás mellett, két ablakméret és három hőtároló tömeg esetében. Az előző esetekben kiszámítottam a hőnyereségek hasznosítási fokát (órai átlagok és napi átlag értékek) valamint a fűtési határhőmérsékletet. Egy adott szerkezet és ablakméret esetében a K-i és D-i tájolás esetében jelentkezik a legkisebb fűtési energiaigény.

6.7 táblázat Fűtési energiaigények közötti eltérések, ($A_d=4,5 \text{ m}^2$ adataihoz viszonyítva)

Ablak méret	Szerk. tömeg	Tájolás	könnyű szerk.				középnéhé z szerk.				nehéz szerk.			
			É	D	K	Ny	É	D	K	Ny	É	D	K	Ny
$A_d=4,5 \text{ m}^2$	könnyű szerk.)	É	0.0	-149.0	-176.0	-29.1	-16.3	-181.2	-208.9	-51.9	-31.7	-219.2	-250.1	-142.9
		D	149.0	0.0	-27.0	119.9	132.7	-32.2	-59.8	97.1	117.3	-70.2	-101.1	6.1
		K	176.0	27.0	0.0	146.9	159.7	-5.2	-32.9	124.1	144.3	-43.3	-74.1	33.1
		Ny	29.1	-119.9	-146.9	0.0	12.8	-152.1	-179.8	-22.8	-2.6	-190.1	-221.0	-113.8
	középnéhé z szerk.	É	16.3	-132.7	-159.7	-12.8	0.0	-164.9	-192.5	-35.6	-15.4	-202.9	-233.8	-126.6
		D	181.2	32.2	5.2	152.1	164.9	0.0	-27.7	129.3	149.5	-38.0	-68.9	38.3
		K	208.9	59.8	32.9	179.8	192.5	27.7	0.0	156.9	177.2	-10.4	-41.3	66.0
		Ny	51.9	-97.1	-124.1	22.8	35.6	-129.3	-156.9	0.0	20.2	-167.3	-198.2	-91.0
	nehéz szerk.	É	31.7	-117.3	-144.3	2.6	15.4	-149.5	-177.2	-20.2	0.0	-187.6	-218.4	-111.2
		D	219.2	70.2	43.3	190.1	202.9	38.0	10.4	167.3	187.6	0.0	-30.9	76.3
		K	250.1	101.1	74.1	221.0	233.8	68.9	41.3	198.2	218.4	30.9	0.0	107.2
		Ny	142.9	-6.1	-33.1	113.8	126.6	-38.3	-66.0	91.0	111.2	-76.3	-107.2	0.0
$A_d=2,25 \text{ m}^2$	könnyű szerk.)	É	175.1	26.1	-0.9	146.0	158.7	-6.1	-33.8	123.2	143.4	-44.2	-75.1	32.2
		D	232.1	83.1	56.1	203.0	215.8	50.9	23.2	180.2	200.4	12.8	-18.0	89.2
		K	239.1	90.1	63.1	210.0	222.7	57.9	30.2	187.2	207.4	19.8	-11.1	96.2
		Ny	182.9	33.8	6.9	153.7	166.5	1.6	-26.0	130.9	151.2	-36.4	-67.3	39.9
	középnéhé z szerk.	É	190.2	41.2	14.2	161.1	173.9	9.0	-18.6	138.3	158.5	-29.0	-59.9	47.3
		D	251.9	102.9	75.9	222.8	235.5	70.7	43.0	200.0	220.2	32.6	1.7	109.0
		K	261.1	112.1	85.1	232.0	244.8	79.9	52.2	209.2	229.4	41.9	11.0	118.2
		Ny	199.0	50.0	23.0	169.9	182.7	17.8	-9.8	147.1	167.3	-20.2	-51.1	56.1
	nehéz szerk.	É	202.5	53.5	26.5	173.4	186.2	21.3	-6.4	150.6	170.8	-16.8	-47.6	59.6
		D	274.3	125.2	98.3	245.2	257.9	93.1	65.4	222.3	242.6	55.0	24.1	131.4
		K	286.7	137.6	110.7	257.6	270.3	105.5	77.8	234.7	255.0	67.4	36.5	143.8
		Ny	255.8	106.8	79.8	226.7	239.5	74.6	46.9	203.9	224.1	36.5	5.7	112.9

