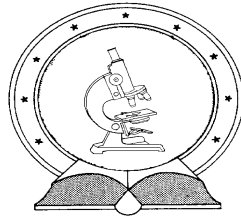


DE TTK



1949

ÉPÜLETEK NYÁRI HŐTERHELÉSÉNEK ENERGETIKAI VIZSGÁLATA

Egyetemi doktori (PhD) értekezés

a szerző neve: Csáky Imre

témavezető neve: Dr. Kalmár Ferenc

DEBRECENI EGYETEM
Természettudományi Doktori Tanács
Földtudományi Doktori Iskola
Debrecen, 2015.

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, 2015.04.07

*Csáky Imre
a jelölt aláírása*

Tanúsítom, hogy Csáky Imre doktorjelölt 2010 - 2015 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, 2015.04.07

*Dr. Kalmár Ferenc
a témavezető aláírása*

ÉPÜLETEK NYÁRI HŐTERHELÉSÉNEK ENERGETIKAI VIZSGÁLATA

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

Írta: Csáky Imre okleveles gépészmérnök

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:	Dr. Bánhidi László
	Dr. Puhl Antal

A doktori szigorlat időpontja: 2014. szeptember 30.

Az értekezés bírálói:

.....
.....

A bírálóbizottság:

elnök:	Dr.
tagok:	Dr.
	Dr.
	Dr.
	Dr.

Az értekezés védésének időpontja: 2015.

Tartalomjegyzék

1. BEVEZETÉS	8
2. IRODALMI ELŐZMÉNYEK	11
2.1 A NAPSUGÁRZÁS ADEKVÁT JELLEMZŐI.....	11
2.2 NAPGEOMETRIA.....	13
2.3 VÍZSZINTES FELÜLETRE ÉRKEZŐ DIFFÚZ ÉS DIREKT SUGÁRZÁS ÓRAI ÉRTÉKEI	16
2.4 KOMFORT ÉS HŰTÉSI ENERGIAIGÉNY	16
3. A KUTATÁSI MUNKA VÁLASZTOTT MÓDSZEREI ÉS ESZKÖZEI	17
4. VIZSGÁLATOK AZ ÉPÜLETEK NYÁRI HŐTERHELÉSÉNEK KOMFORTRA GYAKOROLT HATÁSÁVAL ÉS ENERGETIKAI ÖSSZEFÜGGÉSEIVEL KAPCSOLATOSAN	20
4.1 ÉPÜLETEK BELSŐ LÉGHŐMÉRSÉKLETE ÉS LÉGTÖMÖRSÉGE	20
4.1.1 A nyári túlmelegedés kockázatának meghatározása.....	22
4.1.2 Mért léghőmérséklet értékek oktatási épületben (2010)	23
4.1.3 Mért léghőmérséklet értékek oktatási épületben (2011).....	27
4.1.4 Mért léghőmérséklet értékek egy lakóépületben	31
4.1.5 Légtömörség mérések	33
4.1.6 Szén-dioxid koncentráció mérése a belső légtérben	37
4.1.7 A komfort vizsgálatok megállapításai	39
4.2 A NAPSUGÁRZÁS ÉS A KÜLSŐ LÉGHŐMÉRSÉKLET ELEMZÉSE	40
4.2.1 Az R_b tényező	43
4.2.2 Függőleges felületekre érkező teljes sugárzás	45
4.2.2.1 Az év legnagyobb globál sugárzási energiahozamával rendelkező hónapjai. 45	
4.2.2.2 Hőfokgyakoriság	47
4.2.2.3 Függőleges felületekre érkező direkt és diffúz sugárzás	49
4.2.3 A számítás menete	53
4.2.4 A sugárzási vizsgálatok főbb megállapításai	59
4.3 PASSOL LABORATÓRIUMBAN VÉGZETT LÉGHŐMÉRSÉKLET MÉRÉSEK.....	60
4.3.1 A belső hőmérséklet várható alakulásának szimulációs vizsgálata	60
4.3.2 A belső léghőmérséklet meghatározása méréssel és számítással.....	63
4.3.2.1 Számítások a Yam-Li-Zheng módszer alapján.....	63
4.3.2.2 Számítások az MSZ EN ISO 13790 módszer alapján	65
4.3.2.3 Teszt helyiség transzparens szerkezet, hőtároló tömeg és szellőzés nélkül ...	67
4.3.2.4 Teszt helyiség transzparens szerkezettel hőtároló tömeg és szellőzés nélkül	68
4.3.2.5 Teszt helyiség transzparens szerkezettel, hőtároló tömeggel és szellőzés nélkül	70
4.3.2.6 Teszt helyiség transzparens szerkezettel, hőtároló tömeggel és szellőzéssel.	71
4.3.2.7 Teszt helyiség transzparens szerkezettel, hőtároló tömeg nélkül és szellőzéssel	72
4.3.3 Energetikai számítások az MSZ EN ISO 13790 szabvány alapján	74
4.3.4 A laborban végzett vizsgálatok eredményei	78

4.4	TRANSPARENS FELÜLETEK, KOMFORT ÉS HŰTÉSI ENERGIAIGÉNY	78
4.4.1	Mérések a PASSOL laboratóriumban.....	78
4.4.2	Mérések az Épületfizika Laboratóriumban	84
4.4.3	Sugárzásos hőterhelés, hőtároló tömeg és operatív hőmérséklet.....	87
4.4.4	Szimmetrikus és aszimmetrikus napok	98
4.4.5	A vizsgálatok főbb következtetései.....	100
5.	EREDMÉNYEK	101
5.1	ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK	101
5.2	A KUTATÁS EREDMÉNYEINEK GYAKORLATI HASZNOSÍTÁSA.....	104
5.3	ÚJ KUTATÁSI FELADATOK KIJELÖLÉSE.....	105
6.	ÖSSZEFOGLALÁS	106
7.	SUMMARY	107
	FELHASZNÁLT IRODALOM	108
	PUBLIKÁCIÓS LISTA	113
	KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....	120

Alkalmazott jelölések listája

ε - hasznosítási tényező	[-]
A – felület	[m ²]
g – az üvegezés összesített sugárzásátbocsátó képessége	[-]
I – a napsugárzás intenzitása	[W/m ²]
$\Delta t_{bnyár}$ - belső és külső hőmérséklet napi középértékeinek különbsége nyári feltételek között	[K]
$Q_{sdnyár}$ – a direkt sugárzási hőnyereség vagy hőterhelés	[W]
U – hőátbocsátási tényező	[W/(m ² K)]
l - csatlakozási élek hossza	[m]
Ψ_1 – a padló kerületére vonatkozó vonalmenti hőátbocsátási tényező	[W/(mK)]
0,35- konstans	[-]
$n_{nyár}$ – légcserezszám nyáron	[h ⁻¹]
V - a fűtött térfogat	[m ³]
q_b – belső hőnyereségek	[W/m ²]
$Q_{hű}$ – a nettó hűtési energiaigény	[kWh/a]
$e_{hű}$ – a gépi hűtésre használt energiahordozó primer energia átalakítási tényezője	[-]
$SEER$ – a hűtőgép szezonális átlagos teljesítménytényezője	[-]
ε - a hűtőrendszer hőmérsékletlépcsőjéből adódó érezhető és totál hűtőteltjesítmény aránya	[-]
$n_{hű}$ – a hűtési napok száma	[-]
t_{em} – a hűtési határhőmérséklet	[°C]
t_{il} - az elvárt belső léghőmérséklet	[°C]
G_{SC} – napállandó	[W/m ²]
k_T – homályossági tényező	
I_{GH} – globál sugárzás	[W/m ²]
I_{difH} – vízszintes felületre érkező diffúz sugárzás	[W/m ²]
I_{difV} – függőleges felületre érkező diffúz sugárzás	[W/m ²]
I_{dirH} – vízszintes felületre érkező direkt sugárzás	[W/m ²]
$I_{dirD}, I_{dirK}, I_{dirNy}, I_{dirÉ}$ – függőleges felületre érkező direkt sugárzás tájolásonként	[Wh/m ² nap]
R_b – a dőlt és a vízszintes felületet ért sugárzás és a direktsugárzás aránya	[-]
ω - óraszög	[°]
θ - a beesési szög	[°]
φ - a földrajzi szélesség	[°]
n – az év napjainak a sorszáma	[-]
γ - a felület azimut szöge	[°]
δ - deklinációs szög	[°]
ψ - azimut (a napsugárzás irányának vízszintes vetülete és az északi irány által bezárt szög)	[°]
β - felület dőlés szöge a vízszintes síkhoz viszonyítva	[°]
θ_z - zenit (a napsugárzás iránya és a függőleges által bezárt szög)	[°]
α - altitud	[°]

ρ_a - a levegő sűrűsége	[kg/m ³];
c_{ap} - a levegő állandó nyomáson mért fajhője	[J/kgK]
q_v - a szellőző levegő térfogatárama	[m ³ /s]
θ_i - a belső levegő hőmérséklete	[K]
h_M - konvektív hőátadási tényező a hőtároló tömeg felülete és a levegő között	[W/m ² K]
A_M - a hőtároló tömeg levegővel érintkező effektív felülete	[m ²]
T_M - a hőtároló tömeg hőmérséklete	[K]
E - az összes hőteljesítmény	[W]
M - hőtároló tömeg	[kg]
c_M - az alkalmazott hőtároló anyag fajhője	[J/kgK]
t - idő	[h]
\tilde{T}_0 - a vizsgált nap külső átlaghőmérséklete	[K]
T_E - az állandó teljesítményű hőforrás miatti belső léghőmérséklet növekedés	[K]
$\Delta\tilde{T}_0$ - a külső hőmérséklet ingadozás amplitúdója	[K]
τ - a helyiség időállandója	[h]
ω - a külső hőmérséklet változásának periodicitása	[h ⁻¹]
ε - a belső és külső hőmérsékletingadozások közötti fáziskésés	[-]
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	[-]
j - a helyiséget levegővel ellátó légbefúvó sorszám	[-]
$\Phi_{HC,nd}$ - a hűtési energiaigény	[W]
Φ_{int} - a belső hőnyereségek teljesítménye	[W]
θ_e - a külső léghőmérséklet	[°C], [K]
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]
C_m - helyiség hőkapacitása	[J/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]
θ_{op} - operatív hőmérséklet	[°C]
A_f - a helyiség nettó alapterülete	[m ²]
$\theta_{air,10}$ - a helyiségben kialakuló léghőmérséklet 10 W/m ² hőterhelés mellett	[°C]
$\theta_{air,0}$ - a helyiségben kialakuló léghőmérséklet a valós hőterhelés mellett (hűtés nélkül)	[°C]

1. BEVEZETÉS

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

Az elmúlt években az európai országokban nőtt a légkondicionáló rendszerek száma. Ez a csúcsterhelési időszakokban jelentős problémákat okoz, növelve a villamosenergia-költségeket és felborítva az energiaegyensúlyt ezekben az országokban, (Az Európai Parlament és a Tanács 2010/31/EU Irányelve az épületek energiahatékonyságáról). Elsőbbséget kell biztosítani azoknak a stratégiáknak, amelyek a nyári időszakban fokozzák az épületek hőszabályozó teljesítményét. E célból előtérbe kell helyezni a túlmelegedést megelőző intézkedéseket, például az árnyékolást és az épületszerkezet szükséges hőkapacitásának biztosítását, valamint a passzív – elsősorban a beltéri klimatikus körülményeket és az épület körüli mikroklímát javító – hűtési technológiák további fejlesztését és alkalmazását, (Az Európai Parlament és a Tanács 2010/31/EU Irányelve az épületek energiahatékonyságáról).

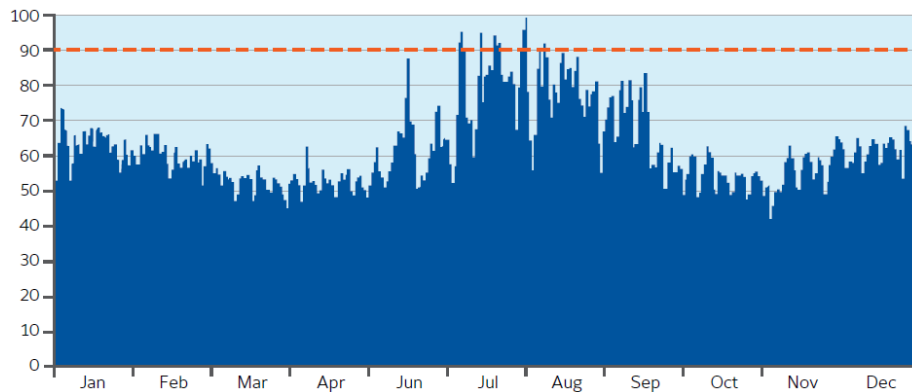
A magas hőmérséklet és a hosszantartó szárazság miatt 2003 nyarán az európai villamosenergia-ellátás nehéz helyzetbe került. A fő okok a következők voltak:

- váratlanul nagymértékű nyári terhelés a ventilátorok és légkondicionáló berendezések üzemeltetése miatt,
- a hőerőművek teljesítménye a magas hűtővíz-hőmérséklet és az előre betervezett karbantartási munkák miatt csökkent,
- a tavaszi és nyári szárazság miatt csökkent a vízerőművek teljesítménye.

Mindez nehéz helyzetet idézett elő: a terhelés nőtt, miközben a rendelkezésre álló teljesítmény korlátozott volt. Európában és Németországban is az egyensúly fennmaradását az elosztóhálózat feszültségének csökkentésével érték el. A hálózat névleges feszültségének 3%-os csökkentése kb. 3%-os terheléscsökkenést eredményezett, így Németországban az áramellátás biztosítható volt. Olaszországban azonban átmeneti áramszünetek voltak, mivel kicsik a belső kapacitások és az ellátás erősen függ az áramimporttól, az európai piacon meglévő szabad kapacitásoktól. Az olaszországi helyzetet több körzetben a meddő teljesítmény hiánya is súlyosbította, (Schultz, 2005).

A Johnson-Controls a villamosenergia-ellátó hálózat szabályozásának különböző lehetőségeit vizsgálta, azzal a céllal, hogy az év folyamán 50%-100% között ingadozó energiaigényeket (1. ábra) biztonságosan ki lehessen elégíteni, (Managan, 2014).

A villamosenergia-ellátó rendszer nyári túlterhelésével kapcsolatban Reedy 1990-ben publikálta azt a tanulmányát, melyben javaslatot tesz az épületek hőtároló tömegének intelligens alkalmazására annak érdekében, hogy minimalizálja a légkondicionáló berendezések energiaigényét, (Reedy et al., 1991).



1.1. ábra Villamosenergia hálózat terhelésének százalékos alakulása egy évben, (Reddy et al., 1991)

A villamosenergia hálózat nyári időszakokban történő túlterhelése mellett figyelembe kell venni azt a tényt, hogy a felhasznált villamosenergia előállítása nagyrészt fosszilis energiahordozók felhasználásával történik. Az utóbbi években csökkentek a fosszilis energiahordozó készletek kimerülésével kapcsolatos aggodalmak. A technológiák fejlődésével elérhetővé vált a palagáz, ami több országban nagy mennyiségben áll rendelkezésre, de kutatások folynak a gázhidrát kitermelésével kapcsolatosan is.

A BND (Bundesnachrichtendienst) tanulmánya szerint a konfliktushelyzetek kialakulásának veszélyét a jövőben nemcsak az növelheti, hogy a feltörekvő térségek energiaigénye egyre növekszik, hanem az is, hogy az új, nem hagyományos technológiák alkalmazásával kitermelhetővé tett olaj- és gázkészletek késleltetik az átállást a megújuló energiaforrásokra. A tanulmány az egyik legnagyobb biztonsági kihívásnak a klímakárosító gázok tárolásának megoldását nevezi meg. Az már ma is látható, hogy a légkör szén-dioxid-tartalma már 2040 előtt át fogja lépni a 0,045 térfogatszázalék (450 ppm) arányt, (Internet-1).

Az IEA nemzetközi energia ügynökség World Energy Outlook című tanulmányában a 0,045 térfogatszázalékot jelölte meg a szén-dioxid kritikus határértékeként, amelynél a globális felmelegedés mértéke még nem lépi át a 2 °C-t. A határérték tartásához az IEA szerint legfeljebb még 1110 milliárd tonna szén-dioxidot lehet a légkörbe bocsátani. A manapság ismert készletek elégetésével a szén 1700 milliárd tonna szén-dioxidot, az olaj több mint 600 milliárd tonnát, a földgáz pedig 400 milliárd tonnát juttatna a légkörbe. Az összes ismert, de a mai technológiával még nem kitermelhető fosszilis energiahordozó elégetése viszont 40 ezer milliárd tonna szén-dioxidot juttatna a légkörbe, (Internet-1).

Magyarországon az ellátásbiztonság növelésének leghatékonyabb és legeredményesebb, rövid távon is megvalósítható módja a fogyasztás csökkentése, az energiatakarékosság és az energiahatékonyság prioritásként való kezelése, (Nemzeti Fejlesztési Minisztérium: Nemzeti Energiastratégia 2030). Ebbe az irányvonalba illeszkedik a 7/2006 TNM Rendeletben rögzített követelmények 40/2012 BM Rendelettel, valamint 20/2014 BM Rendelettel történő módosítása is, (7/2006 TNM Rendelet; 40/2012 BM Rendelet; 20/2014 BM Rendelet). Viszont a rendeletekben az épületszerkezetekkel szemben meghatározott követelményértékek szigorítása elsősorban az épület hőveszteségeinek csökkentését eredményezik. Mivel a gyakorlat azt mutatja, hogy az újonnan megtervezett épületeknél nagy üvegezett felületeket alkalmaznak feltételezhető, hogy a hűtési igény egyre nagyobb arányban jelenik meg az épület energiamérlegében.

Az épületek hűtése természetesen megoldható megújuló energiaforrások alkalmazásával is. Ezek között említhetőek az abszorpciós és adszorpciós rendszerek.

Az abszorpciós rendszer alapja egy elnyelő és egy elnyelődő (abszorbens) anyag, amelyek legtöbbször víz és lítium-bromid (esetleg ammónia). Működés közben a víz alacsony nyomása miatt képes elnyelni a lítium-bromidot. A folyamat során nagy mennyiségű hasznosítható hő szabadul fel. Az elegyet egy abszorber szivattyú a generátorba továbbítja, ahol a nyomás és a bevezetett hő hatására az abszorber elpárolog. Kondenzátorban a lítium-bromid ismét cseppfolyóssá válik külső hűtés hatására. A nagy nyomású kondenzátorból fojtószelepen át a kis nyomású elpárologtatóba áramlik az abszorber cseppfolyós része, a nyomáscsökkenés hatására azonban gázhalmazállapotúvá válik, és így ismét hőt tud elvonni a hűtőfolyadékból. Az abszorpciós hűtőgép működéséhez hőforrás szükséges. Ez lehet hulladékhő, de lehet geotermikus energia vagy napkollektoros rendszerrel előállított hőenergia. Ahhoz, hogy a jelenlegi abszorpciós hűtőgépek teljesítménytényezője nagyobb legyen 1-nél, legalább 100 °C hőmérséklettel rendelkező hőforrásra van szükségünk. Ipari létesítményekben, az alkalmazott technológia függvényében előfordulhat ilyen hőmérsékletű hulladékhő. Hasonló a helyzet kórházakban és szállodákban, ahol általában gőzfejlesztő gépek állnak rendelkezésre. Lakó- és középületek esetében, nyári időszakban, nem jellemző a nagy hőmérsékletű hulladékhő, viszont a napkollektoros rendszerek által előállított magas hőmérsékletű közeg alkalmas lenne az abszorpciós hűtésre.

Ha egy településen rendelkezésre áll megfelelő hőmérsékletű termálvíz, akkor nyári időszakban a hő egy része hasznosítható lehet abszorpciós hűtőgépek üzemeltetésére. Mivel a geotermikus rendszerek esetében az energetikai célú hasznosítás jellemzően fűtési célú (Csáky-Kalmár, 2011), a hűtési célra történő hasznosítás nagymértékben növelné az ilyen típusú rendszerek éves kihasználtsági fokát. A termálvíz hőmérséklete, összetétele, és a Magyarországon számos geotermikus rendszer esetében előforduló vízkőkiválás ezen rendszerek gazdaságosságát nagymértékben csökkenti, (Csáky-Kalmár, 2011).

Az adszorpciós hűtő hűtőközege víz, az adszorbens pedig szilikagél. A párologtató részleg a hűtőközeg egyik párologtató kamrában történő elpárologtatásával állítja elő a hűtött vizet. A gép 3°C alatti hűtött víz előállítására is képes miközben a melegvíz hőmérséklete 50°C és 90°C között van. A forróvíz regenerálja a másik adszorpciós kamrában lévő szilika gélét. A szilika gélből felszálló vízpára lecsapódik a kondenzáló részlegben, amelynek hűtéséről a hűtőtoronyból jövő hűtővíz gondoskodik. Az adszorpciós hűtőgépek egyik előnye az, hogy a hűtőközeg víz, nem freon, Li-Br vagy ammónia. Ez azt jelenti, hogy nincs szükség vegyi tesztekre, nem kell veszélyes szivárgástól vagy korróziótól tartani, és nincs szükség a károsodott alkatrészek cseréjére.

Úgy az abszorpciós, mint az adszorpciós gépek segítségével a kogenerációs rendszerekből (dízelmotor, benzinmotor, gázturbina vagy üzemanyag cella) származó hulladékhő hasznosításával, trigenerációt érünk el.

Ezeknek a rendszereknek az elterjedéséhez fontos feltétel az igényekhez igazodó követelmények, az épület hőterhelésének, a hűtési teljesítményigénynek minél pontosabb ismerete.

Az épületek hűtésének energiaigényének csökkentése érdekében foglalmaztam meg a kutatási munkám célkitűzését: a nyári hőterhelését vizsgálata az épület-homlokzat tájolásának, valamint az alkalmazott építőanyagok és a légcsereszám függvényében. A munkámhoz elkészítettem egy

olyan laboratóriumot, mely alkalmas a sugárzás, a hőtároló tömeg, a légcsereszám és a belső hőmérséklet kapcsolatának vizsgálatára a négy fő égtáj esetében.

A vizsgálatok fő célkitűzései:

- a vízszintes és a függőleges felületekre érkező diffúz sugárzás, valamint a vízszintes és a négy fő égtáj felé tájolt függőleges felületekre érkező direkt sugárzás értékeinek meghatározása;
- órai bontásban éves szinten meghatározni az R_b értékeit;
- mérési adatok alapján megvizsgálni a hőfokgyakoróság alakulását a nyári időszakban;-
- néhány építőanyag esetében elemezni a tárolt hő hatását a belső hőmérséklet alakulására, a sugárzás, illetve a légcserre hatásának kizárásával;
- a rendelkezésre álló számítási modellek segítségével, elemezni a belső hőmérséklet alakulását különböző épületszerkezetek esetében, illetve meghatározni azt a megengedhető transzparens felület méretet, amely mellett hűtés/légkondicionálás nélkül sem haladja meg a belső operatív hőmérséklet az MSZ CR 1752 szabvány által előírt maximális értéket egy „B” komfortkategóriás épület esetében.

Vizsgálataimhoz a Debrecen-Kismacs Agro-Meteorológiai állomás 2009-2013 közötti globális sugárzási adatait használtam, a méréseimet a Debreceni Egyetem PASSOL Laboratóriumában és Épületfizikai Laboratóriumában végeztem.

2. IRODALMI ELŐZMÉNYEK

A kutatási munkám célkitűzéseiként megfogalmazottak meghatározták azt a szakirodalmi kört, mely megismerése, feldolgozása és értékelése alapul szolgálhat a tervezett vizsgálataimhoz. A rendelkezésre álló széleskörű irodalom teljesszámú megismerése, de főként e dolgozat keretein belüli bemutatása nem cél és főként nem lehetséges, így csak a témakörhöz közvetlenül kapcsolódó és iránymutató források rövid ismertetésére kerül sor. A kutatási munka során végzett nagyszámú mérésekre vonatkozó módszer és adatfeldolgozás irodalmi forrásait valamint a meteorológiai adatokra vonatkozó szakirodalmat az egyes fejezetekben jelenítettem meg.

2.1 A napsugárzás adekvát jellemzői

A kutatásaimhoz elsőként a napsugárzás épületre vonatkozó jellemzőinek megismerése, meghatározása volt a legfontosabb, ezért áttekintettem szakirodalmi adatok alapján a globál sugárzási adatok horizontális felületre, valamint a vertikális felületre érkező direkt és diffúz sugárzási értékek meghatározásának módszereit és értékeit.

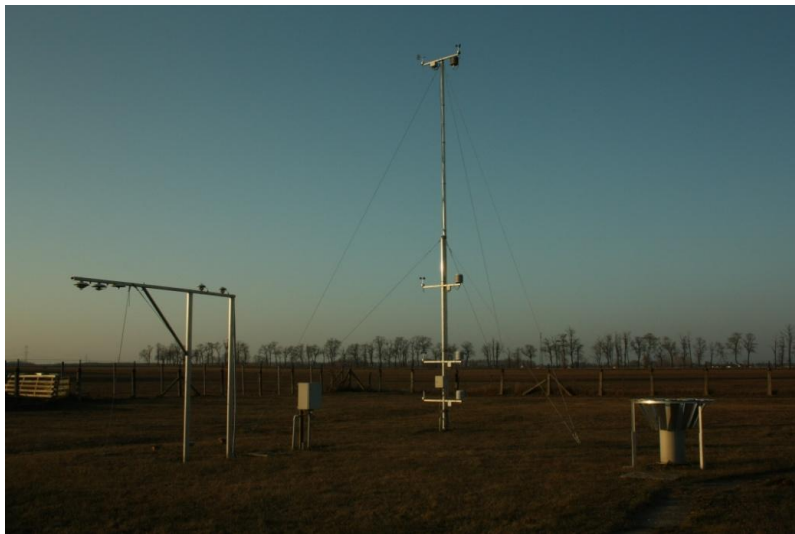
Hay 1979-ben publikált egy tanulmányt, melyben bemutatott egy módszert a sugárzási energia havi átlagértékének meghatározására vízszintes és függőleges felületekre vonatkozóan, (Hay, 1979). Chwieduk két alapvető égbolt modellt hasonlított össze (az izotróp és az anizotróp modellt), és meghatározta egy épület külső határolószerkezetének felületén a rendelkezésre álló sugárzási energiát, melyet az épület energiamérlegében is figyelembe vett, (Chwieduk, 2009).

Ahhoz, hogy meghatározzuk a globál sugárzási adatok alapján a diffúz és direkt sugárzás értékeit, több módszer is kidolgozásra került és rendelkezésre áll. Ezeket a módszereket több tudományos közleményben is bemutatták: Ideriah (1981), Erbs és szerzőtársai (1982), Srinivasan és szerzőtársai (1986), Moriarty (1991), Jacovides és szerzőtársai (2006), Boland és szerzőtársai (2008). Al-Riahi és szerzőtársai (1992) egy empirikus számítási modellt

dolgoztak ki a diffúz sugárzási frakció közelítő értékének a meghatározásához a globális sugárzási értékekből. Több esetben végeztek méréseket az épületszerkezeteken keresztül az épületbe jutó sugárzási energia értékének meghatározásához, illetve különböző számítási módszereket dolgoztak ki ezen érték meghatározására, (de la Flor et al., 2005; Lam et al., 2005; Cucumo et al., 2007).

A szakirodalomban bemutatott számítási módszerek és kutatási eredmények elemzése alapján úgy döntöttem, hogy az épületek hőterhelésének meghatározásához nem a 2012.01. 15 visszavont MSZ-04 140-2:1991 szabványban rendelkezésre álló adatokat alkalmazom, hanem az elmúlt években mért adatok alapján elkészítettem egy adatbázist, melyet az energetikai és hőérzeti számításaim során alkalmaztam.

A Debreceni Agro-Meteorológiai Állomás (Kismacs), (2.1. ábra) jóvoltából rendelkezésemre álltak a globál sugárzási adatok, valamint a száraz léghőmérséklet adatok 2009-2013 évekre vonatkozóan. A Globál sugárzást Kipp&Zonen CMP-11 típusú szenzorral mérték.



2.1. ábra Agro-Meteorológiai Állomás Debrecen-Kismacs (fotó: Rác Csaba)

A műszerszint 2 m, pontosság: $\pm 1\%$, felbontás: $0,1 \text{ W/m}^2$. A száraz léghőmérséklet értékét, valamint a levegő relatív nedvességtartalmát és a szélesebséget 1,0 m, 2,0 m, 4,0 m és 10,0 m magasságban mérik. A Pt100-1/10 hőmérsékletérzékelők mérési pontossága $\pm 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$.

Az adatokat órai felbontásban kaptam meg a Meteorológiai Állomástól 2009-2013 évekre. Egy évben 8760 db. globál sugárzás-, illetve 8760 db. léghőmérséklet adat került feldolgozásra, mindösszesen 87600 db. adat alapján határoztam meg a környezeti paramétereket.

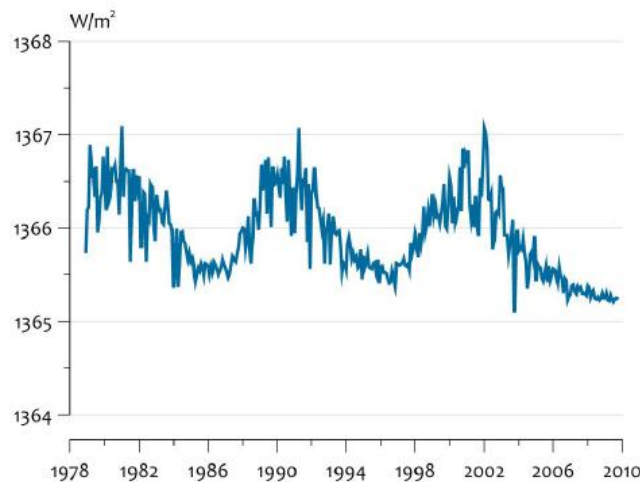
Az elmúlt öt évben mért órai globál sugárzási értékek alapján meghatároztam a vízszintes felületre érkező diffúz és direkt sugárzás órai adatait. A függőleges felületekre érkező diffúz sugárzás meghatározásához, a számításaim során, az izotróp modellt alkalmaztam. Az izotróp modell lényege az, hogy az égbolt bármely pontját vizsgálva a diffúz sugárzás mennyisége állandó. Ez az egyszerűsítés a gyakorlati példák ismeretében nem jelent akkora eltérést, hogy ne lehetne számítások elvégzéséhez alkalmazni. Jelenleg a világon ezt a modellt alkalmazzák a legtöbbször, a kis pontatlanság és az egyszerű kezelhetőség miatt, (Szabó, 2001). Debrecen vonatkozásában meghatároztam az R_b tényező órai értékeit a mérési időszakban különböző tájolású függőleges felületekre, majd az R_b tényező értékeinek felhasználásával kiszámítottam a függőleges felületekre érkező direkt sugárzás órai értékeit is. A külső órai száraz léghőmérséklet adatok alapján meghatároztam az elmúlt öt évre vonatkozó hófokgyakorisági görbéket és elemeztem a napi és havi átlaghőmérséklet értékeket.

2.2 Napgeometria

Ahhoz, hogy a fejezetben bemutatott számítások és következtetések, megfelelő értelmezést nyerjenek néhány alapfogalom definícióját szükségesnek tartom megemlíteni.

Direkt sugárzás a Naptól érkező sugárzás, mely a légkörön egyenesen áthalad. A szórt sugárzás (diffúz sugárzás), a Naptól érkező sugárzás, melynek iránya a légkör szóró hatása miatt megváltozik. A teljes napsugárzás (vízszintes felületen: globálsugárzás), a direkt és a szórt sugárzás összege. A sugárzás intenzitása, $[W/m^2]$, egységnyi felületre beeső sugárzási teljesítmény. A besugárzottság $[J/m^2]$, egységnyi felületre érkező energia, időegység (általában óra vagy nap) alatt érkező sugárzás integrálja, (Barótfi, 2000).

A 2.2. ábrában látható, hogy 1979-2009 között a napállandó értéke folyamatosan változott ugyan (van Dorland et al., 2007), de több szakirodalomban is $1367 W/m^2$ az elfogadott érték (Basunia et al., 2012; Clemens, 2000; Duffie-Beckman, 2006; Dragicevic-Vuckovic, 2007).



2.2. ábra A napállandó értékének változása 1979-2009 között, (van Dorland et al., 2007)

Az energiamennyiség, ami a napsugárzásból egy adott időtartam során Földünk felszínének egy adott területelemére jut, csillagászati és légköri tényezők függvénye. A csillagászati tényezők a napsugárzás mennyiségének földgömbi eloszlását alapvetően meghatározzák, és e tényezők matematikailag pontosan modellezhetők. Ezzel szemben a légköri tényezők, amelyek a csillagászatilag lehetséges sugárzásmennyiségek eloszlását módosítják jóval bonyolultabban hatnak, (Péczely, 1998).

A besugárzást módosító légköri tényezők a következők:




1. a napsugarak légkörön át megtett útja,
2. a légkör sugárzásátbocsátó képessége, vízgőztartalma és szennyezettsége,
3. a felhőzet

A levegőrészecskék, a légkörben levő vízgőz és a levegőben tartózkodó különböző szennyező anyagok az áthaladó napsugarakat részben visszaverik, szórják és elnyelik, tehát a besugárzás csökken. Az intenzitáscsökkenés arányos a napsugarak légkörön át megtett útjával. A sugárzásgyengítés szempontjából elsősorban a vízgőz és a különböző lebegő és üledő szennyező anyagok az ún. légköri aeroszol cseppfolyós és szilárd részecskéi a jelentősek, mert ezek a napsugarakat részben visszaverik, szórják és elnyelik. A földfelszínre jutó napsugárzás energiahozamát legnagyobb mértékben a felhőzet módosítja, miután a felhőtakaró a ráeső sugárzás jelentős részét visszaveri, s ez a reflektált hányad elvész a földfelszín számára. A sugárzás-visszaverés mértéke függ a felhőzet függőleges és vízszintes kiterjedésétől és a felhő víztartalmától, azaz a térfogategységben levő felhőcseppek számától. Így például a nagy víztartalmú és jelentős függőleges kiterjedésű cumulonimbus a ráeső

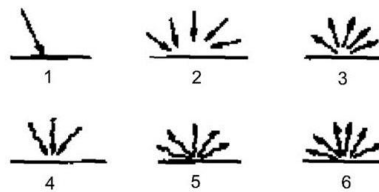
napsugaraknak a $\lambda < 4 \mu\text{m}$ hullámhossztartományban 70 – 90% -át, a közepes vastagságú (500 – 1000 méter) stratus 59 – 84%-át, az altostratus 39 – 59 %-át, míg a cirrostratus 44 – 50%-át veri vissza. A légkör szennyezettsége és a felhőzet szeszélyes tér- és időbeli változásai miatt az előidézett sugárzáscsökkentő mértékére homályossági tényezőt vezetnek be, (Péczy, 1998).

A csökkentő tényezők miatt a földfelszínre tiszta égbolt esetén maximum 1000 W/m^2 jut (2.1. táblázat).

2.1. táblázat A sugárzás intenzitás különböző időjárási viszonyok mellett, (Internet-2)

égbolt			
időjárás	Tiszta kék ég	Párás/felhős, a Nap sárgás korong	Borult ég,
Teljes besugárzás	$600 - 1000 \text{ Wm}^{-2}$	$200 - 400 \text{ Wm}^{-2}$	$50 - 150 \text{ Wm}^{-2}$
Diffúz sugárzás aránya	10 – 20 %	20 – 80 %	80 – 100 %

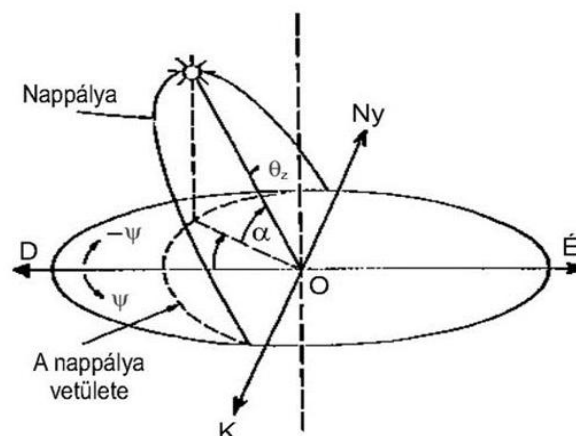
A föld felszínét érő sugárzásnak két összetevője van, ezek a közvetlen vagy direkt sugárzás, és a felhőzetről és az égboltról érkező indirekt vagy szórt sugárzás, (Barótfi, 2000).



2.3. ábra Sugárzási komponensek a Föld felszínén, (Barótfi, 2000)

1. direkt napsugárzás; 2. diffúz napsugárzás; 3. visszavert napsugárzás; 4. égbolt hosszúhullámú sugárzása; 5. visszavert hosszúhullámú égboltsugárzás; 6. a felszín hosszúhullámú sugárzása

A Nap geometriai helyzetével kapcsolatos szögek értelmezését a 2.4. ábra szemlélteti, (Barótfi, 2000).



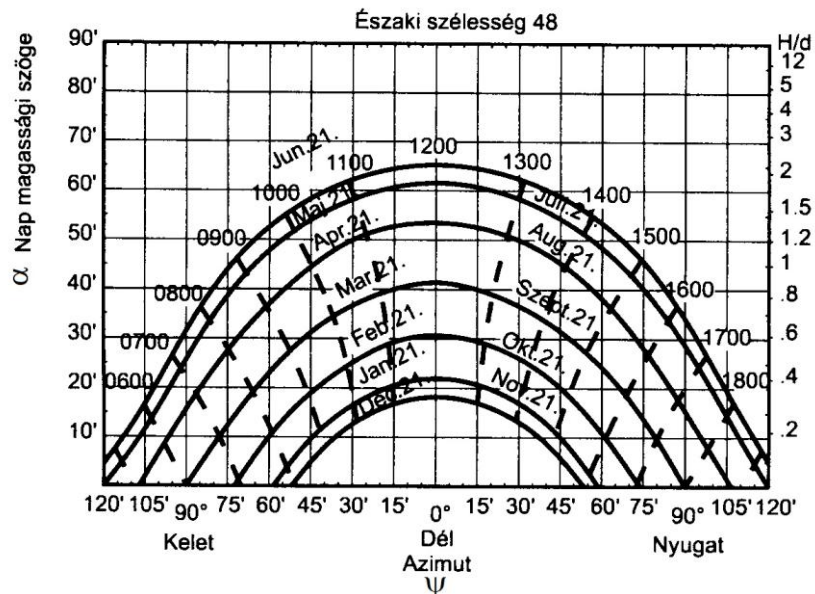
2.4. ábra A napgeometria helyzetével kapcsolatos szögek, (Barótfi, 2000)

α - altitúd (a napsugárzás irányának vízszintes vetülete és a napsugár iránya közötti szög)

θ_z – zenit (a napsugárzás iránya és a függőleges által bezárt szög)

ψ - azimut (a napsugárzás irányának vízszintes vetülete és az északi irány által bezárt szög)

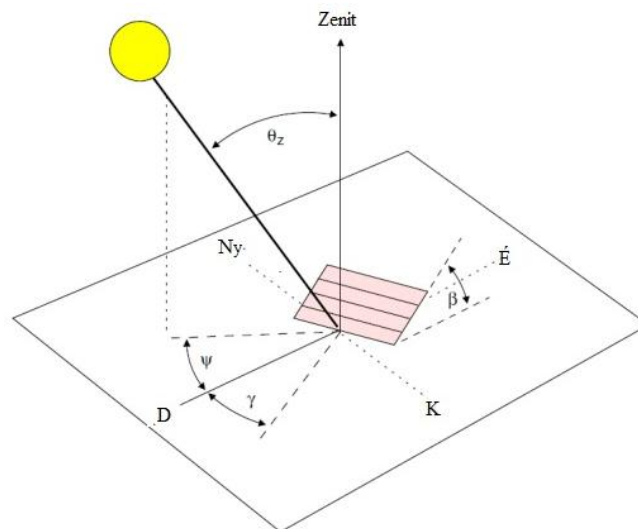
A Nap járását az égbolton a nappályadiagram síkban ábrázolja. A Nap látszólagos pályáját egy henger palástjára vetítjük. A szemlélő a henger alapkörének középpontjában áll, mely egy adott földrajzi helynek felel meg és az Egyenlítő irányába néz. A kétdimenziós nappályadiagramot úgy kapjuk meg, hogy a henger palástját az ellentétes oldali alkotó mentén felvágjuk és kiterítjük, (2.5. ábra). A görbék az év bizonyos napjaira vonatkoznak (egy hónapot egy nap jellemez), (Zöld, 1999).



2.5. ábra Egy helyszínre (48 szélességi kör) vonatkozó hengeres nappályadiagram, (Baumann et al., 2009)

A nappályadiagramból leolvasható, hogy az év adott napján adott órájában hol jár a Nap az égbolton, vagyis az altitudo szög és az azimut szög értéke.

Egy tetszőleges felület esetében a számításokhoz további szögek figyelembevétele szükséges. Ezeket a 2.6. ábra szemlélteti.

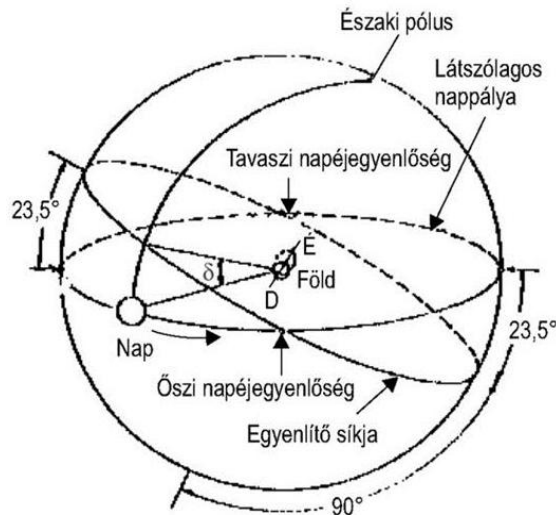


2.6. ábra A Nap és egy tetszőleges helyzetű felület viszonya, (Barótfi, 2000; Heinemann, 2000)

β - felület dőlés szöge a vízszintes síkhoz viszonyítva

γ - a felület azimut szöge (a déli irány és a felület normálisa által bezárt szög)

A deklinációs szög értelmezését a 2.7. ábra illusztrálja.



2.7. ábra Deklinációs szög értelmezése, (Barótfi, 2000)
 δ - a Nap szöghelyzete az egyenlítő síkjához viszonyítva

2.3 Vízszintes felületre érkező diffúz és direkt sugárzás órai értékei

Egy épület nyári hőterhelésének meghatározásához, ismerni kell a belső hőforrásokat, valamint a vízszintes és függőleges felületekre érkező diffúz, illetve a direkt sugárzás értékeit. A belső hőterhelés (a zárt térben tartózkodók száma, a végzett tevékenység, berendezések, gépek, világítás stb.) elsősorban az épület rendeltetésének a függvénye. A továbbiakban csak a külső hőterhelést vizsgálom Debrecen vonatkozásában.

Dragsted és Furbo három különböző módszert hasonlított össze, melyek alkalmasak a diffúz sugárzási értékek meghatározására. Bebizonyították, hogy a három különböző módszer alkalmazásával kapott eredmények közötti különbségek maximum 5%-ot értek el, (Dragsted-Furbo, 2012).

2.4 Komfort és hűtési energiaigény

Az Európai Unió 2010/31 EU Irányelve alapján a tagállamokban 2020. december 31 után kizárólag közel nulla energiaigényű épület kaphat építési engedélyt. Az egyes tagállamok maguk definiálhatják a „közel nulla energiaigény” fogalmát. Magyarországon a 20/2014 BM rendelet szerint *közel nulla energiaigényű épület*: az épületek energetikai jellemzőinek tanúsításáról szóló kormányrendelet szerinti költségoptimalizált szinten megvalósult vagy annál energiahatékonyabb épület, amelyben a primerenergiában kifejezett éves energiaigény legalább 25%-át olyan megújuló energiaforrásból biztosítják, amely az épületben keletkezik, az ingatlanról származik vagy a közelben előállított, (20/2014 BM Rendelet). Az Európai Unió tagállamaiban, így Magyarországon is egyre szigorúbb követelményeket támasztanak az épületek határoló szerkezeteinek hőtechnikai paramétereivel szemben. Ennek következtében egyre kisebb transzmissziós hővesztésekkel rendelkező-, egyre légtömörebb épületeket építünk, illetve alakítunk ki a meglévő épületek felújítása után. Ugyanakkor az épületben tartózkodó embereknek friss levegőre, valamint természetes fényre van szükségük. Számos tudományos kutatás bizonyította, hogy az emberek teljesítőképessége nagymértékben függ a friss levegő mennyiségétől, valamint a természetes világítás arányától, (Clausen et al., 1993; Wargocki et al., 2000; Bakó-Bíró et al., 2004; Kajtár-Herczeg, 2012; Kajtár-Szabó, 2012a; Kajtár-Szabó, 2012b; Szabó-Kajtár, 2012; Kajtár-Szekeres, 2011; Kajtár-Szabó, 2011; Heschong et al., 2002; Juslén-Tenner, 2005; Begemann et al., 1997). Az új építésű épületek számos esetben nagy üvegezett határoló szerkezetekkel rendelkeznek, így biztosítják az

épületben tartózkodó emberek számára a pozitív pszichológiai impulzusokat a természetes fény, illetve a külső környezethez való közelség érzete által. Sajnos ennek a tervezési koncepciónak, a számos előnye mellett egyik negatív következménye az, hogy olyan hőterhelések alakulnak ki az egyes helyiségekben, hogy az elfogadható hőérzeti feltételek csak légkondicionáló berendezésekkel biztosíthatóak. A negatív hatások súlyát csak növeli az a tény, hogy az elmúlt években az éves átlaghőmérséklet, valamint a nyári hőhullámok száma növekedett, (Luterbacher et al., 2004). Az előző fejezetben bizonyítást nyert, hogy a hűtési energiaigény nagymértékben csökkenthető, ha megfelelőképpen kerülnek kiválasztásra az épületszerkezeti anyagok, a légcsereszám és figyelembe van véve az adott transzparens szerkezet tájolása is.

Balaras szerint az alkalmazott hőtároló szerkezetnek a belső felülethez közeli részből 5-10 cm az a vastagság, mely aktív módon részt vehet egy nap során a hőtárolásban, hőfelvételben és hőleadásban. Ha hosszabb időszakok energiamérlegét elemezzük, akkor vastagabb (akár 25 cm) rétegekkel is számolhatunk (Balaras, 1996). Yang és Li bebizonyították, hogy a hűtési energiaigény egy 400 h időállandóval rendelkező helyiség esetében akár 60%-al is csökkenthető, (Yang-Li, 2008). Az éjszakai szellőzéssel a hőtároló tömeg kihasználásának hatékonysága tovább fokozható, (Yam et al., 2003). Shaviv és társai (2001) a kutatásaik során arra a következtetésre jutottak, hogy a hőtároló tömeggel és éjszakai szellőzéssel elérhető hűtési energiaigény csökkenése, nem csak a tömegtől, a szellőző levegő térfogatáramától függ, hanem a nappali hőmérséklet maximum, éjszakai hőmérséklet minimum közötti különbség is nagymértékben befolyásolja az elért energiamegtakarítást. Lee és Braun (2008) azt javasolták, hogy a hőtároló tömeget igény szerint lehessen szabályozni. Az igény szerinti szabályozási stratégiájuk alkalmazásával, melyet valós körülmények között teszteltek, 30%-os hűtési energiaigényt értek el a hagyományos megoldásokhoz viszonyítva. Braun kifejlesztett egy eljárást melynek segítségével értékelhető az épületek hőtároló tömegének szabályozási stratégiája, (Braun et al., 2004). Zheng és társai az optimális fajhő értékét valamint az ehhez tartozó optimális légcsereszám értékét határozták meg annak érdekében, hogy minimalizálják egy épület hűtési energiaigényét, (Zheng et al., 2011).

A témában megjelent hazai és nemzetközi kutatócsoportok eredményeinek elemzése után arra a következtetésre jutottam, hogy érdemes lenne megvizsgálni, hogy a gyakorlatban leginkább elterjedt építőanyagok esetében, hogyan alakulna Debrecen vonatkozásában a megengedhető transzparens felület egy épületnél tájolásonként, különböző légcsereszámok mellett. A számítások elvégzése előtt újra méréseket végeztem a PASSOL laboratóriumban és a Debreceni Egyetem Épületgépészeti és Létesítménymérnöki Tanszékén rendelkezésemre álló Épületfizikai Laboratóriumban annak érdekében, hogy a mérési eredmények ismeretében elemezhessem a későbbi számítási eredményeket.

