

Debreceni Egyetem
Műszaki Kar
Épületgépészeti és Létesítménymérnöki tanszék



Passzív szoláris nyereségek vizsgálata a DEM kutatószobák energiafelhasználásának tükrében

Készítette: **Fiál Ádám** létesítménymérnök hallgató

Belső konzulens: Kerekes Attila

Tanszékvezető: Dr. Kalmár Ferenc

Debrecen
2014. november

Tartalom

Ábrajegyzék	3
1. Bevezetés	4
2. A mérési körülmények és a mérések bemutatása	5
2.1. A Debreceni Egyetem Fenntartható Épületenergetikai Demonstrációs Központja (DEM)	5
2.2. A mérések bemutatása	6
2.2.1. Mérési körülmények	6
2.2.2. Az elvégzett kutatások menetének leírása	7
3. A mért eredmények értékelése és magyarázata	11
3.1. A grafikonról leolvasható adatok értelmezése	11
3.2. Az üvegházhatás	13
4. A számítási modell felállítása	14
4.1. Elméleti alapok	14
4.2. A kutatószoba modellje	17
4.3. Az összefüggés elemeinek értelmezése	19
4.3.1. A napsugárzásból származó energia - Q_{s1}	19
4.3.1.1. A napsugárzás átlagos erőssége	19
4.3.1.2. A szoláris idő	21
4.3.1.3. A nyílászáró üvegezett felületének jellemzőiből származtatható eltérések	22
4.3.1.4. Benapozás	23
4.3.2. A helyiség hőveszteségtényezője - K	25
4.3.3. A belső hőtároló tömeg – $m \cdot c$	26
4.3.4. A számítások induló hőmérsékletkülönbség-értéke - φ_{i0}	27
5. Számítási eredmények	28
5.1. 3. kutatószoba	28
5.2. 1. kutatószoba	29
6. Az számítási módszert javító metódusok	30
6.1. A hőtároló tömeg csökkentése	30
6.2. A számításból kapott érték újraértelmezése	33
6.3. A számítást módosító egyéb tényezők	36
7. A fűtési energiafelhasználásból levonható következtetések	38
8. Összefoglalás	40
Irodalomjegyzék	41

Ábrajegyzék

1. ábra: A DEM épülete	5.
2. ábra: A DEM sematikus földszinti alaprajza	6.
1. ábra: Hőszigetelés elhelyezése az 1-es kutatószobában	8.
4. ábra: Hőszigetelés elhelyezése a 3-as kutatószobában	9.
5. ábra: A kutatószobák belső hőmérséklete a különböző mérési időszakban	10.
6. ábra: Április 10-én archivált felhőkép	12.
7. ábra: Április 9-én archivált felhőkép	12.
8. ábra: Üvegházhatás (forrás: [1.])	13.
9. ábra: Átmeneti függvény (forrás: [2.])	15.
10. ábra: Pulzáló hőterhelésre bontás ábrázolása (forrás: [5.])	16.
11. ábra: Ideális számítási szobamodell	17.
12. ábra: Sugárzástani Paraméterek (forrás: [8.])	20.
13. ábra: Szakirodalomban leírt sugárzásértékek (forrás: [4.])	21.
14. ábra: Europa.eu weboldáról kinyerhető adatok, részlet (forrás: [9.])	21.
15. ábra: Pár üvegfelület transzparenciális tényezője (forrás: [5.])	22.
16. ábra: Beesési szög redukciós tényezője (forrás: [1.])	23.
17. ábra: Árnyékmaszok, dél-keleti ablak, 3. kutatószoba	23.
18. ábra: Árnyékmaszok, észak-keleti ablak, 1. kutatószoba	23.
19. ábra: Bejutó napsugárzás szerkesztése, részlet	24.
20. ábra: A szomszédos épület árnyékolóhatása	25.
21. ábra: Az első mérési szakasz első három napjáról készült diagram, 3. kutatószoba	28.
22. ábra: Az első mérési szakasz első három napjáról készült diagram, 1. kutatószoba	29.
23. ábra: A hőtároló tömeg növelésének hatása (forrás: [7.])	30.
24. ábra: A megváltoztatott hőtároló tömeg hatása az 1. kutatószobára végrehajtott számításokra	31.
25. ábra: A hőtároló tömegek fontossági beosztása a direkt rendszerekben (forrás: [1.])	32.
26. ábra: A második mérési szakasz első 4 napjáról készült diagram, 1. és 3. kutatószoba	32.
27. ábra: A hőátadás szemléltetése	34.
28. ábra: A megduplázott hőmérsékletkülönbség hatása az első mérési szakasz 1. kutatószobáján lefuttatott számításra	35.
29. ábra: A hőátbocsátási tényező számítás módosítása	36.
30. ábra: Napi fűtési energiafogyasztás	38.
31. ábra: Összes fűtési energiafelhasználás	39.

1. Bevezetés

Napjainkban a megújuló energiaforrások hasznosításával foglalkozó kutatások fontossága egyre inkább erősödik a fosszilis energiahordozók felhasználásának csökkentése érdekében, azok magas CO₂ kibocsátásuk és limitált forrásaik miatt. Emellett ugyancsak nagy hangsúlyt fektetünk a minél alacsonyabb energiafelhasználású épületek létrehozására gondosan megválasztott épületgépészeti rendszerekkel és épületszerkezeti elemekkel.

A napenergia az egyik legfontosabb megújuló energiaforrás. A Földön található összes fosszilis energiahordozóban tárolt energia a Napból származik, illetve számos megújuló energiaforrásnak (pl. biomasszákból kinyerhető energiáknak, a szél és a víz mozgásából kinyerhető energiáknak) is a napenergia a motorja. Az egyik alternatív lehetőség a megújuló energiák széles palettájáról a napenergia direkt felhasználása a fűtési rendszerek rásegítésére, illetve egyes hónapokban azok kiváltására. A napkollektoros rendszerek egyre inkább fejlődnek, és bizonyos esetekben magas hatékonyságot is képesek elérni az épületek energiafelhasználásának csökkentése érdekében, azonban magára a napenergia passzív hasznosítására nem irányul annyi figyelem.

Egy alacsony energiafelhasználású, illetve passzív házak esetében a megfelelő épületszerkezetek és épületgépészeti rendszerek kiválasztása esetén, a fűtési energiaráfordítás akár tizede is lehet egy normál magyar épületének. Ezekben az épületekben már a nyílászárókon beérkező napsugárzásból származó energia is elégséges lehet ahhoz, hogy fűtési időszakban megfelelő belső hőmérsékletet érjünk el.

Ezen dolgozat témája az épületek passzív szoláris nyereségének vizsgálata a Debreceni Egyetem Fenntartható Épületenergetikai Demonstrációs Központjának (DEM) épületében lefolytatott mérések alapján, valamint ezen eredmények felhasználása a folyamatot leíró számítási modell létrehozására.

Köszönetet szeretnék mondani belső konzulensemnek, Kerekes Attilának, aki kutatásaimban nagy segítségemre volt, a Dryvit Profi építőipari Kft. –nek az épület szerkezeti adatainak kiadásáért, illetve Krasznai Józsefnek, aki a kutatáshoz szükséges hőszigetelő táblákat biztosította.

2. A mérési körülmények és a mérések bemutatása

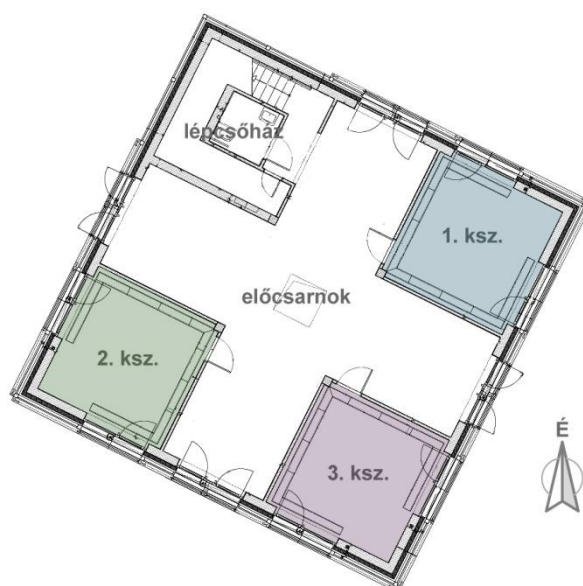
Mielőtt rátérnék a mérési időszakban lefolytatott kutatásomra, úgy vélem érdemes pár szóban bemutatni a DEM épületét.

2.1. A Debreceni Egyetem Fenntartható Épületenergetikai Demonstrációs Központja (DEM)



1. ábra: A DEM épülete

A DEM egy olyan innovatív, kísérleti információs-, és kutatóközpont, mely azzal a céllal épült, hogy a lakosság fenntartható fejlődéssel kapcsolatos szemléletét formálja az itt lefolytatható kutatási eredmények publikálásával, illetve szemléltetésével, hiszen a nullához közeli energiafogyasztású épület minden hétköznapi látogatható a modern épületgépészeti rendszerek és megújuló energiaforrások iránt érdeklődőknek. Az épület a külső rácsszerkezetével egy kockát idéz meg, viszont maga az épület egy görögkereszt alaprajzú, kétszintes kilencosztatú félkocka. A lapostetőn négy irányban elhelyezett vákuumcsöves és sík kollektorokkal mérhető az égtájankénti napenergia felhasználásának hatásfoka, és a megtermelt hő segítségével fedezheti az épület használati meleg víz igényét, fűtési hőszükségletét, illetve a hőt eladhatja a helyi távhő-hálózatnak is.