6.8 táblázat Fűtési energiaigények közötti eltérések, ($A_d=2,25 \text{ m}^2$ adataihoz viszonyítva)

Ablak méret	Szerk. tömeg	Tájolás	könnyű szerk.				középnéz szerk.				nehéz szerk.			
			É	D	K	Ny	É	D	K	Ny	É	D	K	Ny
$A_d=4,5 \text{ m}^2$	könnyű szerk.)	É	-175.1	-232.1	-239.1	-182.9	-190.2	-251.9	-261.1	-199.0	-202.5	-274.3	-286.7	-255.8
		D	-26.1	-83.1	-90.1	-33.8	-41.2	-102.9	-112.1	-50.0	-53.5	-125.2	-137.6	-106.8
		K	0.9	-56.1	-63.1	-6.9	-14.2	-75.9	-85.1	-23.0	-26.5	-98.3	-110.7	-79.8
		Ny	-146.0	-203.0	-210.0	-153.7	-161.1	-222.8	-232.0	-169.9	-173.4	-245.2	-257.6	-226.7
	középnéz szerk.	É	-158.7	-215.8	-222.7	-166.5	-173.9	-235.5	-244.8	-182.7	-186.2	-257.9	-270.3	-239.5
		D	6.1	-50.9	-57.9	-1.6	-9.0	-70.7	-79.9	-17.8	-21.3	-93.1	-105.5	-74.6
		K	33.8	-23.2	-30.2	26.0	18.6	-43.0	-52.2	9.8	6.4	-65.4	-77.8	-46.9
		Ny	-123.2	-180.2	-187.2	-130.9	-138.3	-200.0	-209.2	-147.1	-150.6	-222.3	-234.7	-203.9
	nehéz szerk.	É	-143.4	-200.4	-207.4	-151.2	-158.5	-220.2	-229.4	-167.3	-170.8	-242.6	-255.0	-224.1
		D	44.2	-12.8	-19.8	36.4	29.0	-32.6	-41.9	20.2	16.8	-55.0	-67.4	-36.5
		K	75.1	18.0	11.1	67.3	59.9	-1.7	-11.0	51.1	47.6	-24.1	-36.5	-5.7
		Ny	-32.2	-89.2	-96.2	-39.9	-47.3	-109.0	-118.2	-56.1	-59.6	-131.4	-143.8	-112.9
$A_d=2,25 \text{ m}^2$	könnyű szerk.)	É	0.0	-57.0	-64.0	-7.8	-15.2	-76.8	-86.0	-24.0	-27.4	-99.2	-111.6	-80.7
		D	57.0	0.0	-7.0	49.2	41.9	-19.8	-29.0	33.1	29.6	-42.2	-54.6	-23.7
		K	64.0	7.0	0.0	56.2	48.8	-12.8	-22.0	40.0	36.6	-35.2	-47.6	-16.7
		Ny	7.8	-49.2	-56.2	0.0	-7.4	-69.0	-78.3	-16.2	-19.6	-91.4	-103.8	-72.9
	középnéz szerk.	É	15.2	-41.9	-48.8	7.4	0.0	-61.6	-70.9	-8.8	-12.3	-84.0	-96.4	-65.6
		D	76.8	19.8	12.8	69.0	61.6	0.0	-9.2	52.8	49.4	-22.4	-34.8	-3.9
		K	86.0	29.0	22.0	78.3	70.9	9.2	0.0	62.1	58.6	-13.2	-25.6	5.3
		Ny	24.0	-33.1	-40.0	16.2	8.8	-52.8	-62.1	0.0	-3.5	-75.2	-87.6	-56.8
	nehéz szerk.	É	27.4	-29.6	-36.6	19.6	12.3	-49.4	-58.6	3.5	0.0	-71.8	-84.2	-53.3
		D	99.2	42.2	35.2	91.4	84.0	22.4	13.2	75.2	71.8	0.0	-12.4	18.5
		K	111.6	54.6	47.6	103.8	96.4	34.8	25.6	87.6	84.2	12.4	0.0	30.9
		Ny	80.7	23.7	16.7	72.9	65.6	3.9	-5.3	56.8	53.3	-18.5	-30.9	0.0