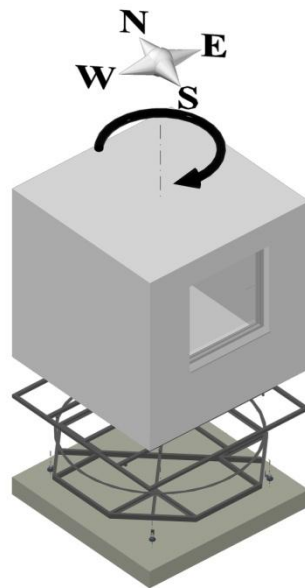
3. A KUTATÁSI MUNKA VÁLASZTOTT MÓDSZEREI ÉS ESZKÖZEI

A kutatás témakörében tervezett vizsgálataim több tudományterület témakörébe tartoznak (meteorológia, komfort, energetika, stb.), így a konkrét témakörben választott módszert az egyes vizsgálatoknál mutatom be. Ebben a fejezetben a komplex vizsgálatokhoz jól használható PASSOL laboratóriumban végzett vizsgálatok és módszereit ismertetem.

A sugárzási adatok, valamint a külső léghőmérsékletek alapján válik lehetségessé az épületek hőterhelésének meghatározása, a belső léghőmérséklet és operatív hőmérséklet alakulásának elemzése különböző építőanyagok felhasználásával épült épületekben és különböző tájolású helyiségekben. Számos szimulációs szoftver alkalmazásával lehet elvégezni ezeket a számításokat: TRNSYS, Energy+, CASANOVA, COMSOL, IDA. Ezeknek a szoftvereknek

többsége hozzáférhető és felhasználóbarát, így könnyen kezelhető. Magyarországon a 2012 novemberében visszavont MSZ-04-140-4:1978 (Épületek és épülethatároló szerkezetek hőtechnikai számításai. Hűtési hőterhelés-számítás) szabvány helyett jelenleg az MSZ EN ISO 13790:2008 (Épületek energetikai teljesítőképessége. A fűtési és hűtési energiaigény számítása) szabvány van érvényben. A szabvány tartalmaz egy újszerű számítási módszert is, viszont az éghajlati adatokat csak általánosságban ismerteti és egy-két európai nagyváros vonatkozásában (Párizs, Stockholm), néhány átlagos havi adatot közöl. Ezek után úgy döntöttem, hogy a Debreceni Egyetem Műszaki Karán 2009-ben erre a célra megépült PASSOL laboratóriumban méréseket végzek, és ezek eredményeit összevetem az MSZ EN ISO 13790:2008 alapján számított értékekkel. A célom az volt, hogy megfelelő pontosság esetén a szabványban megadott módszert alkalmazom a továbbiakban az épületek hőterhelésének elemzéséhez. A PASSOL laboratórium tervezésében és megépítésében tevékenyen részt vettem.

A PASSOL laboratórium tulajdonképpen egy doboz, 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 témavezetőmmel egy $3,0 \times 3,0 \times 3,0$ m külső méretekkel rendelkező forgatható mérőkamrát terveztünk meg (3.1. ábra). A szerkezeteket egységesen hűtőházi panelekből gondoltuk kivitelezni, 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 légtömorséget, 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.

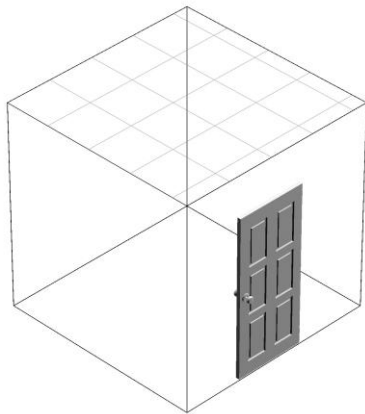


3.1. ábra PASSOL laboratórium tervezési sémája

A PASSOL laboratórium egyik legfontosabb eleme a forgathatóságot biztosító fém tartószerkezet. Egy betonlapra megfelelő rögzítéssel került elhelyezésre a zárt szelvényekből

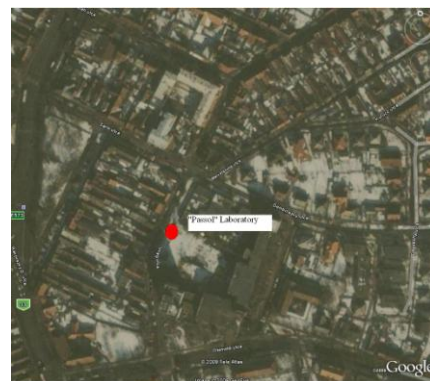
összeállított tartószerkezet alsó eleme. A szerkezet tengelye csatlakozik a dobozba, a doboz aljára egy keret került rögzítésre, mely egy kör alakú sima acélszelvényen gördülőcsapágyak beépítésével körbeforgatható. A doboz „lapostetős” és a csapadékvíz beszivárgását megfelelő horganyzott lemez bádgozással tudtuk biztosítani.

A PASSOL laboratórium megépítését, a felügyeletem mellett, az INOXTHERM Kft. végezte. A felhasznált hűtőházi panelek szerkezete (két lemez között 20 cm vastagságban PUR hab) $0,146 \text{ W/m}^2\text{K}$ számított hőátbocsátási tényező értéket biztosított.



3.2. ábra PASSOL laboratórium építése

A 90 cm parapet magassággal beépített, $150 \times 150 \text{ cm}$ méretekkel, kétrétegű hőszigetelt üvegezéssel és ALUPLAST IDEAL 4000 5 légkamrás profilszerkezettel rendelkező ablak hőátbocsátási tényezője $1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$, a teljes sugárzásátbocsátó képessége pedig $g=0,70$ a gyártó adatai szerint. Az ablak transzparens felülete $1,91 \text{ m}^2$. A PASSOL laboratórium a Debreceni Egyetem Műszaki Kar Campusán került elhelyezésre (3.3. ábra). A hely GPS koordinátái: $47^\circ 31.8' \text{ N}$ és $21^\circ 37.8' \text{ E}$. Tekintettel arra, hogy a célom a belső hőmérséklet értékének vizsgálata volt a nyári hónapokban, megvizsgáltam, hogy a környező fák, épületek milyen árnyékolást okoznak a laboratórium külső szerkezeteire vonatkozóan, Május, Június, Július és Augusztus hónapokban. 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.



3.3. ábra PASSOL laboratórium elhelyezése

A teszhelyiségben 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 - $+120\text{ °C}$. A szenzor mérési pontossága $\pm 0,4\text{ °C}$, $+5\text{ °C}$ és 70 °C közötti hőmérséklettartományban, illetve $\pm 0,6\text{ °C}$, -20 °C és $+5\text{ °C}$ közötti hőmérséklettartományban. A mérések folyamatosak voltak a 2009-2013 évek során.

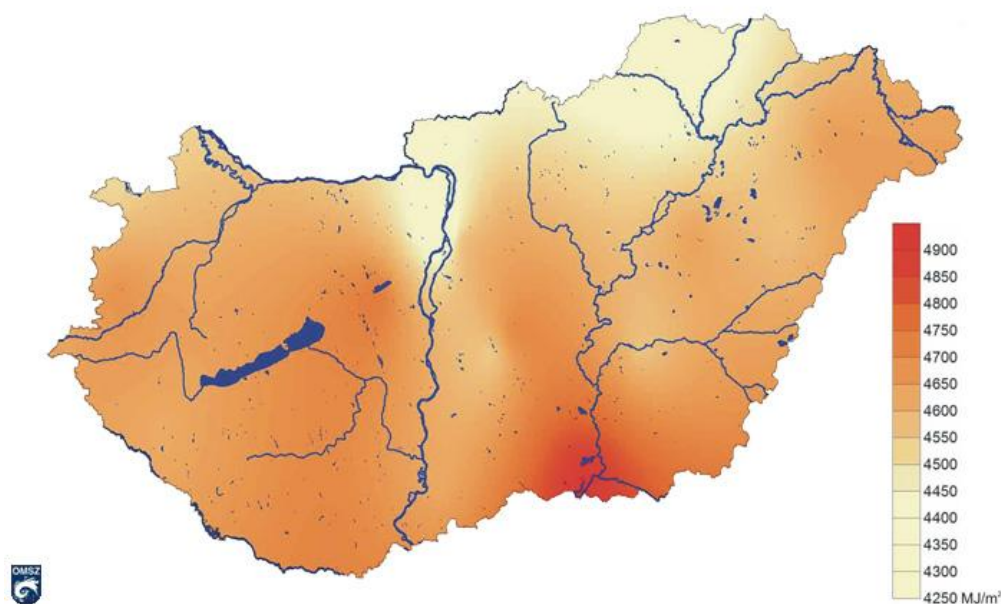
4. VIZSGÁLATOK AZ ÉPÜLETEK NYÁRI HŐTERHELÉSÉNEK KOMFORTRA GYAKOROLT HATÁSÁVAL ÉS ENERGETIKAI ÖSSZEFÜGGÉSEIVEL KAPCSOLATOSAN

4.1 Épületek belső léghőmérséklete és légtömörsege

Első lépésként mérésekkel igazolni kívántam azt a feltételezésemet, hogy gépi hűtés nélkül Magyarországi sugárzási viszonyok mellett olyan léghőmérsékletek alakulhatnak ki az épületek helyiségeiben, melyek meghaladják a hőérzet szempontjából még elfogadható határértékeket. Elvégeztem továbbá a többször módosított 7/2006 TNM Rendelet alapján a túlmelegedési kockázat számításait is.

Az éghajlati viszonyok tekintetében, Magyarország a $45^{\circ}45'$ és $48^{\circ}35'$ északi szélességek között fekszik, nagyjából középen az Egyenlítő és az Északi-sark között. Magyarország éghajlata a szoláris éghajlati felosztás szerint mérsékelt. Ezt az éghajlati típust globálisan nagy évi hőmérsékletingás, élesen elkülönülő 4 évszak és a földi átlagnál alacsonyabb évi középhőmérsékletek jellemzik.

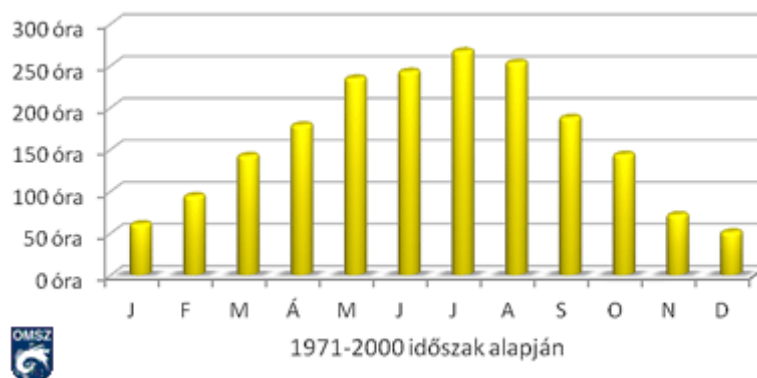
Az éghajlat kialakításánál alapvető az a sugárzó energia, amely a Napból a földfelszínre jut. A besugárzás területi eloszlását két tényező határozza meg: a földrajzi szélesség, valamint a felhőzet mennyisége. Hazánk területén az országon belül tapasztalható kis szélességekülönbség miatt a döntő szerepet a felhőzet játssza, (Internet-3).



4.1. ábra A globálsugárzás (MJ/m^2) átlagos évi összege Magyarországon (2000-2009) (Internet-3)

Napfénytartamon azt az időtartamot értjük, ameddig a felszín közvetlen sugárzás éri. A napfénytartamot befolyásoló tényezők a csillagászatilag lehetséges napfénytartam, a domborzat valamint a felhőzet - ez utóbbi a napsütést még a besugárzásnál is erősebben befolyásolja.

Magyarországon a legtöbb, 2000 óra fölötti évi napsütés a déli, délkeleti országrészben jellemző, míg a legkevésbé napos területek az ország északi, északkeleti részében valamint az Alpokalján jelennek meg 1800 óránál is kevesebb évi napfényösszeggel.



4.2. ábra A napfénytartam átlagos havi értékei Magyarországon az 1971-2000 közötti időszak alapján, (Internet-3)

A Debreceni Egyetem Műszaki Kar épületegyüttese Debrecenben az Ótemető u. 2-4 sz. alatt található (4.3. ábra). Az épületegyüttes magába foglalja az oktatási épületrészt, a műhely és labor épületrészt és a kollégiumot, mely 270 férőhelyes. Az oktatási épületben található a Kar étterme, melyet egy 500 adagos konyha szolgál ki. Az oktatási épület 5 szintes (Földszint+4 emelet) de a harmadik és negyedik szint alapterülete a többi szinttől eltér.

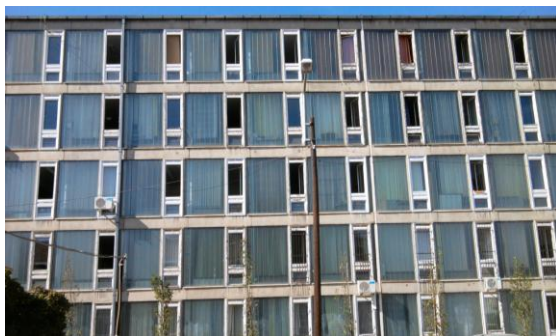
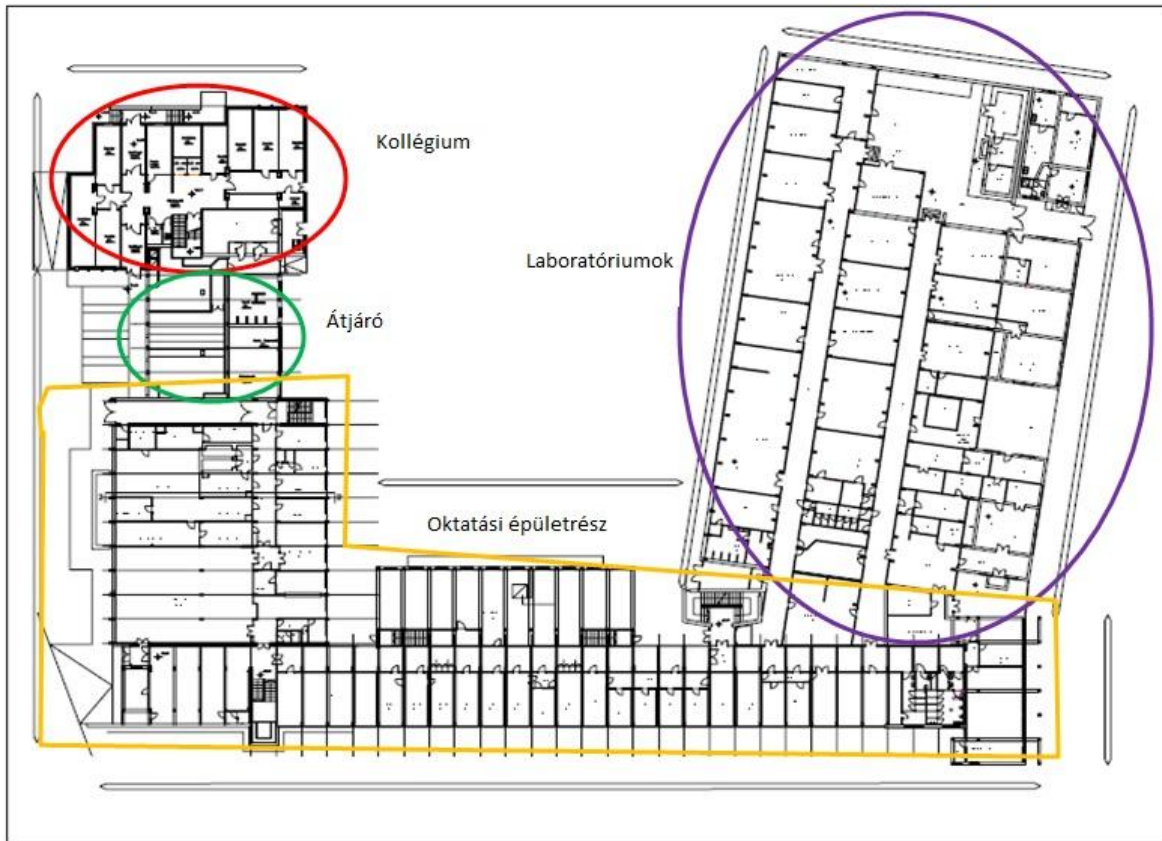
A geometriai jellemzők:

- oktatási épületrész nettó alapterülete: 11645,94 m²
- a kollégium nettó alapterülete: 4289,09 m²
- a lapos tető felülete: 4562,08 m²

Az épület több ütemben épült, így az évek során különböző típusú nyílászárók kerültek beépítésre. Az egyes nyílászáró típusok felületeit az alábbi táblázat mutatja be:

4.1. táblázat Nyílászáró határoló felületek

Szerkezet	m ²
Kapcsolt gerébtokos nyílászáró	859,37
Kopilit	1396,55
Műanyagkeretes nyílászáró	1166,05
Üvegtégla falazat	21,28
Vas keretes ablak	21,36
Vaskeretes huzalhálós üveg	1,65
Egyesített szárnyú fakeretes kétrétegű üvegezéssel ellátott nyílászáró	139,33
Két rétegű hőszigetelő üveg - fa keret	128,73
Felülvilágító	31,4
Polikarbonát	43,91



4.3. ábra A vizsgált épület alaprajzi sémája, keleti és nyugati tájolású homlokzata

4.1.1 A nyári túlmelegedés kockázatának meghatározása

A számításokat az érvényben lévő szabványok illetve a „7/2006. (V. 24.) TNM rendelet az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról” c. rendelet alapján végeztem.

A létesítmény homlokzati felületei tájolásonként a következők:

É:	1945 m ²	ebből	634,11 m ²	nyílászáró
K:	2546 m ²	ebből	1419,66 m ²	nyílászáró
D:	2024 m ²	ebből	1063,41 m ²	nyílászáró
Ny:	2598 m ²	ebből	634,11 m ²	nyílászáró

A direkt sugárzási nyereség meghatározásához a (4.1.) összefüggést alkalmaztam, (7/2006 TNM Rendelet).

$$Q_{sd} = \varepsilon \sum A I g, [W] \quad (4.1.)$$

ahol: ε - hasznosítási tényező; A – üvegfelület [m^2]; g – az üvegezés összesített sugárzásátbocsátó képessége; I – a napsugárzás intenzitása [W/m^2].

Az átlag intenzitás nyári túlmelegedés kockázatának számításához I [W/m^2]: észak 85 [W/m^2]; dél, kelet nyugat 150 [W/m^2], (7/2006 TNM Rendelet).

A belső és külső hőmérséklet napi középértékeinek különbsége nyári feltételek között a következő összefüggéssel számítjuk, (Baumann et al., 2009):

$$\Delta t_{bnyár} = (Q_{sdnyár} + A q_b) / (\sum A U + \sum l \Psi_l + 0,35 n_{nyár} V), [K] \quad (4.2.)$$

ahol: $\Delta t_{bnyár}$ - a belső és külső hőmérséklet napi középértékeinek különbsége nyári feltételek között [K]; $Q_{sdnyár}$ – a direkt sugárzási hőnyereség vagy hőterhelés [W]; A – felület, a belméretek alapján számolva [m^2]; q_b – a belső hőterhelés fajlagos értéke [W/m^2]; U – hőátbocsátási tényező [$W/(m^2K)$]; l - csatlakozási élek hossza [m]; Ψ_l – a padló kerületére vonatkozó vonalmenti hőátbocsátási tényező [$W/(mK)$]; $0,35$ - konstans; $n_{nyár}$ – légcsereszám nyáron [h^{-1}]; V - a fűtött térfogat, belméretek szerint számolva [m^3].

Mindezek alapján $\Delta t_{bnyár} = 2,8$ K értékre adódott. A 7/2006 Rendelet szerint a nyári túlmelegedés kockázata nehéz szerkezettel rendelkező épület esetében elfogadható, ha $\Delta t_{bnyár} < 3$ K. Ennek megfelelően a vizsgált épületben a nyári túlmelegedés értéke megfelelő.

4.1.2 Mért léghőmérséklet értékek oktatási épületben (2010)

A vizsgált épületben léghőmérséklet méréseket végeztem különböző tájolású helyiségekben. Mivel oktatási épületről van szó, irodahelyiségeket választottam.

Az épület összességében nehéz szerkezetű, de az egyes vizsgált irodák a következő hőtároló tömeggel rendelkeznek:

Ny, I emelet: 16390,92 kg (helyiség alapterületre vetített fajlagos érték: 871,39 kg/m^2),

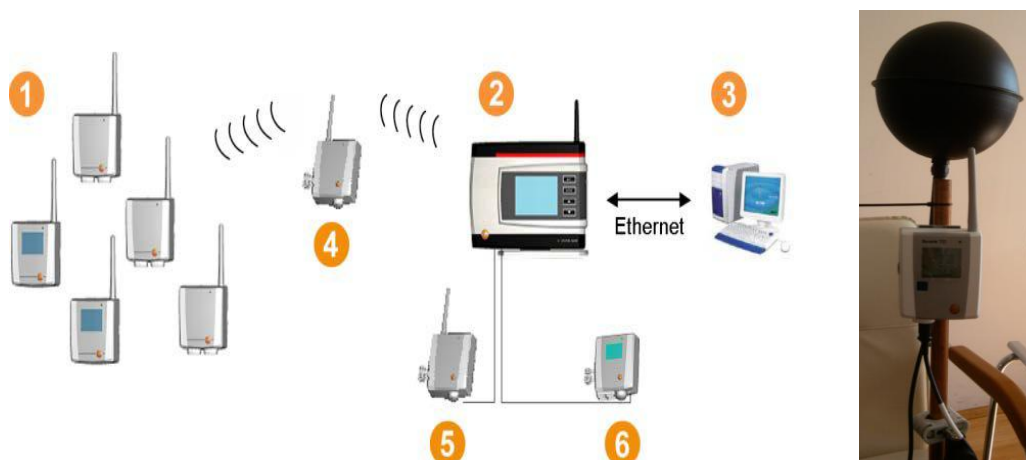
K, III emelet: 10744,57 kg (helyiség alapterületre vetített fajlagos érték: 562,24 kg/m^2),

É, III emelet: 8103,51 kg (helyiség alapterületre vetített fajlagos érték: 650,88 kg/m^2).

A keleti és az északi irodák kapcsolt gerébtokos normál üvegezésű nyílászárókkal rendelkeznek, míg a nyugati irodák fa keretes kétrétegű hőszigetelő üveggel rendelkező nyílászárókkal vannak ellátva

A méréseket 2010. Július hónap során végeztem: 2010.07.09 - 12 között.

A mérésekhez TESTO SAVERIS monitoring rendszert alkalmaztam, (4.4. ábra).

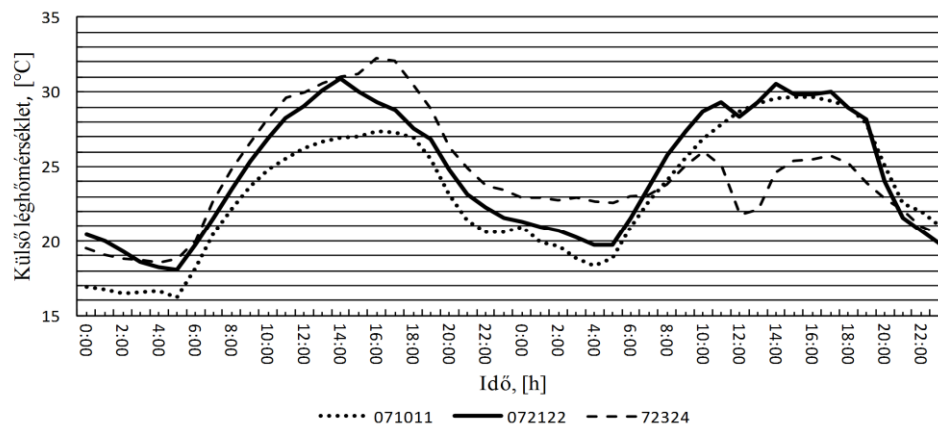


4.4. ábra TESTO SAVERIS monitoring rendszer elemei, (Internet-4)

A rendszer alapvetően két részből áll. Egyrészt az érzékelőkből (1), más részt pedig a bázisból (2). Ezek között kétirányú kommunikáció folyik. Az érzékelők és a bázis közötti jeladás egy router segítségével javíthatjuk (4), abban az esetben, ha az épületszerkezetek miatt a kommunikáció nehézkes a két elem között. Az adatok a Saveris bázisból letölthetők és lementhetők az asztali számítógépen (3). Az érzékelők rádióhullámai szabad térben 300 m-es hatósugárral rendelkeznek 868 MHz-es frekvencia esetén, míg a magasabb frekvencia (2,4 GHz) mellett ez az érték körülbelül 100 m. Természetesen a falak, tereptárgyak leárnyékolhatják, sőt a hasonló frekvenciájú hullámok is zavarhatják. Ezt ki tudjuk küszöbölni a hálózat kibővítésével, egy router segítségével (5), ami egy átjátszó állomásként működik. Alapvetően a bázissal való kommunikálásnak több módja is van, ezek az érzékelő fajtájától függenek. Az érzékelők általában rádiófrekvenciával kommunikálnak a bázissal, így vezetékes kapcsolatra nincs szükség. Létezik az érzékelőknek közvetlenül az Ethernet hálózatra csatlakoztatható verziója is (6), egy már létező LAN hálózaton keresztül. A SAVERIS T2/T2D NTC érzékelőjének mérési tartománya -35 és $+50$ °C közötti, míg a mérési pontossága $\pm 0,2$ °C, (Internet-4).

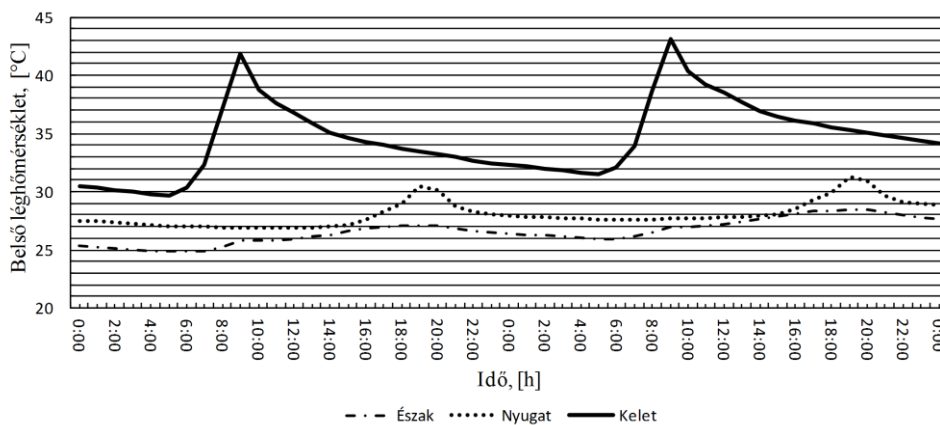
Az épületben mért léghőmérsékleteket az alábbi ábrák mutatják be.

A 4.5. ábrán a külső hőmérséklet van feltüntetve és amint látjuk, hogy a július 10 és a július 24 napi hőmérséklet tér el, főleg a délutáni órákban, a többi 5 naptól.



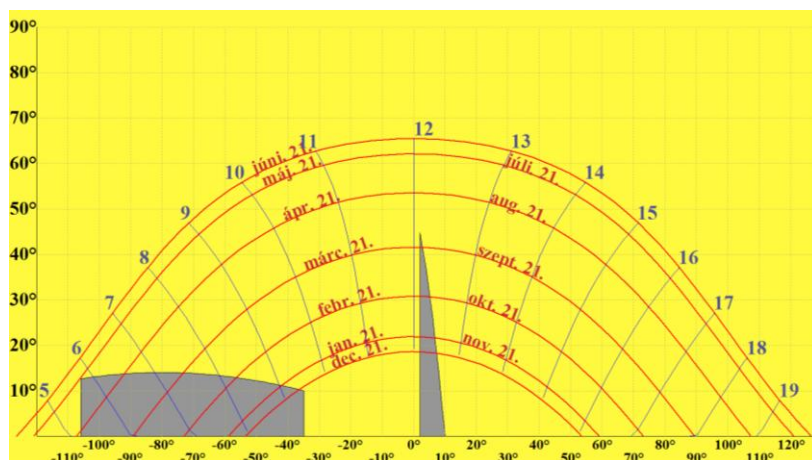
4.5. ábra Külső hőmérsékletek a vizsgált időszakokban

A 4.6. ábrán mért belső hőmérséklet látható az északi, a nyugati és a 3. emeleti keleti tájolású irodahelyiségben hétvégén.



4.6. ábra Belső léghőmérsékletek 2010. július 10-11 időszakban

Megállapítható, hogy a legnagyobb túlmelegedés a keleti tájolású helyiségben van. Itt akár 10 fokkal is eltér napi belső léghőmérséklet maximuma a nyugati és északi tájolású irodákban mért legmagasabb hőmérséklet értéktől. Az északi és a nyugati tájolású helyiségben a léghőmérséklet 8:00-16:00 óra között nem haladta meg a 26 °C-t. Ennek megfelelően a továbbiakban főleg a keleti tájolású helyiségekre fókuszáltam. A III. emeleti K-i tájolású iroda mellett az I. emeleten beazonosítottam egy irodahelyiséget, melynek a külső (K-i tájolású) határolószerkezete kétszer nagyobb (azonos belmagasság mellett), mint a III. emeleten lévő (szintén K-i) tájolású irodahelyiség esetében. A mérés célja tehát az volt, hogy megvizsgáljam van-e hatása a helyiség méretnek a kialakuló belső léghőmérséklet értékére. Ehhez első lépésként megvizsgáltam a két helyiség benapozását. Mivel a III. emeleti iroda esetében semmiféle árnyékoló szerkezet, vagy esetleg szomszédos épület nem árnyékolta, az I. emeleti iroda benapozását kellett csak megvizsgálni. Ebben az esetben egy szomszédos épület árnyékoló hatását kellett meghatározni. A *benapoz.exe* programmal készült árnyékmaszkot a 4.7 ábra mutatja be.



4.7. ábra Az I. emeleti K-i tájolású iroda árnyékmaszkja

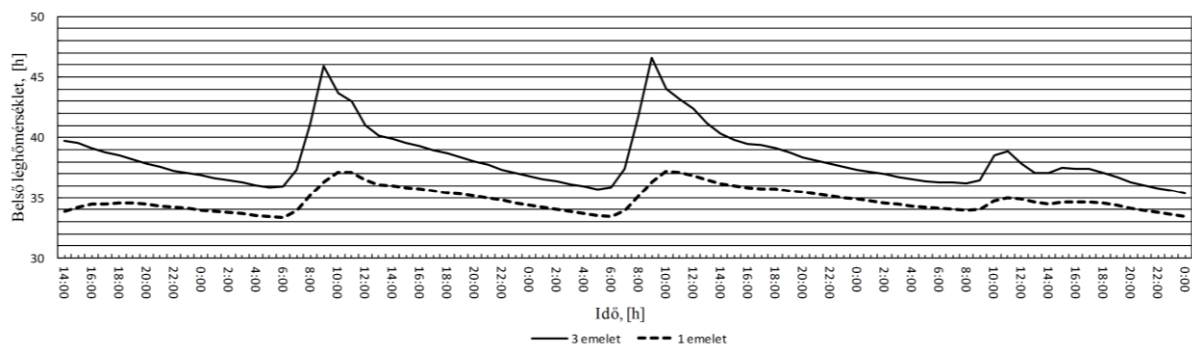
Az ábra alapján megállapítható, hogy Július hónapban a szomszédos épületnek nincs árnyékoló hatása, a vizsgált helyiség üvegezett szerkezetére vonatkozóan. Ennek megfelelően egész napos teljes benapozással lehetett számolni ebben az esetben is, tehát a két helyiség összehasonlítható volt.

A két K-i tájolású iroda hőtároló tömege:

K, I emelet: 21666,45 kg, (helyiség alapterületre vetített fajlagos érték: 552,70 kg/m²),

K, III emelet: 10744,57 kg (helyiség alapterületre vetített fajlagos érték: 562,24 kg/m²).

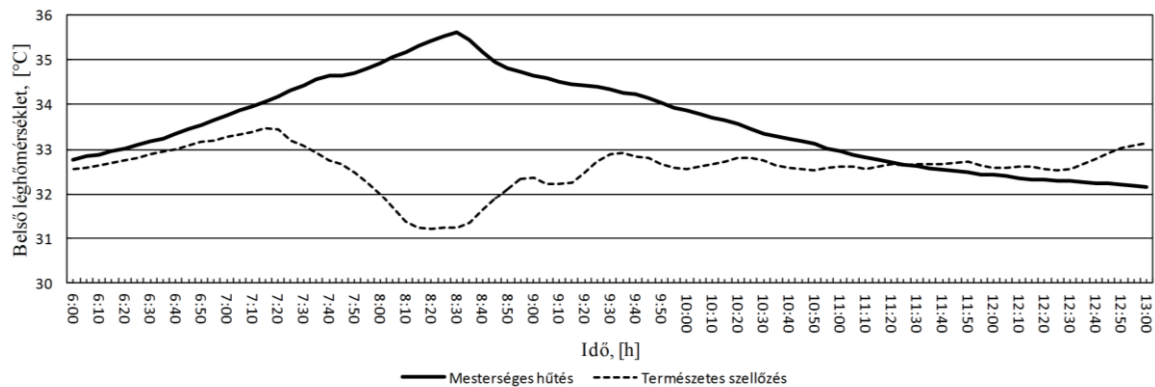
A méréseket 2010.07.21 - 29 között végeztem. A mérési napok közül a 4.8. ábra mutatja be négy kiemelt nap eredményeit.



4.8. ábra Belső léghőmérsékletek 2010. július 21-24 időszakban

Az ábra alapján megállapítható, hogy a helyiség méret, valamint a helyiség hőtároló tömege nagy mértékben befolyásolja a helyiségben kialakuló léghőmérsékletet.

Az I. emeleti irodahelyiség mellett, egy azonos méretű irodahelyiségben végeztem egy rövid mérést annak érdekében, hogy megvizsgáljam a belső léghőmérséklet alakulását természetes szellőzés valamint mesterséges hűtés esetében. A 4.9. ábrán a léghőmérséklet lefutás van feltüntetve 2010. Július 21-én 6:00-13:00 óra között. a mesterségesen hűtött helyiségben két mobil klíma egység volt elhelyezve, melyek összesen 7,0 kW hűtési teljesítménnyel rendelkeztek. A másik helyiség csak természetes módon lett átszellőztetve. Látható, hogy a klíma berendezések csak 11:00 óra után tudták a helyiség hőmérsékletét a természetes módon átszellőztetett iroda hőmérséklete alá vinni.



4.9. ábra Belső léghőmérsékletek két keleti tájolású helyiségben (2010.július 21).

A természetes szellőzés tehát elősegíti az épületszerkezet hűtését, ami nagymértékben csökkenti a nyári időszakban a helyiségben előforduló túlmelegedés kockázatát.

A természetes szellőzést nyáron a nyílászárókon keresztül történik. Ha a nyílászárók nem zárnak tökéletesen légtömören, akkor ez a jelenség akkor is létrejön, amikor a nyílászárók zárt állapotban vannak. Ebben az esetben a kialakuló filtrációs légáram nagymértékben függ a széljárástól, a szélességtől és az épület különböző homlokzatainak benapozás keltette hőmérséklet különbségeitől, így a helyiségbe bejutó szellőző levegő mennyiségét nem tudjuk szabályozni.

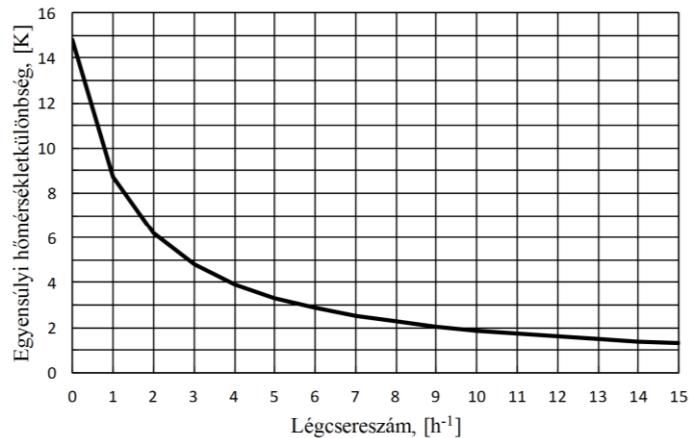
Hozzávetőleges irányértékként a 4.2. táblázatban megadott légcsereszám értékeket említhetjük, (Recknagel et al., 2000):

4.2. táblázat A légcsereszám irányértékei

zárt ablakok , ajtók	0-0,5 h ⁻¹
bukó ablakok redőny nélkül	0,3-1,5 h ⁻¹
félíg nyitott ablakok	5-10 h ⁻¹
teljesen nyitott ablakok	10-15 h ⁻¹
szemben nyitott ablakok, ajtók	legfeljebb 40 h ⁻¹

A 7/2006 TNM rendeletben a túlmelegedés kockázatának vizsgálatánál figyelembe kell venni a légcsereszám értékét is. A 4.10. ábrán látható hogyan változik a túlmelegedés kockázata az elemzett épület esetében a légcsereszám függvényében.

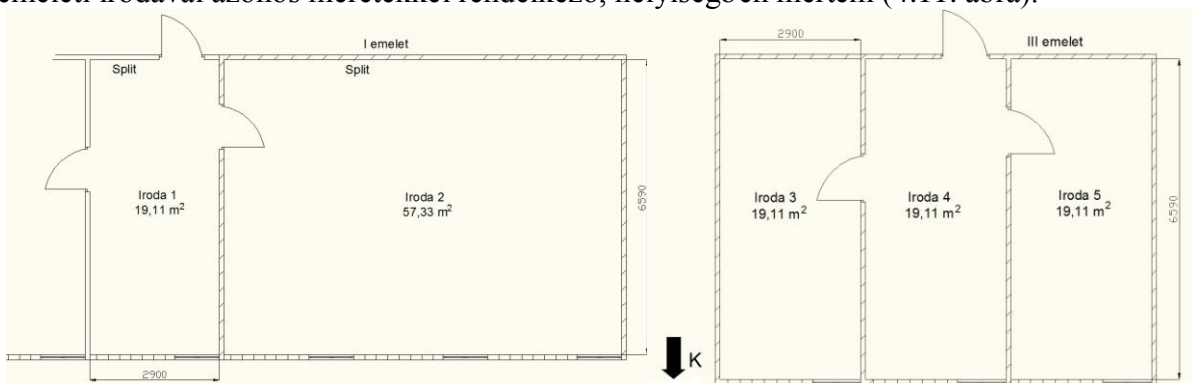
A 4.10. ábra alapján, megállapíthatjuk, hogy nyári feltételek mellett a belső és külső hőmérséklet napi középértékeinek különbségét a szellőztetés intenzitásának növelésével nagymértékben lehet csökkenteni.



4.10. ábra Légcserezés szám hatása az egyensúlyi hőmérsékletkülönbségre

4.1.3 Mért léghőmérséklet értékek oktatási épületben (2011)

Felmerült a kérdés, hogy milyen mértékben csökkenthető a belső léghőmérséklet maximuma, a természetes szellőzés mellett, különböző belső árnyékolók alkalmazásával. Ahhoz, hogy értékelhető eredményeket kapjak további K-i tájolású, mérésre alkalmas, irodahelyiségeket azonosítottam be az oktatási épületben. A III. emeleten további két helyiségben helyeztem el TESTO SAVERIS érzékelőket, az I. emeleten a nagyterű irodahelyiség mellett egy, a III. emeleti irodával azonos méretekkkel rendelkező, helyiségben mértem (4.11. ábra).

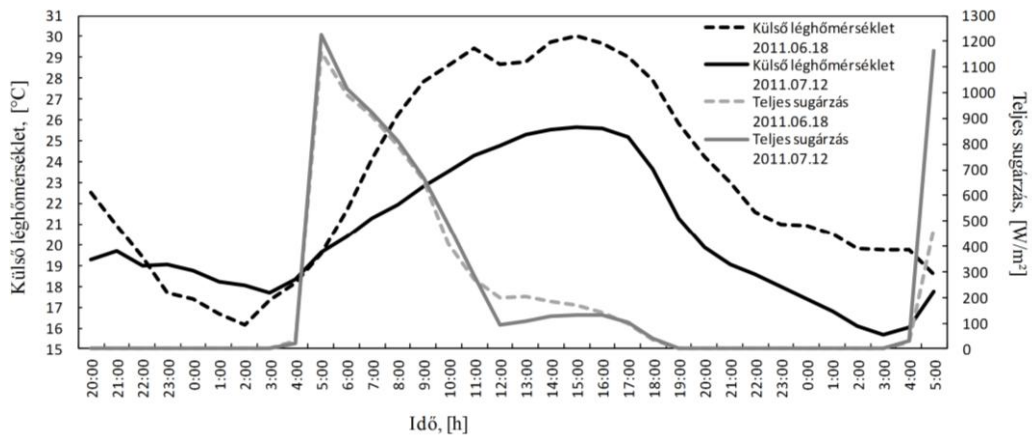


4.11. ábra Irodahelyiségek alaprajzi sémája

A méréseimet 2011 nyarán több héten keresztül végeztem. A 4.12. ábrában bemutatásra kerül egy júniusi és egy júliusi nap külső átlagos hőmérsékletének alakulása, valamint a K-i homlokzatra eső diffúz és direkt sugárzás összegének változása a két vizsgált napon.

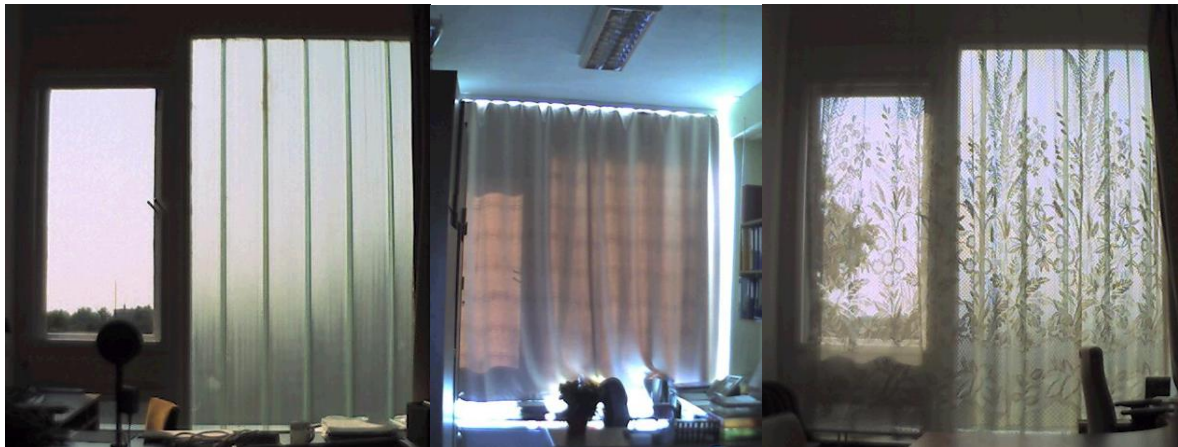
Látható, hogy a sugárzás maximális értéke 5:00 óra körül van, ami kihat a belső térben kialakuló operatív hőmérséklet értékeire a nap hátralévő részében. A vizsgált irodahelyiségek K-i tájolású külső határoló szerkezete szinte teljes mértékben üveg. Az 1, 3, 4, 5 irodahelyiségeknél 2,85 m² kettős normál üvegezésű gerébtokos ablak mellett 5,42 m² kopolit üveg van beépítve. A 2. irodahelyiségben 8,55 m² kettős normál üvegezésű gerébtokos ablak, valamint 16,25 m² kopolit üveg van beépítve. Az 1. és 2. helyiségekben split légkondicionáló berendezések vannak telepítve, melyek munkanapokon 7:30-16:00 óra között működhetnek.

Mivel három helyiség egymás mellett található a III. emeleten, adódott a lehetőség annak vizsgálatára, hogy egyes belső oldali árnyékolók milyen hatással vannak a kialakuló belső léghőmérsékletre.



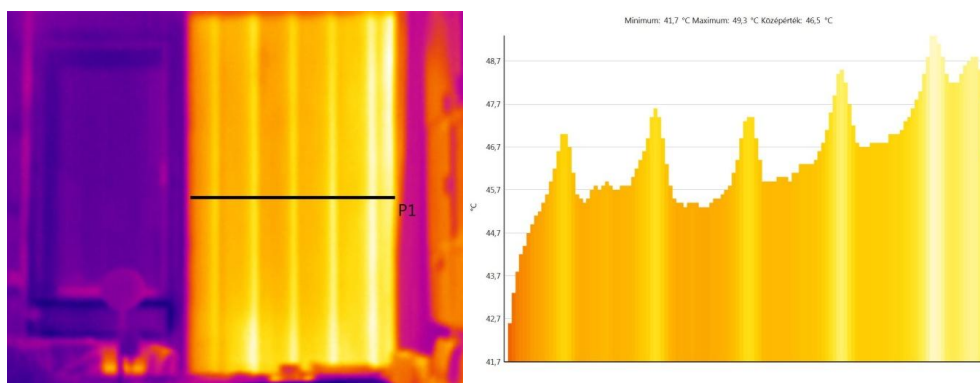
4.12. ábra Sugárzási és külső hőmérséklet adatok a vizsgált napokon

A 4.13. ábrában látható, hogy a 3. irodában semmilyen árnyékolót nem alkalmaztam, a 4. irodában egy függöny mellett egy sötétítőt is alkalmaztam, az 5. irodában pedig csak függöny volt.



4.13. ábra Irodahelyiségek külső határolószerkezetének árnyékolása (balról jobbra: 3, 4, 5 helyiségek).

Abban a helyiségben, amelyben nem alkalmaztam semmilyen belső oldali árnyékolót hőkamerával készítettem egy felvételt a szerkezet belső felületéről (4.14. ábra).



4.14. ábra Hőkamerás felvétel a külső határolószerkezet belső felületéről (3. iroda)

A hőmérsékleti hisztogramból látható, hogy a kopolit üvegszerkezet belső felületen 46 °C hőmérsékletek is kialakulnak, ami csaknem megegyezik a fűtési előremenő hőmérséklettel 0

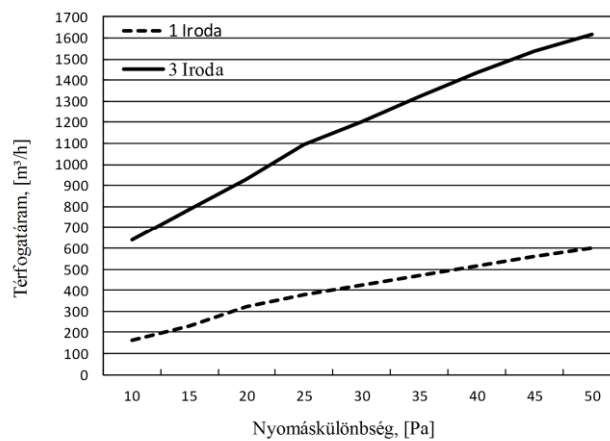
°C külső hőmérséklet mellett, ha a méretezési fűtési hőfoklépcső 75/55 °C. Ráadásul a mi esetünkben 5,42 m² a „hőleadó” felület (kopolit felülete).

A kopolit üveg belső felületi hőmérsékletét a nap folyamán három időpontban mértem. Az átlaghőmérsékleteket a 4.3. táblázat tartalmazza.

4.3. táblázat Kopolit belső felületi hőmérséklete

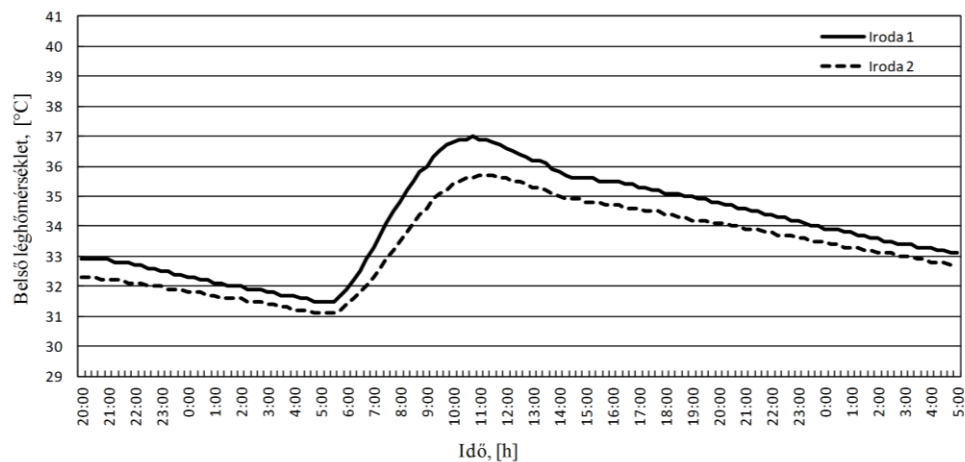
Helyiség	8:00	10:00	16:00
3	46,5	47,2	38,1
4	43,6	41,7	37,8
5	42,7	43,3	37,5

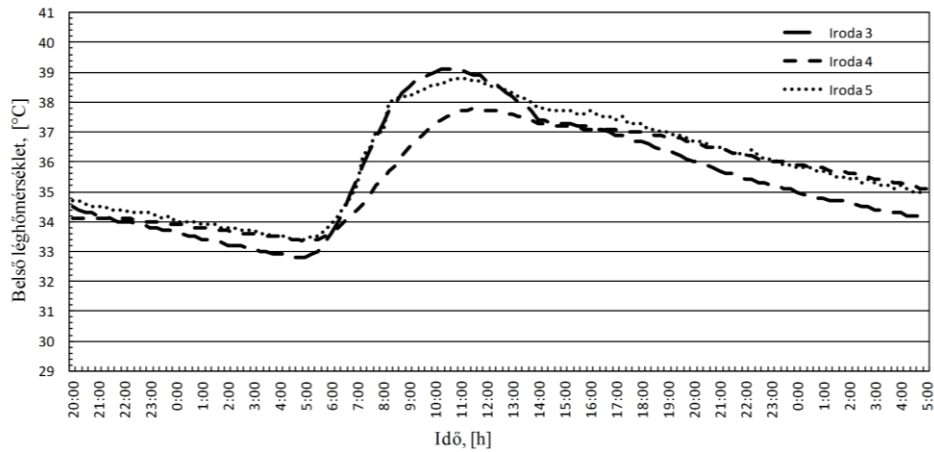
Megvizsgáltam továbbá az 1 és 3 irodának a légtömörségét. Ehhez a rendelkezésemre álló RETROTEC 3000 blower door mérőműszert használtam. A műszer alkalmas a létesítmények légtömörségének a mérésére 2000 m² alapterületig. A 10-50 Pa nyomáskülönbségnél kialakuló infiltrációs légáramokat a két helyiség esetében a 4.15. ábra mutatja be.