2. ábra: A DEM sematikus földszinti alaprajza

Az épületben három kutatószoba található az épület déli-, keleti-, és nyugati sarkában. A szobák belső környezet jellemzőit számos berendezés vizsgálja, méri és archiválja. A felügyeleti rendszer elmenti a belső hőmérsékletváltozásokat, a szobába fűtés által befolyó energiamennyiségeket, stb., emellett a helyiségeken belül is leolvashatók a pillanatnyi értékek a mérőberendezésekről. A kutatószobák külső nyílászárói eltakarhatók a külső oldali zsaluzat segítségével, így zárva ki a napsugárzást a belső térből. A szobák fűtése fal-, mennyezet-, és padló felületfűtéssel is megoldható, kutatásaimban a padlófűtéssel mért értékekre támaszkodtam.

2.2. A mérések bemutatása

2.2.1. Mérési körülmények

Méréseim célja az volt, hogy számszerű értékekkel kimutathassam és értékelhessem a nyílászárókon keresztül a belső térbe bejutó direkt és diffúz napenergia sugárzásból származó hőmennyiségeket és ezek hasznosítási lehetőségeit a fűtési átmeneti időszakokban. Viszont a mérések elvégzésére csak áprilisban volt lehetőség, pedig március, vagy november lehet jobb időpont lett volna.

2.2.2. Az elvégzett kutatások menetének leírása

A kísérleteimben igénybe vettem a DEM-ben található mindhárom kutatószobát. Mindenekelőtt le kell szögeznem, hogy a három szoba épületfizikai jellemzői a tájoláson kívül mindenben teljes mértékben megegyeznek. A szoláris nyereségméréseket az 1-es (keleti) és a 3-as (déli) kutatószobákban folytattam le, a 2-es (nyugati) kutatószoba pedig megmaradt stacioner szobának. Ebben a szobában minden mérési időszakban behúzva maradtak az árnyékoló zsaluk, azaz a 2-es szoba szoláris nyeresége minden időszakban 0 volt. Erre azért volt szükség, hogy később meghatározhassam, hogy a külső időjárási-, és hőmérsékletváltozásokra az adott napokban mekkora energiamennyiségre volt szükség a helyiség belső hőmérsékletének az előre megadott szinten való tartására.

Első lépésként zárt külső zsaluk mellett, minden kutatószobában megnőveltem a belső hőmérsékletet, hogy könnyebben kimutatható legyen a fűtési energiaszükséglete a szobáknak. A felfűtési időszak kezdete március 17. volt, ekkor 20 °C-ra állítottam a kívánt belső hőmérsékletet, azonban március 19-én megnőveltem 22 °C-ra, hiszen a maximális külső hőmérséklet a napokban már elérte 19 °C-ot. A felfűtési időszak március végéig tartott. Igaz maga a szoba belső léghőmérséklete már a beállítás után 8 órával elérte a kívánt értéket, viszont egyrészt meg kellett bizonyosodnom arról, hogy az archiváló és fűtési rendszer is hibátlanul üzemel, másrészt pedig hogy a belső hőtároló tömeg hőmérséklete is elérte a kívánt belső léghőmérséklettel megegyező értéket. Sajnos fűtési energiát archiváló rendszer a 3-as kutatószobán nem működött a méréseim időszakában, így erről a helyiségről csak napi egy mérési adatot tudtam a személyes megtekintéseim folyamán rögzíteni. Ezeken az alkalmakon feljegyeztem a helyiségbe a padlófűtési rendszeren keresztül összesen befolyt fűtési energiamennyiség napi részállásait, az aktuális fűtőtéljesítményt, térfogatáramot, a szoba aktuális belső léghőmérsékletét illetve lejegyeztem a leolvasások pontos időpontját is.

A mérési időszak első szakasza március 31. 10:57-kor kezdődött. Ekkora az 1-es és 3-as kutatószobák külső nyílászáróit takaró zsalukat teljesen elhúztuk, hogy a szoláris nyereség maximális legyen. Ennek eredménye szembetűnő volt, hiszen 14:30-ra már 24,5 °C-ra szökött fel a hőmérséklet. A állandó hőmérsékletű (2-es) szobával azonos feltételek megteremtésének érdekében éjszakára, a lehűlési időszakban visszahúztam az árnyékolókat. A visszahúzások ideje 19:00, reggeli kinyitások ideje pedig 7:35 volt.

Mivel a nap 6:25-kor kel fel, ekkora a keleti és északi nyílászárókon már mérhető

energiamennyiség érkezhett volna a belső térbe, viszont ennek a hiányát későbbi számításaiba belekalkuláltam. A mérés április 4. 19:00-ig tartott, ekkor visszahúztam az árnyékolókat hétvégére és hagytam, hogy a belső tér visszanyerje stabil 22 °C-os átlagos hőmérsékletét.

A következő mérési szakaszon azt vizsgáltam, van-e szerepe és mekkora szerepe van a belső hőtároló tömegeknek a direkt szoláris hőnyereségek érdemi hasznosításában a belső tér fűtésében. Ennek érdekében XPS hőszigetelő táblákkal fedtük el a belső falakat a kutatószobákban.



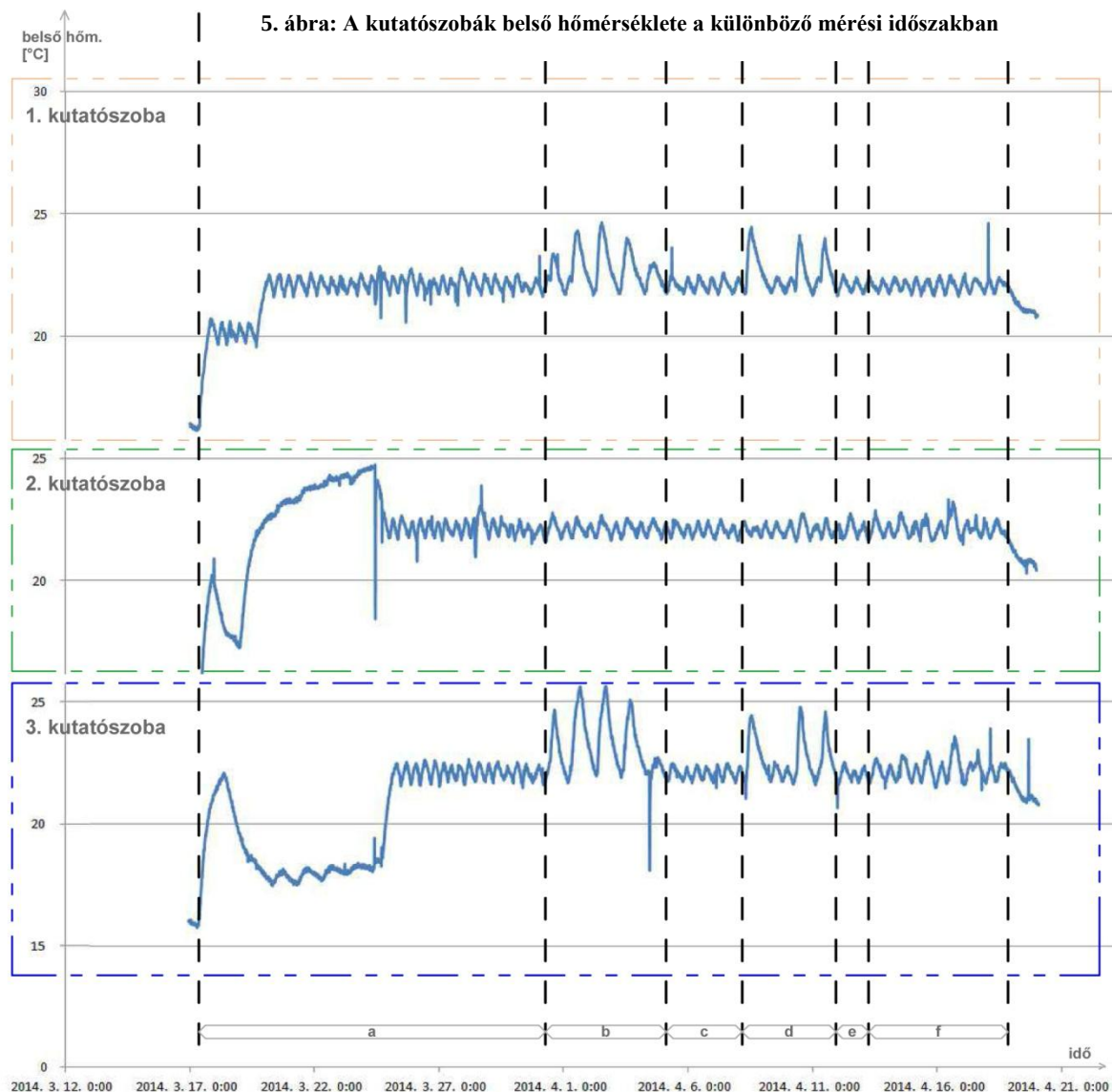
3. ábra: Hőszigetelés elhelyezése az 1-es kutatószobában

A kísérlet előtt április 7-én az 1-es kutatószobában a belső térelhatároló falak elé 10cm vastag extrudált polisztirolhab hőszigetelésből falat építettem, hogy kizárjam azok hőtároló tömegét. Ezzel a beállítással megakadályoztam, hogy a szobákba jutó napsugárzás felmelegítse a belső falat. Április 8-án az 1-es és 3-as kutatószobán elhúztam a dél-keleti zsalukat a nyílászárók elől. Az előző méréshez hasonlóan igyekeztem azonos paramétereket biztosítani a lehűlési időszakra a 2-es kutatószobához képest. A visszahúzások ideje 19:00, reggeli kinyitások ideje pedig 7:35 volt. A mérés április 11-én 19:00-ig tartott, ekkor visszahúztam az árnyékolókat hétvégére és hagytam, hogy a belső tér visszanyerje stabil 22 °C-os átlagos hőmérsékletét.