7. EREDMÉNYEK

7.1 Új tudományos eredmények

1. Tézis

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

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.

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.

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.

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 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 paraméterei 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.

7.2 A kutatás eredményeinek gyakorlati hasznosítása

A kutatások eredményei elsősorban az épületek fűtési energiaigényének meghatározása során nyújtanak hasznos információkat a tervezők, üzemeltetők és más gyakorlati szakemberek számára. Mivel a fűtés jelentős hányadát teszi ki az épületek energiaigényének, kiemelten fontos a fűtési energiaigény minél pontosabb meghatározása. Ennek jelentősége a támogatással megvalósított felújítások esetében tovább növekszik, hiszen a megtérülési idő lehető legpontosabb meghatározásának ezekben az esetekben akár pénzügyi következményei is lehetnek. A fűtési rendszerek méretezése során, illetve a rendszer elemeinek kiválasztása során kiemelt fontosságú a méretezési külső hőmérséklet, hiszen ez alapján számítjuk ki az épület hőszükségletét.

A tájolás, ablakméret és hőtároló tömeg hatásának kimutatása a fűtési határhőmérsékletre, illetve fűtési energiaigényre szintén hasznos információt nyújt az építés tervezők számára.

7.3 Új kutatási feladatok kijelölése

A jövőben továbbra is a fűtési rendszerek energetikai vizsgálatával szeretnék foglalkozni. Mivel 2020-tól várhatóan jelentősen növekszik majd a közel nulla energiaigényű épületek száma, kiemelt fontosságú kérdésnek tartom az alacsony energiaigényű helyiségek esetében a fűtési rendszer egészének és egyes elemek üzemeltetési paramétereinek a vizsgálatát, a szezonális hatások meghatározását.

8. 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 bocsátotta 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 bocsátott 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 a 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 összevetettem 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 átlagadatokat 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.

9. SUMMARY

In Hungary, heating represents an important proportion of the total energy use of a building. Accordingly, both when planning new buildings and refurbishing existing ones, special attention must be paid to measuring heating systems and choosing their constituent elements as carefully as possible. This is important, and because one of the widely used calculation methods for assessing heating energy demand is the heating degree day (HDD) method, during my work I have particularly focused on establishing the frequency distribution of temperature curves, and HDD values in Hungary. To do this, of course, it is necessary to establish the base internal temperature, as well as the external daily average temperature. I have carried out a literature survey on the establishment of the base temperature and balance point temperature. 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 calculating the balance point temperature, besides the heat gain utilisation and the heat loss factors, the efficiency of the heat gain factor plays a very important role. I have analysed the relationships of the heat gain efficiency factor used in the international literature, and on the basis of the results obtained I have decided to use the Yohanis-Norton equation in my calculus.

I have performed a long-term analysis of the heating degree day (HDD) for Debrecen, using the hourly results for external average temperature measured at the University of Debrecen's Agro-Meteorology Station between 1964 and 2012. Using the results, I have examined the development of the frequency distribution curve over the last 50 years, and also the HDD values. With reference to the city of Debrecen, I have examined what effect the city heat island might have on the HDD and the resulting demands for heat energy.