4.15. ábra Filtrációs légáramok a tömítetlen szerkezeteken keresztül

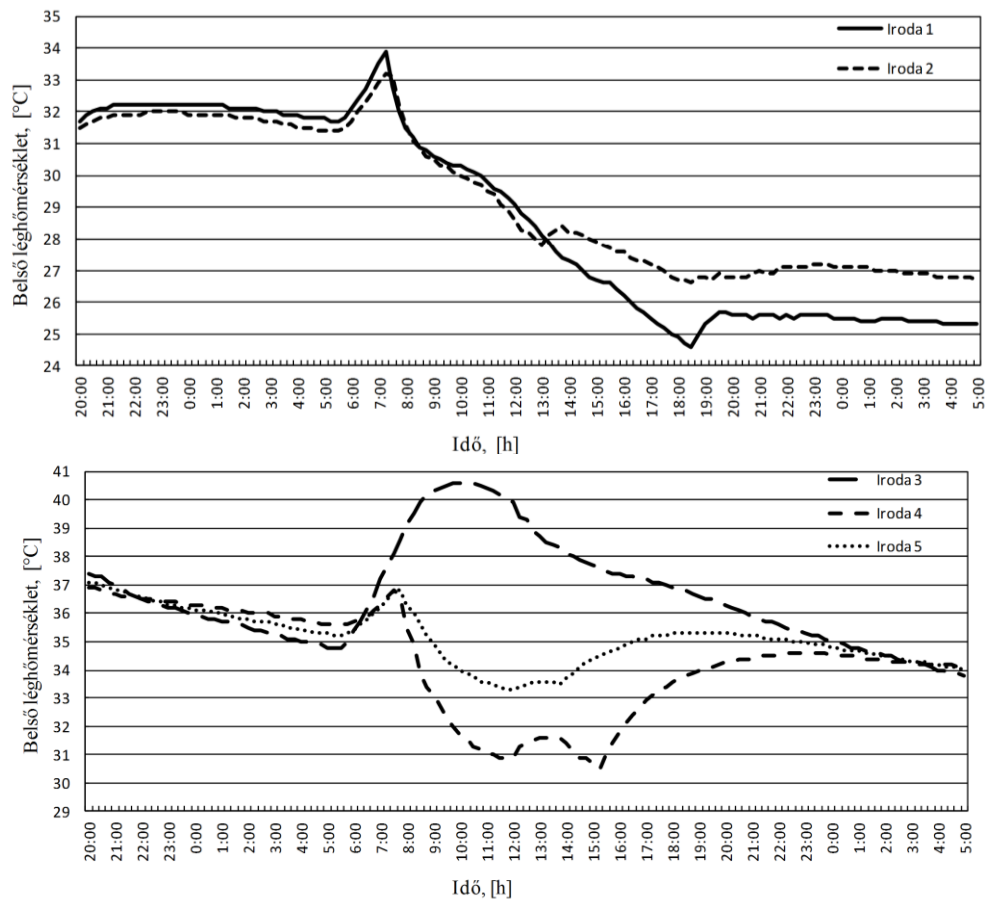
A belső léghőmérséklet értékeit egy hétvégi munkaszüneti napon a 4.16. ábra mutatja be.





4.16. ábra Léghőmérsékletek a vizsgált helyiségekben 2011. június 18

A léghőmérsékletek alakulását a vizsgált helyiségekben egy munkanapon a 4.17. ábra mutatja be.



4.17. ábra Léghőmérsékletek a vizsgált helyiségekben 2011. július 12.

A 3. irodahelyiség nyílászárói zárt állapotban voltak, a 4. irodahelyiségnél keresztthuzatot hoztam létre 8:00-16:00 óra között, az 5. irodahelyiségnél pedig csak az homlokzaton lévő ablak volt nyitva 8:00-16:00 óra között. Látható, hogy a szellőzés és egy egyszerű belső függöny alkalmazása mintegy 6-6,5 °C-al csökkenti a belső léghőmérséklet maximumát, míg függöny és sötétítő együttes alkalmazásával és keresztthuzattal további 2,0 K hőmérsékletcsökkenés érhető el.

Mivel a nyári túlmelegedés kockázatának számításánál 2,8 K értéket kaptam, ami megfelelt a 7/2006 Rendelet előírásainak, meghatároztam a vizsgált helyiségek esetében a belső-külső átlaghőmérsékletek különbségét ($\Delta t_i = \bar{t}_i - \bar{t}_e$), a két elemzett napon. A számítások eredményeit a 4.4 és 4.5. táblázat tartalmazza.

4.4. táblázat Túlmelegedés számítása a vizsgált helyiségekben (2011.06.18)

Helyiség	Belső hőmérséklet napi átlaga, [°C]	Külső hőmérséklet napi átlaga, [°C]	Δt_i , [K]
1	34,36	24,28	10,08
2	33,60	24,28	9,32
3	35,98	24,28	11,70
4	35,85	24,28	11,57
5	36,35	24,28	12,07

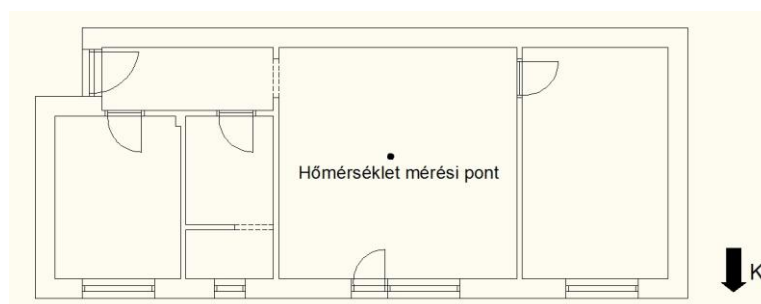
4.5. táblázat Túlmelegedés számítása a vizsgált helyiségekben (2011.07.12)

Helyiség	Belső léghőmérséklet napi átlaga, [°C]	Külső léghőmérséklet napi átlaga, [°C]	Δt_i , [K]
1	28,86	21,56	7,30
2	29,32	21,56	7,76
3	37,09	21,56	15,53
4	33,89	21,56	12,33
5	35,01	21,56	13,45

A 4.4 és 4.5 táblázatok alapján megállapítható, hogy a túlmelegedés kockázata egyes kritikus tájolású helyiségekben jóval nagyobb lehet, mint a szabvány által az egész épületre vonatkozóan meghatározott érték.

4.1.4 Mért léghőmérséklet értékek egy lakóépületben

Az eddigi eredmények alátámasztották a téma aktualitását és fontosságát. Felmerült azonban a kérdés, hogy milyen belső léghőmérséklet ingadozás alakulhat ki egy lakóépületben, ahol másfajta építőanyagok és nyílászárók vannak beépítve, illetve más az üvegezési arány is. A mérésekhez egy 1960-as években tömör téglából épült épület harmadik emeletén lévő lakás egyik K-i tájolású helyiségét választottam (4.18. ábra).

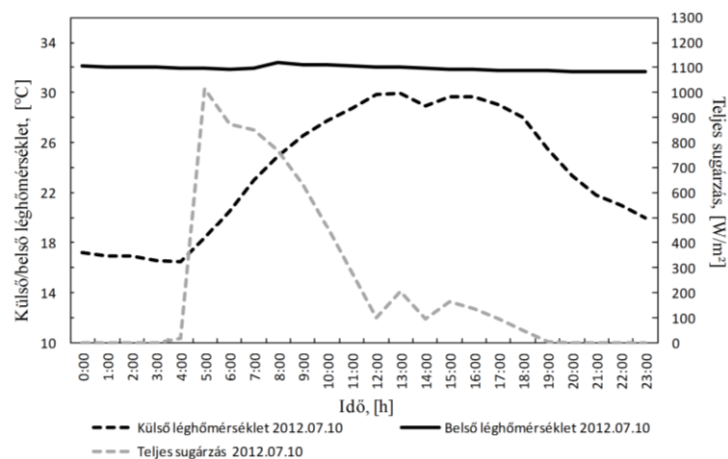


4.18. ábra Mérési pont a lakásban

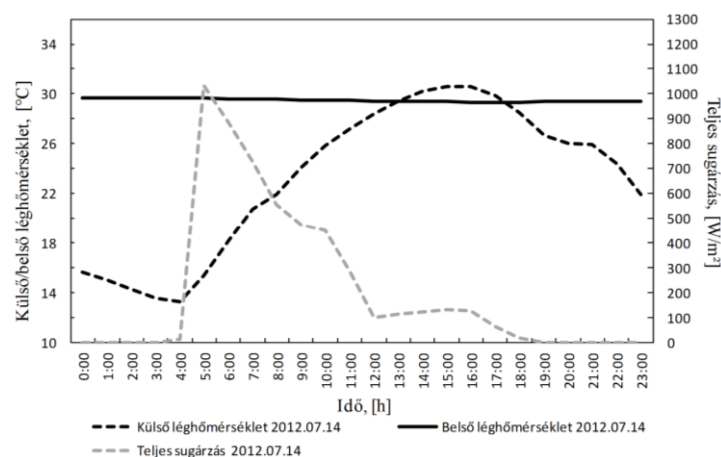
A helyiség méretei: 4,52×4,54×2,6 m. Az üvegezett szerkezet méretei: erkélyportál, 70×200 bukó-nyíló erkélyajtó egy vízszintes osztással, 140×140 bukó-nyílóablakkal.

A helyiség külső, K-i tájolású falszerkezetének üvegezési aránya 23,8%.

A méréseket két olyan napon végeztem el, amikor a lakók nem tartózkodtak a lakásban. Az egyik napon nem alkalmaztam semmilyen árnyékolást, másik mérési napon viszont külső redőnnyel árnyékoltam a nyílászárót. A sugárzási intenzitás értékeit, a belső és külső hőmérséklet értékeit a 4.19. ábra, illetve a 4.20. ábra mutatja be. A belső és külső hőmérsékletek napi átlagértékei közötti különbséget a 4.6. táblázat mutatja be.



4.19. ábra Sugárzási intenzitás értékei, a belső és külső hőmérséklet értékei, 2012.07.10 (árnyékoló szerkezet nélkül)



4.20. ábra Sugárzási intenzitás értékei, a belső és külső hőmérséklet értékei, 2012.07.14 (árnyékoló szerkezettel)

4.6. táblázat Túlmelegedés számítása a vizsgált helyiségekben

Mérés időpontja	Belső hőmérséklet napi átlaga, [°C]	Külső hőmérséklet napi átlaga, [°C]	Δt_r , [K]
2012.07.10	31,95	23,79	8,16
2012.07.14	29,50	23,24	6,26

Megállapítható tehát, hogy nem csak azokban a helyiségekben alakul ki jelentős túlmelegedés, melyekben a külső határoló szerkezet csaknem teljes egészében üveg, hanem a hagyományos üvegezési arányok mellett is előfordulhatnak olyan belső léghőmérsékletek, amelyek miatt a bent tartózkodók hőérzete munkavégző vagy regenerálódási képessége az optimálisnál rosszabb lesz.

4.1.5 Légtömörség mérések

Természetes szellőzéssel a helyiségek túlmelegedése csökkenthető. Előfordulhat azonban, hogy a külső hőmérséklet értéke jóval nagyobb, mint a belső léghőmérséklet így a napnak ezen időszakában hőérzeti és energetikai szempontból nem előnyös a szellőztetés. Ha a nyílászáró szerkezetek nem elég légtömörök, akkor előfordulhat, hogy a nagyobb hőmérsékletű külső levegő a tömítetlen réseken keresztül mégis beáramlik az épületbe, így növelve annak hőterhelését. Kérdés tehát, hogy milyen filtrációs légcsereszámok alakulhatnak ki régi és új nyílászárók esetében?

A 4.1.3 és 4.1.4 pontban vizsgált oktatási épület esetében légtömörégi vizsgálatokat végeztem az épület felújítása előtt és után. A felújítások nem csak a szerkezetek hőtechnikai minőségét érintették, hanem a határolószervezetek geometriai paramétereit is, (4.7. táblázat).

4.7. táblázat A vizsgált épület határolószervezeteinek geometriai adatai

Tájolás	Homlokzat felülete, [m ²]	Nyílászárók felülete, [m ²]	Homlokzat felülete, [m ²]	Nyílászárók felülete, [m ²]
	felújítás előtt		felújítás után	
É	1945	634,1	1769,5	571,4
D	2024	1063,4	1808,9	728,2
K	2546	1419,7	2172,5	992,5
Ny	2598	634,1	2071,9	661

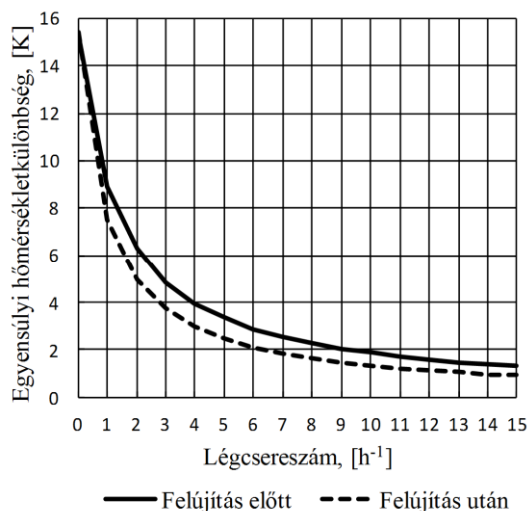
A 4.21. ábrában jól látható, hogy a K-i homlokzat esetében jelentősen csökkent az üvegezési arány. A beépített új ablakok hőátbocsátási tényezője 1,34 W/m²K, míg a tömör szerkezetek hőátbocsátási tényezője 0,34 W/m²K.



4.21. A vizsgált épület K-i homlokzata a felújítás előtt és után

A nyári időszakra vonatkozó egyensúlyi hőmérsékletkülönbség alakulását a légcsereszám függvényében az épület felújítása után a 4.22. ábra illusztrálja. Látható, hogy kisebb légcsereszám értékek mellett a felújítás után akár 1-2 °C csökkenés várható, azonban növelve a légcsereszámot a felújítás hatása az egyensúlyi hőmérsékletkülönbségre csökken.

Az épület sugárzási hőterhelésének számítását a 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet nyári túlmelegedés számításához megadott sugárzási intenzitások alapján határoztam meg. A számítások eredményét a 4.8. táblázat tartalmazza.



4.22. ábra Egyensúlyi hőmérséklet alakulása az épület felújítása után

4.8. táblázat A vizsgált épület nyári hőterhelése

	Belső hőterhelés, [W]	Sugárzásos hőterhelés, [W]
Felújítás előtt	104813,5	176477,8
Felújítás után	113817,7	126485,9

A hűtési primer energiafogyasztás számítását a hűtőgép szezonális átlagos teljesítménytényezőjének (SEER) és a hűtőrendszer hőmérsékletlépcsőjéből adódó érezhető és totál hűtőtelsítmény arányának (ε) figyelembevételével végeztem el (Kajtár-Kassai, 2008; Kassai, 2011):

$$E_{hű} = \frac{\varepsilon Q_{hű} e_{hű}}{SEER A_N} \quad (4.3.)$$

A nettó hűtési energiaigény becslésére a következő összefüggést ajánlja a rendelet, (7/2006 TNM Rendelet):

$$Q_{hű} = \frac{24}{1000} n_{hű} \left(\sum A_N q_b + Q_{sdnyár} \right) \quad (4.4.)$$

ahol: $Q_{sdnyár}$ – a direkt sugárzásos hőterhelés; q_b – belső hőnyereségek; $n_{hű}$ – azoknak a napoknak a száma, amelyekre teljesül a:

$$t_{em} \geq t_{il} - \Delta t_{bnyár} \quad (4.5.)$$

feltétel. A t_{em} – a hűtési határhőmérséklet, t_{il} az elvárt belső léghőmérséklet.

A hűtési energiaigény alakulását a nyári időszakban alkalmazott légcserezés függvényében a 4.9. táblázat mutatja be.

4.9. táblázat Hűtési energiaigény, felújítás előtt és után

$n_{nyár}$, [h ⁻¹]	Felújítás előtt, [kWh/év]	Felújítás után, [kWh/év]
3	85512,54	48060,72
6	33754,95	15379,43
9	18002,64	9612,14

A vizsgált épület azon helyiségeiben, melyekben hőmérsékletméréseket végeztem, elvégeztem a légtömörégi vizsgálatokat is a felújítás előtt és után is. A méréseket RETROTEC 3000 Blower Door készülékkel végeztem.

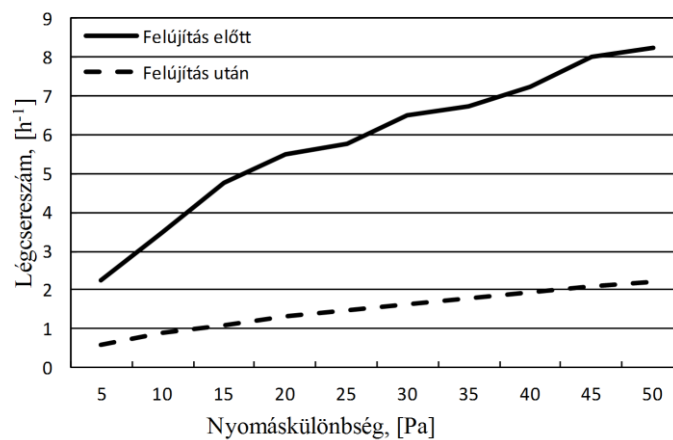
A mérés módja a következő: a helyiség/épület egy kültéri ajtajába beépítjük a mérő műszert (4.23. ábra), mely egy ponyvából, nyomásérzékelőkből és egy ventilátorból áll. A külső nyílászárókat a mérés időtartama alatt bezárjuk.

A „Blower-door” működési elve az, hogy a lakáson belül a környezeti légnyomáshoz képest 50 Pa túlnyomást hozunk létre, és vizsgáljuk az ekkor kialakuló térfogatáramot. A túlnyomásos teszt során annyi levegőt nyomunk az épületbe, hogy 50 Pa túlnyomás jöjjön létre. Hasonlóan elvégezzük a depressziós mérést, csak fordítva, annyi levegőt szívunk el az épületből, hogy 50 Pa nyomáskülönbség jöjjön létre. A két mérési eredmény középértékét n_{50} -es légcsereszámmal jelölik.



4.23. ábra Légtömörség mérés RETROTEC 3000 blower door készülékkel

A légtömörégi vizsgálat eredményét a 4.24. ábra illusztrálja.



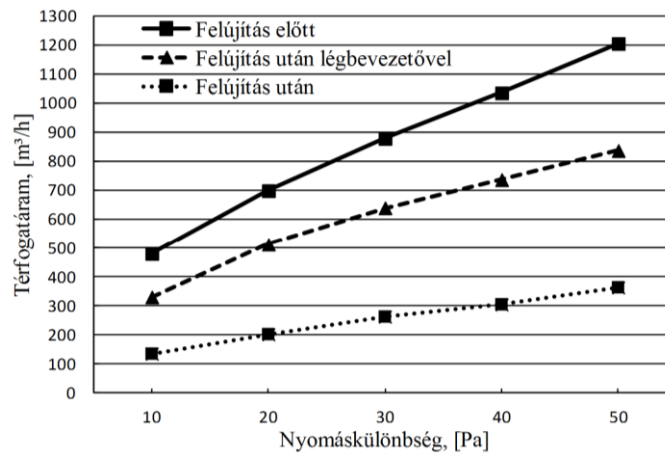
4.24. ábra Légtömörség vizsgálat az oktatási épületben

A 4.1.4. pontban vizsgált lakás esetében is nyílászáró csere történt. Lehetőségem volt légtömörégi vizsgálatok elvégzésére a felújítás előtt és után is.

Felújítás után szükséges volt egy légbevezető beépítése. A légáramok értékét különböző nyomáskülönbségek mellett a 4.25. ábra mutatja be.

Felújítás előtt tehát az 50 Pa nyomáskülönbség mellett kialakuló légcsereszám $8,75 \text{ h}^{-1}$, felújítás után pedig (lezárt légbevezető mellett) $2,8 \text{ h}^{-1}$.

A légtömörégi méréseket elvégeztem egy kisebb alapterülettel rendelkező lakás esetében is. A $29,5 \text{ m}^2$ alapterületű lakás egy debreceni lakóépületben a földszinten található. A lakásban egy szoba, egy fürdőszoba és egy konyha+étkező található.



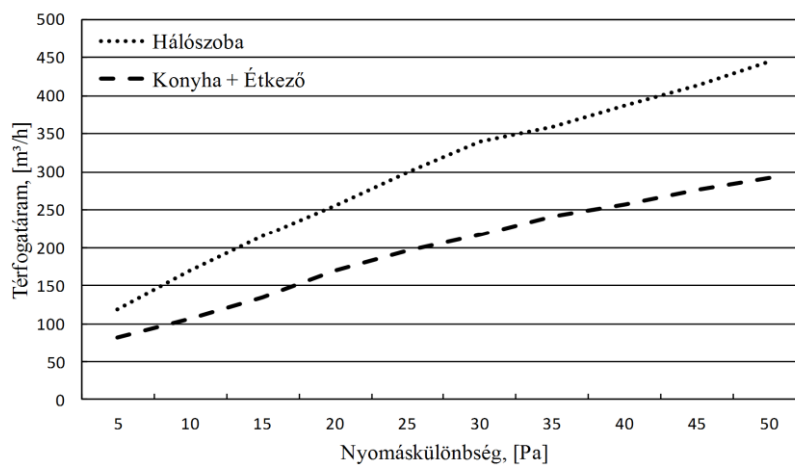
4.25. ábra Légáramok a nyomáskülönbségek függvényében

A természetes szellőzés az épület külső ablakain keresztül biztosítható és a mérési pontok a 4.10. táblázatban láthatóak. Mivel egy lakásban a filtráció jelentősen befolyásolja a belső levegő minőségét, ebben az esetben CO₂ koncentrációt is mértem.

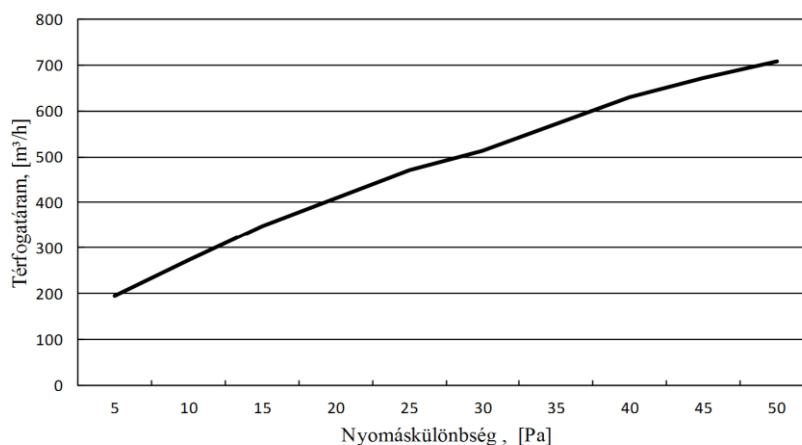
4.10. táblázat A természetes szellőzés elhelyezése és a CO₂ mérési pontjai

Alaprajz és a CO ₂ mérési pontok		A nyílászárók méretei:		
		Ablak Sz (mm)	H (mm)	
		A1	980	2030
		A2	980	2030
		A3	890	610
		A4	890	610
		A5	980	2030
		A konyha+étkező: V=31,7m ³ Hálószoba: V=39 m ³ Lakás: V=76,2 m ³		

A légtömörség mérési eredményeit a 4.26 és a 4.27 ábra mutatja be.



4.26. ábra Légáramok a nyomáskülönbségek függvényében (helyiségenként)



4.27. ábra Légáramok a nyomáskülönbségek függvényében (lakás)

A vizsgált lakás esetében tehát az n_{50} légcsereszám $9,3 \text{ h}^{-1}$.

Németországban a 2000 év előtt épített lakások 50 Pa nyomáskülönbség mellett $4,0 \text{ h}^{-1}$ légcsereszámmal rendelkeznek, a 2000 év után épített lakások esetében ez az érték $1,5 \text{ h}^{-1}$. A passzív házak esetében az n_{50} légcsereszámok $0,2-0,6 \text{ h}^{-1}$ értékek között vannak, (Internet-5).

A légtömörség mérések azt bizonyították, hogy filtrációval jelentős mennyiségű külső levegő juthat az épületbe, ami nyáron azokban az időszakokban, amikor a külső levegő hőmérsékletének értéke meghaladja a belső léghőmérséklet értékét, úgy hőérzeti, mint energetikai szempontból negatív következményekkel jár. Ugyanakkor a filtráció csökkentheti a belső légtérben a szennyezőanyagok koncentrációját.

4.1.6 Szén-dioxid koncentráció mérése a belső légtérben

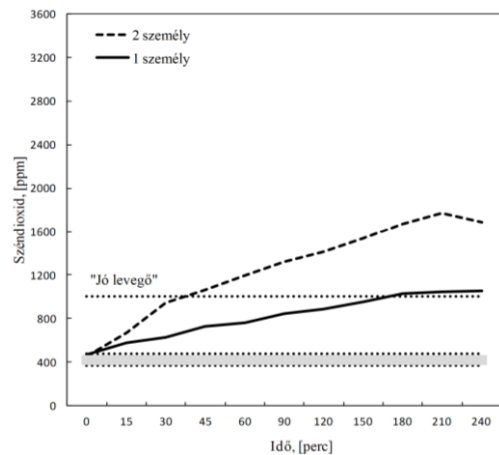
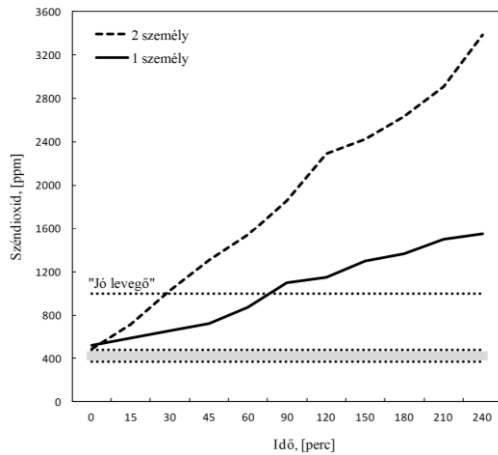
A mérésorozatot a konyhában+étkezőben végeztem. Három lehetőséget vizsgáltam, melyeknek peremfeltételeit a 4.11. táblázatban mutatom be. A 2. mérési napon a nyitott ablakszárny mérete: $390 \times 490 \text{ mm}$. A méréseket a délutáni-esti órákban végeztem. A belső levegő széndioxid értékét, hőmérsékletet és a relatív nedvesség tartalmát mértem egy személy illetve 2 személy esetében.

4.11. táblázat CO_2 mérések peremfeltételei

Mérési nap	Beltéri ajtók	Természetes szellőzés
1	csukva	Nincs
2	csukva	Van
3	nyitva	Nincs

A méréseket Testo 435 helyiséglevegő minőség mérő műszerrel mértem, melyhez csatlakoztattam egy CO_2 szondát a helyiség levegő minőségének megítélése céljából, (Internet-4).

A mérések eredményeit a 4.28. és 4.29. ábrákban mutatom be.

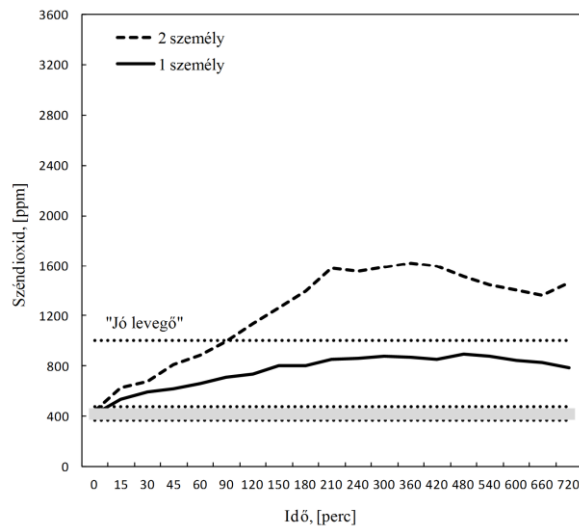


4.28. ábra Széndioxid koncentráció a vizsgált helyiségben (balról: 1. mérési nap; jobbról: 2. mérési nap)

A személyek közérzete romlik és koncentrálóképessége hanyatlik, mikor 2-3 órát töltenek olyan zárt térben, ahol a levegő CO₂ koncentrációja 3000 ppm, vagy magasabb, (Herczeg, 2008).

Zárt terekben, a benttartózkodók számának függvényében a belső levegő széndioxid koncentrációja növekszik. Az előbbieken említett 3000 ppm értéket a méréseim során csak akkor közelítettem meg mikor egy kis térfogatú szobában 2 ember 4 órát töltött.

Természetes szellőzéssel a széndioxid koncentráció nagymértékben csökkenthető, azonban számos esetben a beáramló alacsony széndioxid tartalmú külső levegő magasabb hőmérséklettel rendelkezik, így hőérzeti, illetve energetikai szempontból ez nem biztosít optimális megoldást.



4.29 ábra Széndioxid koncentráció a vizsgált helyiségben (3. mérési nap)

A harmadik mérési napon látható, hogyan alakult a széndioxid koncentráció egy hosszabb mérési időszakban. Az ábrában látható, hogy a széndioxid koncentráció növekszik, elér egy maximális értéket majd csökken. Ez azzal magyarázható, hogy az embernek az alvás során kevesebb oxigénre van szüksége így a CO₂ kibocsátás is csökken. Ugyanakkor a filtrációval a helyiségbe áramló külső levegő térfogatárama nem csökken, így a helyiség levegőjében a széndioxid koncentráció csökken.

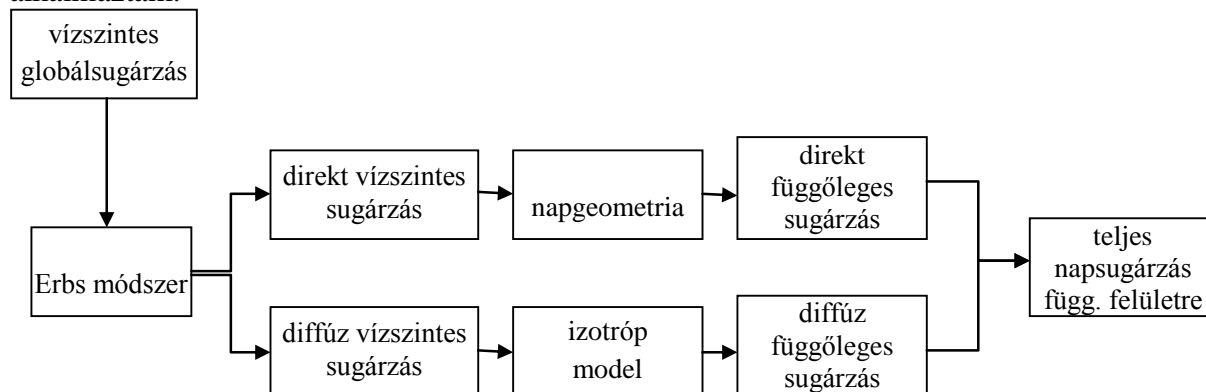
4.1.7 A komfort vizsgálatok megállapításai

A kutatásaim megalapozottságának bizonyításához, valamint a hipotéziseim igazolásához in situ méréseket végeztem 2010, 2011 évek során. A kutatási témám meghatározásakor azt feltételeztem, hogy Magyarországi éghajlat mellett, nyári időszakban, az épületekben a hőterhelés miatt olyan belső hőmérsékletek is kialakulhatnak, melyek meghaladják a szabványokban az épület rendeltetésének függvényében meghatározott értékeket. Ez a hipotézis igazolást nyert különböző időszakokban, különböző tájolású helyiségekben végzett léghőmérséklet mérések eredményeként. A vizsgált épületben, mérések azt bizonyították, hogy a K-i tájolású helyiségekben várható a legmagasabb belső léghőmérséklet érték. További mérések azt igazolták, hogy árnyékoló szerkezetekkel, illetve természetes szellőzéssel csökkenthető ugyan a túlmelegedés, de a vizsgálataim során a csökkenés egyetlen esetben sem vezetett elfogadható túlmelegedés értékekhez. A vizsgált épületekben, a 7/2006 Rendelet alapján meghatározott túlmelegedés értéke, a megengedett érték alatt volt, viszont a mérések azt bizonyították, hogy az épület egyes helyiségeiben jelentős a túlmelegedés. Nyári időszakban az épületbe természetes szellőzéssel vagy filtrációval bejutó levegő a túlmelegedés vonatkozásában akkor kívánatos, amikor a külső levegő hőmérséklete alacsonyabb, mint a belső léghőmérséklet. Légtömörségi vizsgálatokkal igazoltam, hogy 50 Pa túlnyomás mellett jelentős légcsereszámok alakulnak ki az épületekben, még nyílászáró csere után is. Ennek természetesen nem csak a túlmelegedés tekintetében vannak hőérzeti és energetikai következményei, hanem a belső levegő minőségét is jelentősen befolyásolják. Figyelembe véve a napjainkban tapasztalható energiamegtakarítási, illetve a környezetterhelést csökkentő törekvéseket, valamint a növekvő komfortigényeket, az elvégzett mérésorozatok igazolták a tervezett kutatás megalapozottságát és aktualitását.

4.2 A napsugárzás és a külső léghőmérséklet elemzése

A számításaimhoz a vizsgált három módszer közül az Erbs és társai által kidolgozott módszert választottam, (Erbs et al., 1982). A Debrecen-Kismacs Agro-Meteorológiai állomás által rendelkezésemre bocsátott órai globál sugárzás értékek alapján (2009-2013) meghatároztam a vízszintes felületre érkező diffúz sugárzás értékeit.

A vízszintes globálsugárzás megoszlására a 4.30. ábrán bemutatott számítási algoritmust alkalmaztam.



4.30. ábra Számítási módszer a függőleges globálsugárzás meghatározásához a vízszintes globálsugárzásból kiindulva, (Heinemann, 2002)

Erbs szerint a globál sugárzás és a vízszintes felületre érkező diffúz sugárzás értékei között a következő összefüggés áll fenn, (Erbs et al., 1982):

$$\frac{I_{DifH}}{I_{GH}} = 1 - 0,9k_T \quad ha \quad k_T \leq 0,22$$

$$\frac{I_{DifH}}{I_{GH}} = 0,9511 - 0,160k_T + 4,388k_T^2 - 16,638k_T^3 + 12,336k_T^4 \quad ha \quad 0,22 < k_T \leq 0,8 \quad (4.6.)$$

$$\frac{I_{DifH}}{I_{GH}} = 0,165 \quad ha \quad k_T > 0,8$$

ahol: k_T – a homályossági tényező.

A homályossági tényező értéke a (4.7.) összefüggéssel határozható meg:

$$k_T = \frac{I_{GH}}{G_{SC} \cos \theta_z} \quad (4.7.)$$

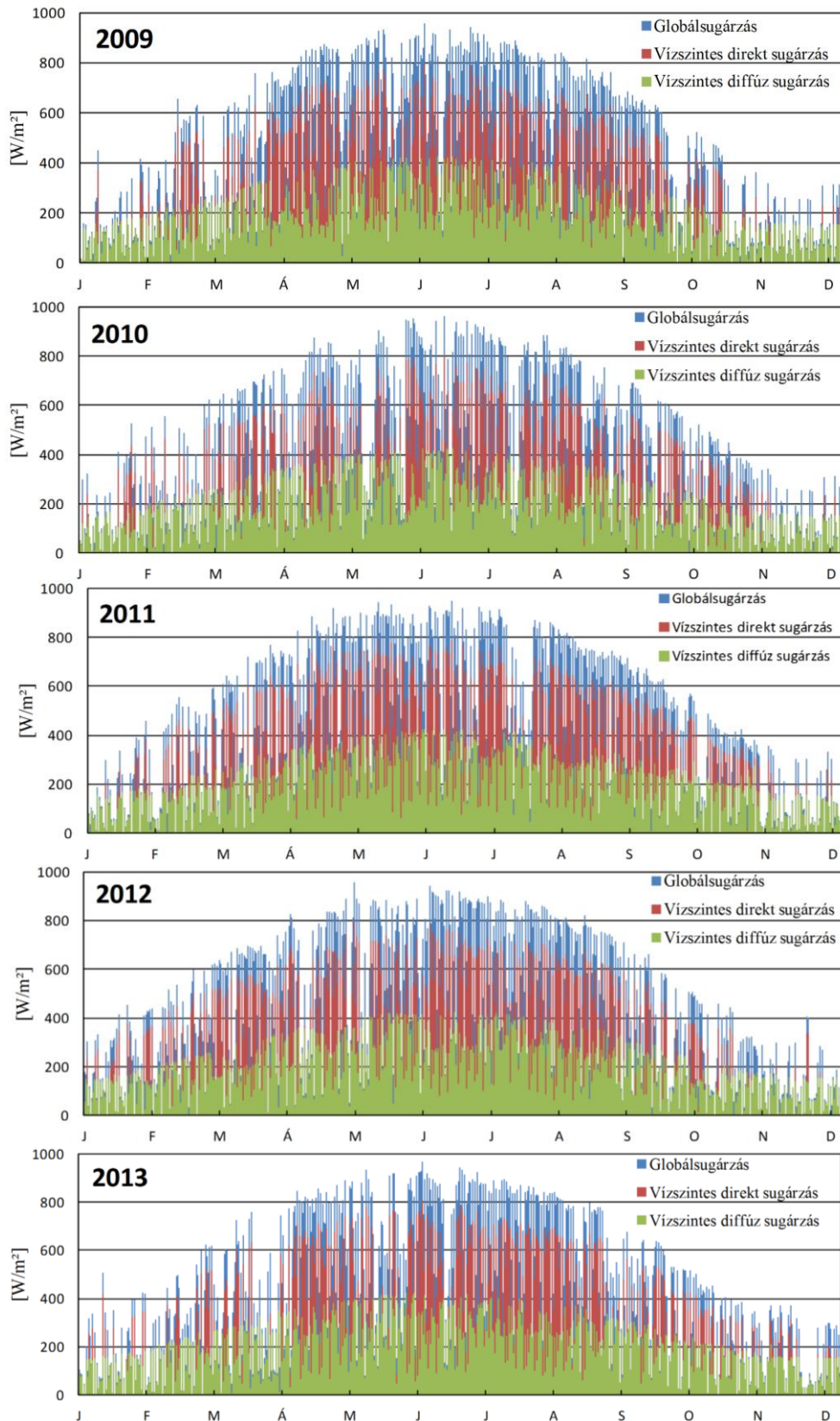
ahol: G_{SC} – a napállandó, 1367 W/m^2 .

A vízszintes felületre érkező direkt napsugárzás értékét a (4.8.) összefüggéssel határozhatjuk meg, (Duffie-Beckman, 2006):

$$I_{dirH} = \frac{I_{GH} - I_{difH}}{\cos \theta_z} \quad (4.8.)$$

ahol: I_{dirH} – a vízszintes felületre érkező direkt sugárzás, $[\text{W/m}^2]$; I_{GH} – a globál sugárzás, $[\text{W/m}^2]$; I_{difH} – a vízszintes felületre érkező diffúz sugárzás, $[\text{W/m}^2]$.

A globál sugárzás mért értékeit, a számított vízszintes felületre érkező direkt sugárzás értékeit, valamint a vízszintes felületre érkező diffúz sugárzás értékeit 2009-2013 között a 4.31. ábra mutatja be.



4.31. ábra A globál sugárzás, illetve a vízszintes felületre érkező direkt és diffúz sugárzás értékei (2009-2013)

Ha elemezzük a 4.31. ábrát megállapíthatjuk, hogy vízszintes felületek esetében a diffúz sugárzás jelentős részét teszi ki a globál sugárzásnak. A 4.12. táblázat a diffúz sugárzás és a globál sugárzás arányát mutatja be 2009-2013 között Debrecen vonatkozásában, hónapoként.

4.12. táblázat A diffúz sugárzás és a globál sugárzás aránya (2009-2013)

Hónap	$I_{\text{diff}}/I_{\text{GH}}$					Átlag
	2009	2010	2011	2012	2013	
Január	0,70	0,57	0,66	0,57	0,64	0,63
Február	0,48	0,67	0,56	0,53	0,63	0,57
Március	0,56	0,46	0,41	0,35	0,53	0,46
Április	0,32	0,45	0,43	0,44	0,38	0,40
Május	0,44	0,60	0,39	0,44	0,48	0,47
Június	0,46	0,44	0,42	0,42	0,42	0,43
Július	0,38	0,41	0,47	0,40	0,36	0,41
Augusztus	0,44	0,41	0,37	0,35	0,36	0,39
Szeptember	0,38	0,51	0,38	0,43	0,49	0,44
Október	0,51	0,40	0,45	0,53	0,43	0,47
November	0,62	0,54	0,49	0,64	0,61	0,58
December	0,79	0,79	0,77	0,79	0,65	0,76

Megállapítható, hogy a diffúz sugárzás éves értékei 2009-2013 között 39-76% között szórnak, az öt év átlaga viszont 50%, ami megegyezik a szakirodalomban megadott értékkel, (Barótfi, 2000).

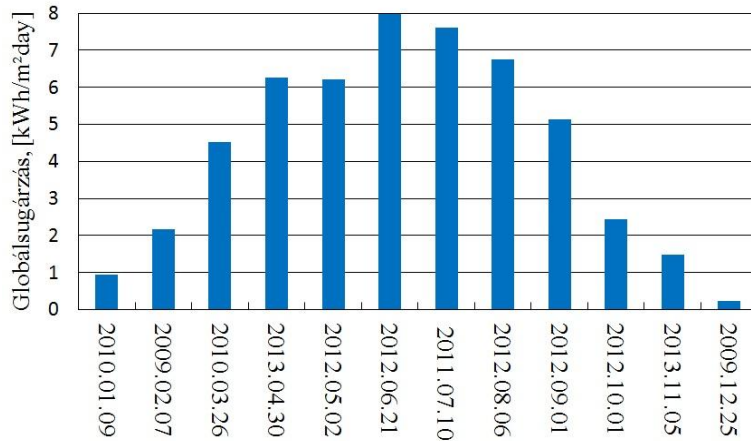
A 4.31. ábra alapján megállapítható, hogy 900 W/m^2 értéknél nagyobb órai globál sugárzási átlagértékeket Április, Május, Június és Július hónapokban mértek. Az egyes mérési években globál sugárzás maximális értékeit és a mérések időpontját a 4.13. táblázat mutatja be.

4.13. táblázat Globál sugárzás éves maximum értékei (2009-2013)

Év	Nap; óra	I_{GH} , [W/m^2]
2009	Június 14; 12:00	960,00
2010	Június 23; 12:00	963,50
2011	Június 24; 11:00	946,17
2012	Május 10; 11:00	955,83
2013	Június 14; 11:00	966,50

A mért globál sugárzási adatok alapján meghatároztam a vízszintes felületre érkező sugárzási energia napi értékét. Ezzel egy időben a vizsgált időszakra vonatkozóan az órai átlaghőmérsékletek alapján meghatároztam a napi átlaghőmérsékletek értékeit is, (Csáky-Kalmár, 2014). A vizsgált öt évre vonatkozóan, mindegyik hónap legmelegebb napján a vízszintes felületre érkező sugárzási energiahozam értékeit a 4.32. ábra mutatja be.

A legmelegebb napok esetében Júniusban volt a legnagyobb az energiahozam, Decemberben pedig a legkevesebb (16-szoros arány). Figyelemre méltó, hogy az öt év mérési időszakban a legmelegebb napok közül a 2012 év ötször fordult elő, míg 2009, 2010, és 2013 években két-két hónapban volt legnagyobb a napi átlaghőmérséklet, egy hónapban pedig a legmelegebb nap 2011 évben volt.



4.32. ábra Vízszintes felületre érkező napi sugárzási energiahozam, az egyes hónapok legmelegebb napjain a vizsgált időszakban

4.2.1 Az R_b tényező

A dőlt és a vízszintes felületet ért sugárzás és a direktsugárzás aránya (R_b) az alábbi összefüggés felhasználásával határozható meg, (Basunia et al., 2012; Bartha, 2009).

$$R_b = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (4.9.)$$

ahol: θ – a beesési szög (a felszínre érkező sugárzás és a felszín normális által bezárt szög).

A (4.9.) összefüggésben:

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \sin \delta \sin \varphi \cos \beta - \sin \delta \cos \varphi \sin \beta \cos \gamma + \\ & + \cos \delta \cos \varphi \cos \beta \cos \omega + \cos \delta \sin \varphi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega + \\ & + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega \end{aligned} \quad (4.10.)$$

és

$$\cos \theta_z = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos \omega \quad (4.11.)$$

ahol: φ - a földrajzi szélesség; ω - óraszög.

A deklinációs szög értékét a (4.12.) összefüggéssel határozhatjuk meg, (Sheng Hsieh, 1986):

$$\delta = 23,45 \sin \left(360 \frac{284 + n}{365} \right) \quad (4.12.)$$

ahol: n – az év napjainak a sorszáma (Január 1-től, December 31-ig)

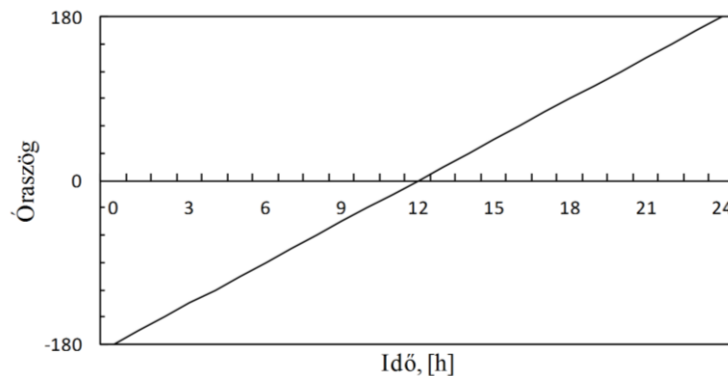
Egy nap alatt a deklinációs szög maximum $0,5^\circ$ -t változhat. Szökőév esetén a Február 29-e ugyanazt a sorszámot kapja, mint Február 28, (Barótfi, 2000). A deklinációs szög maximális értéke $23,45^\circ$ (Június 21-én), míg a minimális értéke $-23,45^\circ$ (December 21-én). A tavaszi és őszi napéjegyenlőség napjain (Március 21, illetve Szeptember 21) a deklinációs szög értéke 0° . Az év egyes hónapjaira vonatkozó deklinációs szögek értékeit a 4.14. táblázat tartalmazza.

4.14. Táblázat Deklinációs szögek

Hónap	n	δ
Január	10	-22,04
Február	40	-15,52
Március	78	-1,21
Április	100	7,53
Május	130	17,52
Június	172	23,45
Július	202	20,44

Augusztus	232	12,10
Szeptember	266	-1,01
Október	295	-12,10
November	315	-18,17
December	355	-23,45

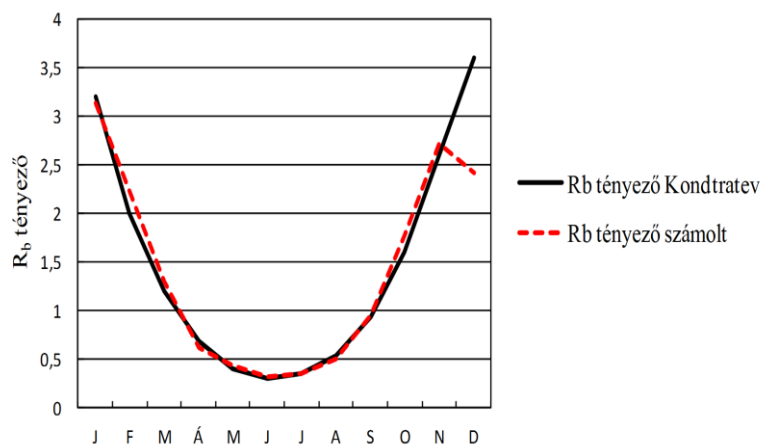
Az óraszög a Nap szögmozdulása Keletre vagy Nyugatra a lokális délkörtől Az óraszög definíciója alapján déli 12 órakor 0 és óránként 15° -ot változik. Értéke délelőtt negatív, délután pozitív, (Basunia et al., 2012; Bartha, 2009). Az óraszög értékeinek napi változását a 4.33. ábra mutatja be.