4. ábra: Hőszigetelés elhelyezése a 3-as kutatószobában

Ezt a kísérlet típust megismételtem a 3-as kutatószobán is. Április 14-én átpakoltam a hőszigetelő táblákat ugyanilyen módon, vagyis kizártam a belső falak hőtároló tömegeit, azonban hogy megtudjam, mekkora szerepe van a falakra vetülő direkt sugárzásnak, ezúttal csak a dél-nyugati zsalukat húztam ki. Ezzel a beállítással a lehőszigetelt falrészt sokkal hosszabb időn keresztül éri napsugárzás. Ennél a mérési szakasznál a 2-es és 1-es kutatószoba szerepét felcseréltem, hiszem az 1-es szobának nincs dél-nyugati nyílászárója, így az 1-es szoba lett a stacioner és a 2-es vált mérőszobává. A dél-nyugati zsalukat április 14-én elhúztam a 2-es és 3-as szobákról. Mivel a mérési időszakban eléggé borús, felhős volt az idő, sajnos alacsonyabb volt a belső hőmérséklet emelkedése, ennek ellenére tapasztalható némi napsugárzásból származtatható felmelegedés. Az 1-es szobához hasonló lehűléses körülmények elérése érdekében, az előző méréseknél bevált módon, éjszakára behúztam a zsalukat. A visszahúzások ideje 19:00, reggeli kinyitások ideje pedig 7:35 volt. A mérés április 19-én 19:00-ig tartott.



Az alábbi 5. ábrán jól látszik a különböző mérési időszakokban kimutatható hőmérsékletváltozás. (**a** - felfűtési, kalibrálási szakasz; **b** – első kísérleti szakasz; **c** – hétvégi mérési szüneteltetés; **d** – második mérési szakasz; **e** – második hétvégi mérési szüneteltetés, **f** – harmadik mérési szakasz)

3. A mért eredmények értékelése és magyarázata

3.1. A grafikonról leolvasható adatok értelmezése

A belső hőmérsékleti adatokat megjelenítő 5. ábra jól mutatja az egyes mérési szakaszok között változó beállításokból származó különbségeket. Ezek magyarázatát, értelmezését szeretném ebben az alfejezetben taglalni.

Az első, **a**-val jelölt időszak első lépése a kalibráció volt. Ebben az időszakban az volt a cél, hogy megvizsgáljuk, hogy a három kutatószoba azonos feltételek mellett valóban azonosan viselkednek-e. Azonos feltételeket csak az árnyékolók zárásával tudtunk biztosítani. Az eredmények azt igazolták, hogy a helyiségek valóban azonosan viselkednek. Emellett az esetleges hibákat is ki kellett vizsgálnunk. Jól látható, hogy az 1-es kutatószoba szépen a beállított értékek körül maradt, míg a 2-es és 3-as szobánál a hőmérsékletérzékelők a rendszerben sajnos fel voltak cserélve egymással, azaz addig fűtötte volna a 2-es helyiséget a rendszer, míg a 3-as helyiségben el nem éri a beállított értéket, és fordítva. Ez egy hiba volt, amit szerencsére a tesztidőszakban észrevettünk és a rendszer üzemeltetői ki tudtak javítani március 25. környékén. Ezután a rendszer készen állt a mérések kezdésére, amit a leírtak alapján március 31-én meg is kezdtünk.

Az elkövetkezendő napokban a napsugárzásból származó többletenergia hatására a 3-as helyiségben 25 °C fölé is felszökött a hőmérséklet. Ennek az eseménynek a hátterében az üvegházhatás áll. A hőmérséklet növekedésének pontos mennyiségére a későbbiekben még részletesebben kitérek.

Érdekesnek mondható tény, hogy a második és harmadik kísérleti nap végére éppen lehűlt a kutatószoba belső hőmérséklete olyan szintre, hogy a másnapi napenergiából származó hőnyereség előtt éppen csak keveset, vagy egyáltalán ne kelljen a fűtési rendszernek bekapcsolnia a 22 °C belső hőmérséklet fenntartása érdekében. Ennek magyarázata az épület alacsony hőveszteség-tényezője.



7. ábra: Április 10-én archivált felhőkép



6. ábra: Április 9-én archivált felhőkép

Természetesen a besugárzott energiamennyiség függ a felhőzetről is. Ennek érdekében a kutatási időszakban igyekeztem naponta több fotót is rögzíteni az aktuális felhőzetről, hogy a későbbiekben összeegyeztethessem a mért értékekkel. A felhőzet miatti hőnyereség csökkenése jól látszik már az első mérési szakaszban is, amikor az április 3-i csúcs után 4-én egy hirtelen csökkenés tapasztalható az aznapi esős idő miatt. Ez a jelenség az okozója az **f**-fel jelölt harmadik mérési időszak során kapott eredmények furcsaságainak és a látványos hirtelen visszaesésnek a **d**-vel jelölt második mérési időszak közepén, így ezeket az értékeket érdemben nem tudtam hasznosítani.

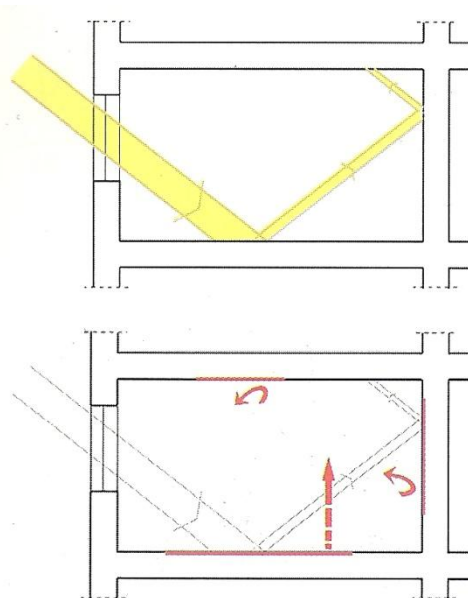
Az 5. ábrán látható tükyszerűen kiugró értékeket általában váratlan események okozták. Mivel a DEM egy mindenki számára látogatható demonstrációs és kutatóépület, a mérési időszakban sajnos voltak esetek, hogy nyitva maradhatott a kutatószoba külső vagy belső térbe nyíló ajtaja, így hirtelen lehűlést okozva a belső térben, ám ezek az esetek szerencsére ritkán fordultak elő, és a nyílások bezárása után gyorsan vissza tudta nyerni a belső hőmérséklet a kívánt értéket.

3.2. Az üvegházhatás

Mint a vizsgálni kívánt folyamatok fő mozgatórugója, az üvegházhatás értelmezése úgy gondolom fontos alapkőve a dolgozatnak.

„Ha egy áteresztő (transzparens) szerkezetet napsugárzás ér, a sugárzás egy része a szerkezet mögötti helyiségbe érkezik. A helyiségbe jutó hányad valamelyik belső határoló-szerkezet vagy a bútorzat felületére esik, ahol egy része elnyelődik..., másik része pedig visszaverődik. A visszavert hányad ismét belső felületnek ütközik, könnyen belátható, hogy két-három visszaverődés után a helyiségbe bejutó sugárzás gyakorlatilag teljes mértékben elnyelődik.” ([1.]

Prof. Zöld András: Energiatudatos építészet)



8. ábra: Üvegházhatás (forrás [1.])

A napsugárzást elnyelt épületszerkezet vagy tárgy belső energiája, hőmérséklete megnő, melyet az alacsonyabb hőmérsékletű környezetének igyekszik egyből leadni. A hőleadás egyik jelentős módja a sugárzásos hőleadás. A hőhullámuk az infravörös hullámhosszúságú kategóriába esnek ($3-5\ \mu\text{m}$), amely tartományra az ablaküvegek átlátszatlanok. Így a napsugárzás által a zárt térbe bejutó hőenergia csak hőátbocsátás útján képes távozni a határolószerkezeteken keresztül.

4. A számítási modell felállítása

4.1. Elméleti alapok

Egy helyiséget tekinthetünk egy hőtároló tömeggel rendelkező egységnek, melybe a befolyó áram a szoláris energia, a kifolyó áram pedig a helyiség hőmérsékletének és a külső hőmérsékletnek a különbségével arányos. Ekkor a rendszer leírható egy *kapacitáscsökkentő*, vagy más néven *egy tárolós arányos dinamikus állapotfüggvényként*.