The CarpathClim database contains the daily minimum and maximum values, which allow us to establish the daily average temperature. I compared these with the data from the University of Debrecen's Agro-Meteorology Station and found there is a 3.37% difference in the HDD values between the two databases over a 30 year period. Using the external temperature data from the CarpathClim database, I determined the HDD values for 25 settlements in Hungary, and compared them with data calculated by Macskásy for HDD for the period 1901-1930. In the framework of a case study, I examined three settlements, and – based on the geometrical and heat data of a typical family house – investigated what difference appears in the estimated natural gas consumption for heating, if the HDD values I have calculated are taken into account.

The thermal storage mass and time constant play a significant role in the fluctuation of internal temperature. Accordingly, I examined what was the widest range of building materials used in Hungary over the last few decades, and taking account of the heat technical requirements, what would be the time constant values for a space with average geometrical parameters. The results obtained have proven that there are some differences between the energy demand for heating calculated using the degree day (HDD) curve for the years 1900-1930, and the energy demand calculated using the degree day curve for the years 1964-2012. Furthermore, for precise calculations, the heat island effects should be taken into account, otherwise the payback time for the refurbishment of a building can vary up to 22% from the expected value. According to our research, we argue for a calculation of heating demand of a

building based on a variable degree day value. This can be extrapolated for future decades and continuously adjusted, based on the meteorological data measurements available. 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 the energy demand for heating.

It was shown that differences of up to 10% can be registered throughout the country, taking as a reference point 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 central heating systems in Hungary were analysed. It was proven that, in the 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 closer to the real heat demand of buildings. The reduction in the investment cost is higher in the case of large buildings than in single family houses. The cost differences depend on the new values of the outdoor design temperatures and represent values of between 4 and 10% for the cases analysed. The higher outdoor design temperature will lead to higher seasonal efficiency in the 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: for traditional boilers the increase can reach 0.6%, while for condensing boilers the decrease can reach 1.2%. The energy saving gained by intermittent heating is lower with higher outdoor design temperatures values and depends on the time constant of the room/building, as well as on its utilization time.

In the PASSOL laboratory of the University of Debrecen a series of measurements were carried out in the years 2011-2014 (from March to April) in order to see the variation in the indoor air temperature. The main goal was to analyse 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 day when the operative temperatures in the test room exceed 20 °C, and 26 °C. Based on the meteorological data (dry air temperature and solar radiation) of the 12 days analysed (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 efficiency factor have been determined. Using the degree day curve of the years 2008-2012, the heating energy demands of the analysed rooms (24 instances) were determined. I have performed the calculations for another 24 cases ($U_w=1.3 \text{ W/m}^2\text{K}$) and no significant differences were found in comparison with the previous cases ($U_w=1.0 \text{ W/m}^2\text{K}$). I have established that the differences between the heating energy demands can reach up to 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 a northern orientation of the glazed area, the lowest thermal mass and the greatest window area. At a given window area and thermal mass, the lowest energy demand for heating was obtained for a southern and eastern orientation of the glazed area. At a given window size and orientation of the window, a lower energy demand for heating is obtained at a higher thermal mass.

10. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatásokat a TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0041 számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Köszönöm a Debreceni Agro-Meteorológiai Állomásnak (Kismacs), hogy a doktori értekezéshez a rendelkezésemre bocsátották a 1964 – 2012 évek külső órai átlag hőmérséklet valamint a 2011-2014 évek globál sugárzás órai átlag adatait.

Köszönettel tartozom a CarpathClim adatbázis megalkotóinak is, hiszen ezáltal hozzáfértem a Magyarország területén mért napi átlaghőmérséklet adatokhoz.