4.33. ábra Az óraszög értékei

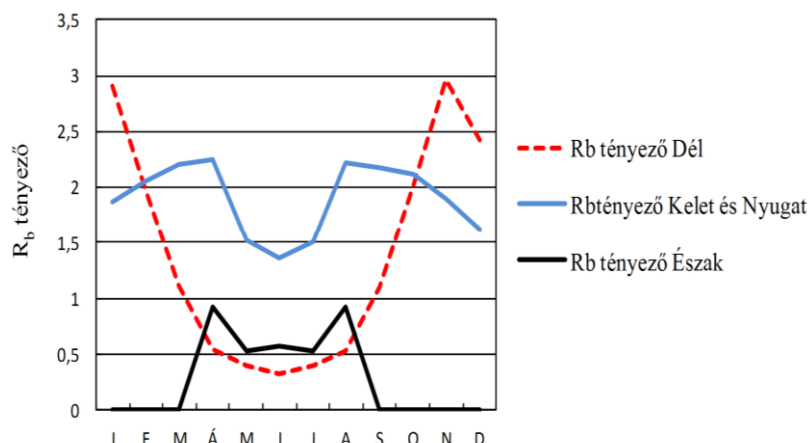
Felhasználva a (4.9.)-(4.12.) összefüggéseket az meghatároztam a fő égtájakra, az év minden órájára az R_b tényező értékeit Debrecen városra vonatkozóan. Bogoslovskij egyik kutatási jelentésében Déli tájolás esetében bemutatta az R_b tényező értékeit az év minden hónapjának egy adott napjára vonatkozóan (15-e), (Kondratev et al., 1978; Bogoslovskij-Poz, 1983). A saját számításaim eredményeit összevettem a Kondratev által meghatározott értékekkel, 4.34. ábra.

Megállapítható, hogy Január-November időszakban az értékek teljes mértékben megegyeznek, azonban December hónap vonatkozásában nagy eltérés tapasztalható. Miután a számításaimat többször is ellenőriztem és azok helyesnek bizonyultak, a nemzetközi szakirodalomban végzett további kutatásaim megerősítettek abban, hogy az általam meghatározott értékek helyesek, (Celik, 2006).



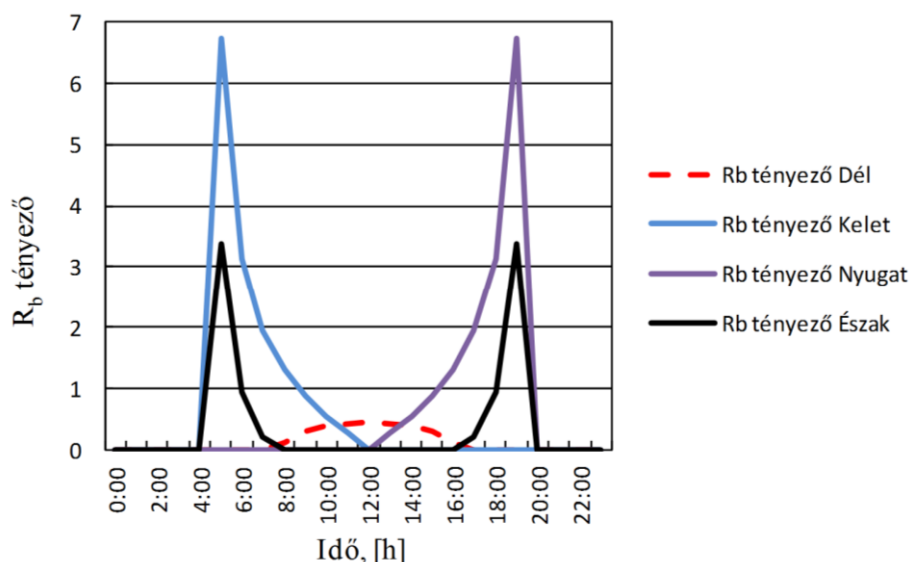
4.34. ábra Az R_b tényezők összehasonlítása (Déli tájolás)

A négy fő égtáj esetében, az év egyes hónapjainak 21-i napjára, függőleges felületekre vonatkozó átlagos R_b értékeket a 4.35. ábra mutatja be.



4.35. ábra R_b tényező értékei különböző tájolású függőleges felületekre vonatkozóan

A négy fő égtáj esetében az R_b tényező értékeinek változását az év egy adott napján (június 21), függőleges felületekre vonatkozóan a 4.36. ábra mutatja be.



4.36. ábra R_b tényező értékeinek napi változása (június 21), függőleges felületekre vonatkozóan

4.2.2 Függőleges felületekre érkező teljes sugárzás

4.2.2.1 Az év legnagyobb globál sugárzási energiahozamával rendelkező hónapjai

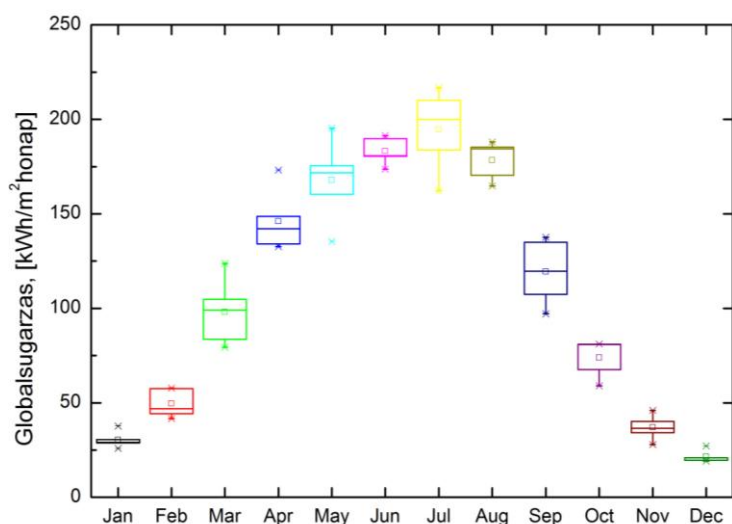
Az R_b tényezők órai értékeinek ismeretében meghatározható a különböző tájolású függőleges felületekre érkező sugárzási energia értékei. Mivel a Meteorológiai Állomás rendelkezésemre bocsátotta az öt év során mért összes órai értékeket, a függőleges felületekre érkező sugárzási energia meghatározható volt egy teljes év vonatkozásában is. Mivel a kutatásaim során a nyári hőterhelés vizsgálatára fókuszáltam alapvető kérdés volt számomra annak eldöntése, hogy az év mely hónapjai azok, melyek során az épületek belső zárt tereiben hőérzeti szempontból a leginkább kritikus belső légállapotok alakulhatnak ki.

Az Országos Meteorológiai Szolgálat adatai szerint Magyarországon a legnagyobb átlaghőmérséklettel rendelkező hónapok: Május, Június, Július és Augusztus (Internet-6). A kérdés eldöntéséhez vizsgáltam a globál sugárzás mért értékeit is. A 3.5 táblázatban a vízszintes felületre érkező havi sugárzási energiahozam értékeit mutatom be, 2009-2013 évekre vonatkozóan.

4.15. Táblázat Havi globál sugárzási energiahozam, (2009-2013)

Hónap	Beérkező energiahozam [kWh/m ² hónap]				
	2009	2010	2011	2012	2013
Január	25,92	30,54	28,74	37,64	29,15
Február	57,85	41,60	46,93	57,48	44,21
Március	79,30	99,01	104,71	123,78	83,62
Április	173,13	134,05	148,63	132,64	142,04
Május	175,58	135,49	195,43	171,69	160,44
Június	180,86	173,63	189,81	191,35	180,46
Július	210,04	183,79	162,23	200,06	216,87
Augusztus	164,64	170,34	185,28	188,02	184,34
Szeptember	134,92	97,13	137,67	119,55	107,37
Október	67,55	80,92	81,19	58,90	80,86
November	27,94	40,21	45,93	34,18	36,41
December	20,83	20,83	19,57	19,17	27,20
Összesen	1318,55	1207,55	1346,11	1334,47	1292,97

A vizsgált időszak vonatkozásában, a globál sugárzás energiahozamának havi átlagértékeit a 4.37. ábra mutatja be.



4.37. ábra Globál sugárzásból származó energiahozam átlagértékei, (2009-2013)

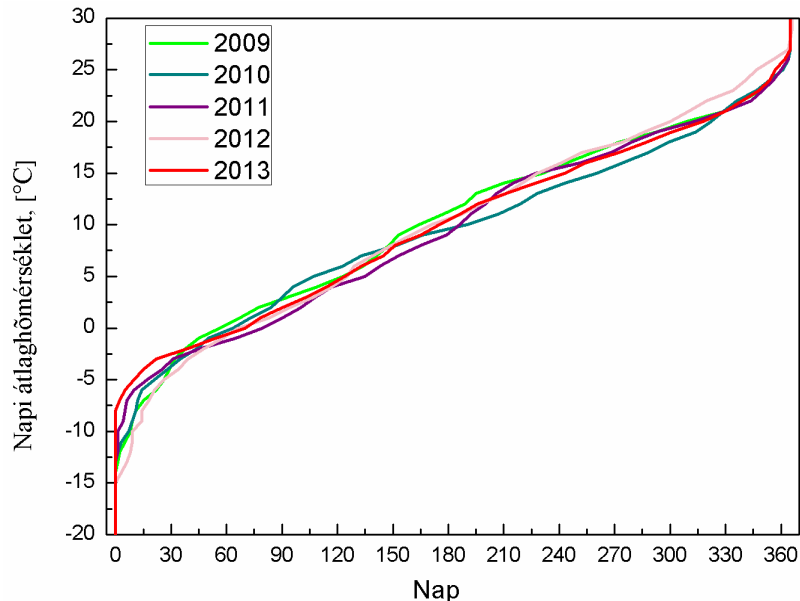
A 4.15. táblázatból látható, hogy a globál sugárzásból származó energiahozam havi értékei évenként változnak, viszont a 4.37. ábra szerint jól látható, hogy a legtöbb sugárzási energia átlagban Május, Június, Július és Augusztus hónapokban érkezik a vízszintes felületre. A továbbiakban tehát a vizsgálataim során Május, Június, Július és Augusztus hónapokra

fókuszáltam. A nyári hőterhelés szempontjából viszont a külső léghőmérsékletek alakulásának az elemzése elengedhetetlen.

4.2.2.2 Hőfokgyakoriság

Mivel egy épület hőterhelését nem csak a sugárzási nyereségek, hanem a külső-belső léghőmérsékletek miatt kialakuló nyereségek is befolyásolják, szükséges volt a vizsgált időszakra vonatkozóan a hőfokgyakorisági görbék elkészítése.

Macskásy számítási módszerét követve, (Macskásy, 1952) elkészítettem az egyes évekre vonatkozó hőfokgyakorisági görbéket, (4.38. ábra).



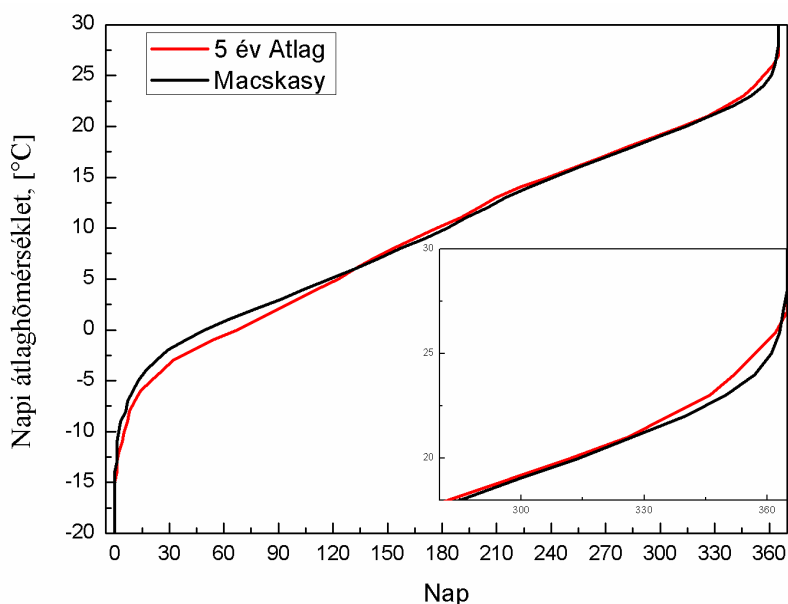
4.38. ábra 2009-2013 évek hőfokgyakorisági görbéi (Debrecen)

Az egyes évekre vonatkozó értékek alapján elkészítettem az öt vizsgálati évre vonatkozó átlagos hőfokgyakorisági görbét (4.39. ábra), melyet összevetettem a Macskásy féle hőfokgyakorisági görbével, (Macskásy, 1952).

A 4.39. ábrából megállapítható, hogy úgy a fűtési idény során ($-5 - +5$ °C tartományban), mint a nyári időszakban 22 °C napi átlaghőmérséklet felett, eltérés tapasztalható a két hőfokgyakorisági görbe között. A 20 °C napi átlaghőmérséklet feletti időszakot vizsgálva megállapíthatjuk, hogy a Macskásy féle hőfokgyakorisági görbéhez viszonyítva a vizsgált időszakban több a magasabb átlaghőmérséklettel rendelkező napok száma. Az épületek hőterhelésének megállapítása szempontjából, ezeknek a napoknak az átlaghőmérsékletét, valamint előfordulási számát feltétlenül ismerni kell.

Ennek megfelelően a vizsgált időszakban elemeztem a 20 °C napi átlaghőmérséklettel rendelkező napok számát, úgy, hogy a 20 °C és a napi átlaghőmérséklet maximuma közötti intervallumot 1 K sávokra bontottam és külön-külön elemeztem az egyes sávokba tartozó napok számát.

Tekintettel a 4.2.2.1. alfejezet eredményeire a vizsgálataim során Május-Június-Július-Augusztus hónapjaira fókuszáltam (4.16. táblázat).

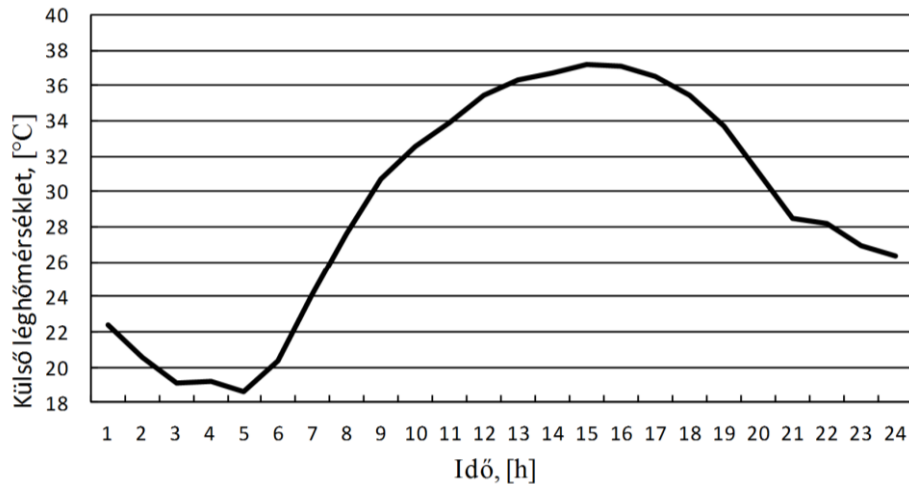


4.39. ábra A vizsgált időszakra vonatkozó jellemző éves hőfokgyakorisági görbe

4.16. táblázat Külső napi átlaghőmérsékletek előfordulási száma, (2009-2013)

Hőmérséklet intervallum, [°C]	Napok száma				
	2009	2010	2011	2012	2013
20-20,99	14	8	19	7	15
21-21,99	19	7	13	10	12
22-22,99	8	7	12	7	9
23-23,99	9	11	5	13	8
24-24,99	7	7	6	5	6
25-25,99	4	7	4	6	3
26-26,99	4	3	4	9	5
27-27,99	1	1	0	8	3
28-28,99	0	0	1	1	0
29-29,99	0	0	0	1	0
30-30,99	0	0	0	0	0
20-30,99	66	51	64	67	61

2009-2013 években a 20 °C-nál magasabb napi átlaghőmérséklettel rendelkező napok száma, melyeket nem május, június, július vagy augusztus hónapokban regisztráltak: 5 (2009), 0 (2010), 8 (2011), 13 (2012) és 3 (2013). 2009-2013 közötti időszakban a legmelegebb nap 2012. Augusztus 6. volt. Ezen a napon a külső átlaghőmérséklet 29,1 °C volt, a külső hőmérséklet órai átlagainak alakulását a 4.40. ábra mutatja be. Az órai átlaghőmérséklet maximuma 37,14 °C volt. A 2012-ben visszavont MSZ-04-140-4:1978 szabvány a hűtési hőterhelés számításához a napi átlaghőmérséklet esetében 23,49 °C, a hőmérséklet maximumra vonatkozóan pedig 30 °C értéket adott meg, (Kajtár-Szekeres, 2011). A mérési időszakban minden évben voltak olyan napok, melyeken a külső léghőmérséklet korábban Szabványban meghatározott értékét meghaladta a külső hőmérséklet: 22 nap (2009), 18 nap (2010), 17 nap (2011), 37 nap (2012) és 22 nap (2013). Továbbá a 4.16. táblázat alapján megállapítható, hogy számos napon a napi átlaghőmérséklet is meghaladta a 23,49 °C értéket.



4.40. ábra Napi hőmérséklet alakulása (2012. Augusztus 6.)

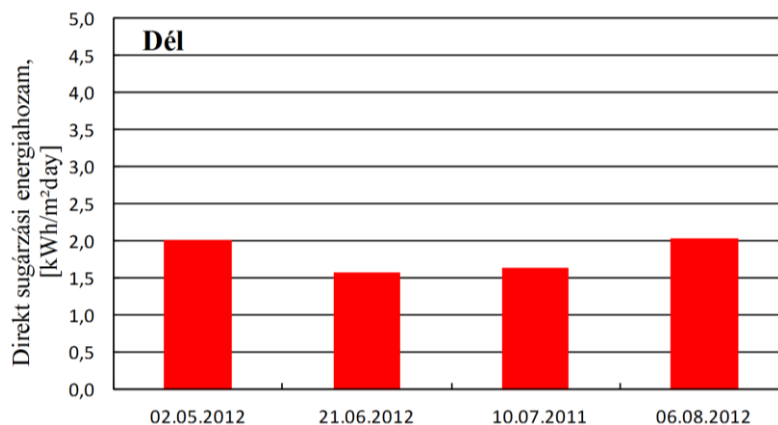
A 2012. Augusztus 6-i kiemelkedően magas napi átlaghőmérséklet egy több napig tartó hőhullám utolsó napján volt tapasztalható. Ha a napi átlag 20 °C hőmérsékletértékhez viszonyítunk, akkor ez a hőhullám 14 napig tartott.

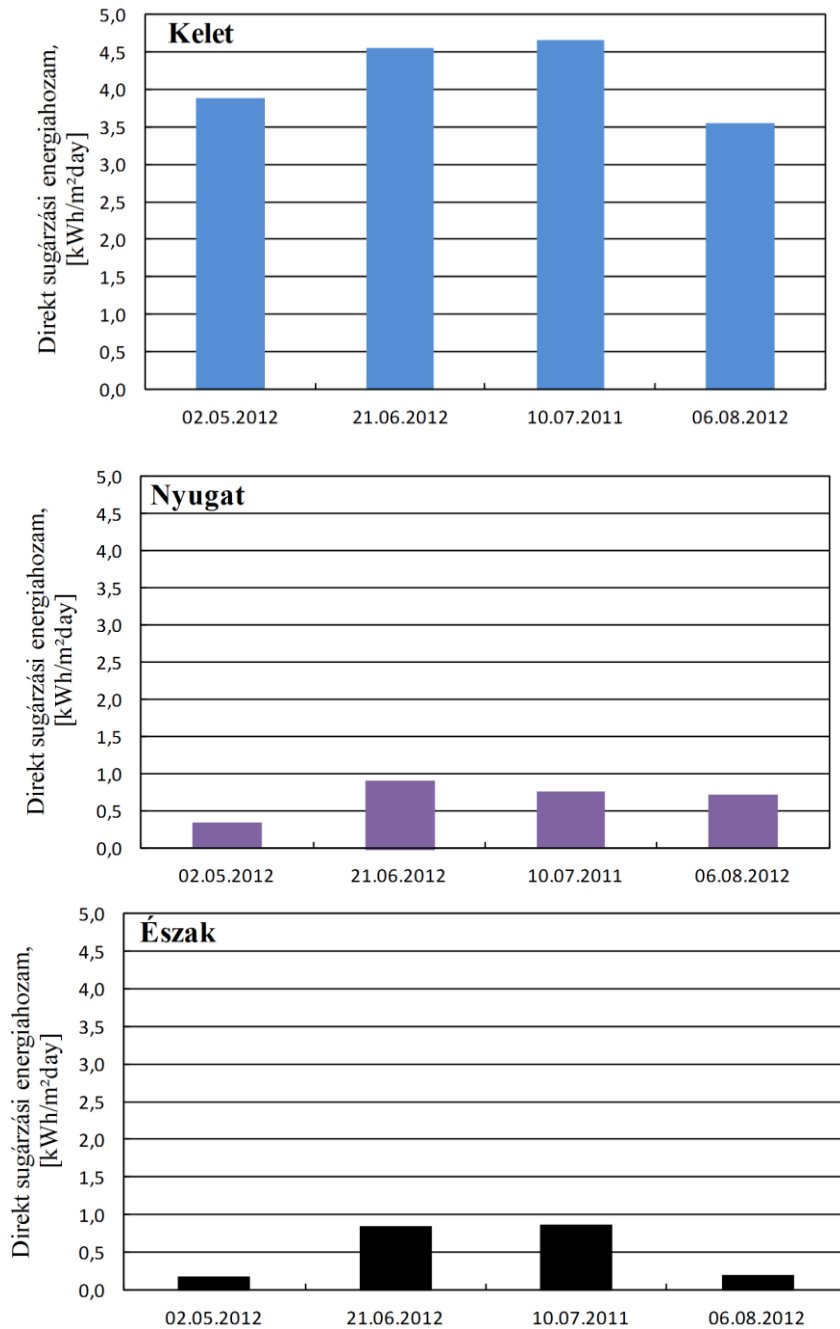
4.2.2.3 Függőleges felületekre érkező direkt és diffúz sugárzás

A függőleges felületre érkező direkt sugárzás értékeit a (4.13.) egyenlettel határozhatjuk meg, (Sheng Hsieh, 1986):

$$I_{dir\beta} = R_b I_{dirH} \quad (4.13.)$$

Egyes tájolásokra vonatkozóan a függőleges felületre érkező direkt sugárzási energiahozam értékeit a vizsgált négy hónap öt év során mért legnagyobb átlag hőmérséklettel rendelkező napján a 4.41. ábra tartalmazza.





4.41. ábra Napi direkt sugárzási energiahozam az egyes hónapok legnagyobb napi külső átlaghőmérséklettel rendelkező napjain (2009-2013)

Egy β dőlésszöggel rendelkező felületre érkező diffúz sugárzás értékeit, izotróp számítási módszer esetében a (4.14.) összefüggéssel számíthatjuk, (Goetzberger-Wittner, 1993; Liu-Jordan, 1961; Norris, 1966):

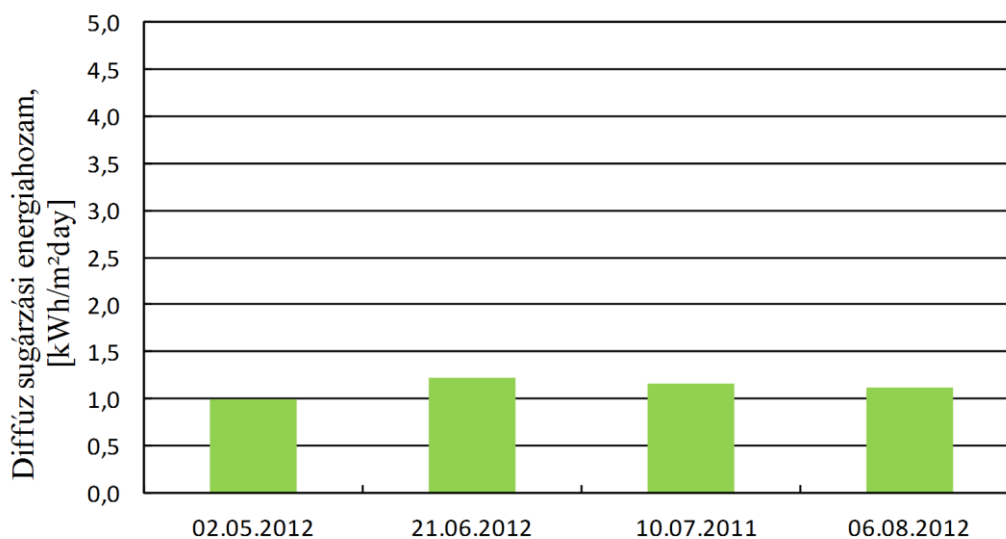
$$I_{diff}^{iso} = R_{\beta} I_{diff} \quad (4.14.)$$

ahol:

$$R_{\beta} = \frac{1 + \cos \beta}{2} \quad (4.15)$$

Függőleges felületek esetében ($\beta=90^{\circ}$), $I_{diff}^{iso} = I_{diff}$.

A vizsgált hónapokban az öt év során mért legmagasabb napi átlaghőmérséklettel rendelkező napjaira vonatkozóan a függőleges felületekre érkező diffúz sugárzás értékeit a 4.42. ábra mutatja be.



4.42. ábra Napi diffúz sugárzási energiahozam az egyes hónapok legnagyobb napi külső átlaghőmérséklettel rendelkező napjain (2009-2013)

A 4.17. táblázatban bemutatásra kerülnek a vizsgált időszak kijelölt hónapjainak legnagyobb napi külső átlaghőmérséklettel rendelkező napjain mért vagy számított globál sugárzás, vízszintes, illetve függőleges felületre érkező diffúz sugárzás, valamint a fő égtájak esetében a függőleges felületre érkező direkt sugárzás maximum értékei, valamint napi energiahozamai. A táblázatban bemutatásra kerülnek a 2012 évben visszavont MSZ-04-140-2:1991 szabványban megadott értékek is.

4.17. táblázat Sugárzási értékek a vizsgált időszak kijelölt hónapjainak legnagyobb napi külső átlaghőmérséklettel rendelkező napjain és az MSZ-04-140-2:1991 szerint

Hónap, nap		I_{GH}	I_{difH}	I_{difV}	I_{dirD}	I_{dirK}	I_{dirNy}	$I_{dirÉ}$
Május	W/m^2	818,33	345,94	172,97	398,33	974,90	173,12	179,72
2012.05.02.	Wh/m^2 nap	6211,85	1995,1	997,55	2007,59	3882,59	352,20	182,12
Június	W/m^2	886,83	288,17	144,09	300,00	979,46	251,19	491,14
2012.06.21	Wh/m^2 nap	7980,63	2440,72	1220,36	1581,25	4554,50	917,30	848,67
Július	W/m^2	865,00	306,32	153,16	304,91	1092,09	222,90	528,54
2011.07.10	Wh/m^2 nap	7610,37	2338,22	1169,11	1643,97	4671,30	767,31	857,68
Augusztus	W/m^2	816,33	284,72	142,36	368,59	910,72	223,41	183,45
2012.08.06	Wh/m^2 nap	6739,82	2229,03	1114,52	2035,92	3560,51	711,17	197,96
04-140-2	W/m^2	900	188	191,75	317	561	561	193
	Wh/m^2 nap	8156	2049	1969	1752	2695	2862	802

A sugárzás intenzitások közötti, valamint a napi sugárzási energiahozamok közötti százalékos eltéréseket a 4.18. táblázat tartalmazza.

4.18. Táblázat A napi maximális értékek, illetve a napi energiahozam értékek (2009-2013) és az MSZ-04-140-2:1991 szabványban megadott értékek közötti százalékos eltérések

Hónap, nap		I _{GH}	I _{difH}	I _{difV}	I _{dirD}	I _{dirK}	I _{dirNy}	I _{dirÉ}
Május 2012.05.02.	Intenzitás	-9,07	84,01	-9,79	25,66	73,78	-69,14	-6,88
	Energia	-23,84	-2,63	-49,34	14,59	44,07	-87,69	-77,29
Június 2012.06.21	Intenzitás	-1,46	53,28	-24,86	-5,36	74,59	-55,22	154,48
	Energia	-2,15	19,12	-38,02	-9,75	69,00	-67,95	5,82
Július 2011.07.10	Intenzitás	-3,89	62,94	-20,13	-3,81	94,67	-60,27	173,85
	Energia	-6,69	14,12	-40,62	-6,17	73,33	-73,19	6,94
Augusztus 2012.08.06	Intenzitás	-9,30	51,45	-25,76	16,27	62,34	-60,18	-4,95
	Energia	-17,36	8,79	-43,40	16,21	32,12	-75,15	-75,32

Megállapítható, hogy a globál sugárzás esetében úgy az intenzitás, mint az energiahozam kisebb volt 2012 évben visszavont MSZ-04-140-2:1991 Szabványban megadott mintanapra megadott értékeknél. Az intenzitás esetén 1,46-9,30% közötti az eltérés, viszont a sugárzási energiahozam Május és Augusztus hónapokban (a nyári időszak kezdetén és végén) 23,84%, illetve 17,36% eltérést mutat. A vízszintes felületre érkező diffúz sugárzás intenzitása jóval nagyobb volt a vizsgált napokon, mint a szabvány értékek, viszont a sugárzási energiahozam értéke már kisebb mértékben tért el (egy esetben 2,63%-al kisebb volt az energiahozam). A függőleges felületre érkező diffúz sugárzás mindegyik esetben kisebb volt a mérési időszak legforróbb napjain, mint a szabványban megadott érték. Az eltérés 9,79-25,76% között szórt az intenzitás esetében, és 38,02-49,34% közötti az energiahozam esetében. A függőleges felületekre érkező direkt sugárzás D-i tájolás esetében két esetben kisebb volt (Június, Július hónapok), két esetben pedig nagyobb volt (Május, Augusztus), mint a szabványban megadott érték. Az intenzitás eltérése -5,36-25,66% közötti volt, míg az energiahozam eltérése -9,75-16,21% között volt. K-i tájolás esetében mind az intenzitás, mint pedig az energiahozam jóval nagyobb volt a mért időszakban a szabványban megadott értékeknél (intenzitás esetében 62,34-94,67%, energiahozam esetében pedig 32,12-73,33%). Ny-i tájolásnál pedig minden esetben kisebb intenzitás és energiahozam volt tapasztalható a mérési időszakban, mint a szabványban megadott érték (intenzitás esetében 55,22-69,14%, energiahozam esetében pedig 67,95-87,69%). É-i tájolás esetében pozitív és negatív irányban is léptek fel eltérések. Májusban és Augusztusban kisebb, Júniusban és Júliusban nagyobb értékek alakultak ki a szabványban megadott értékekhez képest (éppen fordítva, mint a D-i tájolású függőleges felületek esetében). A sugárzási intenzitás 4,95-6,88%-al volt kisebb és 154,48-173,85%-al volt nagyobb, a szabványban megadott mintanap értékeinél. Az energiahozam 75,32-77,29%-al volt kisebb, illetve 5,82-6,94%-al volt nagyobb a szabványban megadott értékeknél. Megfigyelhető, hogy míg a D-i tájolás esetében, azonos hónapokban, az intenzitás és az energiahozam eltérései között nincs nagy különbség, az É-i tájolásnál a két kiemelkedően nagy eltérés az intenzitások esetében, nem okozott kiemelkedően nagy eltérést az energiahozamoknál, viszont a kis intenzitás eltérések viszonylag nagy energiahozam eltéréseket okoztak. A leginkább érdekes a K-i, Ny-i tájolások esetében fellépő aszimmetria. Az K-Ny aszimmetriára vonatkozó adatok találhatóak ugyan a szakirodalomban (Kuba, 1988), viszont a szabványban K-i és Ny-i függőleges felületekre vonatkozó értékek közel azonosak voltak. A vizsgált időszak esetében viszont tekintettel arra, hogy a K-i tájolás esetében akár 94,67%-al is nagyobb intenzitás értékek alakultak ki, Ny-i tájolás esetében pedig -69,14%-al is kisebb lehet az intenzitás egy épület esetében a két égtáj felé tájolt homlokzat esetében, a várt közel azonos hőterhelés helyett, csaknem kétszer akkora hőterhelések alakulhatnak ki K-i tájolású helyiségekben, mint a Ny-i tájolású helyiségekben.

A kijelölt napokra vonatkozóan megvizsgáltam, hogyan alakult a globál sugárzás energiahozama délelőtt 11:00 óráig, valamint délután 13:00 óra után (4.19. táblázat).

4.19. táblázat A globál sugárzás energiahozama

Nap	I_{GH} [kWh/m ²]	
	11:00 óráig	13:00 óra után
2012.05.02.	3640	1766
2012.06.21	4256	2851
2011.07.10	4115	2632
2012.08.06	3564	2366

A táblázat alapján megállapítható, hogy a délelőtti órákban jóval nagyobb sugárzási energiamentiség érkezik, mint a délutáni órákban. Ennek eredménye az, hogy a K-i tájolású helyiségek hőterhelése nagyobb lesz, mint a Ny-i tájolású helyiségeké. Ezt a 4.1.2. fejezetben bemutatott, a kutatásaim kezdetén végzett, belső léghőmérséklet mérések is alátámasztják. A 2012 évben visszavont MSZ-04-140-2:1991 Szabványban megadott K-Ny tájolások esetében közel azonos értékeket adtak meg.

4.2.3 A számítás menete

Ebben az alfejezetben bemutatásra kerül a számítások menete a 4.30. ábrában bemutatott algoritmus szerint.

A 4.16. táblázat tartalmazza a külső napi átlaghőmérsékletek előfordulási számát Május-Június-Július-Augusztus hónapokban (2009-2013). A táblázatból kiválasztottam egy napot, aminek a külső átlag hőmérséklete 27 – 27,99 °C tartományban van. A táblázatból láthatjuk, hogy a vizsgált időszakban 13 nap volt, aminek az átlag hőmérséklete ebben a hőmérsékletintervallumban volt. Szempont volt még, hogy a napi globálsugárzás összege meghaladja 7500 Wh/m²nap értéket. Ennél nagyobb globálsugárzás értékek 2009 – 2013 időszakban csak kisebb napi átlag külső hőmérsékleteknél léptek fel.

Mindezeket a feltételeket csak a 2010.06.12. napra vonatkozó értékek teljesítették. A kijelölt napra vonatkozó mért külső hőmérséklet és mért vízszintes globálsugárzás adatait a 4.20. táblázat tartalmazza. Az átlag külső hőmérséklet 27,23 °C és napi vízszintes globálsugárzás értéke 7747,86 Wh/m²nap.

4.20. táblázat A külső hőmérséklet és a vízszintes globálsugárzás órai adatai

Idő,[h]	Külső léghőmérséklet, [°C]	Vízszintes globálsugárzás [W/m ²]
24	23,18	0,00
1	22,26	0,00
2	21,90	0,00
3	21,35	0,00
4	21,06	1,32
5	21,37	59,61
6	22,56	187,95
7	24,41	351,92
8	25,96	514,60
9	27,52	648,60

10	29,23	763,88
11	30,71	847,00
12	31,39	874,17
13	31,97	851,17
14	32,45	778,72
15	32,55	671,48
16	32,53	538,43
17	32,25	375,07
18	31,48	206,30
19	30,29	73,05
20	28,42	4,59
21	27,02	0,00
22	26,18	0,00
23	25,38	0,00

A számítási algoritmus alapján a következő lépésben meghatároztam az Erbs módszerrel a vízszintes direkt és diffúz sugárzás értékeit, (4.21. táblázat).

4.21. táblázat *Vízszintes diffúz és direkt sugárzás számolt órai értékei*

Idő, [h]	Diffúz sugárzás [W/m^2]	Direkt sugárzás [W/m^2]
24	0,00	0,00
1	0,00	0,00
2	0,00	0,00
3	0,00	0,00
4	1,32	0,00
5	54,44	5,17
6	133,17	54,78
7	176,97	174,94
8	196,56	318,04
9	216,41	432,19
10	219,88	544,00
11	213,22	633,78
12	212,37	661,79
13	209,66	641,51
14	206,31	572,41
15	194,63	476,86
16	173,73	364,70
17	157,33	217,73
18	126,31	79,99
19	59,27	13,78
20	4,57	0,02

21	0,00	0,00
22	0,00	0,00
23	0,00	0,00

A vízszintes diffúz sugárzás napi összege 2556,16 Wh/m²nap míg a vízszintes direkt sugárzás összege 5191,70 Wh/m²nap. A vízszintes diffúz sugárzás 32,99%, a vízszintes direkt sugárzás pedig 67,01 % a globálsugárzásnak.

A számítási algoritmus szerint meg kell határozni a függőleges felületet ért diffúz sugárzást. A függőleges diffúz sugárzás meghatározásához az izotróp módszert alkalmaztam. A részletes órai adatokat a 4.22. táblázat tartalmazza.

4.22. táblázat *Függőleges felületet ért diffúz sugárzás számolt órai értékei*

Idő, [h]	Diffúz sugárzás, [W/m ²]
24	0,00
1	0,00
2	0,00
3	0,00
4	0,66
5	27,22
6	66,59
7	88,49
8	98,28
9	108,21
10	109,94
11	106,61
12	106,19
13	104,83
14	103,16
15	97,31
16	86,87
17	78,67
18	63,15
19	29,64
20	2,29
21	0,00
22	0,00
23	0,00

A függőleges felületet ért diffúz sugárzás napi összege 1278,08 Wh/m²nap.

A napgeometria fejezetben tárgyalt módszer szerint kiszámoltam erre a napra függőleges és a vízszintes felületet ért direkt napsugárzás arányát, vagyis az R_b tényezőt (4.23. táblázat).

4.23. táblázat A elemzett nap függőleges és a vízszintes felületet ért direkt napsugárzás aránya

Idő, [h]	Dél	Kelet	Nyugat	Észak
24	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	6,95	0,00	3,45
6	0,00	3,18	0,00	0,92
7	0,00	1,97	0,00	0,20
8	0,12	1,32	0,00	0,00
9	0,29	0,89	0,00	0,00
10	0,38	0,55	0,00	0,00
11	0,43	0,26	0,00	0,00
12	0,45	0,00	0,00	0,00
13	0,43	0,00	0,26	0,00
14	0,38	0,00	0,55	0,00
15	0,29	0,00	0,89	0,00
16	0,12	0,00	1,32	0,00
17	0,00	0,00	1,97	0,20
18	0,00	0,00	3,18	0,92
19	0,00	0,00	6,95	3,45
20	0,00	0,00	0,00	0,00
21	0,00	0,00	0,00	0,00
22	0,00	0,00	0,00	0,00
23	0,00	0,00	0,00	0,00

Az R_b tényező ismeretében kiszámítható az egyes függőleges felületekre érkező direkt sugárzás értéke, (4.24. táblázat).

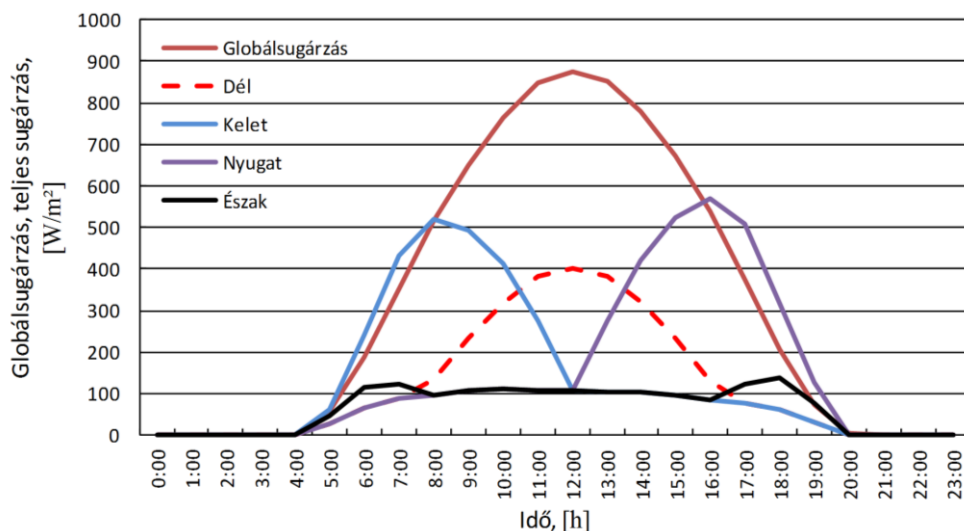
4.24. táblázat Függőleges felületet ért direkt sugárzás számolt órai értékei

Idő, [h]	Dél, [W/m ²]	Kelet, [W/m ²]	Nyugat, [W/m ²]	Észak, [W/m ²]
24	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	35,99	0,00	17,89
6	0,00	174,26	0,00	50,53
7	0,00	344,99	0,00	35,61

8	37,76	421,58	0,00	0,00
9	125,12	385,00	0,00	0,00
10	209,15	301,71	0,00	0,00
11	274,65	169,24	0,00	0,00
12	296,82	0,00	0,00	0,00
13	278,00	0,00	171,30	0,00
14	220,07	0,00	317,47	0,00
15	138,05	0,00	424,80	0,00
16	43,30	0,00	483,42	0,00
17	0,00	0,00	429,38	44,32
18	0,00	0,00	254,49	73,79
19	0,00	0,00	95,85	47,65
20	0,00	0,00	0,00	0,00
21	0,00	0,00	0,00	0,00
22	0,00	0,00	0,00	0,00
23	0,00	0,00	0,00	0,00

A függőleges felületet ért direkt sugárzás déli tájolás esetén 20,95%, keleti tájolásnál 23,66%, nyugati tájolásnál 28,09% és északi tájolás esetében pedig 3,48 % a globálsugárzásnak.

A mért vízszintes globálsugárzás és a számolt függőleges felületet ért teljes sugárzás alakulását a kijelölt napon a 4.43. ábrában mutatom be. Az ábra alapján megállapítható, hogy ez a nap egy olyan nap, melyen a keleti és nyugati tájolású függőleges felületekre vonatkozóan közel azonos a teljes sugárzás mennyisége.



4.43. ábra A mért globálsugárzás és a számított függőleges felületet ért teljes sugárzás a négy fő égtáj esetében

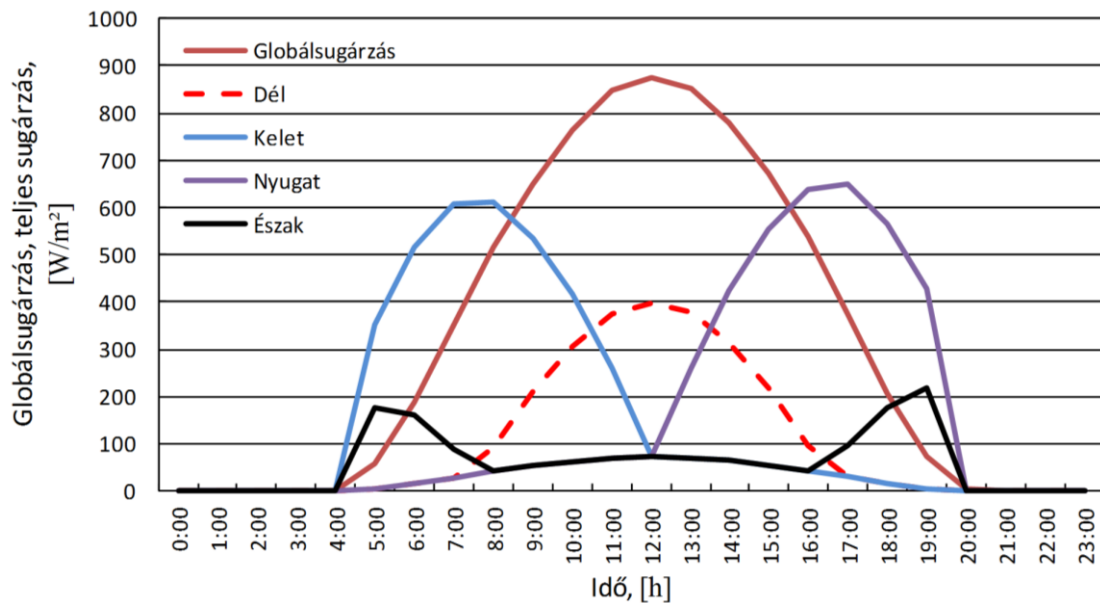
A következő lépésben megvizsgáltam, hogy miként alakulnának a sugárzási értékek, ha tiszta égbolt lenne egész nap. Erbs módszer szerint a vízszintes diffúz és a direkt sugárzás aránya 0,51-ről a 0,165-re csökken. Az adatokat 4.25. táblázat tartalmazza.

4.25. Táblázat Függőleges felületet ért diffúz és direkt sugárzás számolt órai értékei tiszta égbolt esetén

Idő, [h]	Diffúz sugárzás, [W/m ²]	Direkt sugárzás			
		D, [W/m ²]	K, [W/m ²]	Ny, [W/m ²]	É, [W/m ²]
24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00
5	4,92	0,00	346,31	0,00	172,16
6	15,51	0,00	499,28	0,00	144,77
7	29,03	0,00	579,48	0,00	59,82
8	42,45	51,01	569,57	0,00	0,00
9	53,51	156,79	482,45	0,00	0,00
10	63,02	245,23	353,76	0,00	0,00
11	69,88	306,49	188,85	0,00	0,00
12	72,12	327,38	0,00	0,00	0,00
13	70,22	308,00	0,00	189,78	0,00
14	64,24	249,99	0,00	360,63	0,00
15	55,40	162,32	0,00	499,47	0,00
16	44,42	53,38	0,00	595,95	0,00
17	30,94	0,00	0,00	617,60	63,75
18	17,02	0,00	0,00	548,03	158,90
19	6,03	0,00	0,00	424,35	210,96
20	0,38	0,00	0,00	0,00	0,00
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

A tiszta égbolt miatt a függőleges felületet ért diffúz sugárzás 49,98 %-os csökkenéshez vezetett. A direkt sugárzás D-i tájolású függőleges felületre vonatkozóan 13,83% -kal lesz kevesebb. K-i tájolás esetében, viszont 17,62 % -kal, Ny-i tájolás esetében pedig 12,63 % -kal lesz több. Az É-i tájolású függőleges felületekre vonatkozóan a direkt sugárzás 6,35 %-kal csökken.

A fiktív, tiszta égbolttal rendelkező, nap vonatkozásában, a mért vízszintes globálsugárzás és a számolt függőleges felületet ért teljes sugárzás értékeit a 4.44. ábrában mutatom be.



4.44. ábra A mért globálisugárzás és a számított függőleges felületet ért teljes sugárzás a négy fő égtáj esetében (fiktív nap – tiszta égbolt)

4.2.4 A sugárzási vizsgálatok főbb megállapításai

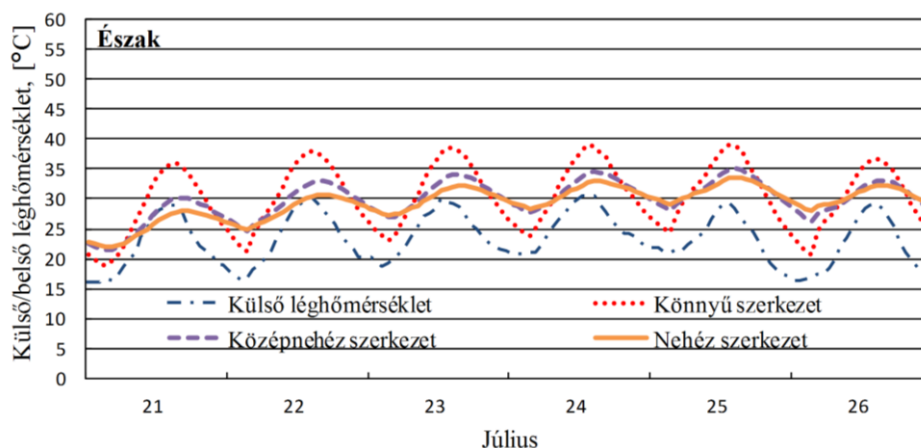
A Debrecen-Kismacs Agro-Meteorológiai állomás által mért adatok alapján a 2009-2013 évekre vonatkozóan meghatároztam a vízszintes és a függőleges felületekre érkező diffúz és direkt sugárzás értékeit. Meghatároztam a fő égtájakra, az év minden órájára az R_b tényező értékeit. Az órai külső léghőmérséklet adatok alapján elkészítettem az öt évre vonatkozó hőfokgyakorisági görbéket. Elemeztem a 20 °C feletti napi átlaghőmérséklettel rendelkező napok számát és éves eloszlását. Az órai sugárzás intenzitás értékek alapján meghatároztam a napi, valamint a havi sugárzási energiahozamokat úgy a vízszintes, mint a különböző tájolású függőleges felületekre vonatkozóan. Megállapítottam, hogy, bár különböző Szabványokban a keleti és nyugati tájolású felületek esetében azonos, vagy közel azonos sugárzási intenzitás, illetve energiahozam értékeket adnak meg, a vizsgált időszakban jelentős eltérést tapasztaltam a két égtájt jellemző adatok között. A külső hőmérséklet esetében is nagy különbségeket tapasztaltam a mért értékek, illetve a 2012. novemberig még érvényben lévő MSZ-04-140-2:1991 szabványban megadott értékek között. A számítások szerint a tiszta égbolt esetében a függőleges felületekre érkező diffúz sugárzás nagymértékben csökken, míg a direkt sugárzás változás égtáj függő (Kelet és Nyugat esetében növekedés, Dél és Észak esetében csökkenés tapasztalható).