A dinamikus állapotfüggvény egy olyan differenciálegyenlet, amely leírja az egység kimenetén jelentkező áramvektor időfüggvényének meghatározását, ha ismerjük a bemenő áramvektor időfüggvényeit és kezdeti állapotát. Két különböző alaptípust különböztetjük meg. Az első a tiszta integráló jellegű függvények, melyekben a bemenő és kimenő áramok időfüggvényei egymástól teljesen függetlenek és tiszta integrálással nyerhetők. A második esetben a kilépő áram arányos a tároló töltöttségi állapotát jellemző intenzív mennyiséggel, ezeket kapacitáscsökkentő egységeknek nevezzük. Kanonikus alakja:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{1}{C} \phi_b(t) - \frac{k}{C} v$$

ahol: v – a vizsgált intenzív jellemző, t – idő, C – kapacitástényező, $\phi_b(t)$ – a bemenő áram időfüggvénye, k – veszteségtényező.

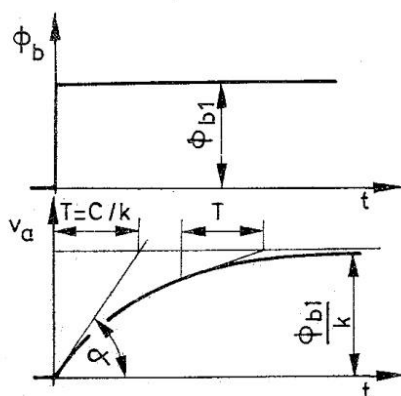
Bal oldalán szerepel a kimenő áram, vagy az elemi egység valamely, a kimenő áram által egyértelműen meghatározott intenzív jellemzőjének (pl. hőmérséklet) idő szerinti első deriváltja, a jobb oldalon pedig a bemenő illetve kimenő áramok időfüggvényei, a bemenő áram kiinduló stacionárius állapotban érvényes értékei helyezkednek el. A függvény integrált és átalakított függvénye:

$$v(t) = \frac{\phi_{b1}}{k} (1 - e^{-\frac{k}{C}t})$$

A függvényről könnyen megállapítható hogy $t = \infty$ időpillanatban $v = \frac{\phi_{b1}}{k}$, azaz belátható hogy egy exponenciális görbe mentén közeledik egy állandósult értékhez, melyet

csak késleltetve ér el. A kimenő jellemző állandósult állapotban arányos a bemenő árammal. E tulajdonsága miatt is nevezik egytárolós arányos egységeknek.

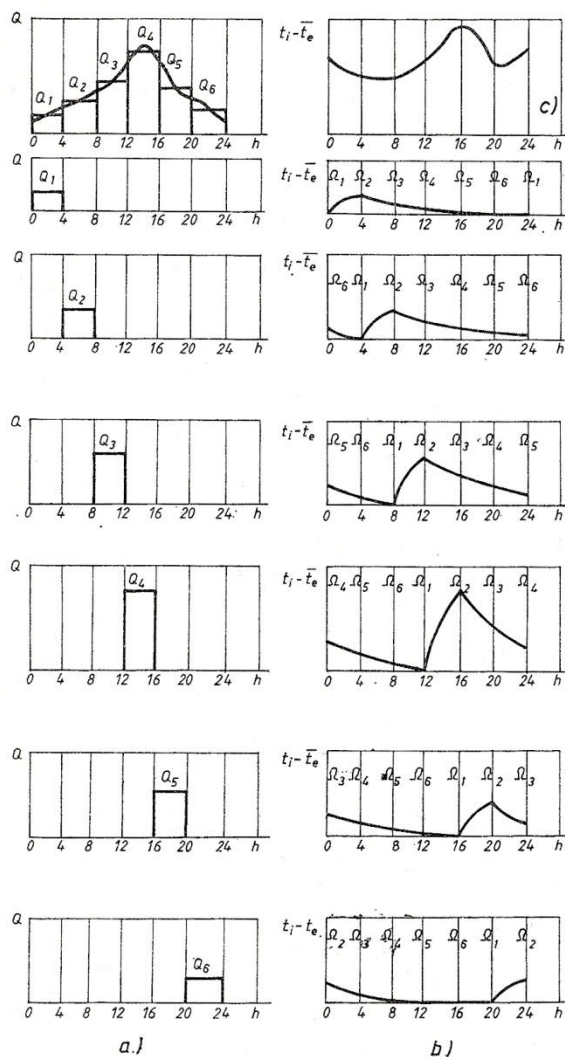
A késleltetés mértékére a T időállandó jellemző. A T időállandó értéke azt az időt jelenti, ami alatt a v jellemző a legnagyobb kezdeti változási sebességgel új, állandósult értékét eléri. Az időállandó egyenesen arányos a C kapacitástényezővel.



9. ábra: Átmeneti függvény (forrás: [2.])

„Az időállandó esetünkben független attól a kezdeti állandósult állapottól is, ahonnan a változás megindult. Az ábra szerint közömbös hogy a görbe melyik pontjában húzunk érintőt, mert az az új állandósult állapotnak megfelelő kimenőjel vonalából mindig ugyanazt a T értéket metszi ki. E tulajdonsága alapján az elemi egység lineáris.” ([2.] Dr. Szabó Imre: Gépészeti rendszertechnika)

A mi esetünkben a bemenő jel az ablakon bejutó napsugárzás intenzitása, viszont a bemenő jel időben változó, hiszen reggel mikor felkel a nap nem olyan szögben, és nem akkora intenzitással éri az üvegfelületeket a napsugárzás, mint mondjuk délben. Nagyon fontos kijelentés az, hogy lineáris az átviteli tag, vagyis bármely rendszer modellje előállítható az egységek soros vagy párhuzamos kapcsolásával és érvényes a szuperpozíció tétele. Ez a mi esetünkben azt jelenti, hogy az egymás utáni, azonos időpontra eső sugárzásintervallumok hatásának részértékei összeadhatók.

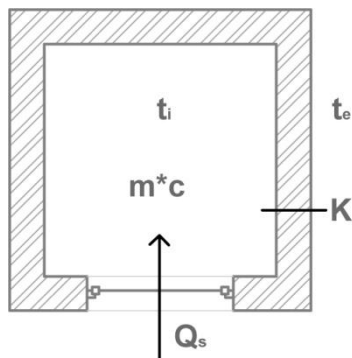


10. ábra: Pulzáló hőterhelésre bontás ábrázolása (forrás: [5].)

Az alábbi 10. ábra szemlélteti a pulzáló hőterhelésekből eredő tényleges hatást. A képen látható betűkkel jelzett szakaszok jelentése a következő: **a**, az eredő hatás (a bemenő-jel) felbontása pulzáló hőterhelésekre; **b**, az egyes pulzáló hőterhelések okozta túlhőmérséklet meghatározása; **c**, az azonos időpontra eső túlhőmérsékletek összegzése.

4.2. A kutatószoza modellje

Tételezzük fel, hogy létezik egy elemi térfogatú levegővel teli belső tér, melyen a 11. ábra mintájára elhelyezünk egy üvegfelületű nyílászárót.



11. ábra: Ideális számítási szobamodell

A belső léghőmérséklet t_i [$^{\circ}\text{C}$], a külső hőmérséklet t_e [$^{\circ}\text{C}$], amit jelen esetben állandónak tekintünk. Az épületben a belső hőtároló kapacitása: $m \cdot c$ [kJ/K], ebbe beletartozik a falak belső oldala a hatályos előírások szerinti vastagságig. Az elemi helyiség hővesztésteényezője: K [kJ/K]. Ez a helyiséget határoló épületszerkezetek hőátbocsátási tényezőiből képezhető érték. A helyiségbe beérkező hőteljesítmény értéke: Q_s , időben változó bemeneti jel.

A vizsgált jellemző a mi esetünkben a hőmérsékletkülönbség, melyet ezentúl φ -val jelölök, τ pedig az éppen vizsgált időintervallum. Adott időpillanatban a hőmérsékletkülönbség:

$$\varphi_i(\tau) = t_i(\tau) - t_e$$

Amennyiben a kilépő hőáram arányos a vizsgált φ_i jellemzővel:

$$\frac{d\varphi_i}{d\tau} = \frac{1}{mc} \dot{Q}_{sd} - \frac{K}{mc} \varphi_i(\tau)$$

Szétválasztva a változókat:

$$\frac{d\varphi_i}{\frac{1}{mc}\dot{Q}_{sd} - \frac{K}{mc}\varphi_i(\tau)} = d\tau$$

Integrálva:

$$-\frac{mc}{K} \ln \left(\frac{1}{mc}\dot{Q}_{sd} - \frac{K}{mc}\varphi_i \right) = \tau + x_1$$

Átalakítva:

$$\frac{1}{mc}\dot{Q}_{sd} - \frac{K}{mc}\varphi_i = x_2 e^{-\frac{K}{mc}\tau}$$

Az integrációs állandó meghatározása $\tau = 0$, $\varphi_i = \varphi_{i0}$, $\dot{Q}_{sd} = Q_{sd1}$ feltételek értelmében:

$$x_2 = \frac{1}{mc}Q_{sd1} - \frac{K}{mc}\varphi_{i0}$$

Behelyettesítve:

$$\frac{1}{mc}\dot{Q}_{sd1} - \frac{K}{mc}\varphi_{i1} = \left(\frac{1}{mc}Q_{sd1} - \frac{K}{mc}\varphi_{i0} \right) e^{-\frac{K}{mc}\tau}$$

A φ_i változó időfüggvénye:

$$\varphi_{i1} = \frac{Q_{sd1}}{K} - \left(\frac{Q_{sd1}}{K} - \varphi_{i0} \right) e^{-\frac{K}{mc}\tau}$$

Átrendezve:

$$\varphi_{i1} = \frac{Q_{sd1}}{K} \left(1 - e^{-\frac{K}{mc}\tau} \right) + \varphi_{i0} e^{-\frac{K}{mc}\tau}$$

Ennek a képletnek a segítségével kiszámíthatjuk az időben változó napsugárzás okozta felmelegedés mértékét a belső térben, emellett tartalmazza az előző vizsgált időperiódusban leadott energia válaszreakciójának pillanatnyi állását is, azaz a φ_{i0} tényezőt.