Felhasznált szakirodalom

- Nemzeti Energiastratégia 2030, Nemzeti Fejlesztési Minisztérium, 2012.
- Nemzeti Épületenergetikai Stratégia, Nemzeti Fejlesztési Minisztérium, 2015.
- Az Európai Parlament és a Tanács 2010/31/EU Irányelve (2010. május 19.) az épületek energiahatékonyságáról.
- Az Európai Parlament és a Tanács 2012/27/EU Irányelve (2012. október 25.) az energiahatékonyságról, a 2009/125/EK és a 2010/30/EU irányelv módosításáról, valamint a 2004/8/EK és a 2006/32/EK irányelv hatályaon kívül helyezéséről
- 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról
- A belügyminiszter 40/2012. (VIII. 13.) BM rendelete az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról szóló 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet módosításáról
- A belügyminiszter 20/2014. (III. 7.) BM rendelete az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról szóló 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet módosításáról
- ASHRAE Handbook –Fundamentals, (2009), Atlanta, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- CIBSE (TM41:2006), Degree-days: theory and application.
- R.W. Amstalden, M. Kost, C. Nathani, D.M. Imboden, Economic potential of energy-efficient retrofitting in the Swiss residential building sector: The effects of policy instruments and energy price expectations, *Energy Policy*, 35 (2007): 1819–1829.
- Baumann M., Csoknyai T., Kalmár F., Magyar Z., Majoros A., Osztrólczy M., Szalay Zs., Zöld A., *Épületenergetika*, Pécs, 2009.
- A. Bolattürk, Optimum insulation thicknesses for building walls with respect to cooling and heating degree-hours in the warmest zone of Turkey, *Building and Environment*, 43 (2008): 1055–1064.
- Hüsamettin Bulut, Orhan Büyükalaca, Tuncay Yilmaz, New outdoor heating design data for Turkey, *Energy*, 28 (2003) 1133–1150.
- O. Büyükalaca, H. Bulut, T. Yilmaz, Analysis of variable-base heating and cooling degree-days for Turkey, *Applied Energy*, 69 (2001): 269–283.
- Csáky I., *Épületek nyári hőterhelésének energetikai vizsgálata*, Doktori disszertáció, Debreceni Egyetem, Földtudományi Doktori Iskola, 2015.
- Csoknyai I., Csoknyai T., A fokozott hőszigetelésű épületek fűtési határhőmérsékletének és hőfokhídjának alakulása a tényleges fogyasztási adatok alapján, *Magyar Épületgépészet* LXII, 2013, 10, p. 9.
- Csoknyai I., Csoknyai T., A HMV hő és vízfogyasztás vizsgálata panelépületeknél, *Magyar Épületgépészet* LXIII, 6, 2014a, p. 19.
- Csoknyai I., Csoknyai T., A határhőmérséklet feletti hőfogyasztás vizsgálata, *Magyar Épületgépészet* LXIII, 12, 2014b, p. 22.
- G. Dall'O', A. Galante, G. Pasetti, A methodology for evaluating the potential energy savings of retrofitting residential building stocks, *Sustainable Cities and Society* 4 (2012): 12– 21.
- E.G. Dascalaki, K.G. Droutsas, C.A. Balaras, S. Kontoyiannidis, Building typologies as a tool for assessing the energy performance of residential buildings – A case study for the Hellenic building stock, *Energy and Buildings* 43 (2011): 3400–3409.