Az épületek üvegezett szerkezeteinek méretét, árnyékolását, illetve az épületek egyes helyiségeinek hőterhelését, csak akkor tudjuk megfelelően meghatározni és tervezni, ha megfelelő pontosságú külső hőmérséklet és sugárzási adatok állnak rendelkezésünkre. A szerkezetek és gépészeti berendezések nem megfelelő tervezése és kiválasztása számos negatív következménnyel járhat úgy egészségügyi, mint környezeti és gazdasági szempontból is. A kutatásaim folytatásaként az épületek hőterhelésének és a helyiségek szellőzésének kapcsolatát vizsgálom energetikai szempontból.

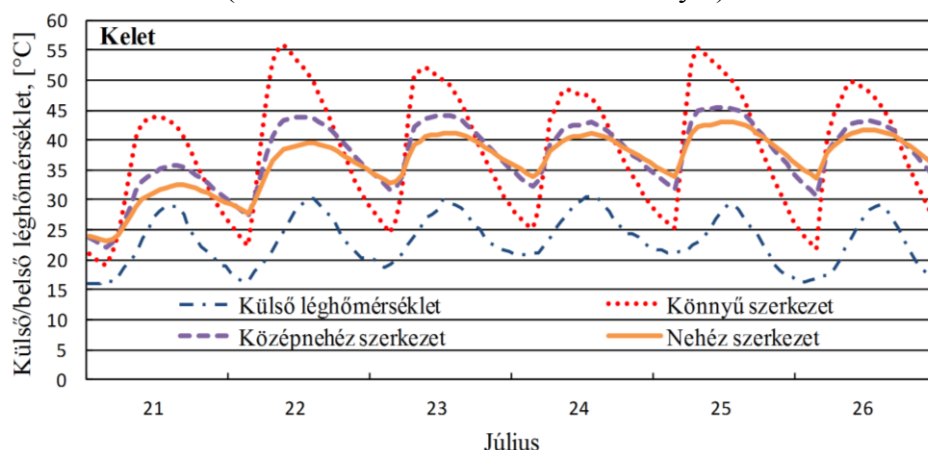
4.3 PASSOL laboratóriumban végzett léghőmérséklet mérések

4.3.1 A belső hőmérséklet várható alakulásának szimulációs vizsgálata

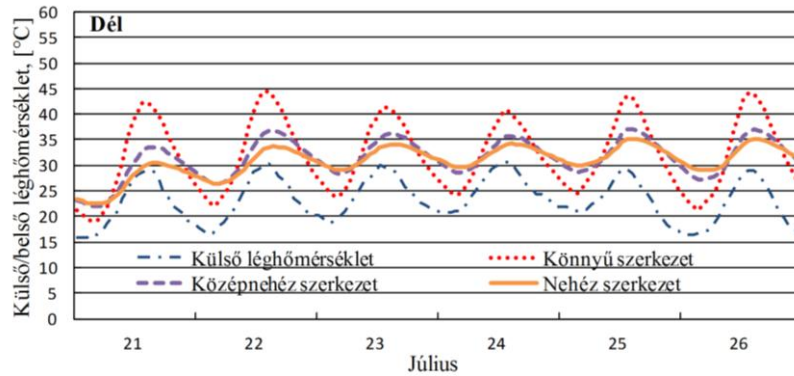
Annak érdekében, hogy a belső hőmérséklet várható értékeire vonatkozóan információt kapjak, a PASSOL laboratórium tervezési fázisában egy szimulációs szoftver segítségével elemzéseket végeztem. Ehhez a CASANOVA szoftvert alkalmaztam, (Internet-7). A szimuláció elvégzésekor még nem álltak rendelkezésemre a Debrecenre vonatkozó pontos meteorológiai adatok. A szoftver rendelkezik néhány európai országra vonatkozóan éghajlati adatbázissal, így csak arra nyílt lehetőség, hogy a programban a Magyarországra vonatkozó adathalmazt válasszam ki. A szoftver lehetővé teszi továbbá azt is, hogy az épületszerkezetre vonatkozóan meghatározható legyen, hogy könnyű, középnehéz vagy nehéz szerkezetről van szó. A szimulációs számítások eredményeit a 4.45.-4.48. ábrák mutatják be.



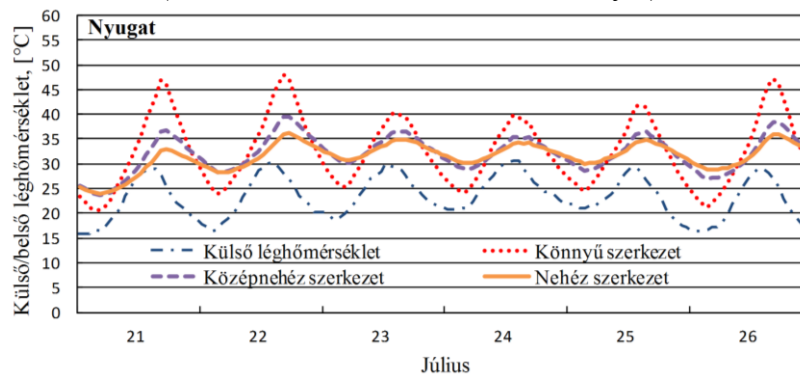
4.45. ábra Belső hőmérséklet alakulása a teszhelyiségben É-i tájolás esetében (CASANOVA szimuláció eredményei)



4.46. ábra Belső hőmérséklet alakulása a teszhelyiségben K-i tájolás esetében (CASANOVA szimuláció eredményei)



4.47. ábra Belső hőmérséklet alakulása a teszt helyiségben D-i tájolás esetében (CASANOVA szimuláció eredményei)



4.48. ábra Belső hőmérséklet alakulása a teszt helyiségben Ny-i tájolás esetében (CASANOVA szimuláció eredményei)

Általánosságban megállapítható, hogy a könnyű szerkezet esetében jóval magasabb belső hőmérsékletek alakulnak ki, mint a nehéz, vagy középnehéz szerkezet alkalmazása esetén, de mivel kevés a hőtároló tömeg, az esti órákban ugyancsak a könnyű szerkezet esetében a legalacsonyabbak a léghőmérsékletek. A számítógépes szimulációval kapott eredmények a transzparens szerkezet tájolásának vonatkozásában, alátámasztották a 4.1.2. alfejezetben bemutatott mérés eredményeit abban az értelemben, hogy a K-i tájolás esetében kapjuk a legnagyobb belső hőmérséklet értékeket. Ha 26 °C léghőmérséklet felett túlmelegedésről beszélünk és a három vizsgált szerkezet esetében elemezzük a túlmelegedés időszakát, akkor azt az eredményt kapjuk, hogy nehéz szerkezet esetében hosszabb a túlmelegedési időszak, mint a könnyű szerkezet esetében (természetesen a túlmelegedés mértéke kisebb). A CASANOVA szoftverrel kapott napi hőmérséklet lefutások elemzésének eredményei 4.26. táblázatban kerülnek bemutatásra.

4.26. táblázat *Túlmelegedés elemzése a szimulációs eredmények alapján (Július)*

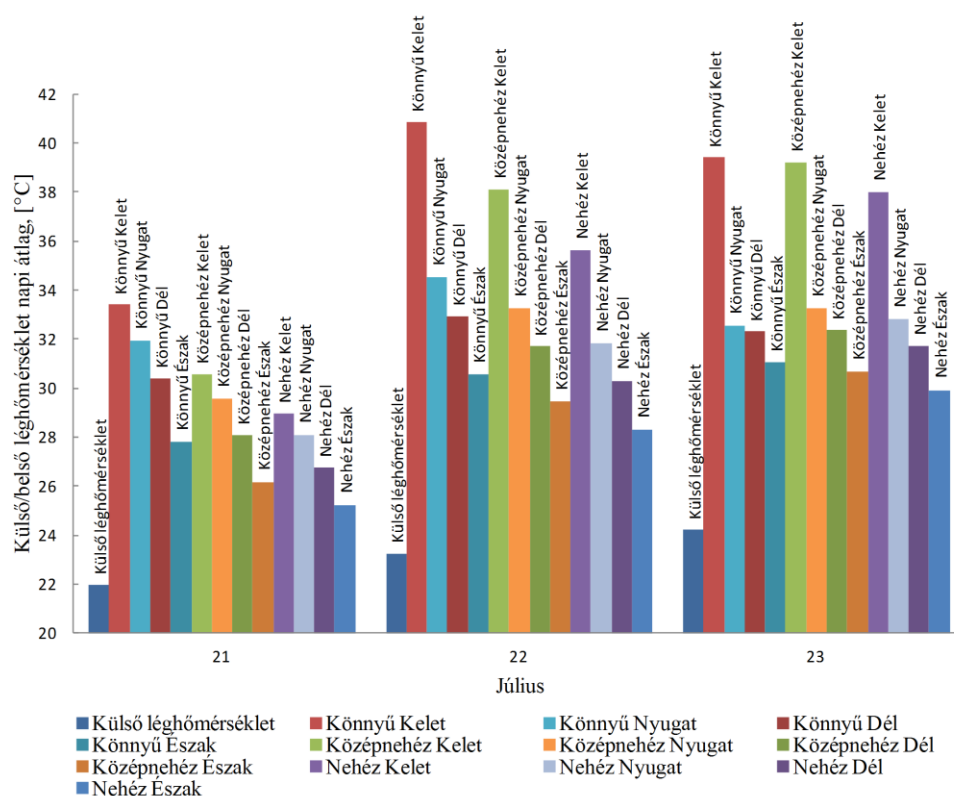
Tájolás	Átlagos túlmelegedési idő [óra/nap]			Hűtési órák száma [óra/hónap]			Hűtési energiaigény [kWh/m ² hónap]		
	Könnyű	Közép	Nehéz	Könnyű	Közép	Nehéz	Könnyű	Közép	Nehéz
É	12,4	13,7	15,1	384	425	468	6,6	4,6	3,9
K	16,2	20,3	21,4	501	630	662	17,0	15,2	14,5
D	12,9	16,1	18,3	400	498	567	9,3	7,3	6,4
Ny	14,0	18,4	19,9	435	571	616	10,8	9,0	8,1

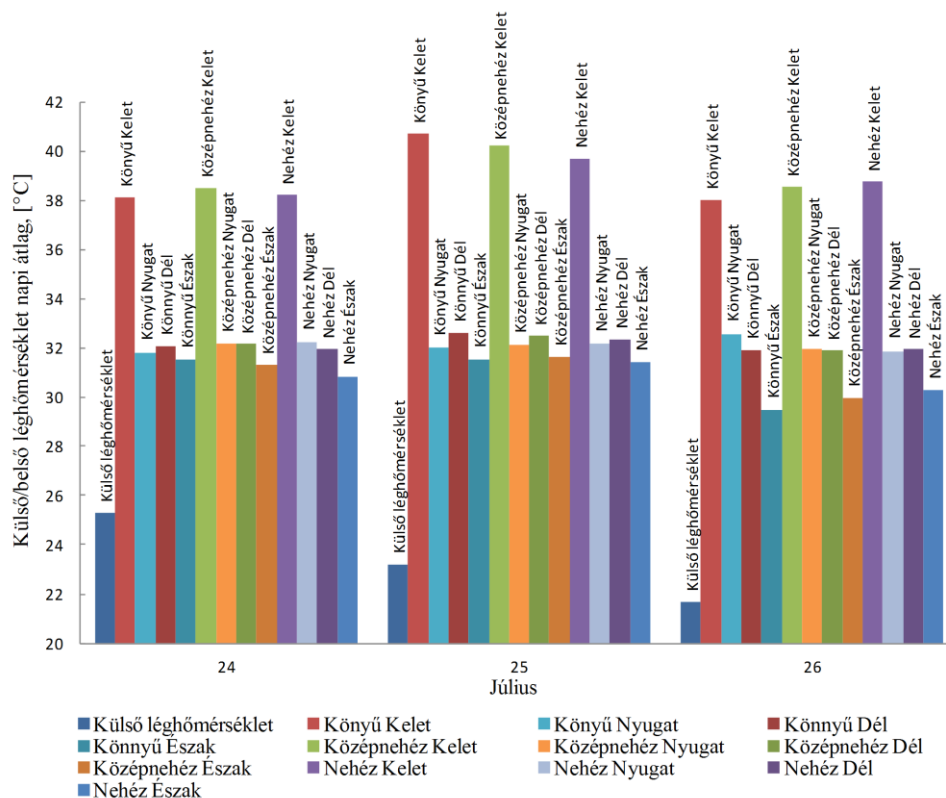
Az elemzéseket elvégeztem egy teljes évre vonatkozóan is. A teszhelyiségre vonatkozóan a CASANOVA szimulációs szoftverrel kapott sugárzási energianyereség/hőterhelés, valamint a hűtési energiaigényre vonatkozó értékeket a 4.27. táblázat tartalmazza.

4.27. táblázat Túlmelegedés elemzése a szimulációs eredmények alapján (éves)

Tájolás	Sugárzásos hőnyereség/hőterhelés [kWh/m ² év]			Hűtési órák száma [óra/év]			Hűtési energiaigény [kWh/m ² év]		
	Könnyű	Közép	Nehéz	Könnyű	Közép	Nehéz	Könnyű	Közép	Nehéz
É	54.3	59.2	61.9	1325	1175	1187	22.3	14.3	11.8
K	72.6	79.5	83.2	2314	2400	2424	76.8	62.2	52.3
D	85.3	94.4	99.6	2087	1976	1919	62.4	45.6	33.2
Ny	61.5	67.2	70.4	1774	1727	1667	43.4	32.7	25.6

A 4.45.-4.48. ábrákban bemutatott belső léghőmérséklet szimulációk esetében tájolósonként meghatároztam a napi átlaghőmérséklet értékeket is a három vizsgált szerkezetre vonatkozóan. Az eredményeket a 4.49. ábra mutatja be.





4.49. ábra A külső/belső léghőmérsékletek napi átlagértékei a teszthelyiségben (CASANOVA szimuláció eredményei alapján)

A szimulációs eredmények is alátámasztották tehát azt a feltételezést, hogy a nyári hőterhelések miatt az épületek külső transzparens szerkezettel rendelkező zárt helyiségeiben olyan belső légállapotok alakulnak, amelyek nem felelnek meg a hőérzeti elvárásoknak, így a megfelelő belső környezeti feltételek csak hűtési energia befektetésével érhetőek el. A befektetett energia mennyisége viszont függ az alkalmazott épületszerkezetek hőtároló tömegétől, a homlokzatok üvegezési arányától, a transzparens szerkezetek tájolásától és árnyékolásától, valamint befolyásoló tényező a légcserezszám értéke is.

4.3.2 A belső léghőmérséklet meghatározása méréssel és számítással

4.3.2.1 Számítások a Yam-Li-Zheng módszer alapján

Ahhoz, hogy egy épület hőterhelését energetikai és hőérzeti szempontból elemezni lehessen ismerni kell az egyes helyiségek belső léghőmérsékletét, valamint az egyes helyiségekben az operatív hőmérséklet alakulását. Egy helyiség hőmérlegére vonatkozó egyenleteket szakirodalomban megtalálhatjuk, (Pogran et al., 2013; Yang-Li, 2008; Zhou et al., 2008; Yam et al., 2003).

Miután rendelkezésemre álltak értékelhető mérési eredmények a PASSOL laboratóriumban, olyan számítási modellt kerestem, melynek segítségével jól meghatározható a belső hőmérséklet, illetve az operatív hőmérséklet alakulása a zárt térben. A felsorolt szakirodalmak közül végül a Yam-Li-Zheng modellt próbáltam alkalmazni, (Yam et al., 2003), miután a másik három az vagy részben erre a modellre épült, vagy olyan feltételezéseket/egyszerűsítéseket tesz, amelyek a számítások pontosságát nagymértékben befolyásolják. A Yam-Li-Zheng modell szerint, ha a helyiség levegője nincs hőegyensúlyban

a helyiség határolószervezeteivel, akkor az alábbi két alapösszefüggést kell alkalmazni, (Yam et al., 2003):

$$\rho_a c_{ap} q_v (\theta_e - \theta_i) + h_M A_M (T_M - \theta_i) + E = 0 \quad (\text{a levegőre vonatkozóan}) \quad (4.16.)$$

$$M c_M \frac{\partial T_M}{\partial t} + h_M A_M (T_M - \theta_i) \quad (\text{a hőtároló tömegre vonatkozóan}) \quad (4.17.)$$

ahol: ρ_a - a levegő sűrűsége, [kg/m³]; c_{ap} - a levegő állandó nyomáson mért fajhője, [J/kgK]; q_v - a szellőző levegő térfogatárama, [m³/s]; θ_e - a külső levegő hőmérséklete, [K]; θ_i - a belső levegő hőmérséklete, [K]; h_M - konvektív hőátadási tényező a hőtároló tömeg felülete és a levegő között, [W/m²K]; A_M - a hőtároló tömeg levegővel érintkező effektív felülete, [m²]; T_M - a hőtároló tömeg hőmérséklete, [K]; E - az összes hőteljesítmény, [W]; M - hőtároló tömeg, [kg]; c_M - az alkalmazott hőtároló anyag fajhője, [J/kgK]; t - idő, [h].

A (4.16.) és (4.17.) összefüggések alapján, a belső léghőmérséklet időbeli változása a (4.18.) összefüggéssel írható le, (Yam et al., 2003):

$$\theta_i(\omega t) = \tilde{T}_0 + T_E + \sqrt{\frac{\lambda^2 + \omega^2 \tau^2}{\lambda^2 + \omega^2 \tau^2 (1 + \lambda)^2}} \Delta \tilde{T}_0 \sin(\omega t - \varepsilon)$$

(4.18.)

ahol: \tilde{T}_0 - a vizsgált nap külső átlaghőmérséklete, [K]; T_E - az állandó teljesítményű hőforrás miatti belső léghőmérséklet növekedés, [K]; $\Delta \tilde{T}_0$ - a külső hőmérséklet ingadozás amplitúdója, [K]; τ - a helyiség időállandója, [h]; ω - a külső hőmérséklet változásának periodicitása, [h⁻¹]; ε - a belső és külső hőmérsékletingadozások közötti fáziskésés.

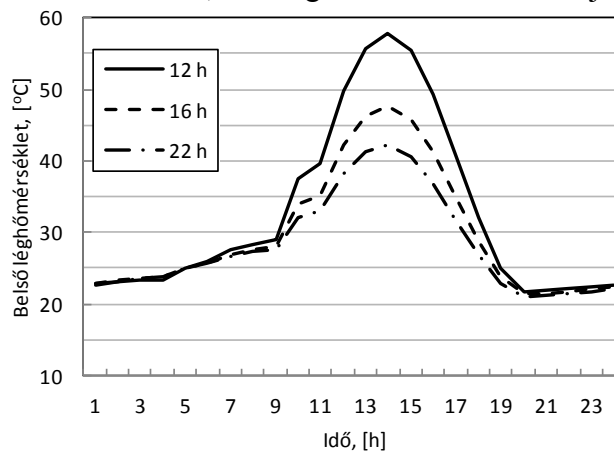
Az egyes tényezők értékeit az alábbiak szerint számítjuk, (Yam et al., 2003):

$$\omega = \frac{2\pi}{24}$$

$$\varepsilon = \frac{1}{\tan\left[\lambda^2 \omega \tau / (\lambda^2 + \omega^2 \tau^2 (1 + \lambda))\right]} \quad (4.19.)$$

$$\lambda = \frac{h_M A_M}{\rho_a c_{ap} q_v}$$

A matematikai modell alapján elvégeztem a számításokat a teszhelyiségre vonatkozóan különböző légcserezszámok és hőtároló tömeg értékek függvényében. A 4.50. ábrában bemutatásra kerül a belső léghőmérséklet számított értékeinek változása a teszhelyiségben, különböző időállandókra vonatkozóan, az üvegezett szerkezet D-i tájolása esetén.

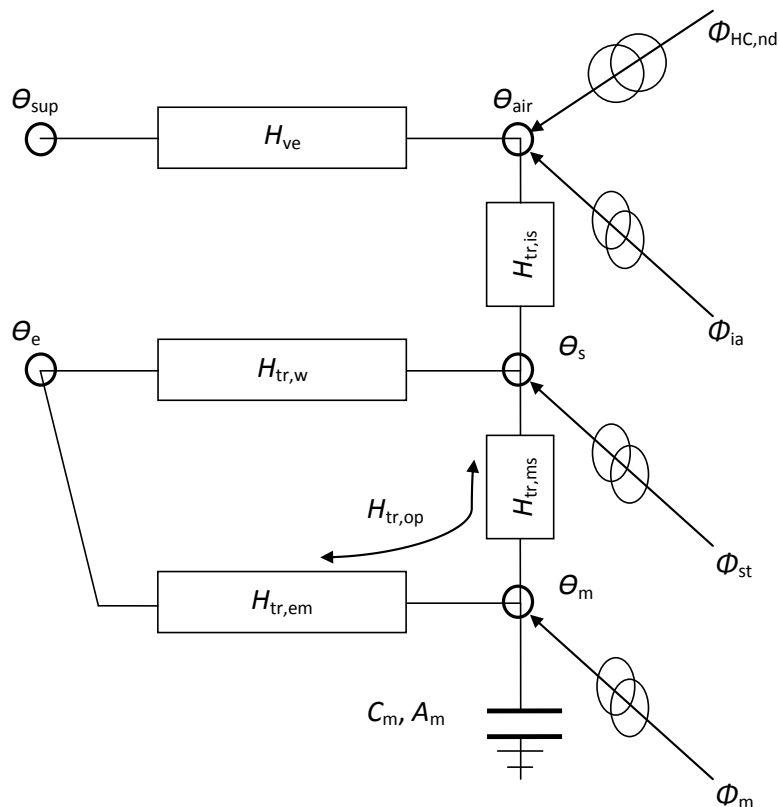


4.50. ábra Belső léghőmérsékletek alakulása a teszhelyiségben (Yam-Li-Zheng modell)

Sajnos a számított értékek és mért értékek között nagy különbségek adódtak (a maximum értékek esetében akár 15-20 K), ezért ezt a modellt nem tartottam alkalmasnak arra, hogy a saját speciális esetemben (a PASSOL laboratóriumban kialakuló belső léghőmérséklet érték számítása), biztonsággal alkalmazzam. A bemutatott modell természetesen alkalmas lehet más esetekben a belső léghőmérséklet ingadozás számítására. A továbbiakban megvizsgáltam, hogy milyen eredményekhez vezet az MSZ EN ISO 13790 szabványban megadott számítási módszer.

4.3.2.2 Számítások az MSZ EN ISO 13790 módszer alapján

Az MSZ EN ISO 13790 szabvány komplex módszert ajánl a belső léghőmérséklet 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 4.51. ábrában bemutatott RC hálózat.



4.51 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 (4.20) összefüggés segítségével határozhatjuk meg, (MSZ EN ISO 13790:2008):

$$\theta_{air} = (H_{tr,is}\theta_s + H_{ve}\theta_{sup} + \Phi_{ia} + \Phi_{HC,nd}) / (H_{tr,is} + H_{ve}) \quad (4.20.)$$

ahol:

$$H_{tr,is} = h_{is}A_{tot} \quad (4.21.)$$

melyben: h_{is} – a léghőmérséklet csomópont (θ_{air}) és a központi csomópont (θ_s) közötti hőátadási tényező, [W/m²K] (értéke 3,45 W/m²K); A_{tot} – a vizsgált helyisége(ke)t határoló összes épületszerkezet felülete belméretek szerint, [m²].

$$H_{ve} = \rho_a c_{ap} \sum_j b_{vj} q_{vj} \quad (4.22.)$$

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 (4.20.) 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 (4.7) összefüggéssel határozható meg:

$$\theta_s = \{H_{tr,ms}\theta_m + \Phi_{st} + H_{tr,w}\theta_e + H_{tr,1}[\theta_{sup} + (\Phi_{ia} + \Phi_{HC,nd})/H_{ve}]\} / (H_{tr,ms} + H_{tr,w} + H_{tr,1}) \quad (4.23.)$$

ahol θ_e – a külső léghőmérséklet, [°C].

$$H_{tr,w} = \sum_j A_{wj} U_{wj} \quad (4.24.)$$

ahol: A_{wj} – a j nyílászáró felülete, belméretek szerint, [m²]; U_{wj} – a j nyílászáró hőátbocsátási tényezője, [W/m²K].

$$\Phi_{st} = \left(1 - \frac{A_m}{A_{tot}} - \frac{H_{tr,w}}{9,1A_{tot}}\right) (\Phi_a + \Phi_{sol}) \quad (4.25)$$

A hőtároló tömeg effektív felületét a (4.26.) összefüggéssel számíthatjuk:

$$A_m = \frac{C_m^2}{\sum_j A_j \kappa_j^2} \quad (4.26.)$$

ahol: A_j – a j hőtároló szerkezet felülete, [m²]; $\kappa_j = \sum d_j \rho_j c_j$, [J/m²K]; 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/m³].

$$H_{tr,ms} = h_{ms} A_m \quad (4.27.)$$

ahol: h_{ms} – az m és az s csomópontok közötti hőátadási tényező, [W/m²K], (9,1 W/m²K);

$$H_{tr,1} = \frac{1}{1/H_{ve} + 1/H_{tr,is}} \quad (4.28.)$$

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

$$\theta_{m,t} = \{\theta_{m,t-1} [(C_m / 3600) - 0,5(H_{tr,3} + H_{tr,em})] + \Phi_{m,tot}\} / [(C_m / 3600) + 0,5(H_{tr,3} + H_{tr,em})] \quad (4.29.)$$

Az összefüggésben a helyiség hőkapacitása, C_m , [J/K] a 4.30. összefüggéssel számítható:

$$C_m = \sum_j \kappa_j A_j \quad (4.30.)$$

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

$$H_{tr,2} = H_{tr,1} + H_{tr,w} \quad (4.31.)$$

$$H_{tr,3} = \frac{1}{1/H_{tr,2} + 1/H_{tr,ms}} \quad (4.32.)$$

$$H_{tr,em} = \frac{1}{1/H_{op} - 1/H_{tr,ms}} \quad (4.33.)$$

$$H_{op} = \sum_j A_{op,j} U_{op,j} + \sum_j l_j \Psi_j \quad (4.34.)$$

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].

$$\Phi_{m,tot} = \Phi_m + H_{tr,em} \theta_e + H_{tr,3} \left(\Phi_{st} + H_{tr,w} \theta_e + H_{tr,1} \left\{ \left(\Phi_{ia} + \Phi_{HC,nd} \right) / H_{ve} \right\} + \theta_{sup} \right) / H_{tr,2} \quad (4.35.)$$

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

$$\theta_{op} = 0,3\theta_{air} + 0,7\theta_s \quad (4.36.)$$

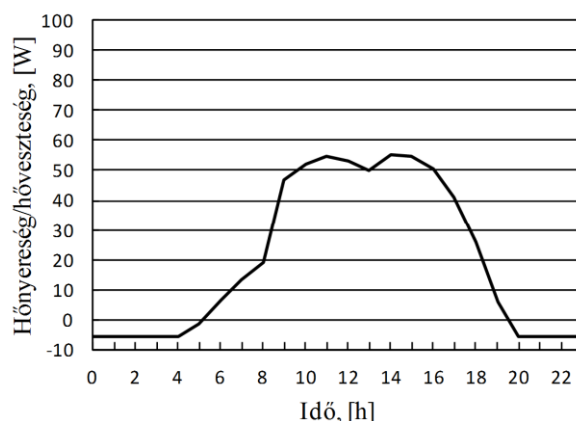
4.3.2.3 Teszt helyiség transzparens szerkezet, hőtároló tömeg és szellőzés nélkül

A teszt helyiséget előbb transzparens szerkezet nélkül teszteltem. Először megvizsgáltam a helyiség légtömörségét annak érdekében, hogy meghatározzam a belső és a külső tér közötti légcserezszámot. Ehhez a rendelkezésemre álló RETROTEC 3300 blower door készülékkel méréseket végeztem a „doboz” megépítése után, mielőtt még az ablakszerkezet elhelyezésre került volna.



4.52. ábra Teszt helyiség légtömörségének mérése

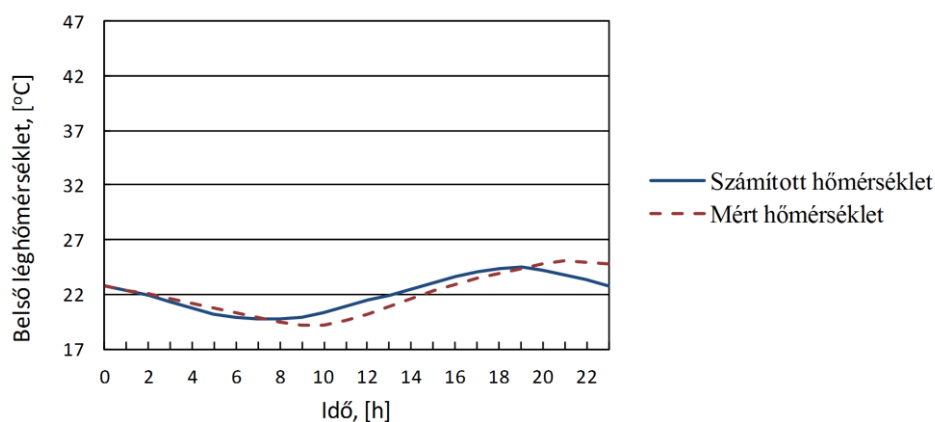
A légtömörégi mérések azt mutatták ki, hogy ± 200 Pa nyomáskülönbség mellett is nulla a légcserezszám a belső és a külső tér között. A transzparens szerkezet nélküli teszt helyiség hőnyereségeit az MSZ EN ISO 13790 szabvány alapján határoztam meg, majd a hőnyereségek figyelembevételével számítottam ki a teszt helyiségben a hőmérséklet változását különböző mérési napokon, figyelembe véve a vízszintes és függőleges felületekre beérkező direkt és diffúz sugárzási értékeket. A 2009.05.26 napra vonatkozó számítási értékeket a 4.12 mutatja be.



4.53. ábra A transzparens szerkezet nélküli teszthelyiség hőnyeresége (2009.05.26)

Látható, hogy összességében csak néhány tíz W a helyiség hőnyeresége. A 4.13 ábrában bemutatásra kerül a belső léghőmérséklet alakulása (mérési és számított értékek). Megállapítható, hogy a számított adatok jól illeszkednek a mért adatok értékeihez, figyelembe véve az alkalmazott mérőeszközök mérési pontosságát is (nagyobb eltérés 20:00-24:00 óra között tapasztalható).

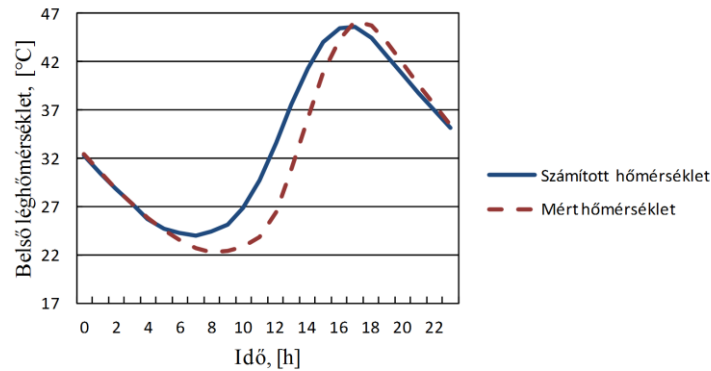
A következő lépésben az ajtóval szembeni falszerkezetbe beépítésre került az ablak. A beépítés után újra elvégeztem a légtömörégi vizsgálatokat és megállapítottam, hogy a beavatkozás után ± 200 Pa nyomáskülönbség mellett is nulla maradt a légcsereszám a belső és a külső tér között.



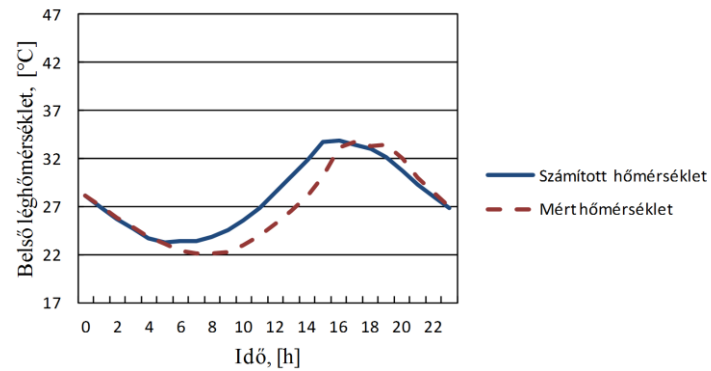
4.54. ábra Mért és számított hőmérsékletértékek transzparens szerkezet nélküli teszthelyiség esetében (2009.05.26)

4.3.2.4 Teszt helyiség transzparens szerkezettel hőtároló tömeg és szellőzés nélkül

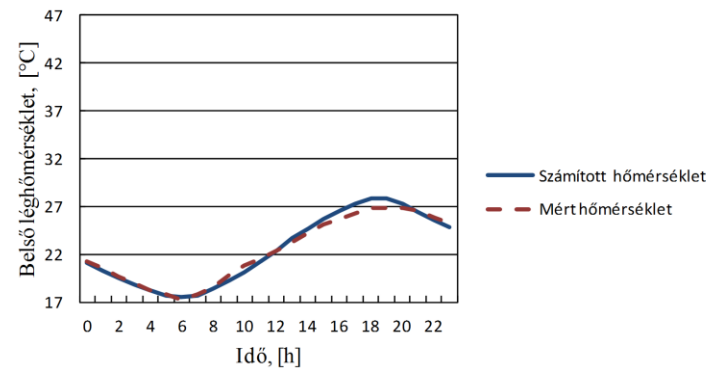
Miután az ablak beépítésre került fontos kérdés lett a transzparens szerkezet tájolása is. A különböző tájolarásra kapott mért és számított belső hőmérséklet értékek alakulását a 4.55-4.58 ábrák szemléltetik.



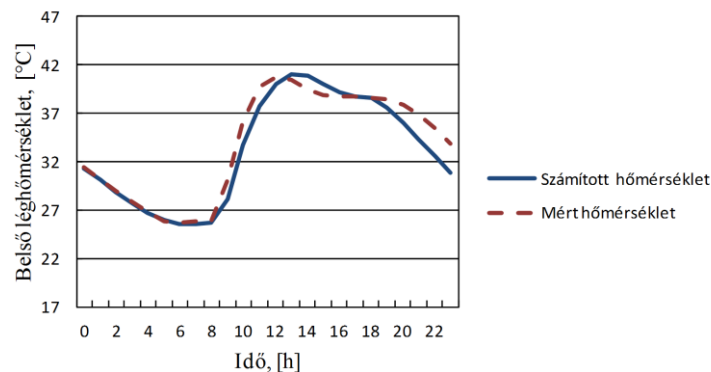
4.55. ábra Mért és számított hőmérsékletértékek déli tájolás esetén hőtároló tömeg és szellőzés nélkül (2012.05.01)



4.56. ábra Mért és számított hőmérsékletértékek nyugati tájolás esetén hőtároló tömeg és szellőzés nélkül (2012.05.22)



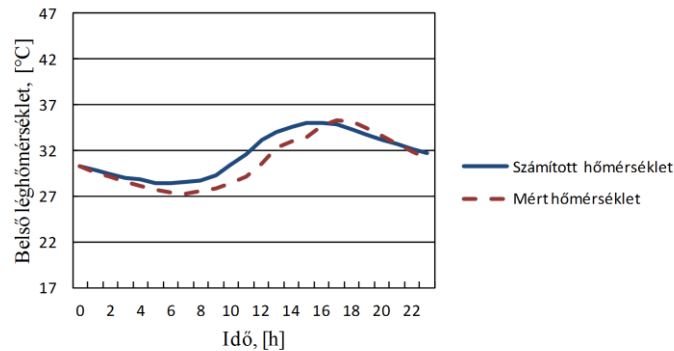
4.57. ábra Mért és számított hőmérsékletértékek északi tájolás esetén hőtároló tömeg és szellőzés nélkül (2012.06.07)



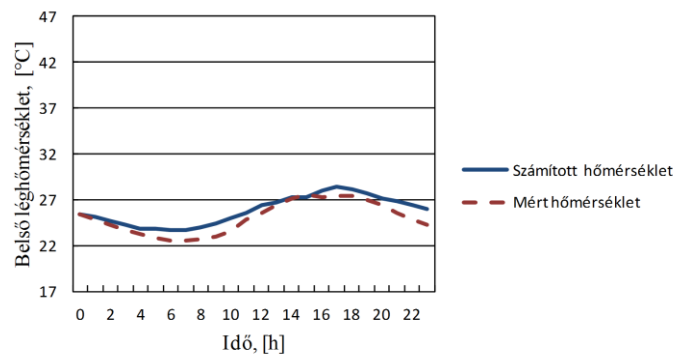
4.58. ábra Mért és számított hőmérsékletértékek keleti tájolás esetén hőtároló tömeg és szellőzés nélkül (2012.06.24)

4.3.2.5 *Teszt helyiség transzparens szerkezettel, hőtároló tömeggel és szellőzés nélkül*

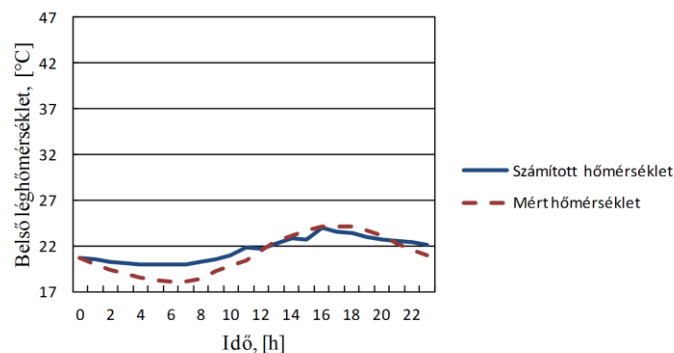
A kutatások folytatásaként a teszhelyiség padlóján elhelyezésre került egy 20 cm vastagsággal rendelkező homokréteg, ezzel növelve a helyiség hőtároló kapacitását. A felhasznált homok sűrűsége 1600 kg/m^3 , hővezetési tényezője $0,58 \text{ W/mK}$, illetve a fajhője 840 J/kgK volt. Különböző tájolások esetében a mért és számított léghőmérsékletek értékét a 4.59.-4.62. ábrák mutatják be.



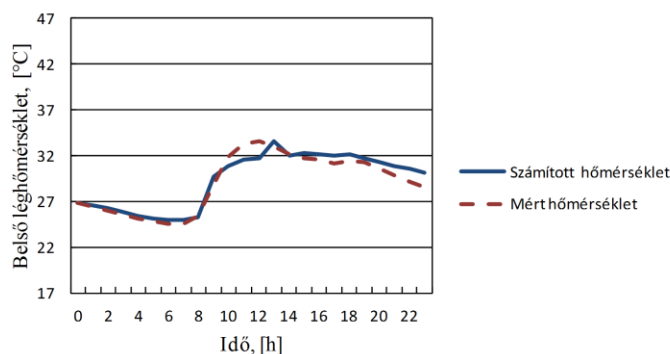
4.59. ábra Mért és számított hőmérsékletértékek déli tájolás esetén hőtárolótömeggel és szellőzés nélkül (2011.06.18)



4.60. ábra Mért és számított hőmérsékletértékek nyugati tájolás esetén hőtárolótömeggel és szellőzés nélkül (2011.05.23)



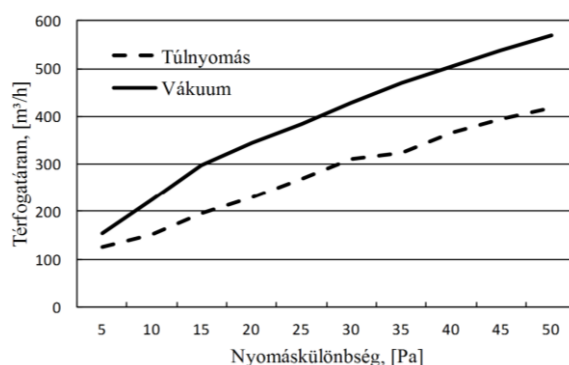
4.61. ábra Mért és számított hőmérsékletértékek északi tájolás esetén hőtárolótömeggel és szellőzés nélkül (2011.05.12)



4.62. ábra Mért és számított hőmérsékletértékek keleti tájolás esetén hőtárolótömeggel és szellőzés nélkül (2011.06.01)

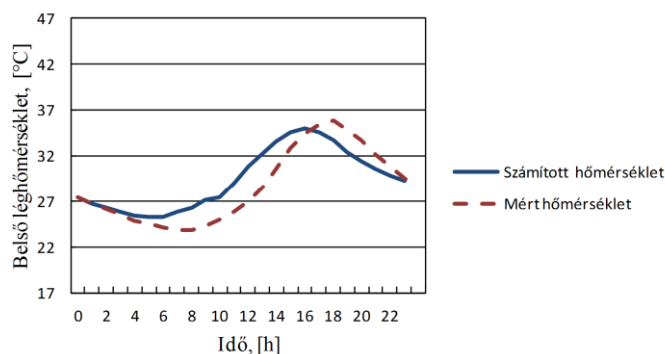
4.3.2.6 Teszt helyiség transzparens szerkezettel, hőtároló tömeggel és szellőzéssel

A továbbiakban a teszt helyiségnek abban a falszerkezetében, melyben az ablak is elhelyezésre került az ablak jobb és bal oldalán a padlósíktól 40 cm magasságban, illetve a mennyezetsík alatt 20 cm-el, az oldalfalaktól 40-40 cm távolságra Ø100 szellőzőnyílások kerültek elhelyezésre. A nyílásokban axiál ventilátorok kerültek elhelyezésre, melyek segítségével kontrollált légcserét tudtam biztosítani a helyiségben. Az alsó síkban elhelyezett szellőzőnyílások a légbevezetést, a felső síkban elhelyezett szellőzőnyílások a légelvezetést biztosították. A ventilátorok úgy kerültek beszabályozásra, hogy a helyiségben az $1,0 \text{ h}^{-1}$ légcsereszám legyen biztosítva. A hőmérsékletmérések előtt viszont újra megmértem a teszt helyiség légtömörtségét. A mérések eredménye a 4.63. ábrában látható.

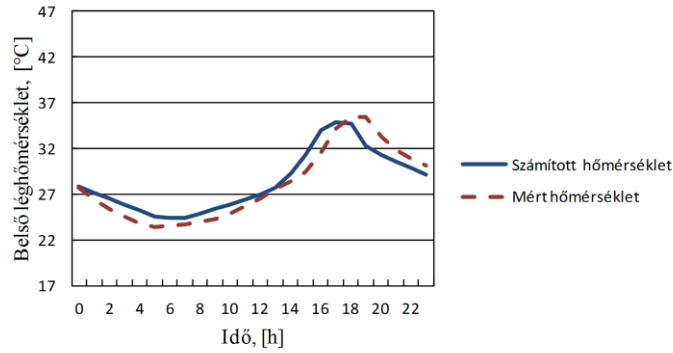


4.63. ábra Légáram a belső és külső tér között túlnyomás és vákuum esetében (szellőzőnyílásokkal ellátott teszt helyiség)

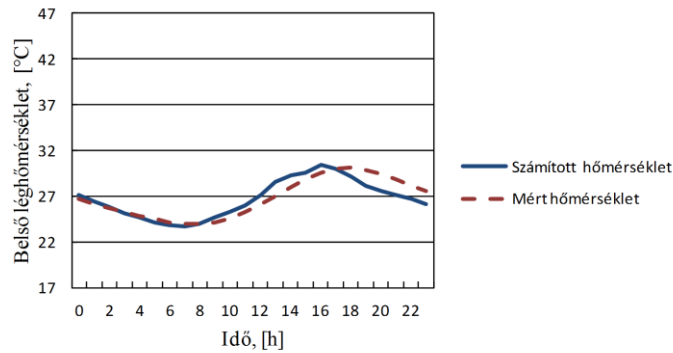
A mért és számított belső léghőmérséklet értékeket a 4.64.-4.67. ábrák mutatják be.



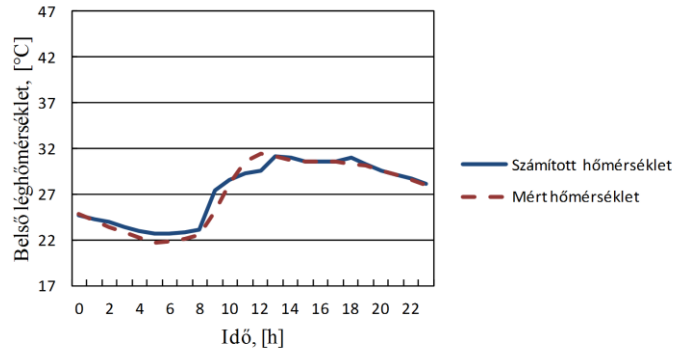
4.64. ábra Mért és számított hőmérsékletértékek déli tájolás esetén hőtárolótömeggel és szellőzéssel (2011.07.17)



4.65. ábra Mért és számított hőmérsékletértékek nyugati tájolás esetén hőtárolótömeeggel és szellőzéssel (2011.08.18)



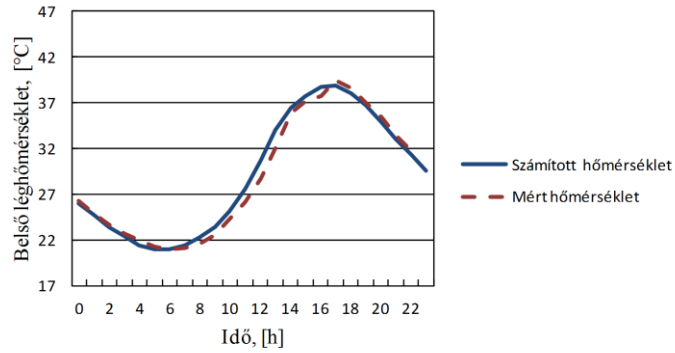
4.66. ábra Mért és számított hőmérsékletértékek északi tájolás esetén hőtárolótömeggel és szellőzéssel (2011.09.04)



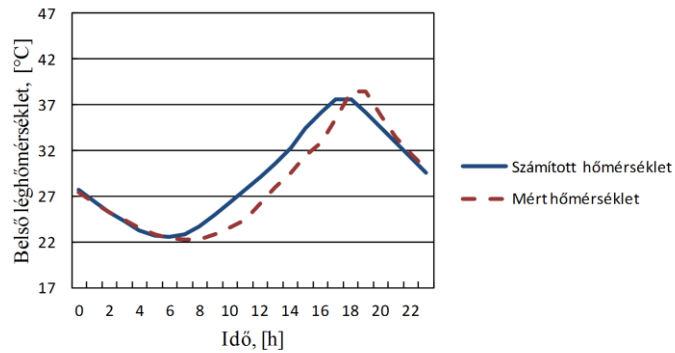
4.67. ábra Mért és számított hőmérsékletértékek keleti tájolás esetén hőtárolótömeggel és szellőzéssel (2011.08.06)

4.3.2.7 *Teszt helyiség transzparens szerkezettel, hőtároló tömeg nélkül és szellőzéssel*

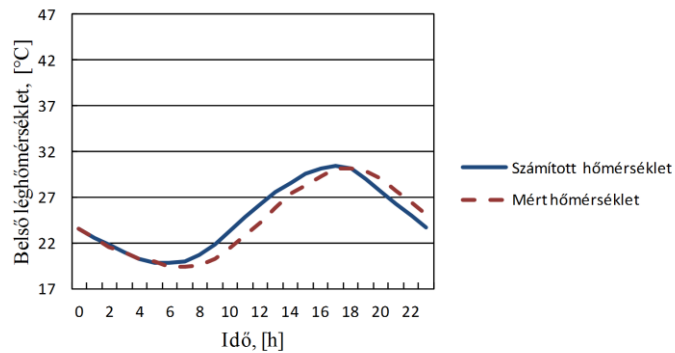
A mérésorozat utolsó lépésében eltávolításra került a teszhelyiség padlóján elhelyezett 20 cm vastag homokréteg és működő folyamatos szellőzés mellett méréseket végeztem a belső léghőmérséklet meghatározásához. A mérések eredményeit a 4.68.-4.71. ábrák mutatják be.