4.3. Az összefüggés elemeinek értelmezése

4.3.1. A napsugárzásból származó energia - Q_{s1}

A helyiségbe bejutó napsugárzásból származtatható energiamennyiség pontos értéke sok különböző tényezőtől függ. Ebben a részben összefoglalom a számításaimban felhasznált módosító tényezőket, melyek hatással lehetnek egy függőleges üvegfelületen átjutó napsugárzás mennyiségére.

4.3.1.1. A napsugárzás átlagos erőssége

A Napból érkező elektromágneses sugárzás terjedéséhez nincs szükség közvetítő közegre, anyagi részecskéknek ütközve viszont hőenergiává alakul át. A Napból származó, Földünk felé haladó energia mennyisége időben viszonylag állandónak tekinthető: 1366 W/m^2 . A légkörbe érkezve a sugárzás szóródik, visszaverődik, elnyelődik. A Földfelszínig eljutó napsugárzás veszteséget szenved, gyengül. A Napból érkező sugárzásnak sajátos hullámhossz szerinti elosztása van, ez a spektrális sugárzás. A légkörünkön áthaladó sugárzásnak ez a spektrális összetétele is változik.

Meteorológiai sugárzástani paraméterek:

Spektrum szerint: Irány szerint:	Rövidhullám ($\lambda < 3.5 \mu\text{m}$) PIRANOMÉTER	Hosszúhullám ($\lambda > 10 \mu\text{m}$) PIRGEOMÉTER	Teljes sugárzás PIRRADIOMÉTER
↓ haladó	1. Globális sugárzás 2. Diffúz sugárzás 3. Direkt sugárzás	6. Légköri vissza-sugárzás	9. Teljes lefelé haladó sugárzási áramsűrűség
↑ haladó	4. Visszavert sugárzás	7. Felszíni kisugárzás	10. Teljes felfelé haladó sugárzási áramsűrűség
Egyenleg	5. R.hullámú sugárzási egyenleg	8. H.hullámú sugárzási egyenleg	11. Teljes sugárzási egyenleg

12. ábra: Sugárzástani paraméterek (forrás: [8.])

A sugárzás erőssége jellemezhető azzal a hőmennyiséggel, amely akkor keletkezik, ha a sugárzást egy tökéletesen abszorbeáló testtel elnyeletjük. A sugárzás mértéke az a hőmennyiség, amely a sugárzás irányára merőlegesen állított egységnyi felületen egységnyi idő alatt keletkezik, ha a ráeső sugárzást teljesen elnyelne. Mértékegysége W/m^2 .

A globális sugárzás mennyiségét, mely számításaimban magába foglalja a direkt (közvetlen) és diffúz (szórt) sugárzást, a földrajzi szélesség és a borultság mértéke határozza meg. Az eredmények pontos értékeinek meghatározásához szükségem volt a debreceni földrajzi szélességre eső sugárzásmennyiségekre.

A napsugárzás mértékét sajnos nem tudtam magam lemérni az ehhez szükséges műszerek hiányában, ezért a szükséges adatokhoz az europa.eu, Fotovulkanikus Földrajzi Információs Rendszerében jutottam hozzá. Az itt található adatbázisban nemcsak a napelemes rendszerekre használható, várható energiatermelési értékeket lehet kinyerni, hanem a különböző tájolású, egységnyi függőleges felületre (a mi esetünkben az ablakfelületre) jutó globális, direkt és diffúz sugárzási mennyiséget is. A 13. ábrán található értékek ellenőrzésében felhasználtam Dr. Gyurcsovics Lajos könyvét [4.].

Time	G	G _d	G _e	DNI	DNI _e
05:37	17	14	12	0	0
05:52	24	20	17	0	0
06:07	31	25	22	0	0
06:22	37	31	27	0	0
06:37	61	49	48	237	407
06:52	86	58	81	267	459
07:07	113	68	118	294	505
07:22	141	77	158	317	545
07:37	170	86	200	338	581
07:52	199	95	242	357	613
08:07	229	102	285	373	641
08:22	257	110	328	388	666
08:37	285	116	370	401	688
08:52	311	122	410	412	708
09:07	336	127	448	422	726

14. ábra: Europa.eu weboldaltól kinyerhető adatok, részlet (forrás: [9.])

Április hónap					
Óra	É	K	D	Ny	vízintés
6	51	611	41	41	185
7	76	686	194	76	332
8	107	656	341	107	461
9	132	578	482	132	581
10	150	452	584	150	669
11	160	256	664	160	749
12	160	160	649	263	738
13	150	150	609	457	697
14	132	132	512	618	618
15	107	107	338	650	451
16	76	76	180	610	288
17	41	41	41	418	131
18	12	12	12	209	23

13. ábra: Szakirodalomban leírt sugárzásértékek (forrás: [4.])

A 14. ábrán látható negyedóránként feltüntetett hőteljesítmény-adatok rendkívül hasznosak, így napfelkeltétől napnyugtáig a kiértékelés során képes lehettem 15 percenkénti állandó változással meghatározni a kutatóhelyiségekbe bejutó energiamennyiséget. Ezen értékeket a későbbi számításokban I -vel [W/m^2] jelölöm.

Az itt feltüntetett értékek tiszta levegőjű, vidéki mérőhelyeken lettek rögzítve, viszont Debrecen egy poros, nagyvárosi környezet. Ebből fakadóan számításaimban Dr. Fekete Iván könyvében szereplő [5.], a nagyvárosokra jellemző 0,2-es rontótényezővel is számoltam.

4.3.1.2. A szoláris idő

„A nappályadiagramon és általában az összes Nappal kapcsolatos számításban az ún. szoláris időt használjuk. Eszerint déli 12 óra akkor van, amikor a Nap az adott földrajzi hely hosszúsági körén áthalad.” ([3.] Prof. Zöld András: Az új épületenergetikai szabályozás)

A szoláris idő hazánkban nem egyezik meg a helyi idővel. A 9. ábrán látható értékek szoláris időben vannak megadva. Emellett 2014-ben a nyári időszámítás kezdete éppen március 30-ra esett, amikor a helyi időt 1 órával előrebb állítottuk.

Ahhoz, hogy Debrecen városában a helyi időt megkapjuk, figyelembe kell vennünk a Greenwich-en átmenő 0°-os földrajzi hosszúságtól való távolságunkból származó egy órás, és a nyári időszámításból adódó egy órás eltérést és a szoláris időt, mely az adatbázisban a greenwichi időhöz képest meg volt adva (-1:26 to GMT + 2:00 to CEST). Azaz a táblázatban feltüntetett időpontokhoz 34 percet kell hozzáadnunk, hogy megkapjuk a helyi időt.

4.3.1.3. A nyílászáró üvegezett felületének jellemzőiből származtatható eltérések

A nyílászáró üvegezésének típusa és az üvegezésre vetülő fénysugarak beesési szöge bizonyos mértékben megváltoztathatják a belső térbe jutó napsugarak energiataralmát.

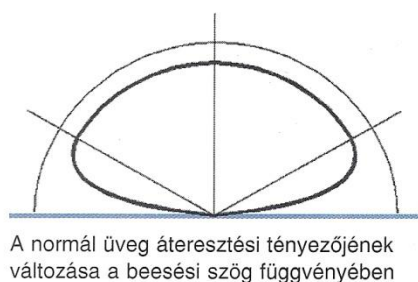
$$Q_s = A_{\text{ü}} g_{\text{ü}} I$$

A belső térbe bejutott sugárzás intenzitása (Q_s , [W]) egyenlő a nyílászáró üvegezett felületének területének ($A_{\text{ü}}$, [m^2]), az egységnyi függőleges felületre jutó napsugárzás (I , [W/m^2]) és a sugárzásátbocsátási tényező szorzatával. Az összesített sugárzásátbocsátási tényező ($g_{\text{ü}}$) a nyílászáró üvegezésére vonatkozó érték, mely megmondja, hogy az üvegszerkezetre érkező energia hanyadrésze képes áthatolni a transzparens rétegeken. Minél vastagabb az üveg, minél több rétegből áll az üvegszerkezet, annál kisebb napsugárzás juthat át a nyílászáró üvegfelületén. A függ az üvegezés transzmissziós tényezőjétől.

Az üvegezés	τ_{t}
Közönséges táblaüveg	
egyrétegű	0,9
kétrétegű	0,8
Mintás, homályos, drótüveg	0,6
Üveges testű üvegbeton blokkok	0,6

15. ábra: Pár üvegfelület transzparenciális tényezője
(forrás:[5.]