- Day A R and Karayiannis T G (1998) 'Degree-days: comparison of calculation methods' Build. Serv. Eng. Res. Technol. 19(1) 7–13
- Day A.R., Karayiannis, T.G. (1999), Identification of the uncertainties in degree-day-based energy estimates, Build. Serv. Eng. Res. Technol. 20(4) 165–172
- Day A.R., Knight I., Dunn G. Gaddas R, Improved methods for evaluating base temperature for use in building energy performance lines, Building Serv. Eng. Res. Technol. 24,4 (2003) pp. 221–228
- A. Durmayaz, M. Kadioglu, Z. Sen, An application of the degree-hours method to estimate the residential heating energy requirement and fuel consumption in Istanbul, Energy, 25 (2000): 1245–1256.
- D.R. Easterling, G.A. Meehl, C. Parmesan, S.A. Changnon, T.R. Karl, L.O. Mearns, Climate Extremes: Observations, Modeling, and Impacts, Science, 289 (2000), 2068-2074.
- M.W. Ellis, E.H. Mathews, Needs and trends in building and HVAC system design tools, Building and Environment 37 (2002) 461 – 470.
- M.W. Ellis, E.H. Mathews, A new simplified thermal design tool for architects, Building and Environment 36 (2001) 1009–1021.
- Fekete, I. (szerk.) Épületfizika Kézikönyv, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1985.
- Th. Frank. Climate change impacts on building heating and cooling energy demand in Switzerland, Energy and Buildings, 37 (2005): 1175–1185.
- F. Gugliemetti, F. Bisegna, Meteorological days for HVAC system design in Mediterranean climate, Building and Environment 38 (2003) 1063 – 1074.
- Jiang He, Akira Hoyano, Takashi Asawa, A numerical simulation tool for predicting the impact of outdoor thermal environment on building energy performance, Applied Energy 86 (2009) 1596–1605.
- Shuichi Hokoi, Mamoru Matsumoto, Statistical Time Series Models of Solar Radiation and Outdoor Temperature -- Identification of Seasonal Models by Kalman Filter, Energy and Buildings, 15 - 16 (1990/91) 373 – 383.
- Tianzhen Hong, Yi Jiang, Stochastic Weather Model for Building HVAC Systems, Building and Environment, Vol. 30, No. 4. pp. 521-532, 1995.
- Janneman, Th., Arbeitsgemeinschaft für Sparsamen und Umweltfreundlichen Energieverbrauch, Vulkan Verlag, 1996.
- Yi Jiang, Tianzhen Hong, Stochastic Analysis of Building Thermal Processes, Building and Environment, Vol. 28, No. 4, pp. 509-518, 1993.
- Kalmár, F. (2002), Energy analysis of building thermal insulation, In: Proceedings of the 11th Symposium for Building Physics, Dresden, Germany, pp.103-112.
- Kalmár F. Épületfizika, Debreceni Egyetem, MFK, 2003.
- Kalmár F., (2004), Központi fűtési rendszerek illesztése felújított épületek megváltozott energetikai igényeihez, Doktori értekezés, BME, 2004.
- M. Kolokotroni, M. Davies, B. Croxford, S. Bhuiyan, A. Mavrogianni, A validated methodology for the prediction of heating and cooling energy demand for buildings within the Urban Heat Island: Case-study of London, Solar Energy, 84 (2010): 2246–2255.
- Joseph C. Lam, Sam C.M. Hui, Outdoor design conditions for HVAC system design and energy estimation for buildings in Hong Kong, Energy and Buildings 22 (1995) 25-43.