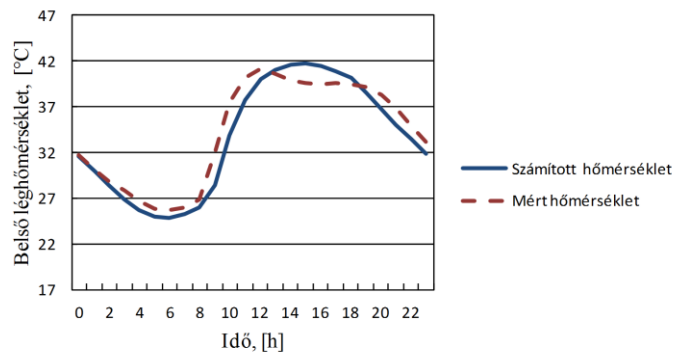
4.68. ábra Mért és számított hőmérsékletértékek déli tájolás esetén hőtároló tömeg nélkül és szellőzéssel (2012.07.10)



4.69. ábra Mért és számított hőmérsékletértékek nyugati tájolás esetén hőtároló tömeg nélkül és szellőzéssel (2012.07.27)



4.70. ábra Mért és számított hőmérsékletértékek északi tájolás esetén hőtároló tömeg nélkül és szellőzéssel (2012.08.18)

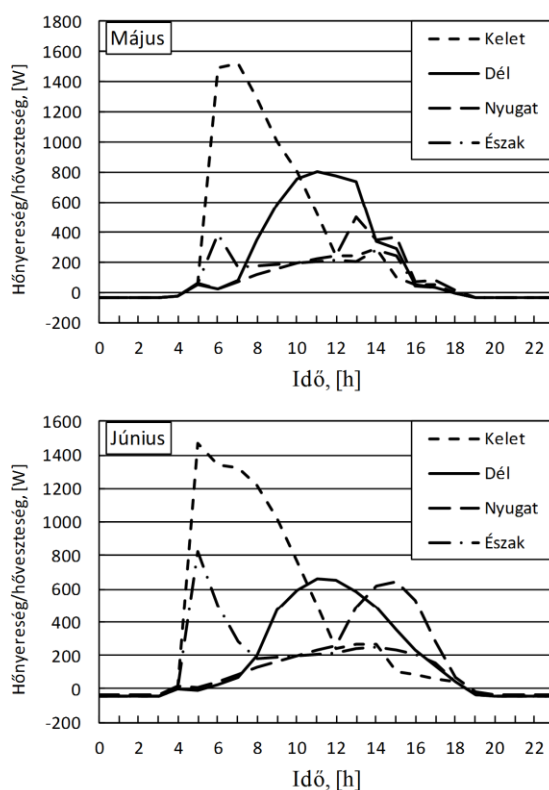


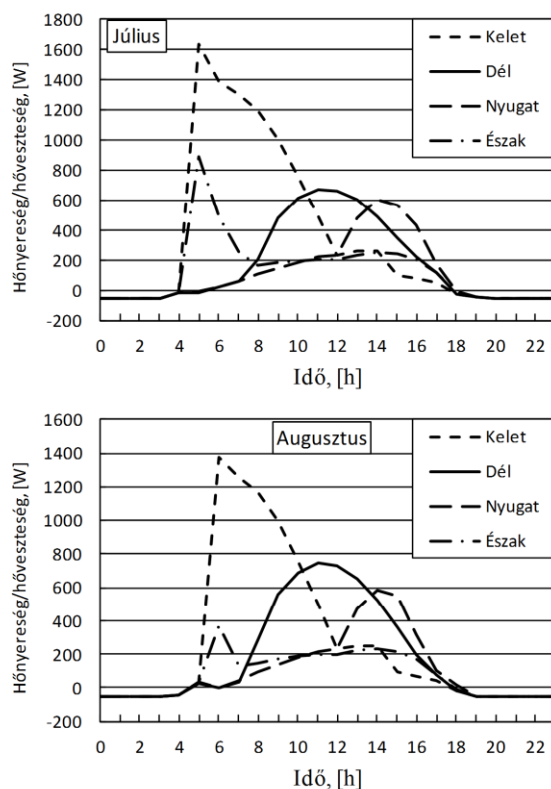
4.71. ábra Mért és számított hőmérsékletértékek keleti tájolás esetén hőtároló tömeg nélkül és szellőzéssel (2012.07.04)

A vizsgált különböző mérési körülmények esetében, minden egyes tájolás mellett elemeztem a bemutatott mérési és számítási eredményeket és megállapítottam, hogy a napi számított és mért átlaghőmérsékletek között az eltérés +0,8 – -0,67 K közötti. Figyelembe véve a mérési eszközök pontosságát is, az MSZ EN ISO 13790 által ajánlott számítási módszert elfogadtam és továbbiakban az energetikai számításaimnál alkalmaztam.

4.3.3 Energetikai számítások az MSZ EN ISO 13790 szabvány alapján

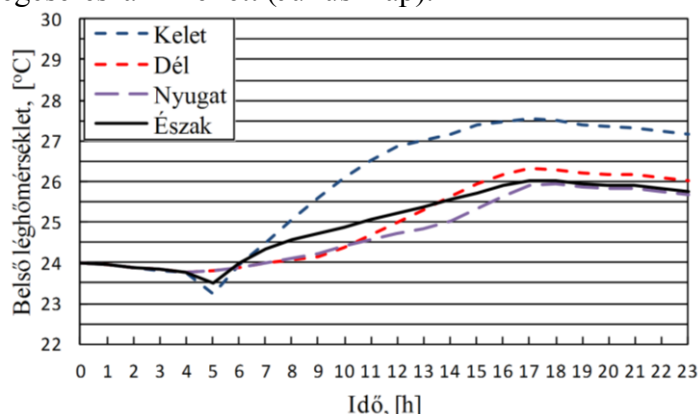
A kutatásaim következő lépésében, a 2009-2013 évek Május, Június, Július és Augusztus hónapjainak legmelegebb napjaira vonatkozó meteorológiai paraméterek felhasználásával (4.17.-4.19. táblázatok), megvizsgáltam egy adott valós méretekkel rendelkező helyiségben hogyan alakul a belső léghőmérséklet, valamint a hűtési energiafogyasztás különböző építőanyagok esetében. A vizsgált 4,0×4,0×2,8 m méretekkel rendelkező sarokhelyiség egy háromszintes épület utolsó emeletén található. Egyik külső falán egy 150×150 cm méretekkel és 85% üvegezési aránnyal rendelkező ablak található. Az árnyékolás nélküli ablak g tényezője 0,7. A számításokat elvégeztem a transzparens szerkezet négy fő égtáj szerinti tájolására különböző légcserezszámok és épületszerkezetek (tömör téglá, pórusbeton és könnyűszerkezet) esetében. Mindegyik esetben a határoló szerkezetek azonos hőátbocsátási tényezővel rendelkeznek: $U_{fal}=0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{tető}=0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{ablak}=1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$. A belső hőnyereségek értékei az épület rendeltetésétől függenek, ezért a számításoknál kizárólag a külső hőnyereségeket vettem figyelembe. A 4.72. ábra bemutatja a vizsgált helyiség hőnyereségeinek alakulását a vizsgált napokon a transzparens szerkezet különböző tájolásai mellett.





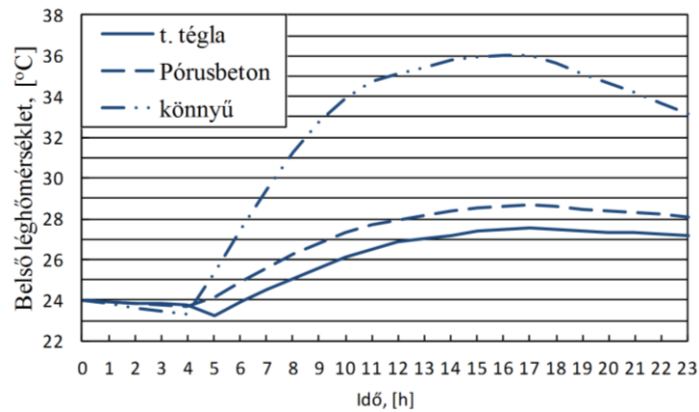
4.72. ábra A vizsgált helyiség hőnyereségei/hővesztésegei az elemzett napokon

Megállapítható, hogy a legnagyobb hőterhelés Július hónapban alakul ki a transzparens szerkezet keleti tájolása mellett. A 4.2. fejezetben bizonyítást nyert, hogy a mérések szerint a sugárzási energiahozam a legtöbb esetben aszimmetrikus egy nap során (a keleti és nyugati tájolású függőleges felületek teljes sugárzási energiahozama között szignifikáns különbség van). A aszimmetria miatt a délelőtti órákban érkező sugárzási energiahozam akár kétszerese is lehet a délutáni órákban érkező sugárzási energiahozamnak. Az aszimmetriát a felhőzet, a légköri aeroszol koncentráció, illetve a levegő nedvességtartalma okozhatja. A 4.73. ábrában bemutatásra kerül a belső léghőmérséklet alakulása a vizsgált helyiségben, tömör téglafalazat esetében és $0,5 \text{ h}^{-1}$ légcsereszám mellett (Júliusi nap).



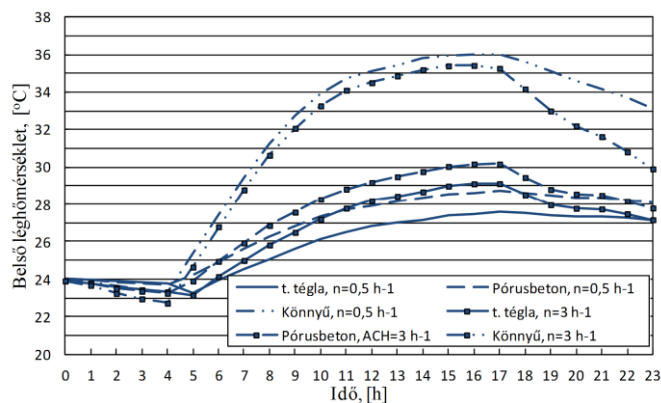
4.73. ábra A belső léghőmérséklet alakulása a vizsgált helyiségben (tömör téglafalazat, $0,5 \text{ h}^{-1}$ légcsereszám)

A 4.74. ábra mutatja be a belső léghőmérséklet alakulását a helyiségben különböző szerkezetek esetében, keleti tájolás és $0,5 \text{ h}^{-1}$ légcsereszám mellett, Júliusi nap.



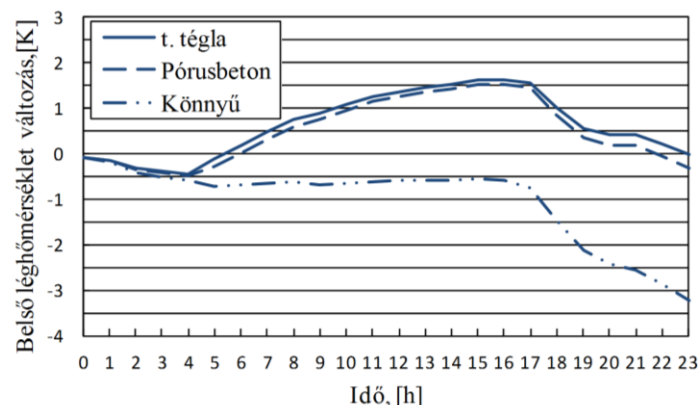
4.74. ábra Belső léghőmérséklet alakulása különböző szerkezetek esetében (K-i tájolás)

A 4.75. ábrába bemutatásra kerül a belső hőmérséklet alakulása a zárt térben, keleti tájolású üvegezett szerkezet esetében, különböző épületszerkezetek és légcsereszámok mellett. A befűjt levegő hőmérséklete minden esetben egyenlő a külső levegő hőmérsékletével.



4.75. ábra Belső léghőmérséklet alakulása különböző szerkezetek és légcsereszámok esetében (K-i tájolás)

Megállapítható, hogy a szellőző levegő térfogatáramának növelésével különböző hatást érünk el a vizsgált szerkezeteknél. A nehéz szerkezetek esetében a nagyobb térfogatáram a belső léghőmérséklet növekedését eredményezik, míg a könnyű szerkezet esetében (ahol egyébként nagyon magas léghőmérsékletek alakulnak ki) a szellőző levegő térfogatáramának növelése alacsonyabb belső hőmérséklet értékeket eredményez. A 4.76. ábrában bemutatásra kerül a légcsereszám növelésével elért belső léghőmérséklet változás keleti tájolású üvegezés mellett, különböző épületszerkezetek esetében ($\Delta t_i = t_{i(ACH=3)} - t_{i(ACH=0,5)}$), ami tehát lehet növekedés vagy csökkenés.



4.76. ábra Belső léghőmérséklet változása különböző szerkezetek esetében

A vizsgált öt év hőmérséklet adatai alapján meghatározásra került a hűtési hőfokhid értéke az elemzett épületszerkezetek és légcsereszámok mellett. Az MSZ EN ISO 13790:2008 szabvány által előírt számítási módszer alkalmazásával mindegyik vizsgált esetre vonatkozóan meghatározásra került a hűtési energiaigény. A számításoknál azt a hűtési energiaszükségletet határoztuk meg, amely biztosítja a helyiségben a maximum 26 °C operatív hőmérséklet kialakulását. Ez a hőmérsékletérték az MSZ CR 1752 szerint egy B komfortkategóriás irodahelyiség esetén a maximális megengedhető hőmérséklet (az operatív hőmérsékletre vonatkozó a követelmény: 24,5±1,5 °C). A hűtési energiaigény, (MSZ EN ISO 13790:2008):

$$\phi_{HC,nd,un} = \frac{\phi_{HC,nd10}(\theta_{air,set} - \theta_{air,0})}{(\theta_{air,10} - \theta_{air,0})} \quad (4.37.)$$

ahol:

$$\phi_{HC,nd10} = 10A_f \quad (4.38.)$$

melyben: A_f a helyiség nettó alapterülete, [m²], $\theta_{air,10}$ – a helyiségben kialakuló léghőmérséklet 10 W/m² hőterhelés mellett, [°C], $\theta_{air,0}$ – a helyiségben kialakuló léghőmérséklet a valós hőterhelés mellett (hűtés nélkül), [°C].

Az elvárt operatív hőmérséklet érték eléréséhez, egy adott pillanatban kialakuló közepes sugárzási hőmérsékletet figyelembe véve, meg kell állapítani a szükséges léghőmérséklet értéket, (MSZ EN ISO 13790:2008):

$$\theta_{op} = 0,3\theta_{air,set} + 0,7\theta_s \quad (4.39.)$$

A 4.17.-4.19. táblázatokban bemutatott legmelegebb napok sugárzási és külső hőmérsékleti adatait figyelembe véve a bemutatott számítási módszer segítségével meghatározásra került a napi hűtési energiaigény különböző hőtároló képességű szerkezetek, különböző tájolású üvegezések valamint különböző mértékű légcsereszámok mellett, (4.28. táblázat).

4.28 táblázat Hűtési energiaigény, [Wh]

$n, [h^{-1}]$	Tájolás	Szerkezet	Május	Június	Július	Augusztus
0,5	Dél	Könnyű	9595	12993	14406	15839
		t. tégl	324	1920	2456	3245
		Pórusbeton	2256	4405	5179	6157
	Észak	Könnyű	4248	11999	13544	10454
		t. tégl	0	1196	1647	989
		Pórusbeton	0	3418	4118	2969
	Kelet	Könnyű	17805	26721	28918	23549
		t. tégl	3155	7468	8448	6306
		Pórusbeton	6609	12148	13381	10399
Nyugat	Könnyű	4401	10673	11056	11180	
	t. tégl	0	1094	1295	1482	
	Pórusbeton	4	3028	3375	3578	
3,0	Dél	Könnyű	10869	21202	24312	27997
		t. tégl	1003	6075	7383	9691
		Pórusbeton	3070	9842	11510	14190
	Észak	Könnyű	4984	19096	22369	21475
		t. tégl	0	5248	6551	6671
		Pórusbeton	479	8761	10362	10269
	Kelet	Könnyű	17731	34574	38589	35381
		t. tégl	3984	13233	14976	13922

	Pórusbeton	7353	18708	20806	19187
Nyugat	Könnnyű	5405	18667	20582	22678
	t. tégl	0	4513	5431	6991
	Pórusbeton	561	7897	9131	10848

A táblázat alapján megállapítható, hogy az egyes hónapok, szerkezeti megoldások, tájolások és légcsereszámok mellett kialakuló hűtési energiaigények között nagyon nagy különbségek alakulnak ki. A legnagyobb hűtési energiaigény keleti tájolás mellett alakul ki. A déli és nyugati tájolások közötti különbségek nem extrémek, de a hűtési energiaigény déli tájolás mellett mindegyik esetben nagyobb. Keleti tájolású helyiségeknél feltétlenül szükséges a megfelelő árnyékoló szerkezetek alkalmazása, ugyanakkor megfelelő hőtároló tömeg nélkül minden bizonnyal nagy lesz a hűtési energiaigény. A légcserre növelésével nagy hőtároló tömeggel rendelkező helyiségeknél csak növeljük a hűtési energiaigényt. Könnnyű szerkezetes helyiségeknél viszont csökkenést érhetünk el. A tömör tégl

4.3.4 A laborban végzett vizsgálatok eredményei

A Debreceni Egyetem Épületgépészeti és Létesítménymérnöki Tanszékén megépített PASSOL laboratórium alkalmas eszköznek bizonyult a helyiségek nyári túlmelegedésének vizsgálata során. Különböző peremfeltételek mellett, figyelembe véve a valós sugárzási és külső hőmérsékleti adatokat a teszhelyiségben mért és az MSZ EN ISO 13790:2008 szabványban megadott módszer alapján számított léghőmérséklet adatok napi átlag értékei közötti eltérések +0,89...-0,67 K közötti értékekre adódtak. Figyelembe véve a mérőeszközök szenzorainak mérési pontosságát, valamint a sugárzási értékeket befolyásoló tényezőket is (melyeknek pillanatnyi változását egy számítási eljárás nem tudja figyelembe venni), a szabvány által megadott módszert alkalmasnak találtam további szimulációs számítások elvégzésére.

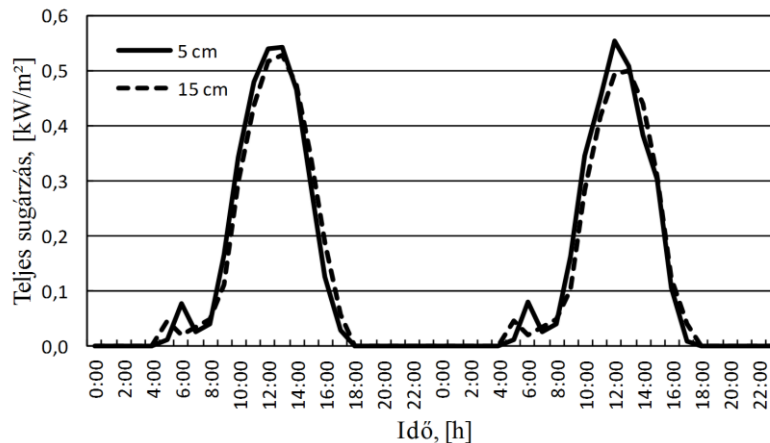
Különböző épületszerkezeteket, légcsereszámokat és a tájolásokat feltételezve egy átlagos helyiségre vonatkozóan meghatároztam a várható hűtési energiaigényt. Megállapítottam, hogy a hűtési energiaigényre az üvegezett szerkezet tájolása mellett, elsősorban a beépített hőtároló tömeg van hatással. A légcsereszám különböző szerkezetek esetében eltérő hatással van a hűtési energiaigényre: nehéz szerkezetek esetében a nagyobb légcsereszám növeli a hűtési energiaigényt, könnnyű szerkezetek esetében viszont a nagyobb légcsereszámmal csökkenthető a hűtési energiaigény.

4.4 Transzparens felületek, komfort és hűtési energiaigény

4.4.1 Mérések a PASSOL laboratóriumban

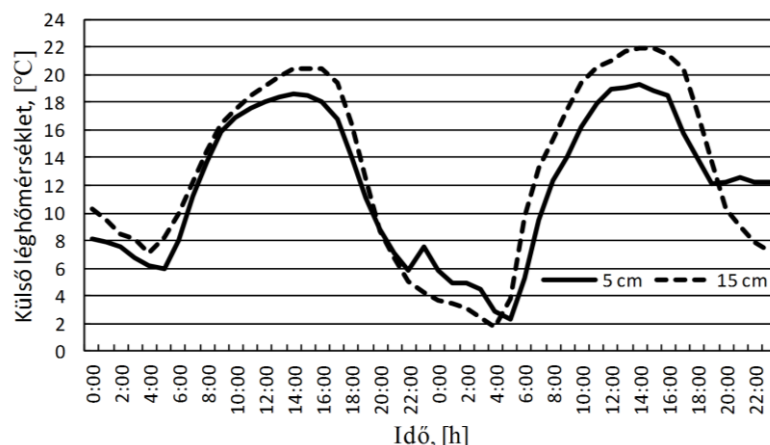
A 3. fejezetben bemutatott PASSOL laboratóriumban, nyári időszakban, a hőtároló tömeg belső léghőmérsékletre gyakorolt hatásának vizsgálatához méréseket végeztem. A hőtároló tömeget úgy változtattam, hogy a teszhelyiség padlószerkezetére különböző vastagságban

helyeztem el a homokréteget. A mérésekhez használt homok sűrűsége 1600 kg/m^3 , a hővezetési tényezője $0,58 \text{ W/mK}$, illetve a fajhője 840 J/kgK volt. A homokréteget $5,0 \text{ cm}$, $10,0 \text{ cm}$, $15,0 \text{ cm}$, illetve $20,0 \text{ cm}$ vastagságban helyeztem el a teszt helyiség padló szerkezetén majd mindegyik esetben egy hétig tartó méréseket végeztem az üvegezett szerkezet Déli tájolása esetében. Az 4.77. ábrában látható a teljes sugárzás alakulása két egymást követő napon az 5 cm , valamint a 15 cm vastagságú homokréteg esetében. Látható, hogy a sugárzási értékek csaknem teljes mértékben megegyeznek a két esetben. A két nap sugárzási energiahozamai: $6136,39 \text{ Wh/m}^2\text{nap}$, (az 5 cm vastagságú homokréteg esetében), illetve $5981,43 \text{ Wh/m}^2\text{nap}$ (a 15 cm vastagságú homokréteg esetében). Az első napon az eltérés $0,95\%$, a második napon $4,17\%$, a két egymást követő napon pedig $2,52\%$.



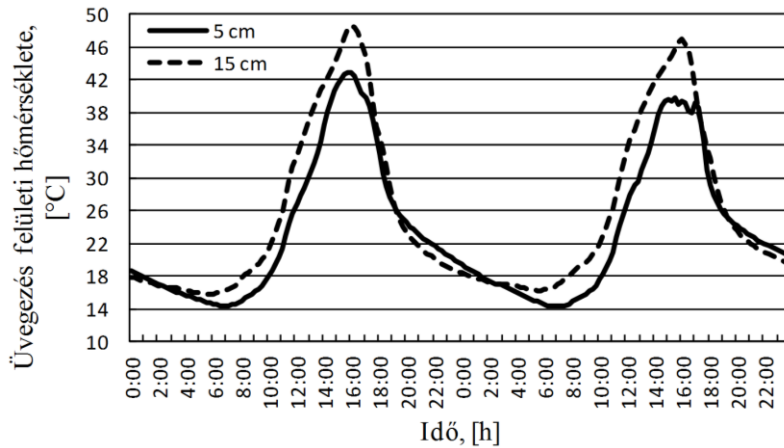
4.77. ábra A teljes sugárzási energia változása a két egymást követő napon ($5,0 \text{ cm}$: 2011.04.03-04; $15,0 \text{ cm}$: 2011.04.20-21)

Az 4.78. ábrában bemutatásra kerül a vizsgált két napon a külső hőmérséklet változása. A két esetben az első napokon a külső átlaghőmérsékletek: $12,03 \text{ }^\circ\text{C}$ (2011.04.03), illetve $13,11 \text{ }^\circ\text{C}$ (2011.04.20). A mérések második napjain a külső átlaghőmérsékletek: $11,94 \text{ }^\circ\text{C}$ (2011.04.04), illetve $12,82 \text{ }^\circ\text{C}$ (2011.04.20). Megállapítható, hogy a nagyobb átlaghőmérsékleteket a vastagabb hőtároló tömeg esetében regisztráltuk.



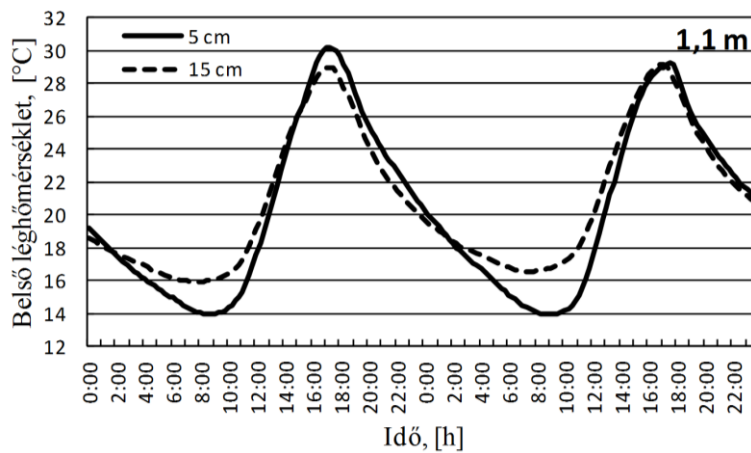
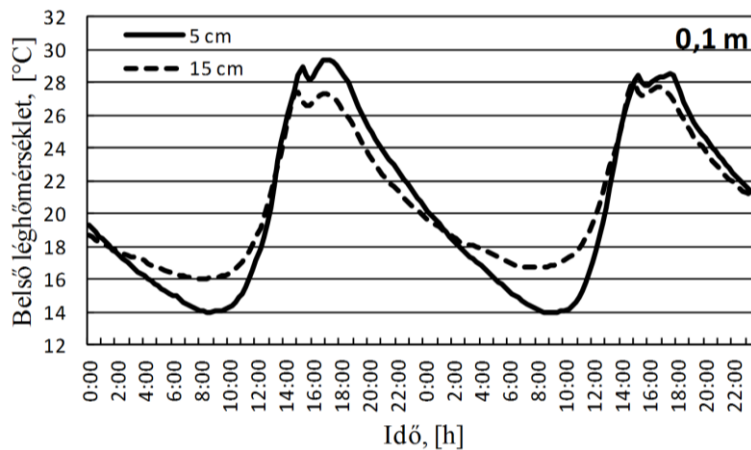
4.78. ábra A külső léghőmérséklet alakulása a két egymást követő napon (($5,0 \text{ cm}$: 2011.04.03-04; $15,0 \text{ cm}$: 2011.04.20-21))

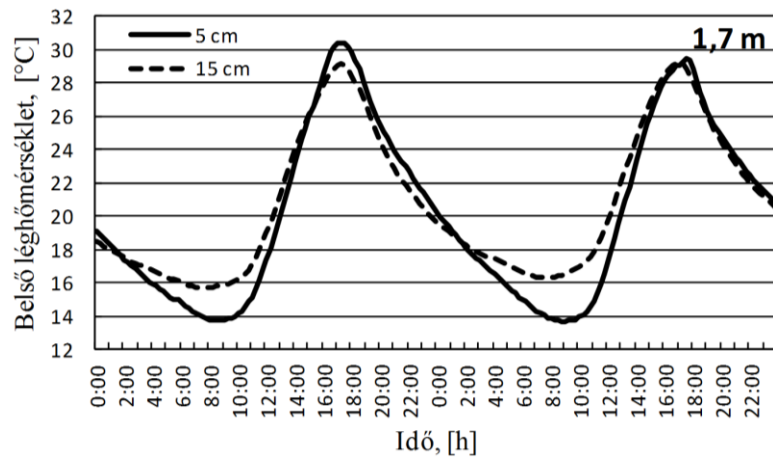
A teszt helyiség üvegezett szerkezetének belső felületi hőmérsékletének alakulását az 4.79. diagram ábrázolja.



4.79. ábra Üvegezés belső felületi hőmérséklete
(5,0 cm: 2011.04.03-04; 15,0 cm: 2011.04.20-21)

Látható, hogy hőterhelés szempontjából kedvezőtlenebb feltételek voltak abban az esetben, amikor a teszhelyiségben elhelyezett hőtároló réteg vastagsága 15,0 cm volt. Ennek ellenére a belső térben, különböző magasságban rögzített léghőmérséklet értékek maximális értékei alacsonyabbak voltak, a minimális értékek pedig magasabbak voltak a vastagabb hőtároló tömeg esetében (a légcseré hatását ezeknél a méréseknél teljesen kizártam), (4.80 ábra).



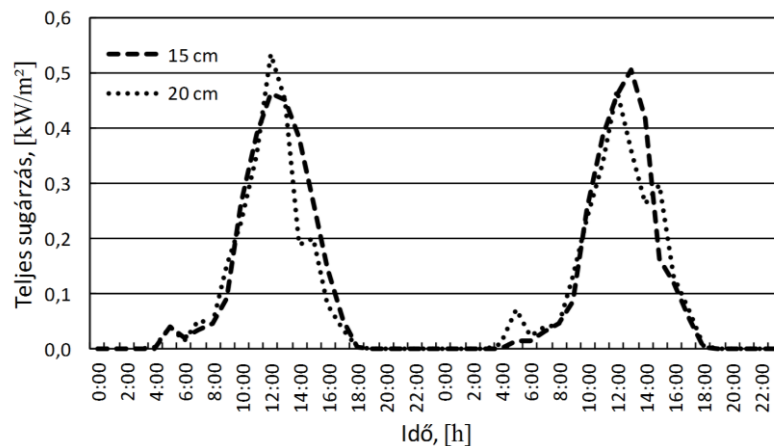


4.80. ábra Léghőmérséklet mérések a teszthelyiségben
(5,0 cm: 2011.04.03-04; 15,0 cm: 2011.04.20-21)

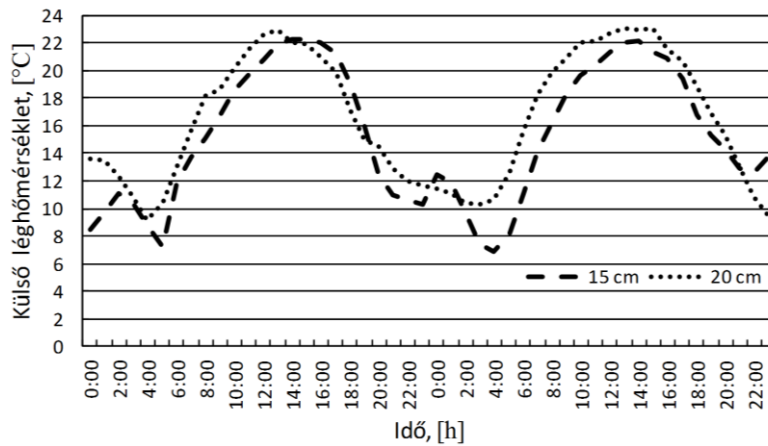
A mérésorozatból az 4.81.-4.84. ábrákban bemutatásra kerülnek a 15,0 cm és a 20,0 cm vastagságú hőátjáró réteg esetében mért értékek.

Látható, hogy a sugárzási értékek ennél a két esetenél nagyobb eltérést mutatnak, mint az előző vizsgálatok során. A két nap sugárzási energiahozamai: 5222,36 Wh/m²nap, (az 15 cm vastagságú homokréteg esetében), illetve 4876,58 Wh/m²nap (a 15 cm vastagságú homokréteg esetében). Az első napon az eltérés 10,34%, a második napon 2,75%, a két egymást követő napon pedig 6,62%.

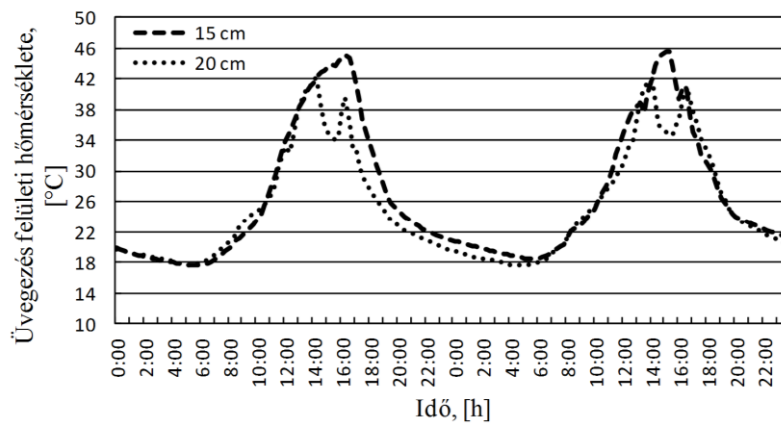
A két esetben az első napokon a külső átlaghőmérsékletek: 15,04 °C (2011.04.23), illetve 16,26 °C (2011.04.28). A mérések második napjain a külső átlaghőmérsékletek: 15,38 °C (2011.04.24), illetve 16,82 °C (2011.04.29). Megállapítható, hogy a nagyobb átlaghőmérsékleteket a vastagabb hőátjáró tömeg esetében regisztráltuk.



4.81. ábra A teljes sugárzási energia változása a két egymást követő napon
(15,0 cm: 2011.04.23-24; 20,0 cm: 2011.04.28-29)

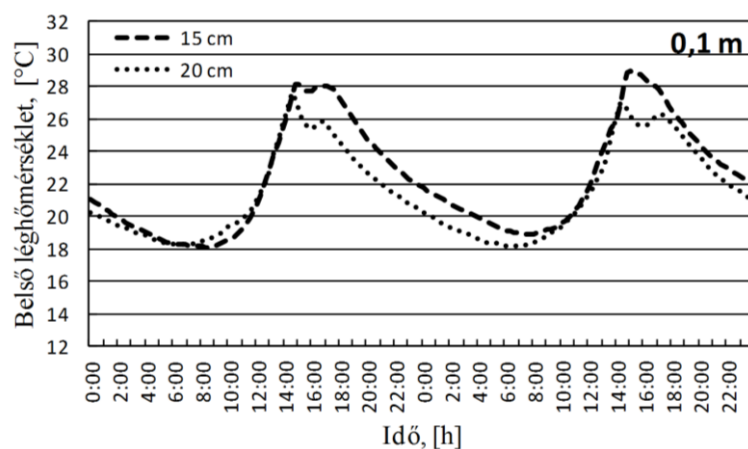


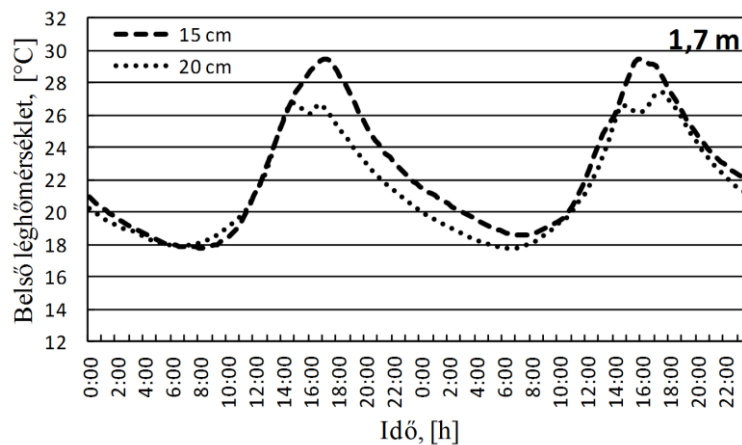
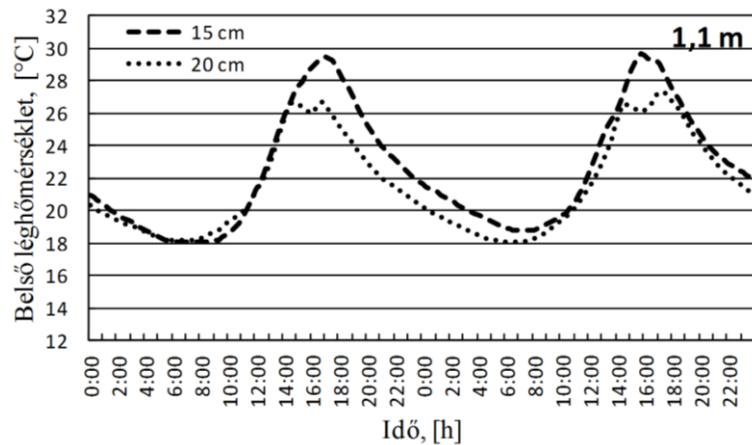
4.82. ábra A külső léghőmérséklet alakulása a két egymást követő napon (15,0 cm: 2011.04.23-24; 20,0 cm: 2011.04.28-29)



4.83. ábra Üvegezés belső felületi hőmérséklete, (15,0 cm: 2011.04.23-24; 20,0 cm: 2011.04.28-29)

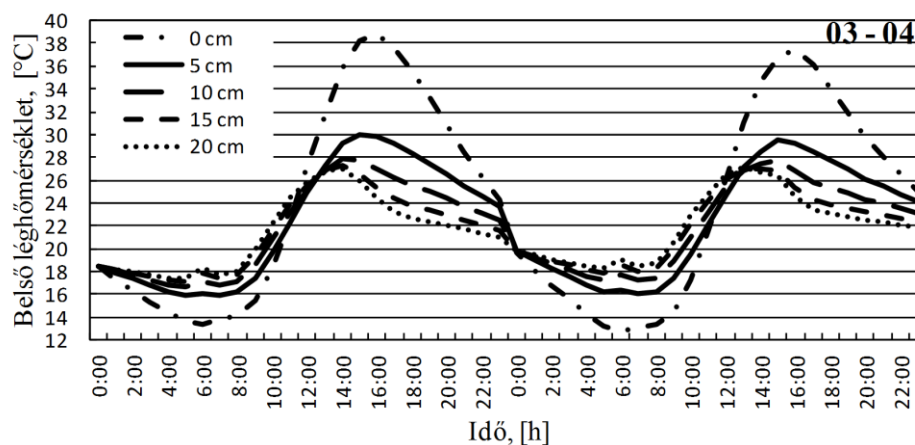
Az 4.84. ábrából megállapítható, hogy ebben az esetben is a vastagabb hőtároló tömeg alacsonyabb belső léghőmérséklethez vezet. Természetesen mivel némileg eltérő a teljes sugárzás és a külső hőmérséklet az alacsonyabb belső léghőmérséklet nem tekinthető csak és kizárólag a hőtároló tömeg hatásának.



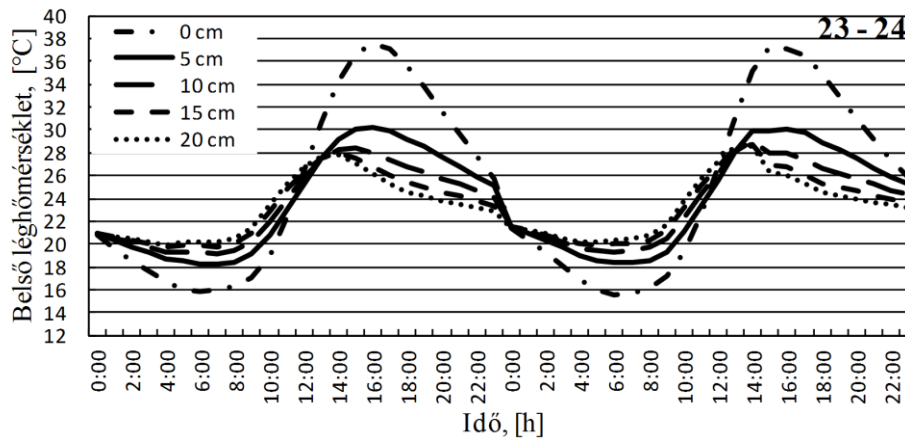


4.84. ábra Léghőmérséklet mérések a teszthelyiségben
(15,0 cm: 2011.04.23-24; 20,0 cm: 2011.04.28-29)

Azonos külső hőmérsékleti, illetve teljes sugárzási feltételek mellett az MSZ EN ISO 13790 (2008) számítási módszer alkalmazásával meghatároztam a teszthelyiségben a várható léghőmérséklet értékeket, különböző hőtároló réteg vastagságok mellett. Az eredményeket a 4.85. és a 4.86. ábra mutatja be.



4.85. ábra Belső léghőmérséklet alakulás a teszthelyiségben
(számított értékek a 2011.04.03-04 sugárzási és külső hőmérsékletadatok alapján)

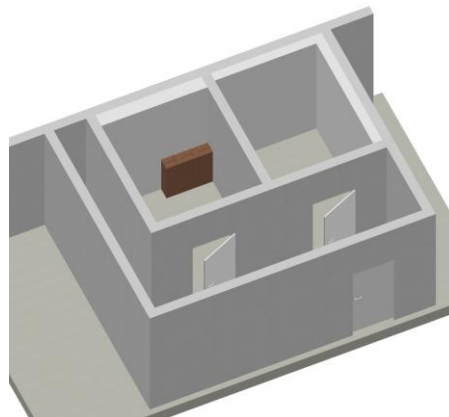


4.86. ábra Belső léghőmérséklet alakulás a teszthelyiségben
(számított értékek a 2011.04.23-24 sugárzási és külső hőmérsékletadatok alapján)

Látható, hogy könnyűszerkezetes (hőtároló tömeg nélküli) teszthelyiségben kialakuló léghőmérséklet maximális értékét 5,0 cm vastagságú hőtároló réteg nagymértékben csökkenti (8,0 K hőmérsékletcsökkenés). A hőtároló réteg vastagságának további növelésének viszont már nem ilyen jelentős a hatása. 10,0 cm vastagságú hőtároló réteg már csak további 1,8 K hőfokcsökkenést okoz, míg a 15,0 cm vastagságú réteg esetében a hőfokcsökkenés már csak 0,2 K. A hőtároló réteg vastagságának növelése 15,0 cm-ről 20,0 cm-re már nem okoz kimutatható hőfokcsökkenést a maximum és minimum hőmérsékletértékek esetében.

4.4.2 Mérések az Épületfizika Laboratóriumban

A Debreceni Egyetem Épületgépészeti és Létesítménymérnöki tanszékének Épületfizika Laboratóriumában rendelkezésemre állt egy zárt térben elhelyezett, hőszigetelő elemekből épült, mérőkamra. A mérőkamra 30 cm vastag EPS 200 polisztirol építőelemekből épült és két teszthelyiségből áll, melyeket egy 50 cm vastag EPS 200 polisztirol építőelemekből épült falszerkezet választ el egymástól (4.87. ábra). Az egyik teszthelyiség klimatizált. Ebben a helyiségben a léghőmérsékletet -23 °C és 25 °C között állíthatjuk be, míg a másik teszthelyiségben csak egy fűtésre alkalmas villamos radiátor van elhelyezve. Ez utóbbi helyiségben a léghőmérséklet maximum 298 K lehet.



4.87 ábra Az Épületfizika Laboratóriumban található mérőkamra

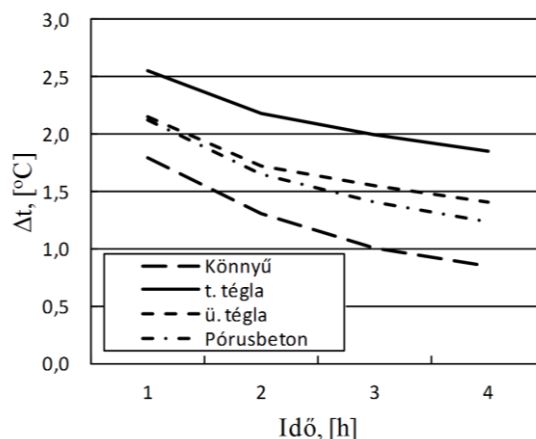
A teszthelyiség padlózata (OSB lap) alatt is 30 cm vastag EPS 200 polisztirol réteg található, míg a mennyezet, 20 cm vastagságú hűtőházi panelekből an összeállítva. A két teszthelyiség

egy-egy hűtőházi kamráknál alkalmazott bejárati ajtóval van ellátva. A klimatizált teszhelyiséget alkalmasnak tartottam arra, hogy különböző, a gyakorlatban széles skálán alkalmazott, építőanyagok hőtároló tömegével kapcsolatosan kísérleteket végezzek. Ezekben a terekben ugyanis teljesen kizárható úgy a külső hőmérséklet, mint a sugárzás hatása is. A teszhelyiségben méréseket végeztem teljesen üres állapotban, majd az egyik falra elhelyeztem egy 1,0 m² felülettel rendelkező szerkezetet tömör téglából (t. téglá – 24 cm vastag), pórusbetonból (PB – 30 cm vastag), illetve üreges téglából (ü. téglá – 30 cm vastag). A szerkezetet úgy helyeztem el és burkoltam körbe polisztirol táblákkal, hogy kizárólag az 1,0 m² függőleges felülete maradt szabadon (4.87. ábra). Az alkalmazott építőanyagok néhány fontosabb fizikai jellemzőjét az 4.29. táblázat tartalmazza.

4.29. táblázat Vizsgált építőanyagok fizikai jellemzői

Építőanyag	Sűrűség, [kg/m ³]	Hővezetési tényező, [W/mK]	Fajhő, [J/kgK]	Beépített tömeg, [kg]
t. téglá	1730	0,72	880	415
ü. téglá	750	0,17	880	224
PB	600	0,138	1000	180

A méréseim célja az volt, hogy megvizsgáljam a teszhelyiségben elhelyezett hőtároló tömeg hatását a helyiségben kialakuló léghőmérsékletre a (fűtési vagy hűtési) hőforrás kikapcsolása utáni időszakban. Az első méréssorozat esetében a helyiség hőmérsékletet 24 órán keresztül állandó értéken tartottam (20 °C), majd villamos radiátorral a léghőmérsékletet 24 °C-ra emeltem. Miután a léghőmérséklet elérte a 24 °C értéket a fűtőtestet kikapcsoltam és négy órán keresztül mértem a teszhelyiség középpontjában kialakuló hőmérséklet értéket. A léghőmérséklet értékeket egy KIMO KH100 adatgyűjtő percnként regisztrálta. Ha a 20 °C léghőmérsékletet referenciaértékként kezeljük, akkor ehhez az értékhez viszonyítva a teszhelyiség túlhőmérsékletét ($\Delta t = t_i - t_r$) az 4.88. ábra mutatja be.

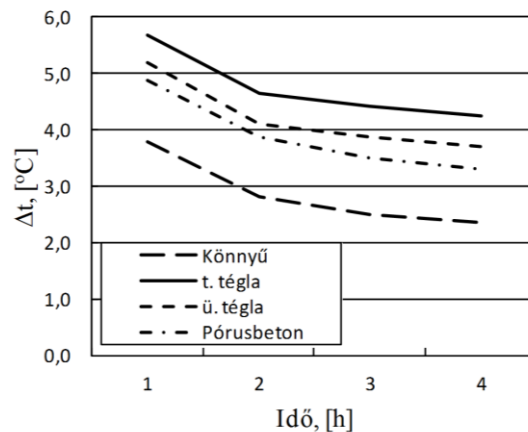


4.88. ábra Δt értékének alakulása a 24 °C-ra való felfűtés után

Az ábrában bemutatott értékek alapján megállapítható, hogy a könnyű szerkezet esetében a léghőmérséklet rövid idő alatt nagymértékben csökken és az eredeti 20 °C felé halad. Tömör téglá esetében a léghőmérséklet csökkenése a legkisebb. Ez azzal magyarázható, hogy ez az anyag a rendelkezésre álló rövid idő alatt is nagyobb mennyiségű hőt tudott eltárolni (a nagyobb hővezetési tényezője miatt), ami a fűtőtest kikapcsolás után a helyiség hőmérsékletének csökkenését fékezi. A pórusbeton és az üreges téglá esetében a léghőmérséklet kevésbé csökken, összehasonlítva a teljesen üres helyiséggel, viszont mivel

ezek az anyagok kisebb hővezetési tényezővel rendelkeznek kevesebb hőt tudtak eltárolni a felfűtési időszakban, így a lehülési időszakban kevesebb hőt tudnak leadni a helyiségnek.