„Az áteresztési tényező a beesési szög függvénye. A sík normálisa körüli mindegy 60°-os kúpszögön belül gyakorlatilag állandó, azon kívül rohamosan csökken.” ([1.] Prof. Zöld András: Energiatudatos építészet)

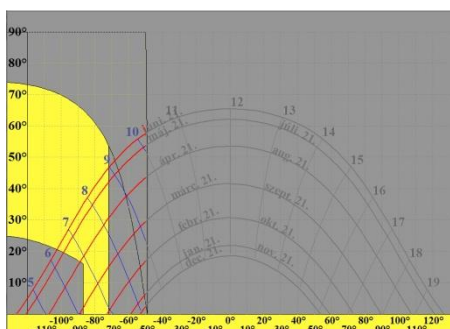


16. ábra: Beesési szög redukciós tényezője (forrás:[1.])

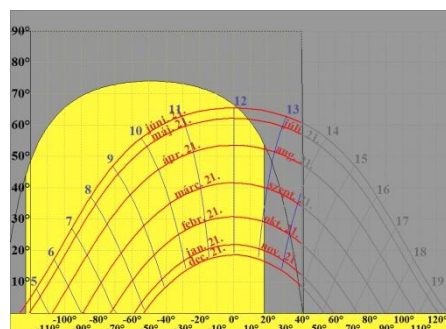
A DEM kutatósobáin található nyílászárók Gealan 9000 típusú műanyag keretezésű, 3-rétegű üvegezésű, magas hőszigetelő értékű modellek. A háromrétegű, hőszigetelő üvegezésű szerkezetek g_u értéke 0,5, a későbbi számításokban ezt alkalmaztam és figyelembe vettem 60° -nál nagyobb beesési szögek esetén fellépő redukálhatást is.

4.3.1.4. Benapozás

Az épületek benapozását különböző akadályok befolyásolják, mint például az épület saját tagozatai, árnyékvetői, a környező beépítés, a terepalakulatok, és a növényzet. Ezek figyelembevétele a napenergia-hozamszámításokban döntő fontossággal bír, ezért az árnyékmásk elkészítése elengedhetetlen a pontos értékek kiszámításában.



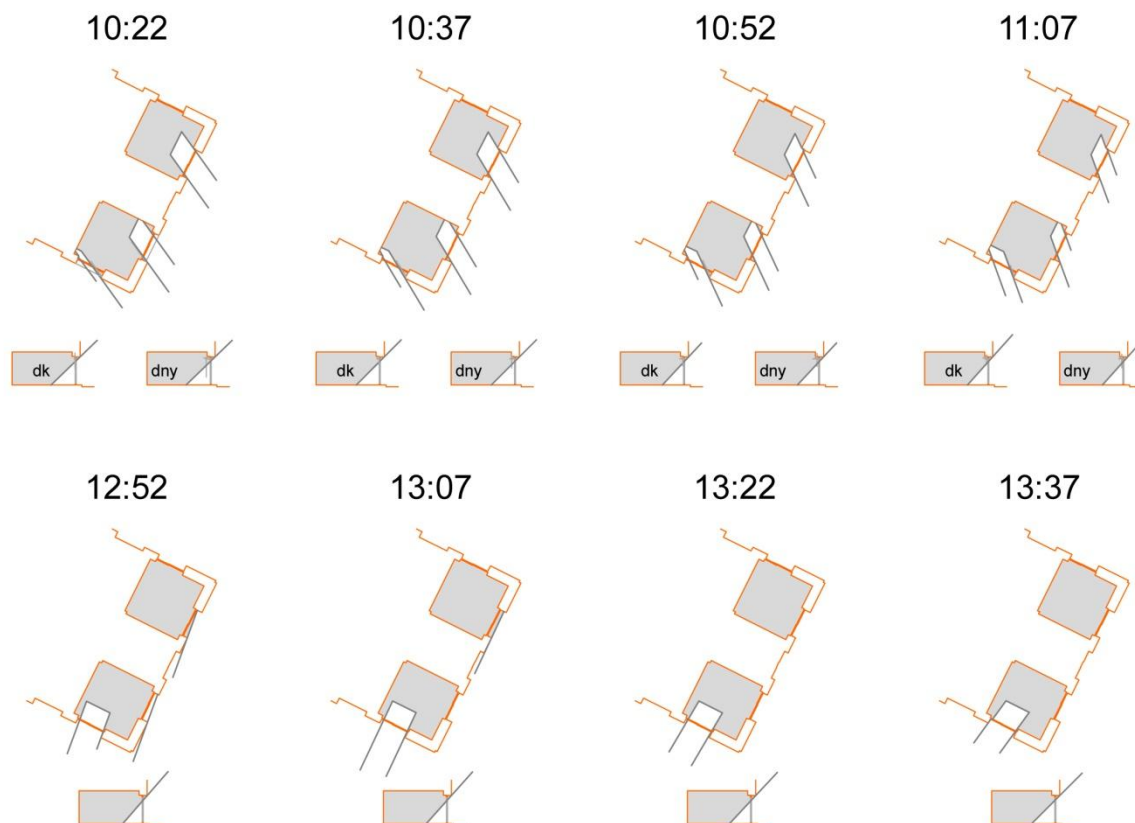
18. ábra: Árnyékmásk észak-keleti ablak, 1. kutatószoba



17. ábra: Árnyékmásk dél-keleti ablak, 3. kutatószoba

Ablakonként elkészítve az árnyékmáskokat megbizonyosodhattam arról, hogy nem-e árnyékolnak a környező épületek, azonban az árnyékmásk elkészítéséhez szükséges volt meghatározni még pontosabban a kijelölt időintervallumonkénti változásokat a környező épületszerkezeti elemek (árnyékoló zsalu vastagsága a nyílászáró mellett,

szemöldök kiugrása) árnyékolóhatásában, ezért ArchiCAD programmal kiszerkesztettem a nyílászárók falba bemélyedéséből származó leárnyékolt területek változását negyedóránkénti intervallumokban.



19. ábra: Bejutó napsugárzás szerkesztése, részlet

Fontosnak tartom leszögezni, hogy a jelenleg a DEM mellett álló szuperszámítógép-központ építési munkálatai az első mérési szakaszban még nem tartottak abban a stádiumban, hogy maga az épület ráárnyékoljon a kutatószobákra, így annak jelenlegi árnyékolóhatását nem vettem figyelembe. A második időszakban mért értékek különbözősége viszont visszavezethető a szakasz 3. és 4. napján a szomszédos épületre ráépített zsaluzat árnyékolóhatására. Ez a 20. és a 26. ábrán jól látható.



20. ábra: A szomszédos épület árnyékolóhatása

4.3.2. A helyiség hővesztéstényezője - K

A vizsgálni kívánt helyiség hővesztéstényezője (K , [W/K]) egy a fűtési hőszükségletből ($Q_{\text{helyiség}}$, [W]) származtatható érték, a helyiség határolószervein egységnyi hőmérsékletkülönbség hatására kialakuló hőáram.

$$K = \frac{Q_{\text{helyiség}}}{(t_i - t_e)}$$

Természetesen amennyiben a külső és belső hőmérséklet különbsége nem 1 fok, a helyiség hővesztéstényezője az alábbi összefüggés alapján kiszámítható.

„Egy épület vesztéstényezőjét (K) a következő egyenlet alapján számíthatjuk:

$$K = \sum A_f U_f + \sum A_o U_o + \sum A_t U_t + \sum l \psi_l + \rho c n V''$$

([6.] Dr. Kalmár Ferenc: Energiafelhasználás csökkentése lakóépületekben)

Az egyenletben lévő tagok értelmezése: A_f - a külső fal felülete [m^2], U_f - a külső fal hőátbocsátási tényezője [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$], A_o - opaque felületek (külön-külön, pl. padló, zárófödém, padlásfödém, stb., kivéve a külső fal) [m^2], U_o - opaque felületek hőátbocsátási tényezője [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]. A_t - transzparens felület [m^2], U_t - transzparens felületek hőátbocsátási tényezője [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$], l - hőhidak, csatlakozási élek hossza [m], ψ_l -

vonalminti hőátbocsátási tényező $[W/mK]$. ρ - a levegő sűrűsége $[kg/m^3]$, c - a levegő fajhője $[J/kgK]$, n - a helyiség légcsereszám $[1/h]$, V - a helyiség térfogata $[m^3]$.

A külső határolószervezetek hőátbocsátási tényezőjének a kiszámításához szükséges tervdokumentációk megszerzésében az épületet kivitelező cég segítségét kértem. A kikért dokumentációk és Dr. Kalmár Ferenc könyve [6.] útmutatásai alapján el tudtam készíteni a fent felsorolt épületszerkezetekre, hőhidakra és szellőztetés általi többletfűtésre vonatkozó számításokat. Figyelembe vettem az MSZ 04-140/2:1991 szabványban leírt hővezetésekre vonatkozó korrekciós tényezőket, a légrétegek hőszigetelő rétegeire vonatkozó szabályokat és a tervektől eltérő, a valóságban beépített épületszerkezetek tulajdonságait.