- Joseph C. Lam, C.L. Tsang, L. Yang, Danny H.W. Li, Weather data analysis and design implications for different climatic zones in China, *Building and Environment* 40 (2005) 277–296.
- Joseph C. Lam, C.L. Tsang, Danny H.W. Li, Long term ambient temperature analysis and energy use implications in Hong Kong, *Energy Conversion and Management* 45 (2004) 315–327.
- Joseph C. Lam, Kevin K.W. Wan, C.L. Tsang, Liu Yang, Building energy efficiency in different climates, *Energy Conversion and Management* 49 (2008) 2354–2366.
- J. Luterbacher, D. Dietrich, E. Xoplaki, M. Grosjean, H. Wanner European Seasonal and Annual Temperature Variability, Trends, and Extremes Since 1500, vol. 303 *Science*, pp. 1499–1503.
- Macskásy Á. Központi fűtőberendezésekkel kapcsolatos előtanulmányok, Tankönyvkiadó, Budapest, 1952.
- A. Matzarakis, Ch. Balafoutis, Heating degree-days over Greece as an index of energy consumption, *Int. J. Climatol.*, 24 (2004): 1817–1828.
- Menyhárt J. (szerk.) Az épületgépészet kézikönyve, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1978.
- A. Moberg, D. M. Sonechkin, K. Holmgren, N. M. Datsenko, W. Karlén, Highly variable Northern Hemisphere temperatures reconstructed from low- and high-resolution proxy data, *NATURE*, 433, pp. 613–617.
- M. Olonscheck, A. Holsten, J.P. Kropp, Heating and cooling energy demand and related emissions of the German residential building stock under climate change, *Energy Policy*, 39 (2011): 4795–4806.
- M. Ozel, Thermal performance and optimum insulation thickness of building walls with different structure materials, *Applied Thermal Engineering*, 31 (2011): 3854–3863.
- M. Ozel, Cost analysis for optimum thicknesses and environmental impacts of different insulation materials, *Energy and Buildings*, 49 (2012): 552–559.
- K. Papakostas, N. Kyriakis, Heating and cooling degree-hours for Athens and Thessaloniki, Greece, *Renewable Energy*, 30 (2005): 1873–1880.
- A. Pfeiffer, M. Koschenz, A. Wokaun, Energy and building technology for the 2000 W society—Potential of residential buildings in Switzerland, *Energy and Buildings*, 37 (2005): 1158–1174.
- R.G. Quayle, H.F. Diaz, Heating degree day data applied to residential energy consumption, *Journal of Applied Meteorology*, 19 (1980): 241–246.
- J. Räisänen, U. Hansson, A. Ullerstig, R. Döscher, L. P. Graham, C. Jones, H. E. M. Meier, P. Samuelsson U. Willén, European climate in the late twenty-first century: regional simulations with two driving global models and two forcing scenarios, *Climate Dynamics* (2004) 22: 13–31.
- P. G. Rousseau, E. H. Mathews, Needs and Trends in Integrated Building and HVAC Thermal Design Tools, *Building and Environment*, 28 (4), 1993, pp. 439–452.
- G, Saros. A model for planning energy requirements for residential heating, *Energy Economics*, (1984), 202–207.
- Z. Sen, M. Kadioglu, Heating degree–days for arid regions, *Energy*, 23 (1998): 1089–1094.
- R.R., Sokal, F.J., Rohlf., Introduction to Biostatistics. W.H. Freeman and Company, 2nd edition, New York, (1969): 363 p.

- Szalai, S., Auer, I., Hiebl, J., Milkovich, J., Radim, T. Stepanek, P., Zahradnicek, P., Bihari, Z., Lakatos, M., Szentimrey, T., Limanowka, D., Kilar, P., Cheval, S., Deak, Gy., Mihic, D., Antolovic, I., Mihajlovic, V., Nejedlik, P., Stastny, P., Mikulova, K., Nabyvanets, I., Skyryk, O., Krakovskaya, S., Vogt, J., Antofie, T., Spinoni, J., (2013), Climate of the Greater Carpathian Region. Final Technical Report. www.carpatclim-eu.org.
- S. Szegedi, A. Kircsi, The Development of the Urban Heat Island under Various Weather Conditions in Debrecen, Hungary – in Klysik. K., T.R. Oke, K. Fortuniak, C.S.B. Grimmond, J. Wibig (ed.) Proceed. ICUC-5, Lodz, Poland, (2003), vol 1 pp.139-142.
- K.E. Torrance, J.S.W. Shum, Time-varying energy consumption as a factor in urban climate, *Atmospheric Environment*, 10 (1976): 329-337.
- Liu Yang, Kevin K.W. Wan, Danny H.W. Li, Joseph C. Lam, A new method to develop typical weather years in different climates for building energy use studies, *Energy* 36 (2011) 6121-6129.
- Liu Yang, Joseph C. Lam, Jiaping Liu, C.L. Tsang, Building energy simulation using multi-years and typical meteorological years in different climates, *Energy Conversion and Management* 49 (2008) 113–124.
- Yohanis Y.G., Norton B., Utilization factor for building solar-heat gain for use in a simplified energy model, *Applied Energy* 63 (1999) 227-239.
- Zöld A. Energiatudatos építészet, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1999.



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 tudománymetriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2016.06.14.





Registry number:
Subject:

DEENK/148/2016.PL
Ph.D. List of Publications

Candidate: Zoltán Verbai

Neptun ID: K48Z6W

Doctoral School: Doctoral School of Earth Sciences

MTMT ID: 10035595

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





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