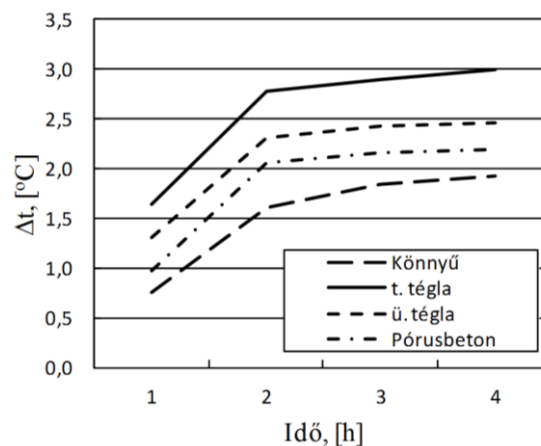
A második mérésorozat során szintén 20 °C hőmérsékletet tartottam a helyiségben 24 h időtartamban, majd a rendelkezésre álló villamos fűtőtest segítségével 28 °C-ra felfűtöttem a teszhelyiséget. Amikor a léghőmérséklet elérte a 28 °C értéket, kikapcsoltam a fűtőtestet és a teszhelyiségben kialakuló léghőmérsékletet az adatgyűjtővel percenként regisztráltam. Az előző esethez hasonlóan 20 °C referenciahőmérsékletet feltételezve, meghatároztam a helyiség túlhőmérsékletének változását a hőforrás kikapcsolását követő időszakban (4.89. ábra).



4.89. ábra Δt értékének alakulása a 28 °C-ra való felfűtés után

Az ábra alapján megállapítható, hogy a Δt túlhőmérséklet változásának trendje megegyezik az előző kísérlet során regisztrált értékekkel, azonban ezek az értékek 2-3 K-el magasabbak, az előző esethez viszonyítva (abban az esetben, amikor a teszhelyiség rendelkezik valamilyen hőtároló tömeggel).

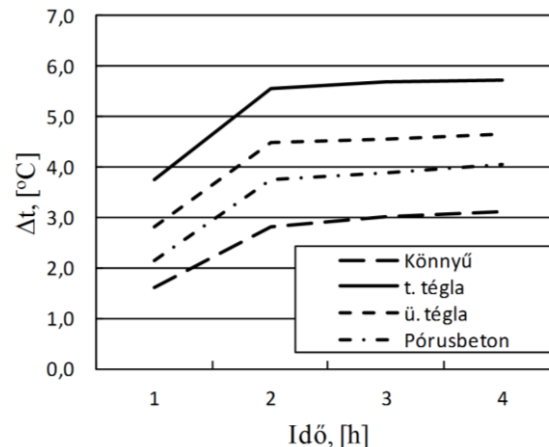
A harmadik kísérlet során a helyiségben 24 órán keresztül, 24 °C léghőmérsékletet tartottam, majd lehűtöttem a helyiséget 20 °C-ra. Amikor a léghőmérséklet elérte a 20 °C értéket, kikapcsoltam a hűtési rendszert és mértem a helyiségben a léghőmérséklet alakulását. Az előző esetekhez hasonlóan 20 °C referenciaértékhez viszonyítva az 4.90. ábrában bemutatásra kerülnek a mért értékek alapján számított Δt túlhőmérséklet értékek.



4.90. ábra Δt értékének alakulása a 24 °C-ról való hűtés után

Az ábra alapján megállapítható, hogy a teszhelyiségben a léghőmérséklet mindegyik esetben emelkedett. A hűtés kikapcsolása után a helyiségben elhelyezett hőtároló tömeg

függvényében a túlhőmérséklet 22 – 24 °C volt. Látható, hogy az előző esetekhez hasonlóan a hőtároló tömeg hatása a hőforrás kikapcsolása utáni két órán belül a legnagyobb. A negyedik kísérleti sorozat esetében 24 órán keresztül 28 °C hőmérsékletet tartottam a teszhelyiségben, majd lehűtöttem a helyiséget 20 °C-ra. Miután a hőmérséklet elérte a 20 °C-t kikapcsoltam a hűtést és mértem a teszhelyiség középpontjában a léghőmérsékletet. A Δt túlhőmérsékletek alakulását az 4.91. ábra illusztrálja.



4.91. ábra Δt értékének alakulása a 28 °C-ról való hűtés után

Az Épületfizikai Laboratóriumban végzett mérések bizonyították, hogy egy helyiségben a hőforrás kikapcsolása esetében a léghőmérséklet eltérő módon alakul az alkalmazott hőtároló tömeg függvényében. Megállapítható, hogy úgy a fűtési, mint a hűtési hőforrás esetében a tárolt hő (hideg vagy meleg) nagymértékben befolyásolja egy helyiségben a léghőmérséklet alakulását. Valós körülmények között a helyiségek túlmelegedését nyári időszakban, a megfelelően kiválasztott építőanyagok hőtároló tömege, a szellőzés, valamint a transzparens szerkezetek megfelelő tájolása és méretezése csökkentheti vagy megakadályozhatja.

4.4.3 Sugárzásos hőterhelés, hőtároló tömeg és operatív hőmérséklet

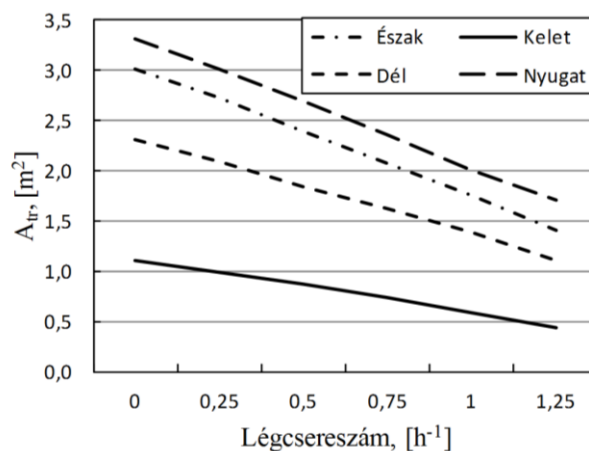
A 4.2 alfejezetben bemutatásra kerültek a mért globál hőmérsékletek alapján számolt direkt és diffúz sugárzási értékek Debrecen vonatkozásában. Az adatok azt bizonyították, hogy a keleti és nyugati tájolású helyiségek esetében várható a legnagyobb túlmelegedés. Ezt a 4.1.3 alfejezetben bemutatott előzetes mérések is igazolták. A gyakorlatban azt az ideális tervezési napot alkalmazták, melynél a keleti és nyugati tájolású függőleges felületeken az energiahozam azonos volt. A továbbiakban a számításoknál bemeneti adatokként az egyik legmelegebb napot választottam (2011. Július 10). Erre a napra vonatkozó sugárzási adatokat a 4.17.-4.19. táblázatok, valamint a 4.72. ábra tartalmazza. A napi átlaghőmérséklet 28,3 °C volt.

Az MSZ EN 15251 szabvány szerint, a gépi szellőzéssel és hűtéssel ellátott épületek helyiségeiben, II. komfortkategória esetében, nyári időszakban az operatív hőmérséklet 23 °C-26 °C között lehet (24,5±1,5 °C). Energiatakarékosági szempontok alapján a 26 °C megengedhető operatív hőmérsékletet vettem fel a további számításaimnál. Az előző fejezetben is vizsgált helyiségben azt vizsgáltam meg, hogy mennyi lehet a megengedhető transzparens felület, különböző tájolások, alkalmazott építőanyagok és légcsereszámok mellett, amelyek alkalmazásával a helyiségben mesterséges hűtés nélkül sem lépi át az operatív hőmérséklet a 26 °C értéket. A 4,0×4,0×2,8 m méretekkkel rendelkező helyiség egy háromszintes épületben található. Egyik külső falán egy 150×150 cm méretekkkel és 85%

üvegezési aránnyal rendelkező ablak található. Az árnyékolás nélküli ablak g tényezője 0,7. A helyiség külső határolószerkezetei: $U_{fal} = 0.226 \text{ W/m}^2\text{K}$; $U_{padló} = 0.209 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{ablak} = 1.0 \text{ W/m}^2\text{K}$; $U_{tető} = 0.166 \text{ W/m}^2\text{K}$. Mindegyik esetben a tömör szerkezetek (vasbeton, tömör tégl, üreges tégl, pórusbeton, könnyűszerkezet) megfelelő külső hőszigetelőréteggel van ellátva ahhoz, hogy a felsorolt hőátbocsátási tényezők kialakuljanak. A számításokat az MSZ EN ISO 13790 (2008) alapján végeztem el. A transzparens felületek mérete iteratív módon került meghatározásra. A számításokat akkor fogadtam el, ha az operatív hőmérséklet eltérése a tervezett értéktől (26 °C) kisebb volt, mint 0,01 °C.

A könnyűszerkezetes helyiség elemzése során bebizonyosodott, hogy a vizsgált sugárzási és külső hőmérsékleti adatok mellett a 26 °C operatív hőmérséklet gépi hűtés nélkül akkor sem tartható, ha a helyiség egyáltalán nem rendelkezik transzparens felülettel.

A tömör téglából épült épület esetében, a harmadik emeleti sarokhelyiségben (három külső határoló szerkezet) a megengedhető transzparens felületek értékeit a négy fő égtájra vonatkozóan a légcserezszám függvényében az 4.92. ábra mutatja be.



4.92. ábra Megengedhető transzparens felületek tájolásonként

Megállapítható, hogy a megengedhető transzparens felület változása a légcserezszámmal lineáris összefüggést mutat, mivel a determinációs együttható (R^2) értéke mindegyik esetben nagyobb, mint 0,995. A megengedhető transzparens felület és a légcserezszám összefüggésének linearitását a helyiség minden egyes elhelyezésére vonatkozóan megvizsgáltam a háromszintes épületben, a négy fő égtájra vonatkozóan (688 eset). Ha tehát ismerjük a megengedhető transzparens felület értékét két légcserezszám érték mellett, akkor meghatározhatjuk a megengedhető transzparens felületet bármelyik más (n) légcserezszám értéknél az (4.40.) összefüggéssel:

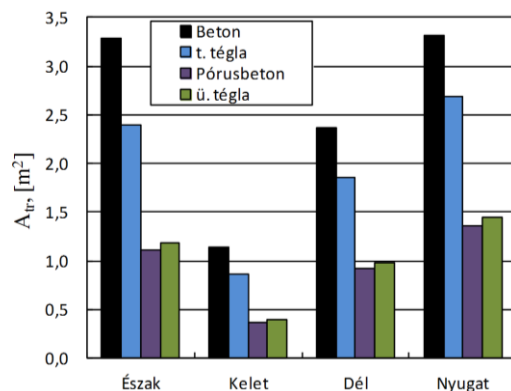
$$A_r = n \times tg \alpha \quad (4.40.)$$

ahol

$$tg \alpha = (A_{tr1} - A_{tr2}) / (n_2 - n_1) \quad (4.41.)$$

A_{tr1} a megengedhető transzparens felület az n_1 légcserezszám mellett; A_{tr2} a megengedhető transzparens felület az n_2 légcserezszám mellett.

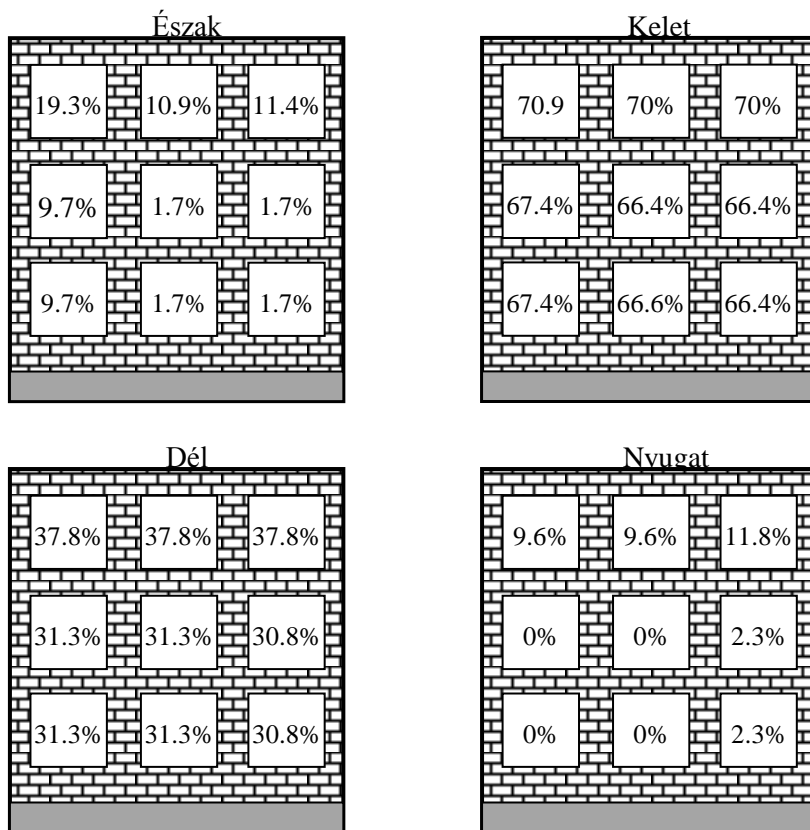
Az 4.93. ábra bemutatja a megengedhető transzparens felület alakulását a vizsgált helyiségben, az alkalmazott építőanyag függvényében a négy fő égtáj esetében, 0,5 h⁻¹ légcserezszámot feltételezve.



4.93. ábra Megengedhető transzparens felület az alkalmazott építőanyagok függvényében

Mivel egy épület esetében a gyakorlatban az egyes homlokzatokon azonos méretű ablakokat helyeznek el, ahhoz, hogy a megengedhető 26 °C operatív hőmérséklet ne kerüljön túllépésre a kritikus tájolások esetében, ahol nagyobb a hőterhelés, a transzparens felületet megfelelően kell külső oldalon árnyékolni. A bemutatott eljárás alapján a vizsgált háromszintes épület esetében, a felvett külső környezeti paraméterek figyelembevételével, tömör téгла épület és 0,5 h⁻¹ légcsereszám mellett, a nyugati homlokzaton akár 3 m² transzparens szerkezet is elhelyezhető a vizsgált helyiségekben.

Ha azt feltételeznénk, hogy mindegyik helyiségben ezt a transzparens felületet alkalmazzák, akkor a helyiségek tájolása, valamint elhelyezése függvényében megállapítható az árnyékolás százalékos értéke, mely ahhoz szükséges, hogy a többi helyiségben se kerüljön túllépésre az elvárt 26 °C operatív hőmérséklet (4.94. ábra).



4.94. ábra Szükséges árnyékolás a vizsgált épület egyes helyiségeinél

A vizsgált építőanyagok esetében megállapítottam, hogy megfelelő árnyékolással az elvárt 26 °C operatív hőmérséklet gépi hűtés nélkül is biztosítható.

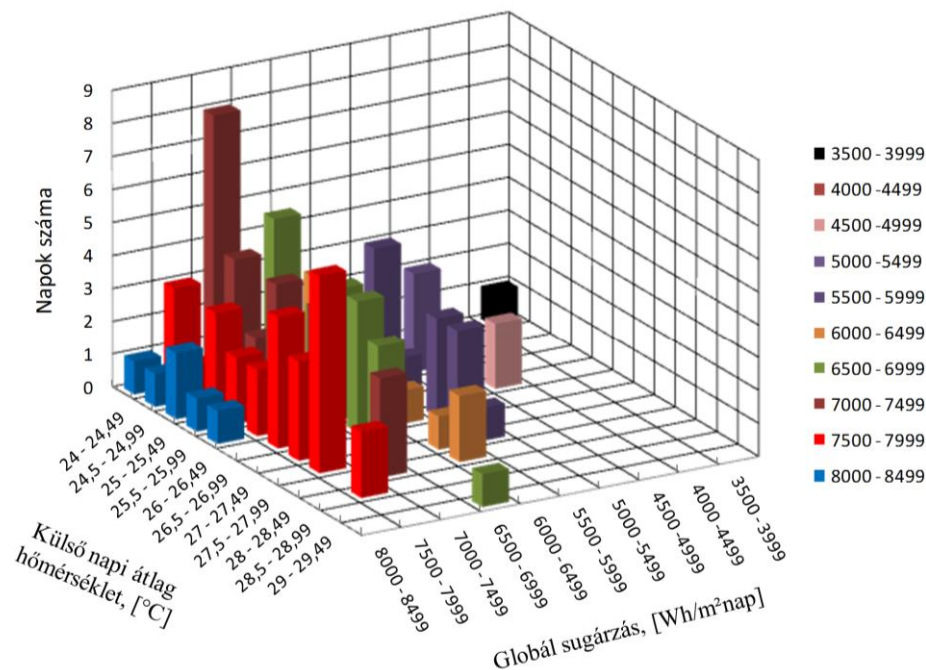
Ha a méretezés során nem kerül előtérbe a szükséges hőtároló tömeg és az elvárt árnyékolás biztosítása, illetve a transzparens szerkezet méretét mindegyik helyiség esetében a lehető legkedvezőbb peremfeltételekre választják ki (nyugati tájolás, földszint, nem sarok helyiség, 0 légcserre: 3,56 m²), akkor a 2011. július 10-re vonatkozó külső hőmérséklet és sugárzási adatok mellett, az elvárt 26 °C operatív hőmérsékletet csak hűtési rendszer kiépítésével és üzemeltetésével lehet biztosítani az épület legtöbb helyisége esetében. A legkedvezőtlenebb helyzetben lévő harmadik szinten elhelyezett keleti tájolású sarokhelyiség várható energiaigényét, illetve a beépítendő hűtési teljesítmény igényt az 4.30. táblázat tartalmazza.

4.30. táblázat A hőterhelés szempontjából legkedvezőtlenebb helyzetben lévő épület hűtési energiaigénye, [Wh]

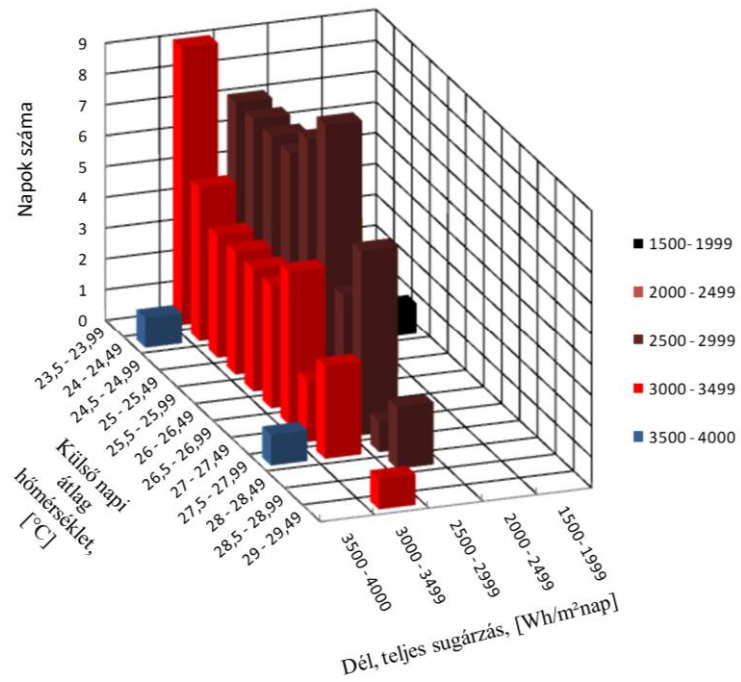
Tájolás	Szerkezet	Hűtési energiaigény, [Wh/nap]
Dél	Könnnyű	22429
	PB	10190
	ü.tégla	9887
	t. tégla	6262
	Beton	4854
Észak	Könnnyű	20354
	PB	8356
	ü.tégla	8076
	t. tégla	4757
	Beton	3435
Kelet	Könnnyű	45246
	PB	24460
	ü.tégla	23931
	t. tégla	17466
	Beton	14895
Nyugat	Könnnyű	16964
	PB	6847
	ü.tégla	6597
	t. tégla	3746
	Beton	2706
Hűtési teljesítményigény, [W]		
Dél	Könnnyű	2008
	PB	1031
	ü.tégla	1010
	t. tégla	724
	Beton	605
Észak	Könnnyű	1609
	PB	822
	ü.tégla	802
	t. tégla	546
	Beton	436

Kelet	Könnyű	3115
	PB	1748
	ü.tégla	1726
	t. téglá	1412
	Beton	1259
Nyugat	Könnyű	1715
	PB	800
	ü.tégla	778
	t. téglá	518
	Beton	407

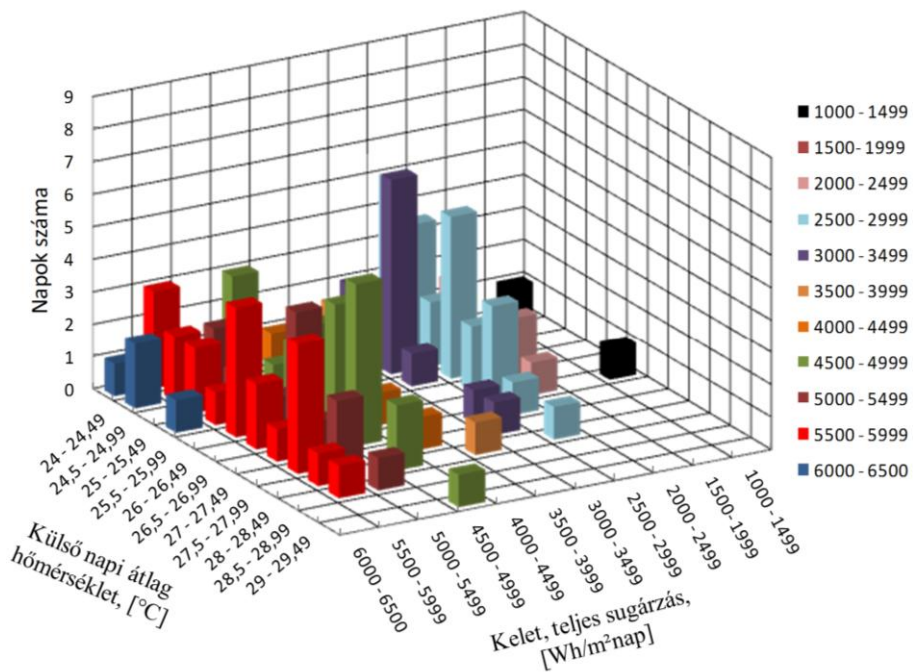
Az előzőekben vizsgált épületszerkezetek, sugárzási adatok és külső léghőmérsékletek figyelembe vételével kapott hűtési energia igény értékek, arra mutattak rá, hogy érdemes megvizsgálni azokat a napokat energetikai szempontból, amelyek magas átlaghőmérséklettel és nagy globál sugárzással is rendelkeztek. A 2009-2013 évek során a Debrecen-Kismacs meteorológiai állomástól kapott adatok alapján megvizsgáltam, a külső napi átlaghőmérséklet intervallumokhoz és teljes sugárzási intervallumokhoz tartozó napok előfordulási gyakoriságát (4.95.-4.99. ábrák).



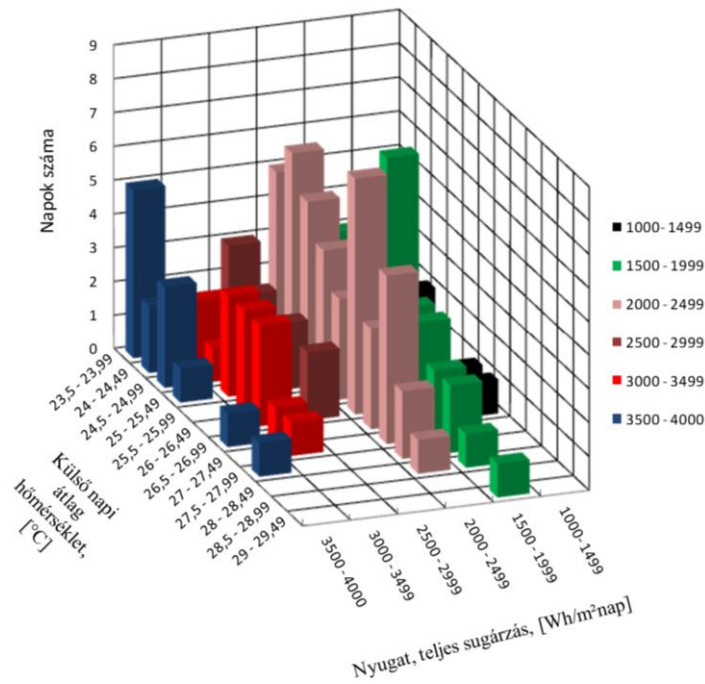
4.95. ábra Napok előfordulási száma a globál sugárzási értékek és a külső napi átlaghőmérsékletek függvényében



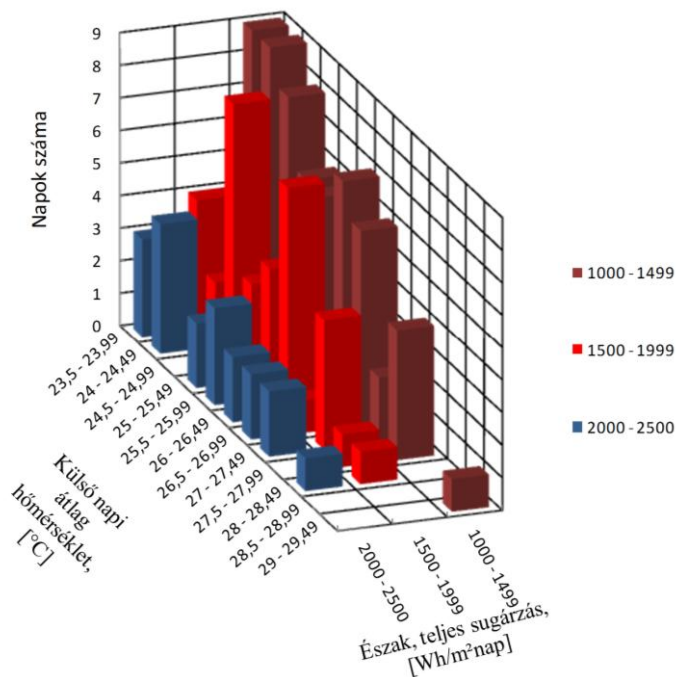
4.96. ábra Napok előfordulási száma a teljes sugárzási értékek és a külső napi átlaghőmérsékletek függvényében (D-i tájolás)



4.97. ábra Napok előfordulási száma a teljes sugárzási értékek és a külső napi átlaghőmérsékletek függvényében (K-i tájolás)



4.98. ábra Napok előfordulási száma a teljes sugárzási értékek és a külső napi átlaghőmérsékletek függvényében (Ny-i tájolás)



4.99. ábra Napok előfordulási száma a teljes sugárzási értékek és a külső napi átlaghőmérsékletek függvényében (É-i tájolás)

A 2012-ben visszavont MSZ-04-140-4:1978 szabvány 23,5 °C napi átlaghőmérsékletet adott meg a hűtési hőterhelés számításához. A 4.13.-4.17. táblázatok alapján megállapítható, hogy ha a külső átlagos léghőmérsékletet, valamint a globál sugárzást az alábbi értékekkel vennénk figyelembe, akkor Debrecen vonatkozásában a 2009-2013 évek során mért értékek alapján, 5% lesz azon napoknak az előfordulási száma, melyek nagyobb sugárzási, illetve nagyobb külső átlaghőmérsékleti adatokkal rendelkeznek:

Déli tájolás esetében:	27,51 °C,	3130,86 Wh/m ² nap
Nyugati tájolás esetében:	27,51 °C,	3623,62 Wh/m ² nap
Keleti tájolás esetében:	27,69 °C,	5514,35 Wh/m ² nap
Északi tájolás esetében:	27,69 °C,	1995,29 Wh/m ² nap

Megállapítható, hogy a vizsgált időszakra vonatkozóan keleti és északi tájolás esetében azonos nap teljesíti a feltételt, míg déli és nyugati tájolás esetében szintén azonos napon alakul ki olyan hőterhelés, amelynél csak 5%-ban fordulnak elő nagyobb hőterhelések.

Mivel úgy az MSZ-04-140-4:1978 szabvány, mint a VDI 2078 sugárzási szempontból szimmetrikus napokat ad meg a hűtési hőterhelés számításához (keleti és nyugati tájolásnál azonos teljes sugárzás), beazonosítottam az adatbázisban egy olyan napot, amely a legmagasabb átlagos hőmérséklettel és globál sugárzási értékekkel rendelkezett, de a keleti és nyugati tájolású függőleges felületekre közel azonos sugárzási energiamennyiség érkezett.

Az előzőekben vizsgált, 4,0×4,0×2,8 m méretekkkel rendelkező utolsó emeleten található sarokhelyiség hűtési energiaigényét határoztam meg két valós nap esetében. A helyiség egyik külső falán egy 150×150 cm méretekkkel és 85% üvegezési aránnyal rendelkező ablak található. Az árnyékolás nélküli ablak g tényezője 0,7. A helyiség külső határolószervezetei: $U_{fal}= 0,226 \text{ W/m}^2\text{K}$; $U_{padló} = 0,209 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{ablak}=1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$; $U_{ltető}=0,166 \text{ W/m}^2\text{K}$, a légcsereszám $0,5 \text{ h}^{-1}$.

A számítások eredményét az aszimmetrikus, valamint a szimmetrikus valós napok esetében az 4.31. táblázat tartalmazza. A számításokat elvégeztem arra a fiktív esetre is, amikor a kijelölt napokon teljesen tiszta égbolt feltételek alakultak volna ki.

4.31. táblázat A hőterhelés szempontjából legkedvezőtlenebb helyzetben lévő helyiség hűtési energiaigénye és a hűtési teljesítmény igénye

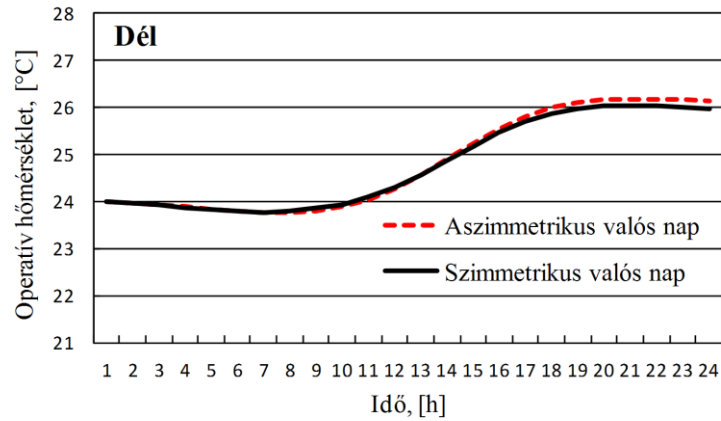
Hűtési energiaigény, [Wh/nap]					
Tájolás	Szerkezet	aszimmetrikus valós	szimmetrikus valós	aszimmetrikus tiszta	szimmetrikus tiszta
Dél	Könnyű	13516	12801	12816	11816
	PB	4767	4224	4384	3700
	ü. tégl	4536	4038	4171	3517
	t. tégl	2243	1844	1984	1475
	Beton	1398	1033	1182	735
Észak	Könnyű	12413	8394	10828	7980
	PB	3706	1767	2732	1560
	ü. tégl	3495	1640	2540	1433
	t. tégl	1355	312	650	242
	Beton	626	0	82	0
Kelet	Könnyű	26867	14801	25428	17749
	PB	12273	4963	11379	6524
	ü. tégl	11870	4743	10997	6275
	t. tégl	7562	2186	6930	3298
	Beton	5832	1251	5301	2087
Nyugat	Könnyű	12731	12319	12315	12302
	PB	4631	4254	4511	4399
	ü. tégl	4396	4047	4297	4199

	t. tégl	2261	1980	2195	2066
	Beton	1545	1282	1517	1368
Hűtési teljesítményigény, [W]					
Dél	Könnnyű	1197	1129	1149	1056
	PB	518	466	478	408
	ü. tégl	502	452	462	395
	t. tégl	308	262	271	209
	Beton	216	169	182	119
Észak	Könnnyű	1013	795	841	775
	PB	405	248	297	238
	ü. tégl	388	236	281	226
	t. tégl	200	71	111	62
	Beton	112	0	28	0
Kelet	Könnnyű	1806	1120	1757	1233
	PB	954	491	855	565
	ü. tégl	933	476	836	551
	t. tégl	695	287	607	357
	Beton	578	194	497	261
Nyugat	Könnnyű	1416	1316	1454	1458
	PB	626	566	637	637
	ü. tégl	608	549	620	622
	t. tégl	397	353	408	419
	Beton	298	254	304	317

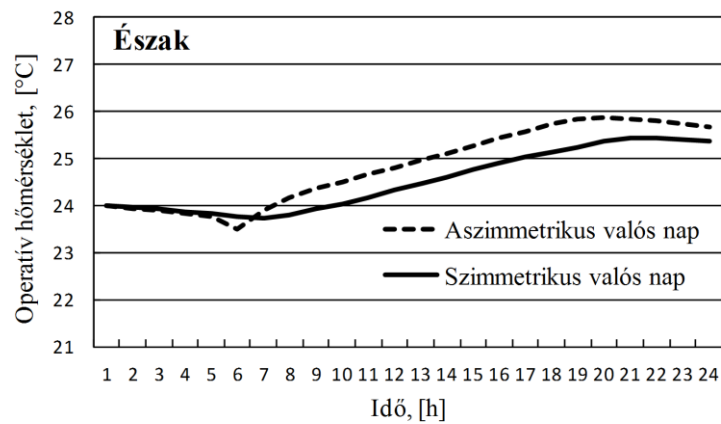
Megállapítható, hogy tájolástól és szerkezettől függetlenül az aszimmetrikus valós nap esetében alakul ki a legnagyobb hőterhelés. A valós nap mindegyik esetben nagyobb hőterhelést okoz, a tiszta égbolthoz viszonyítva. Egy adott szerkezet és azonos sugárzási feltételek mellett a legnagyobb hőterhelés keleti tájolás esetében alakul ki, majd a hőterhelés értéke csökken sorrendben a déli, a nyugati és az északi tájolások következnek.

A transzparens szerkezet keleti tájolásához viszonyítva a nyugati tájolás esetében 27–93%-al kisebb a hűtési teljesítmény igény, déli tájolás esetében a nyugati tájoláshoz viszonyítva 15–27%-al kisebb a hűtési teljesítményigény, míg az északi tájolás esetében, déli tájoláshoz viszonyítva 15–48% a hűtési teljesítményigény csökkenése. A csökkenés mértéke annál nagyobb, minél nagyobb a beépített hőtároló tömeg. A várható hűtési energiaigény esetében ugyanez a trend állapítható meg.

Az aszimmetrikus és a szimmetrikus sugárzási viszonyok esetében figyelemreméltó az a tény, hogy, míg a napi operatív hőmérséklet lefutások között 1-2 K különbség sem alakul ki, a hűtési energiaigények között akár háromszoros is lehet a különbség. A hűtési energiaigények közötti arányok annál nagyobbak, minél nagyobb hőtároló tömegű a vizsgált szerkezet. Tömör tégl szerkezet esetében a napi operatív hőmérsékleteket aszimmetrikus és szimmetrikus valós napok esetében az 4.100.-4.103. ábra mutatja be.

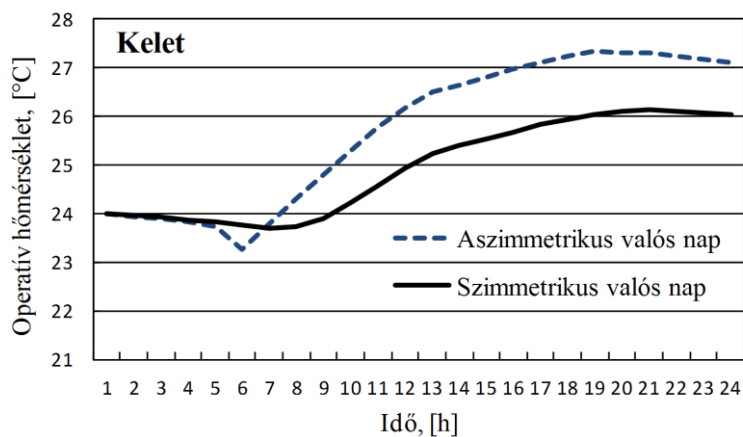


4.100. ábra Operatív hőmérséklet a vizsgált helyiségben a transzparens szerkezet D-i tájolása esetében

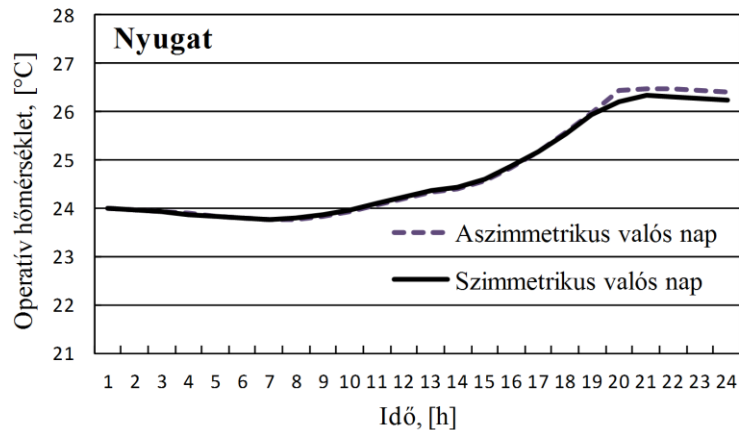


4.101. ábra Operatív hőmérséklet a vizsgált helyiségben a transzparens szerkezet É-i tájolása esetében

Megállapítható, hogy D-i és Ny-i tájolások esetében 0,2 °C alatti operatív hőmérsékletkülönbségek alakulnak ki, É-i és K-i tájolások esetében viszont 1,0-1,2 °C közötti a hőmérsékletkülönbség.



4.102. ábra Operatív hőmérséklet a vizsgált helyiségben a transzparens szerkezet K-i tájolása esetében



4.103. ábra Operatív hőmérséklet a vizsgált helyiségben a transzparens szerkezet Ny-i tájolása esetében

Az aszimmetrikus és a szimmetrikus napok hűtési teljesítményét ($P_{asz}-P_{sz}/P_{sz}*100$) és energiaigényét ($E_{asz}-E_{sz}/E_{sz}*100$) összehasonlítottam és a kapott értékeket az 4.32. táblázat tartalmazza.

4.32. táblázat Hűtési energiaigények és hűtési teljesítményigények viszonya az aszimmetrikus és a szimmetrikus sugárzással rendelkező napon, (tömör téglá szerkezet)

Tájolás	D	Ny	K	É
Hűtési energiaigények, [%]	21,6	14,2	245,9	334,2
Hűtési teljesítményigények, [%]	17,2	12,6	141,7	181,2

Megállapítható, hogy a sugárzási energia tájolástól függően 14,2–334,2%-al is nagyobb, a hűtési teljesítmény pedig 12,6–181,2%-al is nagyobb az aszimmetrikus sugárzással rendelkező nap esetében.

Az aszimmetrikus teljes sugárzással rendelkező napok esetében összehasonlítottam a hűtési hőterhelés értéket a hagyományos 150×150 cm méretű ablakokra vonatkozóan, azokkal az esetekkel, amikor a külső szerkezet 50%-ban, vagy 100%-ban transzparens felület lenne. Az eredményeket az 4.33. táblázatban foglaltam össze.

4.33. táblázat A hőterhelés szempontjából legkedvezőtlenebb helyzetben lévő helyiség hűtési energiaigénye és hűtési teljesítményigénye

		Hűtési energiaigény, [Wh]		
Tájolás	Szerkezet	150×150	50% transzparens	100% transzparens
Dél	Könnyű	13516	27159	50802
	PB	4767	13386	29185
	ü. téglá	4536	12996	28542
	t. téglá	2244	8763	21193
	Beton	1398	7124	18321
Észak	Könnyű	12413	22664	40417
	PB	3706	9714	21823
	ü. téglá	3495	9380	21299
	t. téglá	1355	5689	15283
	Beton	626	4223	12564
Kelet	Könnyű	26867	58873	112319
	PB	12273	33794	71927

	ü. tégl	11870	33020	70591
	t. tégl	7562	24822	56434
	Beton	5832	2147	50601
Nyugat	Könnyű	12731	25187	47266
	PB	4631	12065	25918
	ü. tégl	4396	11698	25286
	t. tégl	2261	7542	17609
	Beton	1545	6089	14784
Hűtési teljesítményigény, [W]				
Dél	Könnyű	1197	2382	4453
	PB	518	1267	2587
	ü. tégl	502	1245	2556
	t. tégl	308	984	2196
	Beton	216	865	2023
Észak	Könnyű	1013	1693	2834
	PB	405	890	1731
	ü. tégl	388	872	1703
	t. tégl	200	646	1423
	Beton	112	543	1307
Kelet	Könnyű	1806	4024	7939
	PB	954	2274	4637
	ü. tégl	933	2243	4569
	t. tégl	695	1895	3976
	Beton	578	1735	3767
Nyugat	Könnyű	1416	2839	5368
	PB	626	1505	3063
	ü. tégl	608	1485	2988
	t. tégl	397	1208	2646
	Beton	298	1068	2463

Megállapítható, hogy egy hagyományos méretekkel rendelkező ablakszerkezethez viszonyítva, ha a külső szerkezet 50%-a transzparens felület lenne, akkor a hűtési teljesítmény, tájolástól és szerkezettől függően, 2-4-szer lesz nagyobb, míg a hűtési energiaigény 2-6-szor is nagyobb lesz. Ha a külső szerkezet teljes felülete transzparens lenne, akkor a hagyomány 150×150 cm ablakkal rendelkező helyiséghez viszonyítva a hűtési teljesítmény, tájolástól és szerkezettől függően, 3-10-szer lesz nagyobb, míg a hűtési energiaigény 3-20-szorosára növekszik.

4.4.4 Szimmetrikus és aszimmetrikus napok

Miután energetikai szempontból bizonyítást nyert annak a kérdésnek a fontossága, hogy a keleti, illetve a nyugati tájolások esetében azonos órai sugárzási intenzitások, illetve napi teljes sugárzási energiahozamok alakulnak-e ki vagy nem egy adott nyári napon, kutatásaimat az extrém meleg napok vizsgálatával folytattam.

Megvizsgáltam, hogy az elemzett időszak (2009-2013) kijelölt hónapjaiban hogyan alakult a forró napok és a hőségnapok száma. Debrecen területén. Az Országos Meteorológiai Szolgálat honlapja szerint forró nap az a nap, amelynek a napi maximum hőmérséklete eléri vagy meghaladja a 35 °C-t. Hőségnap az a nap, amelynek a napi maximum hőmérséklete eléri vagy meghaladja a 30 °C-t, (Internet-8). A metnet honlapján (Internet-9) található napi

maximum hőmérsékletértékeket elemezve megállapítottam a vizsgált időszakra vonatkozó hőségnapok és forrónapok számát (4.34. táblázat).

4.34. táblázat *Forró napok és hőségnapok száma (2009-2013, május-augusztus hónapok)*

Év	2009	2010	2011	2012	2013
Hőségnap	34	34	35	48	44
Forrónap	0	1	2	16	8

A Debrecen-Kismacs Agrometeorológiai állomás által rendelkezésemre bocsátott adatok viszont órai átlag értékek voltak. Ezeket elemezve arra a következtetésre jutottam, hogy azok a napok, melyeknek az órai átlaghőmérséklete eléri vagy meghaladja a 35 °C-t, illetve a 30 °C-t biztosan teljesítik a forró nap, illetve a hőségnap kritériumát, sőt minden bizonnyal a pillanatnyi külső hőmérséklet értékek tekintetében, valamint a hűtési energiaigény szempontjából extrém forró napoknak, illetve extrém hőségnapoknak tekinthetők. Az órai adatok alapján az extrém forró és extrém hőségnapok számát az 4.35. táblázat tartalmazza.

4.35. táblázat *Extrém forró napok és extrém hőségnapok száma (Debrecen, 2009-2013, május-augusztus hónapok)*

Év	2009	2010	2011	2012	2013
Extrém hőségnap	22	18	17	37	22
Extrém forrónap	0	0	1	8	3

A vizsgált időszakban tehát Debrecen vonatkozásában összesen 116 extrém hőségnapról beszélhetünk, melyből 12 extrém forrónap volt. Ezekben a napokon megvizsgáltam van-e szignifikáns eltérés a keleti és nyugati tájolású függőleges felületekre érkező teljes sugárzási értékek között. A vizsgálathoz az ANOVA módszert alkalmaztam. A módszer alkalmazásának alapfeltétele, hogy a vizsgált adatok normál eloszlásúak legyenek. Az eloszlást Shapiro-Wilk és Kolmogorov-Smirnov teszttel vizsgáltam. A szórások vizsgálatához a Levene próbát alkalmaztam. A 116 napra vonatkozóan $p=0,05$ szignifikancia szint mellett az 4.36. táblázatban található értékeket kaptam.

4.36. táblázat *Keleti és nyugati tájolás között szignifikáns eltéréssel rendelkező extrém forró napok és extrém hőségnapok száma, (2009-2013, május-augusztus hónapok)*

Év	Szignifikáns eltérés K-Ny között, [napok száma]	
	Extrém forró nap	Extrém hőségnap
2009	-	1
2010	-	1
2011	1	17
2012	7	34
2013	3	20

Megállapítható tehát, hogy 2009-ben és 2010-ben egy-egy nap kivételével minden más napot szimmetrikusnak tekinthetünk, ugyanis a keleti és nyugati homlokzatokra érkező teljes sugárzási értékek között nincs szignifikáns különbség. A 2011 év minden egyes extrém forró, illetve extrém hőségnapja aszimmetrikus, 2012-ben egy forró nap és két hőségnap, 2013-ban pedig két hőségnap tekinthető szimmetrikusnak. Minden más napon 2012-ben és 2013-ban szignifikáns különbség mutatható ki a teljes sugárzási értékek között keleti és nyugati tájolású függőleges felületek esetében. Mivel az energetikai számítások bizonyították, hogy az aszimmetrikus napok egy adott helyiség esetében a hűtési teljesítményigényt akár

megkétszerezhetik, a hűtési energiaigényt pedig megháromszorozhatják, alapvető fontossággal bír, hogy milyen hőterhelést vesznek figyelembe a hűtési rendszer kialakításánál.

A szimmetrikus és aszimmetrikus napok esetében 95% megbízhatósági szint mellett megvizsgáltam hogyan alakul a külső hőmérséklet a globál sugárzás, valamint a négy fő égtáj esetében a teljes sugárzás legmagasabb értéke. Szimmetrikus napok esetében az értékeket az 4.37. táblázat tartalmazza.

4.37. táblázat Szimmetrikus napok adatai

Meteorológiai jellemző	Átlag	Szórás	Átlag hibája	Legnagyobb érték (95% megbízhatóság mellett)
Napi átlaghőmérséklet	24,96	1,07	0,16	25,28
Globál sugárzás	6819,73	825,45	121,71	7064,86
Teljes sugárzás (D)	2968,43	224,65	33,12	3035,15
Teljes sugárzás (K)	2955,11	478,48	70,55	3097,20
Teljes sugárzás (Ny)	2994,08	673,42	99,29	3194,06
Teljes sugárzás (É)	1427,55	176,44	26,02	1479,95

Aszimmetrikus napok esetében az értékeket az 4.38. táblázat tartalmazza.

4.38. táblázat Aszimmetrikus napok adatai

Meteorológiai jellemző	Átlag	Szórás	Átlag hibája	Legnagyobb érték (95% megbízhatóság mellett)
Napi átlaghőmérséklet	25,75	1,32	0,16	26,07
Globál sugárzás	6896,14	951,45	115,38	7126,44
Teljes sugárzás (D)	2906,86	371,90	45,10	2996,88
Teljes sugárzás (K)	5010,85	974,31	118,15	5246,69
Teljes sugárzás (Ny)	1969,76	424,90	51,53	2072,61
Teljes sugárzás (É)	1643,24	398,47	48,32	1739,69

Megállapítható, hogy az aszimmetrikus napokra kapott értékek közül a napi átlaghőmérséklet értéke, a globál sugárzás, a K-i és É-i tájolású függőleges felületre érkező teljes sugárzás napi energiahozamának értékei nagyobbak, mint a szimmetrikus napokra kapott értékek. Ugyanakkor a D-i és Ny-i tájolású függőleges felületre érkező teljes sugárzási energiahozam napi értéke nagyobb a szimmetrikus napok esetében.

4.4.5 A vizsgálatok főbb következtetései

Ebben a fejezetben bemutatásra kerültek azok az eredmények, melyeket elsősorban a hőtároló tömeg hőterhelésre kifejtett hatásával kapcsolatos kutatásaim során határoztam meg. A PASSOL laboratóriumban végzett méréseim eredményeként kimutatásra kerültek azok léghőmérséklet különbségek, melyek kialakultak különböző hőtároló tömegek mellett a teszhelyiségben, a transzparens szerkezet D-i tájolása esetében. A légcserét és a sugárzási energia hatását is kizárva a Debreceni Egyetem Épületfizikai Laboratóriumban végzett

méréseim alapján kimutatásra került, hogy a napjainkban leginkább elterjedt falazóelemek milyen hatással vannak egy helyiség léghőmérsékletének alakulására a hőforrások (fűtési vagy hűtési) kikapcsolása utáni rövid időszakban. Megvizsgáltam, hogy milyen az összefüggés a megengedhető transzparens felület és a légcsereszám között egy adott helyiségre vonatkozóan a tájolás és a szerkezetek függvényében. Bebizonyítottam, hogy a megengedhető transzparens szerkezet felülete és a légcsereszám között adott szerkezet és adott tájolás mellett az összefüggés lineáris.