Érdemes ezen felül megemlíteni, hogy a kutatás egész ideje alatt zárva tartottuk a kutatószobák ajtaját, a külső nyílászárók átlagos szélesség mellett pedig teljesen légzárónak tekinthetők. Viszont a légcsereszámot $0,2 \text{ 1/h}$ értékben határoztam meg, az esetenkénti manuális hőmennyiség-leolvasások időpontjában történő ajtónyitogatások, és az alkalmankénti érdeklődők látogatása alkalmával nyitva maradt ajtók miatt, emellett a belső ajtók sem tekinthetők teljesen légzárónak.

A légcseréből származó hőveszteség számításánál a közös tér és a kutatószobák levegőjének hőmérséklete közötti különbséget vettem figyelembe.

4.3.3. A belső hőtároló tömeg – $m \cdot c$

A hagyományos épületenergetikai számításokban használatos hőtároló tömeg fogalma *Az új épületenergetikai szabályozás szerint [3.] a következő:*

„Az épület fajlagos hőtároló tömegének számítását az EN ISO 13790 szerint kell végezni. Az épület hőtároló tömege az épület belső levegőjével közvetlenül kapcsolatban lévő határolószervezetek hőtároló tömegének az összege:

$$M = \sum_j \sum_i \rho_{ij} d_{ij} A_j$$

(ahol: ρ_{ij} - a szerkezeti réteg sűrűsége $[kg/m^3]$, d_{ij} - a szerkezeti réteg vastagsága $[m]$, A_j - a számítandó épületszerkezet belső levegővel érintkező felülete $[m^2]$)

Az összegzést minden szerkezet minden rétegére el kell végezni a legnagyobb figyelembe vehető vastagságig, mely a belső felülettől mérve 10 cm, vagy a belső felület és az első hőszigetelő réteg, vagy a belső felület és az épületszerkezet középvonalának távolsága, attól függően, hogy melyik a legkisebb érték.” ([3.] Prof. Zöld András: Az új épületenergetikai szabályozás)

Fontos megemlítenem, hogy a kutatószobák felső lehatárolását képező álmennyezet feletti hőtároló tömegeket nem számoltam bele a kutatószoba hőtároló tömegébe, viszont a padlócsatornát határoló 5 cm-es betonaljzatot igen.

A későbbi számítások elvégzése során az ezen elvek alapján kiszámított hőtároló tömeget helyettesítettem be.

4.3.4. A számítások induló hőmérsékletkülönbség-értéke - φ_{i0}

A 4.2. pontban szereplő összefüggésben a kezdeti hőmérsékletkülönbség, az árnyékolópanelek elhúzása előtt állandósult belső hőmérséklet (a levegő átlaghőmérséklete, $t_{i0} = 22,56^\circ\text{C}$) és az árnyékoló elhúzásának napján mért külső hőmérséklet átlagának ($t_{e0} = 12,03^\circ\text{C}$) a különbsége.

$$\varphi_{i0} = t_{i0} - t_{e0}$$

Az így meghatározott értéket kell behelyettesíteni az első (n-edik) 15 perces szakasz kiszámításához. A következő ((n+1)-edik) szakasz hőmérsékletkülönbség számításához viszont már nem ugyanazt a képletet alkalmazzuk, hanem az előző (n-edik) szakaszban meghatározott értéket:

$$\varphi_{n+1} = \frac{Q_{sd1}}{K} \left(1 - e^{-\frac{K}{mc}\tau} \right) + \varphi_n e^{-\frac{K}{mc}\tau}$$

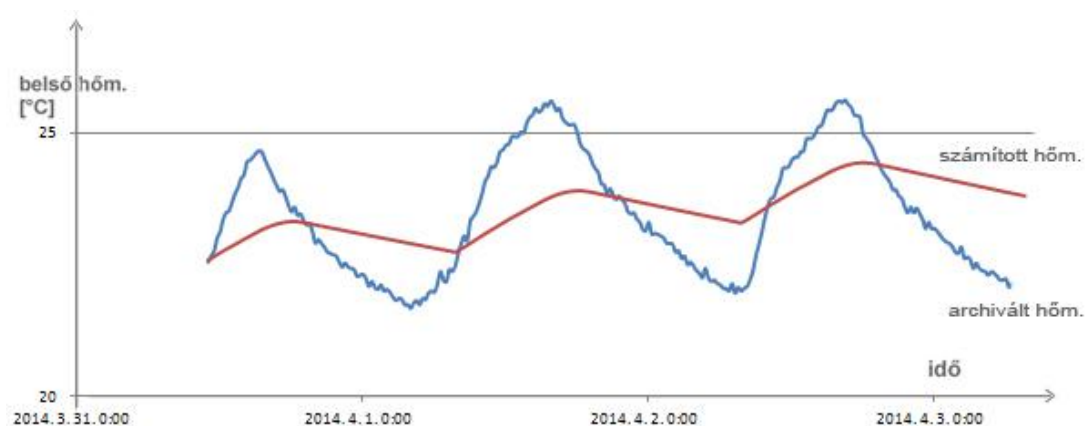
A külső hőmérsékletet a számításokban napi szinten állandónak tekintjük.

5. Számítási eredmények

5.1. 3. kutatószoba

A mért értékeket és a számítási metódusokat Microsoft Excel programban helyettesítettem be. Az egyszerűség kedvéért az első három napot vizsgáltam az első mérési szakaszon belül, mert akkor teljesen tiszta volt az ég és nem kell kellett számolnom a felhőzet sugárzást csökkentő hatásával.

Az értékek ábrázolásával a következő diagramot kaptam:



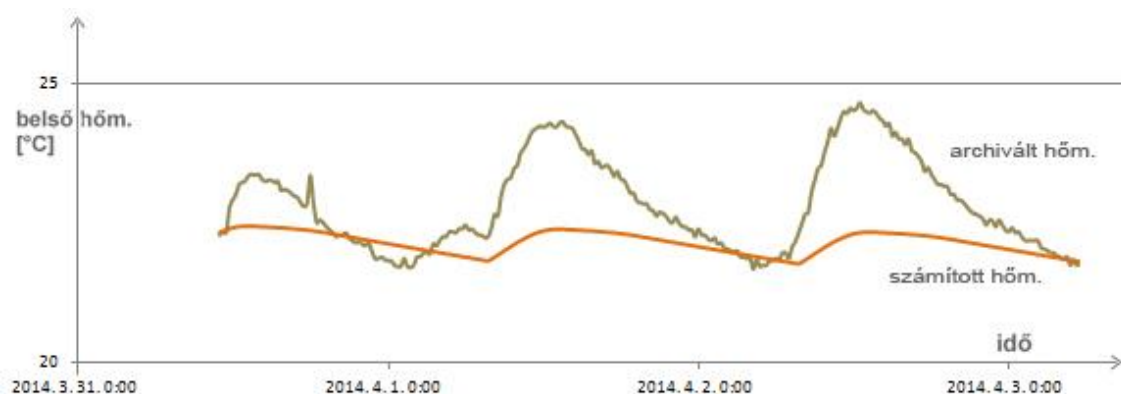
21. ábra: Az első mérési szakasz első három napjáról készült diagram, 3. kutatószoba

A 21. ábrán kék színnel jelöltem a központi rendszerben lejegyzett hőmérsékletértékeit a 3. kutatószobának, pirossal pedig a számítások eredményének és az aznapi külső átlaghőmérsékletnek az összegét. A diagramon ábrázolt mért értékeken jól látszódik, hogy március 31-én délután erősen megnövekedett a felhőzet, ezért hamarabb le is hűlt a szoba, mint az azt követő napokon. Az is látható, hogy az árnyékolók reggeli kihúzása után rohamosan elkezd megnőni a belső hőmérséklet.

Azonban az ábráról könnyen leolvasható az is, hogy a számított és a mért eredmények közel sem fedik egymást.

5.2. 1. kutatószoba

A számítási módszert lefuttatva az 1. kutatószobára számított értékekre a következő diagramot kaptam:



22. ábra: Az első mérési szakasz első három napjáról készült diagram, 1. kutatószoba

A 22. ábrán zöld színnel jelöltem az 1. kutatószobában mért hőmérsékletértékeket március 31-től április 4-ig, narancssal pedig a számítási eljárás eredményeként kapott hőmérsékletérték és a napi átlaghőmérséklet összegét. A képen látható, hogy a 3. kutatószobához képest kisebb felmelegedést mértünk, hiszen ennek a kutatóhelyiségnek csak egy észak-keleti és egy dél-keleti külső nyílászárója van. Március 31-én csak 11:00-kor húztuk el az árnyékolókat, így mire érdemben megnövekedhetett volna a belső hőmérséklet, már nem érkezhetett direkt sugárzás a dél-keleti nyílászárón keresztül. Az április elsején látható hőmérsékletemelkedés a fűtési rendszernek tudható be, viszont ezen az ábrán is jól látható a reggeli nyitás időpontjában fellépő hirtelen hőmérsékletemelkedés.