A vizsgált helyiség esetében 26 °C operatív hőmérsékletet feltételezve megállapítottam, különböző szerkezetek, légcsereszámok és transzparens szerkezet tájolások esetében, hogy mennyi lehet a megengedhető transzparens szerkezet felülete ahhoz, hogy ne legyen szükség gépi hűtésre.

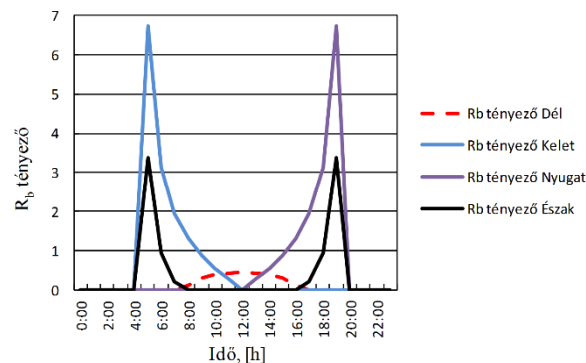
A 2009-2013 időszakra vonatkozó külső hőmérséklet és sugárzási adatok alapján meghatározásra kerültek azok a jellemző napok, amelyek hőmérsékleti és sugárzási viszonyainál mindössze 5%-ban fordulnak elő kedvezőtlenebb paraméterekkel rendelkező napok. Beazonosításra kerültek a globál sugárzás vonatkozásában aszimmetrikus (szignifikánsan eltérő sugárzási energiahozam a délelőtti és a délutáni időszakban) és szimmetrikus napok is. Ezekre a napokra vonatkozóan meghatározásra került egy valós helyiség esetében a hűtési teljesítményigény és a hűtési energiaigény, különböző szerkezetek, illetve a transzparens szerkezet különböző tájolása mellett. Megállapítottam a tájolás és a szerkezet hatását úgy a hűtési teljesítményigényre, mint a hűtési energiaigényre vonatkozóan. Megállapítottam továbbá, hogy milyen eltérések alakulnak ki a hűtési teljesítményigény és a hűtési energiaigény esetében, ha aszimmetrikus vagy szimmetrikus sugárzási viszonyok alakulnak ki egy adott napon. Vizsgáltam továbbá a tiszta égbolt hatását is az energetikai jellemzőkre, illetve a szimmetrikus és aszimmetrikus napok esetében 95%-os megbízhatósági szint mellett a legnagyobb sugárzási értékeket, valamint napi átlag külső hőmérsékleteket.

5. EREDMÉNYEK

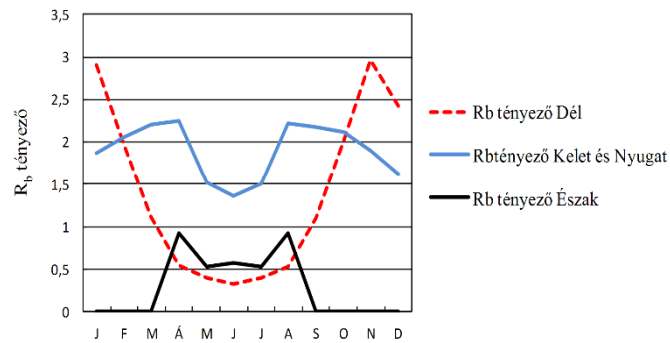
5.1 Új tudományos eredmények

1. TÉZIS

Az R_b tényező órai értékeinek ismeretében meghatározható a különböző tájolású függőleges felületekre érkező sugárzási energia értékei. Ezek mindeddig Magyarországon nem ismertek. Meghatároztam az R_b tényező órai értékeit egy teljes évre és az év minden hónapjának 21-ik napjára vonatkozóan Debrecen városában.



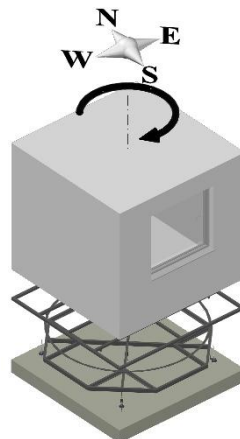
5.1. ábra R_b tényező órai értékei



5.2. ábra R_b tényező havi értékei

2. TÉZIS

Megállapítottam három különböző épületszerkezetben a légcsereszám hatását a belső léghőmérsékletre, illetve a hűtési energiaigényre. Feltételezve, hogy az operatív hőmérséklet megengedett maximális értéke 26 °C, bebizonyítottam, hogy nehéz szerkezetek esetében a légcsereszám növelésével a napi hűtési energiaigény növekszik. A méréseket a tevékeny részvételemmel megtervezésre került és megépült a Debreceni Egyetem Épületgépészeti és Létesítménymérnöki tanszékén a PASSOL laboratóriumában végeztem és a megállapításokat Debrecen 2009-2013 évek legnagyobb sugárzási energiahozammal és átlaghőmérséklettel rendelkező hónapjainak legmagasabb átlaghőmérséklettel rendelkező napjainak adatai alapján fogalmaztam meg.



5.3 ábra PASSOL laboratórium

3. TÉZIS

Megállapítottam az évenkénti extrém forró és extrém hőségnapok számát és bebizonyítottam, hogy 2009-ben és 2010-ben, egy-egy nap kivételével a keleti és nyugati homlokzatokra érkező teljes sugárzási értékek között nincs szignifikáns különbség. A 2011 év minden egyes extrém forró, illetve extrém hőségnapja aszimmetrikus, 2012-ben egy forró nap és két hőségnap, 2013-ban pedig két hőségnap tekinthető szimmetrikusnak. Minden más napon 2012-ben és 2013-ban szignifikáns különbség alakult ki a teljes sugárzási értékek között keleti és nyugati tájolású függőleges felületek esetében. A vizsgálatokat Debrecenben, a 2009-2013 évek május-június-július-augusztus hónapjaiban végeztem.

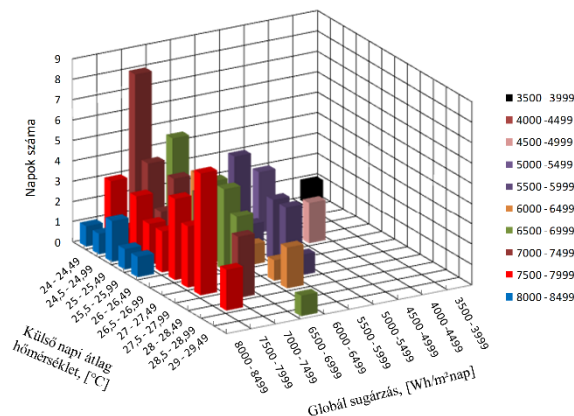
4. TÉZIS

95% megbízhatósági szinten Debrecen 2009-2013 évek külső hőmérsékleti, illetve sugárzási adatai alapján meghatároztam a napi átlaghőmérséklet, a globál sugárzás és a négy fő égtájra vonatkozó teljes sugárzás legmagasabb értékeit úgy a szimmetrikus, mint az

aszimmetrikus napokra vonatkozóan. *Bebizonyítottam, hogy ezeken a jellemző napokon a külső átlaghőmérséklet, illetve a globál sugárzás, a keleti és az északi tájolású függőleges felületekre érkező teljes sugárzási energiahozamok napi értékei nagyobbak, az aszimmetrikus napok esetében, mint a szimmetrikus napokon. A déli és nyugati teljes sugárzási energiahozamok napi értékei viszont szimmetrikus napok esetében nagyobbak az aszimmetrikus napok jellemző értékeihez viszonyítva.*

5. TÉZIS

Meghatároztam a 23,5 °C-nál magasabb átlaghőmérséklettel rendelkező napok számát és előfordulási gyakoriságát Debrecenben a 2009-2013 években. A négy fő égtáj esetében 95% megbízhatósági szinten a legnagyobb külső átlaghőmérsékleti, illetve teljes sugárzási értékeket úgy a szimmetrikus, mint az aszimmetrikus napok esetében diagramban ábrázoltam.



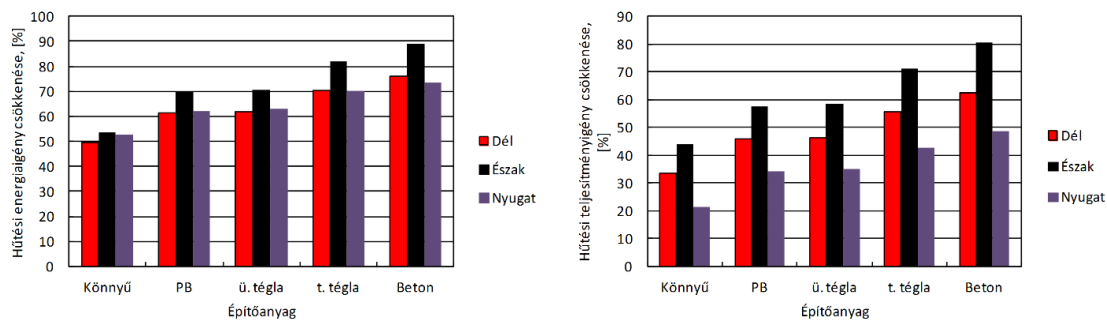
5.4. ábra Globál sugárzás és külső hőmérséklet előfordulási gyakorisága

6. TÉZIS

Bebizonyítottam, hogy meghatározott jellemző napokon, a napi hűtési energiaigény, valamint a hűtési teljesítményigény nagyobb az aszimmetrikus napok esetében, mint a szimmetrikus sugárzási energiahozammal rendelkező napokon. Megállapítottam, hogy ideális tiszta égbolt esetében kisebb hűtési energia és teljesítményigények jelentkeznek, mint a valós napokon. A megállapításokat Debrecen 2009-2013 évek külső hőmérsékleti, illetve sugárzási adatai alapján fogalmaztam meg.

7. TÉZIS

Megállapítottam, hogy adott légcsereszám és épületszerkezet mellett, a napi hűtési energiaigény és a hűtési teljesítmény, K-i tájolás esetében a legnagyobb. Bebizonyítottam, hogy a K-i tájoláshoz viszonyítva az egyes tájolások esetében a napi hűtési energiaigények és a hűtési teljesítmény igények nagyobb mértékben (10-30%) csökkennek nagyobb beépített hőtároló tömeg esetében.



5.5. ábra Hűtési teljesítményigény és hűtési energiafogyasztás csökkenésének mértéke

8. TÉZIS

Kidolgoztam egy számítási módszert, mely alkalmazható a hűtési és a fűtési energiaigény meghatározásához az operatív hőmérséklet értékek alapján. Mivel úgy az MSZ CR 1752, mint az MSZ EN 15251 szabványok operatív hőmérsékletre vonatkozóan fogalmazzák meg a hőérzeti követelményeket a módszer kiválóan alkalmazható a gyakorlati számítások esetében.

5.2 A kutatás eredményeinek gyakorlati hasznosítása

A disszertációban bemutatott számítási eljárások és módszerek alapján meghatározható órai bontásban egy épület nyári hőterhelése, ha ismert a globál sugárzás és a külső léghőmérséklet órai átlagértéke. Az eredmények azt bizonyítják, hogy azonos tájolású, azonos szerkezetű és azonos transzparens felülettel rendelkező helyiségek hőterhelései különböző években nagy eltéréseket mutathatnak. Ez különösen igaz azokban az években, amikor az aszimmetrikus napok többségben vannak a szimmetrikus napokhoz viszonyítva. Az eddigi tervezési gyakorlat szerint ugyanis a keleti és a nyugati tájolások esetében azonos teljes sugárzással kellett számolni. A bemutatott számítási módszerek pontosabb tervezési eredményekhez vezetnek és az így megtervezett hűtési rendszerek hatékonyabban üzemeltethetőek.

A 2012-ben még alkalmazott szabvány szerint, a hűtési hőterhelés számításához 23,49 °C napi átlaghőmérséklet és 30 °C maximum léghőmérsékletet kellett figyelembe venni. A disszertációban bemutatásra került, hogy a valós értékek nagymértékben meghaladják ezeket a tervezési értékeket. A bemutatott módszerek lehetőséget biztosítanak a gyakorló tervezők számára arra, hogy egy adott épületszerkezet esetében úgy válasszák meg a szellőzés mértékét, illetve az üvegezési arányt, hogy minimális legyen az épület hűtési teljesítményigénye, ezzel a befektetési költségek is csökkenthetők.

Bemutatásra került egy hűtési hőterhelés számítására alkalmas módszer, melynek segítségével megállapítható a hűtési teljesítmény igény, valamint a hűtési energiafogyasztás az elvárt operatív hőmérséklet függvényében. A módszer figyelembe veszi a helyiségek hőtároló kapacitását is. Ez az eredmény kiemelten fontos abban az esetben, mikor egy adott komfortkategória esetében meg kell állapítani az adott épület energiaigényét.

A számítási módszer fordított alkalmazásával tájolásonként és a helyiség elhelyezésének függvényében megállapításra kerültek azok a megengedhető transzparens felületek melyek még nem vezetnek ahhoz, hogy a belső térben az operatív hőmérséklet

meghaladja az elvárt értéket. Ez alapján a gyakorlatban megfelelő programozással állíthatóak az árnyékoló szerkezetek a hűtési energiaigény minimalizálása érdekében.

Mérésekkel és számításokkal is bemutatásra került a légcsereszám hatása a hűtési energiaigényre a tájolás és az alkalmazott épületszerkezetek függvényében. Az eredmények alapján egy adott épület esetében lehetővé válik különböző energiatakarékos megoldások alkalmazása a hűtési hőterhelés minimalizálása érdekében. Ez az eredmény kiemelten fontos az alacsony energiaigényű, vagy a közel nulla energiaigényű épületek esetében.

5.3 Új kutatási feladatok kijelölése

A kutatás során kapott eredmények alapján bizonyítást nyert, hogy a lokális adatok feltétlenül szükségesek ahhoz, hogy egy épülethűtési hőterhelése a lehető legnagyobb pontossággal legyen meghatározva. Ezért feltétlenül szükségesnek tartom, különböző nagyobb városokra vonatkozóan megállapítani a vízszintes és a függőleges felületekre vonatkozó teljes sugárzási értékeket, valamint a külső léghőmérséklet értékeket óra bontásban.

Mivel a vizsgált időszakban is kimutatható volt a hóhullámok számának növekedése, valamint az extrém hőségnapok és extrém forró napok számának a növekedése véleményem szerint a jövőben kiemelt fontosságú lehet különböző passzív hűtési technológiák kidolgozása annak érdekében, hogy a hűtési energiafogyasztás minimalizálható legyen.

Egyre több épület nem csak vízszintes és függőleges szerkezetekkel rendelkezik, hanem különböző dőlésszögű szerkezetek is megjelennek a homlokzaton. Ezeknél az épületeknél szükséges a különböző dőlésszögű szerkezetek esetében is meghatározni a beérkező sugárzás értékét.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A kutatásaim elsődleges célja az épületek hőterhelésének vizsgálata volt, Debrecen város vonatkozásában. Az elemzésekhez, 2009-2013 évekre, a külső hőmérséklet és a globál sugárzás órai adatok álltak rendelkezésemre, melyeket a Debrecen-Kismacs Agro-Meteorológiai Állomás bocsátott a rendelkezésemre.

Kutatásaim során méréseket végeztem oktatási és lakóépületekben, a Debreceni Egyetem Épületgépészeti és Létesítménymérnöki Tanszékének PASSOL laboratóriumában és Épületfizikai laboratóriumában. Méréseimhez elsősorban TESTO és KIMO adatgyűjtőket alkalmaztam.

Meghatároztam a fő égtájakra, az év minden órájára az R_b tényező értékeit Debrecen városra vonatkozóan. Az órai külső léghőmérséklet adatok alapján elkészítettem az öt évre vonatkozó hőfokgyakorisági görbéket. Elemeztem a 20 °C feletti napi átlaghőmérséklettel rendelkező napok számát és éves eloszlását. Az órai sugárzás intenzitás értékek alapján meghatároztam a napi, valamint a havi sugárzási energiahozamokat úgy a vízszintes, mint a különböző tájolású függőleges felületekre vonatkozóan. Megállapítottam, hogy, bár különböző Szabványokban a keleti és nyugati tájolású felületek esetében azonos, vagy közel azonos sugárzási intenzitás, illetve energiahozam értékeket adnak meg, a vizsgált időszakban jelentős az aszimmetria a két égtáj napsugárzási kitétségének tekintetében.

Az MSZ EN ISO 13790 szabvány órai számítási módszere alapján kapott léghőmérséklet értékeket mért léghőmérséklet értékekkel hasonlítottam össze. A módszer alapján különböző szerkezetek, légcsereszámok és tájolások mellett meghatároztam a hűtési energiaigényt és a hűtési teljesítményigényt. Rávilágítottam az alkalmazott építőanyagok, a transzparens szerkezet tájolása valamint a légcsereszám közötti összefüggésekre, melyek mesterséges hűtés nélkül biztosítják az elvárt operatív hőmérséklet értékeket. Adott tájolás esetében egy mintapéldán keresztül meghatározásra került az összefüggés a helyiség épületben elfoglalt helye és a megengedhető transzparens felület között, a légcsereszám és az alkalmazott építőanyagok függvényében.

A 2009-2013 évekre vonatkozó, rendelkezésre álló, külső hőmérsékleti és globál sugárzási adatok alapján megállapítottam, hogy Debrecen vonatkozásában milyen hőmérsékleti és sugárzási értékekkel kellene meghatározni a hűtési teljesítményigényt és a hűtési energiaigényt 0,05 megbízhatósági szinten aszimmetrikus és szimmetrikus jellegű, valós és tiszta égbolttal rendelkező napok esetében.

7. SUMMARY

The main goal of my research was the analysis of building's summer heat load in case of Debrecen city. For years 2009-2013 the hourly external temperature values and hourly global radiation values were provided by Agro-meteorological observatory, Debrecen-Kismacs.

At the beginning of my research work I have performed in situ measurements in closed spaces of educational and residential buildings. Thereafter the PASSOL laboratory was built and measurements were carried out in order to collect data about the indoor temperature variation in a closed space depending on the orientation of transparent surfaces. A series of measurements were performed in the Building Physics laboratory of University of Debrecen, in order to see the indoor temperature variation in a closed space after switching out the heat source (cooling or heating). I have used mainly TESTO or KIMO data loggers in order to measure the indoor air temperatures.

I have determined the hourly R_b values in case of Debrecen for the whole year. I have built up the degree day curves for Debrecen for years 2009-2013. I have analysed the number of days an occurrence of days with an average external temperature higher than 20 °C. based on the hourly radiation values I have determined the daily and monthly energy yield both on horizontal and vertical surfaces (with different orientation). I have concluded that, even though in the Standards similar radiation values are taken into consideration for East and West orientation of vertical surfaces, in reality, for analyzed years, significant differences were registered for these two orientations.

Measured internal temperature values in the PASSOL laboratory were compared with the calculated values using the methodology of Standard MSZ EN ISO 13790. Using this calculation method, I have established the energy use for cooling and the heat demand for cooling assuming different building materials, air change rates and orientations of transparent area. I have determined the relations between building materials, air change rates, orientations of transparent area, which ensure a certain operative temperature in the closed space without cooling system. For a certain case, the shadowing ratio was determined for different facades of the building in order to keep the operative temperature under the maximum set value. Based on the available external temperature and radiation data, I have established the meteorological parameters for main cardinal directions which could be used for calculation of heat loads with 95% certainty in case of symmetrical and asymmetrical days, real and ideal clear days respectively.

FELHASZNÁLT IRODALOM

a/ Irodalmi források

- Al-Riahi M., Al-Hamdani N., Tahir K., (1992): An empirical method for estimation of hourly diffuse fraction of global radiation, *Renewable Energy* Vol. 2. No. 4/5, pp. 451-456.
- Bakó-Biró, Zs., Wargocki P., Weschler C. J., Fanger, P. O., (2004): Effects of pollution from personal computers on perceived air quality, SBS symptoms and productivity in offices, *Indoor Air*, Volume 14, Issue 3, June (2004), pp. 178–187.
- Balaras C.A., (1996): The role of thermal mass on the cooling load of buildings. An overview of computational methods, *Energy and Buildings* 24, pp. 1-10.
- Barótfi, I., (2000): *Környezettechnika*, Mezőgazda Kiadó.
- Bartha, S., (2009): Nap és szélenergiás hibrid rendszerek energetikai modellezése, Doktori értekezés, Szent István Egyetem, Gödöllő.
- Basunia, M.A., Yoshio, H., Abe, T. (2012): Simulation of Solar Radiation Incident on Horizontal and Inclined Surfaces, *The Journal of Engineering Research (TJER)*, Vol.9, No.2, pp 27-35.
- Baumann M., Csoknyai T., Kalmár F., Magyar Z., Majoros., Osztrólczyk M., Szalay Zs., Zöld A., (2009): *Épületenergetika*, PTE Pollack Mihály Műszaki Kar, Pécs.
- Begemann, S.H., van den Beld, G.J., Tenner, A., (1997): Daylight, artificial light and people in an office environment, overview of visual and biological responses, *International Journal of Industrial Ergonomics*, Volume 20, Issue 3, September 1997, pp. 231–239.
- Bogoslovskij, B. N., Poz, M. J., (1983): *Teplofizika apparatov utilizatii tepla system otopenija, ventilatii i kondicionirovania vazduha*, Stroizdat, Moskva.
- Boland, J., Ridley, B., Brown, B., (2008): Models of diffuse solar radiation, *Renewable Energy* 33, pp. 575–584.
- Braun J.E., Montgomery K.W., Chaturvedi N., (2004): Evaluating the Performance of Building Thermal Mass Control Strategies, *HVAC&R Resesarch*, 7, 4, pp. 403-428.
- Celik, A. N., (2006): Analysis of Ankara's Exposure to Solar Radiation: Evaluation of Distributional Parameters Using Long-Term Hourly Measured Global Solar Radiation Data, *Turkish J. Eng. Env. Sci*, 30, pp. 115-126.
- Chwieduk, D. A., (2009): Recommendation on modelling of solar energy incident on a building envelope, *Renewable Energy* 34, pp. 736–741.
- Clausen, G., Carrick, L., Fanger, P.O, Kim, S.W., Poulsen, T., Rindel, J.H., (1993): A Comparative Study Of Discomfort Caused By Indoor Air Pollution, Thermal Load And Noise, *Indoor Air*, Volume 3, Issue 4, December 1993, pp. 255–262.
- Clemens, J., (2000): *Entwicklung eines einfachen Modells zur Abschätzung der sommerlichen Überwärmung in Gebäuden*, Mai 2000.
- Cucumo, M., De Rosa, A., Ferraro, V., Kaliakatsos, D., Marinelli, V., (2007): Experimental testing of models for the estimation of hourly solar radiation on vertical surfaces at Arcavacata di Rende, *Solar Energy* 81, pp. 692–695.

- Csáky I., Kalmár F., (2011): Analysis of geothermal energy utilization in Létavértes, *Journal of Sustainable Energy* vol. 2, no. 4, pp.1-11.
- Csáky I., Kalmár F., (2011): Hydraulic aspects of scaling in geothermal energy systems, *Environmental Engineering and Management Journal*, 10, (8), pp. 1155-1160.
- Csáky, I., Kalmár, T., (2014): Analysis of degree day and cooling energy demand in educational buildings, *Environmental Engineering and Management Journal*, 13, 11, pp. 2765-2770.
- de la Flor, F. J. S., Cebolla, R.O., Félix, J. L. M., Domínguez, S. Á., (2005): Solar radiation calculation methodology for building exterior surfaces, *Solar Energy* 79, pp. 513–522.
- Dragicevic, S., Vuckovic, N., (2007): Evaluation of Distributional Solar Radiation Parameters of Cacak Using Long – Term Measured Global Solar Radiation Data, *Thermal Science*, 11, 4, pp.125-134
- Dragsted, J., Furbo, S., (2012): Solar radiation and thermal performance of solar collectors for Denmark, DTU Civil Engineering Report R-275 (UK), October 2012.
- Duffie, J. A., Beckman, W. A., (2006): “Solar engineering of thermal processes”, third edition. John Wiley & Sons Inc., U.S.A.
- Erbs, D. G., Klein S. A. & Duffie, J. A., (1982): Estimation of the diffuse radiation fraction for hourly, daily and monthly-average global radiation, *Solar Energy* Vol. 28, No. 4, pp. 293-302.
- Goetzberger, A., Wittner, V., (1993): *Sonnenenergie: physikalische Grundlagen und thermische Anwendung*, Teubner Studienbücher, Stuttgart.
- Hay, J. E. (1979): Calculation of monthly mean solar radiation for horizontal and inclined surfaces, *Solar Energy*, Vol. 23, pp. 301-307.
- Heinemann, D., (2000): *Energy Meteorology, Lecture Notes, Postgraduate programme „Renewable Energy”* Carl von Ossietzky Universitat, Oldenburg 2000.
- Herczeg L., (2008): *A széndioxid koncentráció hatása az ember közérzetére és az irodai munka teljesítményére* Doktori értekezés, Budapest.
- Heschong, L., Wright, R.L., Okura, S., (2002): Daylighting Impacts on Human Performance in School, *Journal of the Illuminating Engineering Society*, Volume 31, Issue 2, pp. 101-114.
- Ideriah, F. J. K., (1981): A model for calculating direct and diffuse solar radiation, *Solar Energy*, Vol. 26, pp. 447-452.
- Jacovides, C.P., Tymviosa, F.S., Assimakopoulos, V.D., Kaltsounides, N.A., (2006): Comparative study of various correlations in estimating hourly diffuse fraction of global solar radiation, *Renewable Energy* 31 pp. 2492–2504.
- Juslén, H., Tenner, A., (2005): Mechanisms involved in enhancing human performance by changing the lighting in the industrial workplace, *International Journal of Industrial Ergonomics*, Volume 35, Issue 9, September 2005, pp. 843–855.
- Kajtár L., Herczeg L., (2012): Influence of carbon-dioxide concentration on human well-being and intensity of mental work, *IDŐJÁRÁS*, 116:(2) pp. 145-169.
- Kajtár L., Kassai M., (2008): *Klimatizált épületek energetikai elemzése*, Magyar Épületgépészet, LVII. évfolyam, 2008/7-8, pp. 3-7.

- Kajtár L., Szabó J., (2012)a: Comfort measurements in office buildings, In: Gvozdkov A N (szerk.), 10th International Scientific Conference – Indoor Air and Environmental Quality. Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2012.05.13-2012.05.20. Volgograd: [s. n.], pp. 132-139.
- Kajtár L., Szabó J., (2012)b: Effect of Large Window Surfaces in Office Buildings, In: Lidia Morawska, Richard de Dear (szerk.), 10th International Conference on Healthy Buildings 2012. 2697 p., Konferencia helye, ideje: Brisbane, Ausztrália, 2012.07.08-2012.07.12., pp. 977-982.
- Kajtár L., Szabó J., (2011): Thermal Comfort In Office Buildings With Large Window Surfaces, In: The 12 th International Conference on Indoor Air Quality and Climate: INDOOR AIR 2011. Konferencia helye, ideje: Austin, Amerikai Egyesült Államok, 2011.06.05-2011.06.10. Austin: pp. 1356-1361.
- Kajtár L., Szekeres J., (2011): Tantermek szellőztetése, frisslevegő-ellátása, MAGYAR INSTALLATEUR 2-3: pp. 64-67.
- Kassai M., (2011): Klímaközpontok energiafelhasználásának elemzése valószínűségelméleti alapon, Doktori értekezés, BME.
- Kondratev K.J, Povovarova Z. M., Fedorova M. P., (1978): Radiationnij rejim naklonnih poverhnostej, Gidrometeoizdat, p. 340.
- Kuba G., (1988): A függőleges felületek napenergia felvételének szabályozása szoláris tájolással, Budapesti Műszaki Egyetem, Budapest.
- Lam, J. C., Tsang, C.L., Li, D. H.W., Cheung, S.O., (2005): Residential building envelope heat gain and cooling energy requirements, Energy 30 pp. 933–951.
- Lee K., Braun J.E., (2008): Model-based demand-limiting control of building thermal mass, Building and Environment 43 pp. 1633–1646.
- Liu, B.Y.H. and Jordan, R.C. (1961): Daily Insolation on Surface Tilted Towards the Equator ASHRAE Journal, 3(10), pp. 53-59.
- Luterbacher J., Dietrich D., Xoplaki E., Grosjean M., Wanner H., (2004): European seasonal and annual temperature variability, trends, and extremes since 1500, Science, 303, 1499.
- Macskásy, Á. (1952): Központi fűtőberendezésekkel kapcsolatos előtanulmányok, Tankönyvkiadó, Budapest.
- Moriarty, W. W., (1991): Estimation of diffuse from measured global solar radiation, Solar Energy Vol. 47, No. 2, pp. 75-82.
- Norris, D.J., (1966): Solar Radiation on Inclined Surfaces, Solar Energy, Vol. 10, No. 2, pp. 72-76.
- Péczely, Gy., (1998): Éghajlattan, Nemzeti Tankönyvtárkiadó Rt., Budapest.
- Pogran, S., Reichstadterova, T., Lendelova, J., Páles, D., Bieda, W., Bosansky, M., (2013): Verification of agro-production building structures affecting the quality of indoor environment in the summer season, Res. Agr. Eng., Vol. 59, S54-S59.
- Recknagel, H. Sprenger, E. Schramek, E. (2000): Fűtés- és klimatechnika 2000 I-II., Dialóg Campus Kiadó.
- Reddy T. A., Norford, L. K., Kempton W., (1991): Shaving residential air-conditioner electricity peaks by intelligent use of the building thermal mass, Energy, 16 (7), pp. 1001-1010.

- Schultz Gy., (2005): Kritikus hálózati helyzetek Európában, BME OMIKK, Energiaellátás, Energiatakarékosság világszerte, 44. k. 1. sz., pp. 37–44.
- Shaviv E., Yezioro A., Capeluto I.G., (2001): Thermal mass and night ventilation as passive cooling design strategy, *Renewable Energy* 24, pp. 445–452.
- Sheng Hsieh, J., (1986): *Solar Energy Engineering*, Prentice-Hall, New Jersey.
- Srinivasan, R., Bahel, V., Bakhsh, H., (1986): Correlation for estimation of diffuse fraction of daily global radiation, *Energy* Vol. 11, No. 7, pp. 697-701.
- Szabó J., Kajtár L., (2012): Thermal Comfort Measurements In Large Window Offices, In: Szakál A (szerk.), 4th International Symposium on Exploitation of Renewable Energy Sources: EXPRES 2012. Konferencia helye, ideje: Subotica, Szerbia, 2012.03.09-2012.03.10. Subotica: Subotica Tech, College of Applied Sciences, pp. 79-82.
- Szabó P., (2001): Favázás épületek nyári hőkomfortja Magyarországon, PhD értekezés, Nyugat-Magyarországi Egyetem.
- van Dorland, R., Strengers, B.J., Dolman, H., Haarsma, R., Katsman, C., van Oldenborgh, G.J., Sluijs A., van de Wal, R.S.W., (2007): News in Climate Science since IPCC 2007: Topics of interest in the scientific basis of climate change, IPCC Fourth Assessment Report.
- Wargocki, P., Wyon, D.P., Sundell, J., Clausen G., Fanger, P.O., (2000): The Effects of Outdoor Air Supply Rate in an Office on Perceived Air Quality, Sick Building Syndrome (SBS) Symptoms and Productivity, *Indoor Air*, Volume 10, Issue 4, December 2000, pp. 222–236.
- Yam, J., Li, Y., Zheng, Z., (2003): Nonlinear coupling between thermal mass and natural ventilation in buildings, *International Journal of Heat and mass transfer*, 46, pp. 1251-1264.
- Yang, L., Li, Y., (2008): Cooling load reduction by using thermal mass and night ventilation, *Energy and Buildings*, 40, pp. 2052-2058.
- Zheng R., Wang X., Di H., Jiang F., Zhang Y., (2011): New concepts and approach for developing energy efficient buildings: Ideal specific heat for building internal thermal mass, *Energy and Buildings* 43, pp. 1081–1090.
- Zhou, J., Zhang, G., Lin, Y., Li, Y., (2008): Coupling thermal mass and natural ventilation in buildings, *Energy and Buildings*, 40, pp. 979-986.
- Zöld, A., (1999): *Energiatudatos Építészet*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest.

b/ Internetes források

- Internet-1: <http://www.vg.hu/vallalatok/energia/mitossza-valt-az-olajvalsag-415077>,
Letöltés: 2015.01.12
- Internet-2: Roth, W., Kaiser, R., A napenergia- hasznosítás alapjai, SOLTRAIN G03 előadás,
<http://fft.szie.hu/fizika/Turkalo/napenergiahaszn/G03%20-%20A%20napenergia%20hasznositas%20alapjai.pdf>
- Internet-3:
http://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/sugarzas/

Internet-4: <http://www.testo.hu>

Internet-5: www.termo.utcluj.ro/regenerabile/1_2.pdf

Internet-6:

http://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/homerseklet/

Internet-7: http://nesa1.uni-siegen.de/index.htm?/softlab/casanova_e.htm

Internet-8: <http://www.met.hu/omsz/tevekenysegek/klimamodellezes/szelsosegek/>

Internet-9: <http://www.metnet.hu/?m=napi-adatok&sub=1&oder=1>

c/ Szabványok, rendeletek

20/2014. (III. 7.) BM rendelet Az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról szóló 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet módosításáról.

7/2006. (V. 24.) TNM rendelet az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról, Magyar Hivatalos Közlönykiadó, 2006.

A belügyminiszter 20/2014. (III. 7.) BM rendelete az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról szóló 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet módosításáról, Magyar Közlöny, 35, 2014.

A belügyminiszter 40/2012. (VIII. 13.) BM rendelete az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról szóló 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet módosításáról, Magyar Közlöny, 107, 2012.

Az Európai Parlament és a Tanács 2010/31/EU Irányelve az épületek energiahatékonyságáról, 2010. május 19.

MSZ CR 1752:2000, Épületek szellőztetése. Épületek belső környezetének tervezési alapjai.

MSZ EN 15251:2007 Épületek energia-teljesítőképességének tervezésére és becslésére, levegőminőségére, hőmérsékletére, fény- és akusztikai viszonyaira vonatkozó beltéri bemeneti paraméterei.

MSZ EN ISO 13790:2008, Épületek energetikai teljesítőképessége. A fűtési és hűtési energiaigény számítása.

MSZ-04-140-2:1991 Épületek és épülethatároló szerkezetek hőtechnikai számításai. Hőtechnikai méretezés.

MSZ-04-140-4:1978 Épületek és épülethatároló szerkezetek hőtechnikai számításai. Hűtési hőterhelés-számítás.

Nemzeti Fejlesztési Minisztérium: Nemzeti Energiastratégia 2030, Budapest, 2012.

VDI 2078: July 1996 Cooling Load Calculation of Air-conditioned Rooms (VDI Cooling Load Regulations)

d/ Céges ismertető

Managan K., (2014): Demand Response: a Market Overview, Institute for Building Efficiency, Johnson Controls, www.johnsoncontrols.com, February 2014.

PUBLIKÁCIÓS LISTA

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Tudományos folyóiratcikkek (legfontosabb tudományos közlemények)

1. Csáky Imre, Kalmár Ferenc
Effects of thermal mass, ventilation and glazing orientation on indoor air temperature in buildings
JOURNAL OF BUILDING PHYSICS 38: p. &. (2015)
Folyóiratcikk /Szakcikk /Tudományos [2841840], IF: 1,027
2. Csáky Imre, Kalmár Tünde
Analysis of degree day and cooling energy demand in educational buildings
ENVIRONMENTAL ENGINEERING AND MANAGEMENT JOURNAL 13:(11) pp. 2765-2770. (2014)
Folyóiratcikk /Szakcikk /Tudományos [2788877], IF: 1,258
3. Csáki I , Kalmár F
Hydraulic aspects of scaling in geothermal energy systems
ENVIRONMENTAL ENGINEERING AND MANAGEMENT JOURNAL 10:(8) pp. 1155-1160. (2011)
Folyóiratcikk /Szakcikk /Tudományos [1866527], IF: 1,004
4. Csáky Imre , Kalmár Ferenc
Simulation of the internal temperature in the PASSOL Laboratory, University of Debrecen
INTERNATIONAL REVIEW OF APPLIED SCIENCES AND ENGINEERING 3:(1) pp. 63-73. (2012)
Folyóiratcikk /Szakcikk /Tudományos [2220619]



Jelölt: Csáky Imre
Neptun kód: XCED96
Doktori Iskola: Földtudományok Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10035599

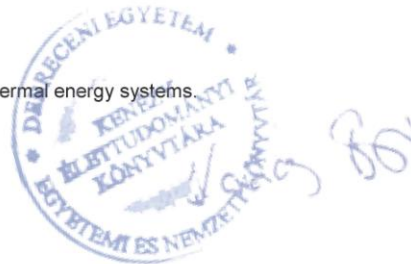
A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Idegen nyelvű tudományos közlemény(ek) hazai folyóiratban (1)

1. **Csáky, I.**, Kalmár, F.: Simulation of the internal temperature in the Passol Laboratory, University of Debrecen.
Int. Rev. Appl. Sci. Eng. 3 (1), 63-73, 2012. ISSN: 2062-0810.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1556/IRASE.3.2012.1.08>

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

2. **Csáky, I.**, Kalmár, F.: Effects of thermal mass, ventilation and glazing orientation on indoor air temperature in buildings.
J. Building Physics. Epub, 2015. ISSN: 1744-2591.
IF: 1.027 (2013)
3. **Csáky, I.**, Kalmár, T.: Analysis of degree day and cooling energy demand in educational buildings.
EEMJ. 13 (11), 2765-2770, 2014. ISSN: 1582-9596.
IF:1.258 (2013)
4. **Csáki, I.**, Kalmár, F.: Hydraulic aspects of scaling in geothermal energy systems.
EEMJ. 10 (8), 1150-1160, 2011. ISSN: 1582-9596.
IF:1.004





További Közlemények

Magyar nyelvű könyv(ek) (8)

5. Verbai Z., Kalmár T., **Csáky I.**, Kalmár F.: Épülettechnikai rendszerek és rendszerelemek. TERC Kft., Budapest, 212 p., 2013. ISBN: 9789639968646
6. **Csáky I.**, Kalmár T., Kalmár F.: Épülettechnikai rendszerek diagnosztikája és üzemeltetése. Terc Kft., Budapest, 217 p., 2013. ISBN: 9789639968615
7. Kalmár F., Kalmár T., **Csáki I.**: Felújított paneles épületek hőtechnikai vizsgálata és energetikai elemzése: Szellőztető rendszerek vizsgálata hőérzeti, épületfizikai és BLM szempontból. HUNÉP Zrt., Debrecen, 57 p., 2010.
8. Kalmár F., Kalmár T., **Csáki I.**: Felújított paneles épületek hőtechnikai vizsgálata és energetikai elemzése: Transzparens felületek és üvegezési arány hatása a fűtési- hűtési energiafogyasztásra. HUNÉP Zrt., Debrecen, 123 p., 2009.
9. Kalmár F., Kalmár T., **Csáki I.**: Felújított paneles épületek hőtechnikai vizsgálata és energetikai elemzése: Épületgépészeti, hőérzeti és épületdiagnosztikai vizsgálatok. HUNÉP Zrt., Debrecen, 140 p., 2009.
10. Kalmár F., Kalmár T., **Csáki I.**: Felújított paneles épületek hőtechnikai vizsgálata és energetikai elemzése I. rész. HUNÉP Zrt., Debrecen, 107 p., 2008.
11. Kalmár F., **Csáki I.**: Hőszigetelő építőanyagok kifejlesztése mezőgazdasági melléktermékek felhasználásával: Fizikai jellemzők megállapítása. Debreceni Egyetem Agrár és Műszaki Tudományok Centruma Műszaki Kar, Debrecen, 19 p., 2008.
12. Kalmár F., Kalmár T., **Csáki I.**: Felújított paneles épületek hőtechnikai vizsgálata és energetikai elemzése II.. HUNÉP Zrt., Debrecen, 2008.





Idegen nyelvű, hazai könyv(ek) (6)

13. szerk. Kalmár, F., Csomós, G., **Csáki, I.**: 16th "Building Services, Mechanical and Building Industry Days" International Conference : Debrecen, ... 14-15 October 2010 : 3. köt..
Debreceni Egyetem, Debrecen, 692 p., 2010. ISBN: 9789634734239
14. szerk. Kalmár, F., Csomós, G., **Csáki, I.**: 16th "Building Services, Mechanical and Building Industry Days" International Conference : Debrecen, ... 14-15 October 2010 : 2. köt..
Debreceni Egyetem, Debrecen, 180. p., 2010. ISBN: 9789634734215
15. szerk. Kalmár, F., Csomós, G., **Csáki, I.**: 16th "Building Services, Mechanical and Building Industry Days" International Conference : Debrecen, ... 14-15 October 2010 1. köt..
Debreceni Egyetem, Debrecen, 147 p., 2010.
16. szerk. Kalmár, F., Kocsis, I., Csomós, G., **Csáky, I.**: 15th "Building Services, Mechanical and Building Industry Days" International Conference : Debrecen, ... 15-16 October 2009 : 2. köt..
Debreceni Egyetem, Debrecen, 159 p., 2009. ISBN: 9789634733140
17. szerk. Kalmár, F., Kocsis, I., Csomós, G., **Csáky, I.**: 15th "Building Services, Mechanical and Building Industry Days" International Conference : Debrecen, ... 15-16 October 2009 : 3. köt..
Debreceni Egyetem, Debrecen, 538 p., 2009. ISBN: 9789634733157
18. szerk. Kalmár, F., Kocsis, I., Csomós, G., **Csáky, I.**: 15th "Building Services, Mechanical and Building Industry Days" International Conference : Debrecen, ... 15-16 October 2009 : 1. köt..
Debreceni Egyetem, Debrecen, 126 p., 2009. ISBN: 9789634733133

Magyar nyelvű könyvrészlet(ek) (3)

19. **Csáky I.**: Lég-klímatechnikai rendszerek üzemeltetése és diagnosztikája.
In: Épülettechnikai rendszerek diagnosztikája és üzemeltetése. Írták: Csáky Imre, Kalmár Tünde, Kalmár Ferenc, Terc Kft., Budapest, 61-106, 2013. ISBN: 9789639968615
20. **Csáky I.**: Lég-klímatechnikai rendszerek és rendszerelemek.
In: Épülettechnikai rendszerek és rendszerelemek. Írták: Verbai Zoltán, Csáky Imre, Kalmár Tünde, Kalmár Ferenc, Terc Kft., Budapest, 62-109, 2013. ISBN: 9789639968646
21. **Csáky I.**: Diagnosztika.
In: Épülettechnikai rendszerek diagnosztikája és üzemeltetése. Írták: Csáky Imre, Kalmár Tünde, Kalmár Ferenc, Terc Kft., Budapest, 157-217, 2013. ISBN: 9789639968615



Idegen nyelvű, hazai könyvrészlet(ek) (1)

22. **Csáky, I.**, Kalmár, F.: Integrated modelling of sustainability of geothermal systems: Georen research.
In: Hungarian Renewable Energy Handbook 2012-13. Kovács Róbert, Poppy Seed 2002 Bt, Budapest, 86-88, 2012.

Magyar nyelvű közlemény(ek) hazai folyóiratban (1)

23. **Csáki I.**: Szellőztetés hatása a szén-dioxid-koncentrációra lakóépületekben.
E-gépész., 1-9, 2010.

Idegen nyelvű közlemény(ek) külföldi folyóiratban (2)

24. Lakatos, Á., **Csáky, I.**, Kalmár, F.: Thermal conductivity measurements with different methods: a procedure for the estimation of the retardation time.
Mater. Struct. 1 (1), 1-11, 2013. ISSN: 1359-5997.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1617/s11527-013-0238-7>
IF:1.39
25. **Csáki, I.**, Kalmár, F.: Analysis of geothermal energy utilization in Létavértes.
J. Sustain. Energy. 2 (4), 1-11, 2011. ISSN: 2067-5534.

Magyar nyelvű konferencia közlemény(ek) (6)

26. László E., **Csáky I.**: A felszín- és léghőmérséklet alakulása a debreceni Árpád-téren.
In: Környezettudatos energia termelés és felhasználás. Szerk.: Szabó Valéria, Fazekas István, MTA DAB Megújuló Energetikai Munkabizottság, Debrecen, 369-374, 2011. ISBN: 9789637064272
27. Kalmár F., Kalmár T., **Csáki I.**: Lakóépületek energetikai tanúsítása egyszerűsített és részletes módszerrel =Certification of residential buildings using the detailed and the simplified method.
In: ÉPKO 2011 : XV. Nemzetközi Építéstudományi Konferencia : Csíksomlyó, 2011. június 2-5. Szerk.: Köllő Gábor, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, Kolozsvár, 201-209, 2011.



28. Kalmár F., **Csáki E.**: Középületek energetikai vizsgálata Létavértesen.
In: Building Energy. Debreceni Egyetem, Debrecen, 168-180, 2010. ISBN: 9789634734215
29. **Csáki I.**: Szennyező anyagok a belső környezet levegőjében.
In: I. Alpok-Adria Passzívház Konferencia : Pécs 2009. szeptember 4-5 : konferenciakötet.
Szerk.: Vajdáné Frohner Ilona, Frohner Bt, Pécs, 357-359, 2009.
30. **Csáki I.**: Belső levegő minősége.
In: Műszaki tudomány az Észak Alföldi Régióban 2009 : konferencia előadásai : Mezőtúr
2009. május 20. Szerk.: Pokorádi László, Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki
Szakbizottsága, Debrecen, 63-68, 2009.
31. **Csáki I.**: Szellőztetés hatása a széndioxid koncentrációra lakóépületekben.
In: 15th "Building Services, Mechanical and Building Industry Days" : International
Conference : Debrecen, ... 15-16 October 2009. Szerk.: Kalmár Ferenc, Kocsis Imre,
Csomós György, Csáki Imre, Debreceni Egyetem, Debrecen, 115-122, 2009.

Idegen nyelvű konferencia közlemény(ek) (8)

32. **Csáky, I.**, Kalmár, F.: Indoor temperature monitoring in east orientation offices.
In: Proceedings of Denzero International Conference: Sustainable energy by optimal
integration of renewable energy sources. publ. by University of Debrecen, Debreceni
Egyetem, Debrecen, 155-164, 2014. ISBN: 9789634737360
33. **Csáky, I.**, Kalmár, F.: Effects of windows replacement in residential building.
In: Proceedings of DENZERO International Conference : Sustainable energy by optimal
integration of renewable energy sources: 10-11 october 2013, Debrecen. publ. University of
Debrecen, University of Debrecen, Debrecen, 62-76, 2013. ISBN: 9789634736240
34. **Csáki, E.**: Influence of transparent surfaces on summer thermal comfort in buildings.
In: 16th "Building Services, Mechanical and Building Industry Days" International Conference
: 14-15 October 2010 Debrecen, Hungary. Szerk.: Ferenc, ... Csomós György, Csáki Imre,
Debreceni Egyetem, Debrecen, 12-21, 2010. ISBN: 9789634734215
35. Kalmár, F., Kalmár, T., Varga, E., **Csáki, I.**, Jenei, T.: Effects of building refurbishment on the
operative temperature and ACH.
In: 9th International Conference and Exhibition - Healthy Buildings 2009. [S.n.], New York,
2009..



36. Kalmár, F., Halász, E., **Csáki, I.**: Balancing of central heating systems.
In: Vykurovanie 2009 : Alternativne zdroje energie a systémy zásobovania budov teplom : Zborník prednášok zo 17. medzinárodnej konferencie : Tatranské Matliare, 2-6. 3. 2009. Ed.: Petras, Dusan, Slovenská spoločnosť pre techniku prostredia, Bratislava, 423-426, 2009.
37. **Csáki, I.**: Thermal conductivity measurement.
In: I. CASSOTHERM : Zborník príspevkov z 1. vedeckej medzinárodnej konferencie. Elsewa, Kosice, [2], 2009.
38. Kalmár, F., Kalmár, T., **Csáki, I.**, Husi, G.: Interrelation between ACH and air temperature distribution in a room.
In: ROOMVENT 2009, 111th International Roomvent Conference Proceedings : May 24- 27 May, 2009 Busan, Korea. [S.n.], Busan, 911-917, 2009.
39. **Csáki, E.**: Determinarea etanșeității clădirilor.
In: Instalații Pentru Construcții și confortul ambiental, Conferința cu participare internațională, Ediția a 18-a 2-3 aprilie 2009 Timișoara-România. Ed.: Adrian Retezan, Editura Politehnică, Timișoara, 99-107, 2009.

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 4,679

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapján szolgáló közleményekre): 3,289

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

Debrecen, 2015.04.01.



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 2009 – 2013 évek hőmérséklet és globálsugárzás adatait.

Köszönettel tartozom témavezetőmnek Dr. Kalmár Ferencnek, emberi és szakmai támogatásáért, doktori munkám elvégzéséhez nyújtott segítségéért.

Köszönöm családomnak, akik biztosították számomra a háttérrel, hogy sikeres doktori tanulmányokat folytathassak.