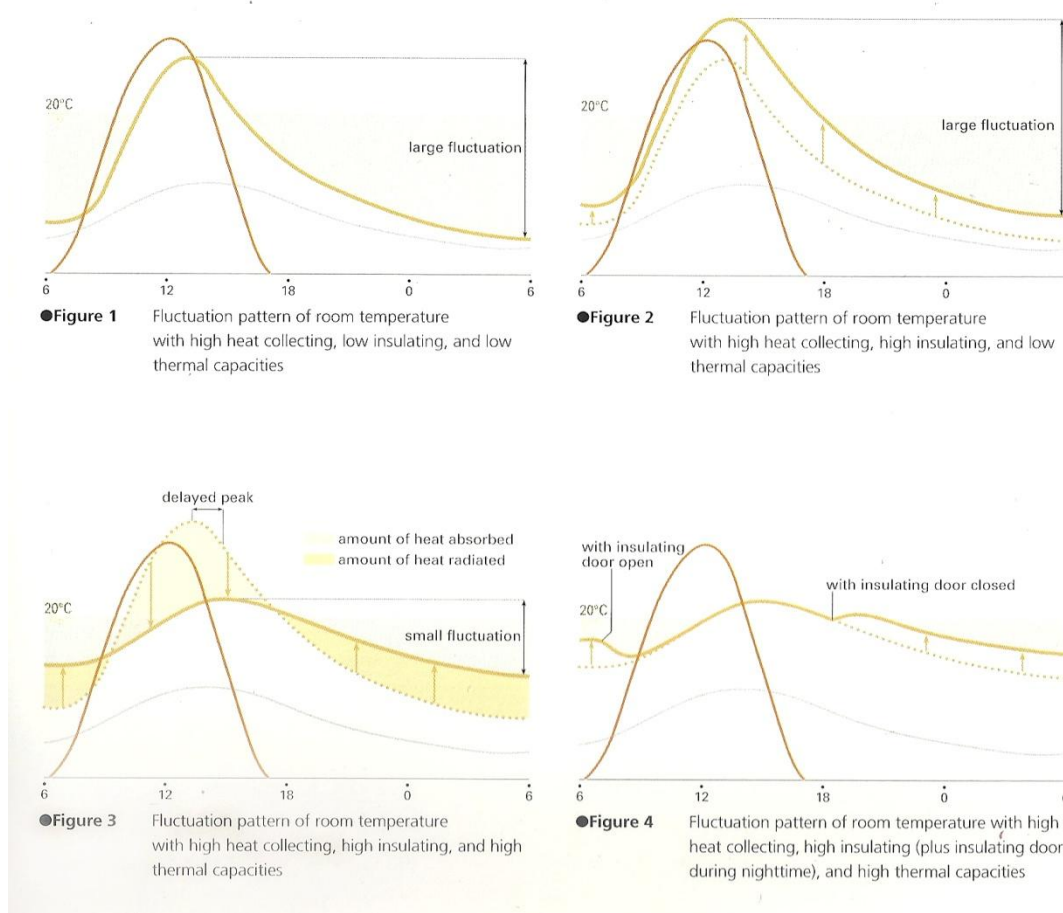
A 21. diagramhoz hasonlóan a mért és a számított értékek nem egyeznek. Az eltéréseknek számos oka lehet, pl. mérési pontatlanság, számítási hibák stb. Viszont az ellenőrzések során kiderült, hogy az eddigi számításaink, méréseink és felvetéseink pontosak voltak.

Az elkövetkezendő részben megpróbálok megoldást találni az eltérések okára.

6. Az számítási módszert javító metódusok

6.1. A hőtároló tömeg csökkentése

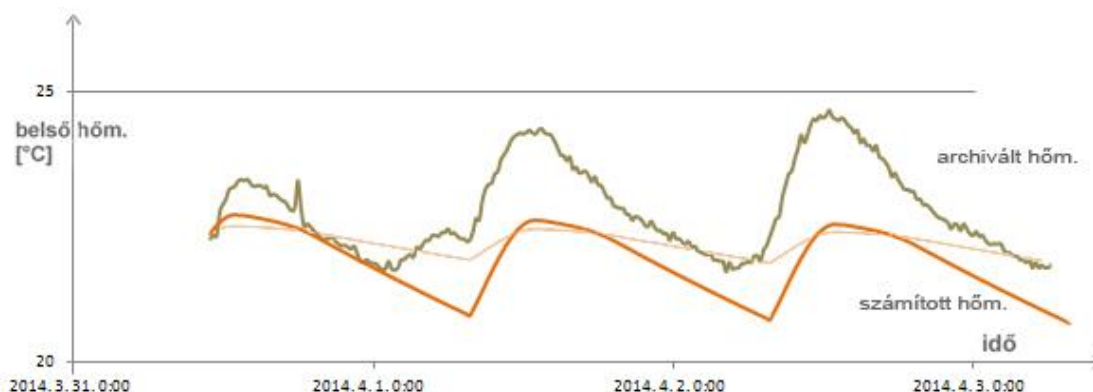
A hőtároló tömeg méretének rendkívül nagy szerepe van napenergiát tároló passzív rendszerekben. Ennek kutatásával például a japán OM Solar Association is sokat foglalkozik.



23. ábra: A hőtároló tömeg növelésének hatása (forrás:[7.])

A 23. ábrán a napsugárzásból érkező energiamennyiség okozta felmelegedés változását láthatjuk különböző épületszerkezetek megváltoztatása esetén. Az 1-es kép a kezdeti állapotot ábrázolja, ahol magas a napfényből származó energianyereség, alacsony a hőtároló tömeg és alacsony a hőszigetelő képesség. A 2. képen a megnövelt hőszigetelés, a 3. képen a megnövelt hőtároló tömeg, a 4. képen pedig az éjszakára behúzott hőszigetelő ajtók hatását láthatjuk.

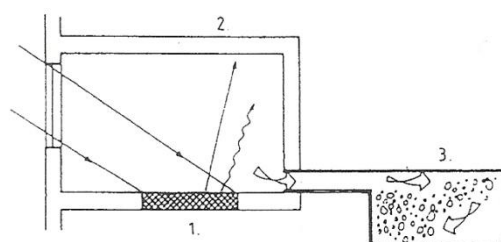
A 23. ábrán szemléltetett változtatásokból kiindulva feltettem magamban a kérdést: „Mi lenne, ha lecsökkenteném a hőtároló tömeget a számításban?” A változtatásaim pozitív eredményt mutattak: a belső hőmérséklet gyorsabb felfutását és lehülését eredményezte a számított értékekben.



24. ábra: A megváltoztatott hőtároló tömeg hatása az 1. kutatószobára végrehajtott számításokra

A 24. ábrán jól látható, hogy a számításban harmadára lecsökkent hőtároló tömeg pozitív hatással van a számítási módszerre. A Prof. Zöld András könyvében [1.] leírtak alapján van alapja a módosításnak.

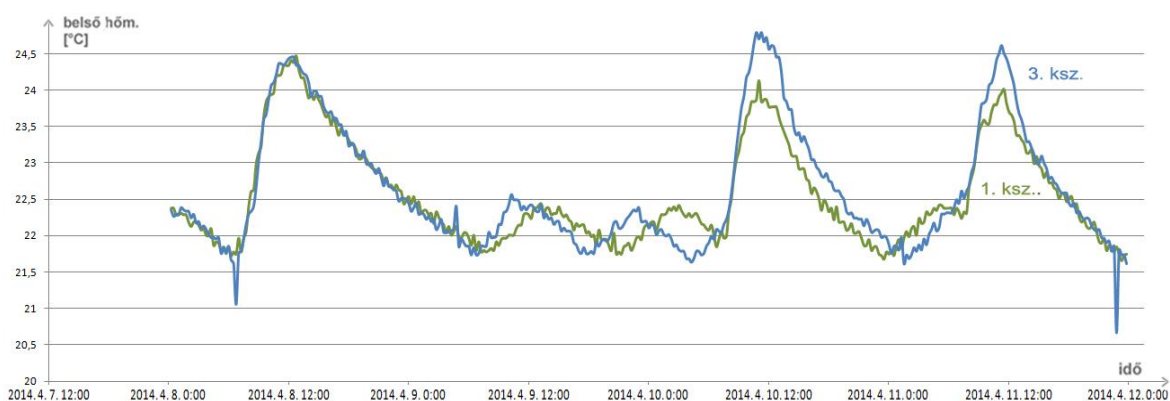
„A hőtároló tömegek szempontjából a legfontosabb azok a belső szerkezetek, amelyeket közvetlenül ér az üvegezésen bejutó direkt napsugárzás. Szokványos esetben ez a padló (de lehet fal is, különösen ha a tetőn (is) alkalmazunk bevilágítót) leginkább itt van szükség jó elnyelő-képességű, nehéz szerkezetekre és burkolatokra.... Sorrendben másodikként említendő azon szerkezetek hőtároló tömege, amelyeknek belső felületei az előző bekezdésben említett (közvetlenül besugárzott felületeket”látják”, azaz közöttük (hosszúhullámú infra tartományban) sugárzásos hőcsere jöhet létre” ([1.] Prof. Zöld András: Energiatudatos építészet)



Az elsődleges (1), másodlagos (2)
és „kihelyezett” hőtároló tömegek
értelmezéséhez

**25. ábra: A hőtároló tömegek fontossági beosztása
a direkt rendszerekben (forrás: [1.]**

A feltevést mi sem bizonyítja jobban, mint a második és harmadik kutatási intervallumban mért eredmények. Ennél a szakasznál mindkét vizsgált helyiségen csak a délkeleti nyílászárón érkezhettek sugárzásos nyereség, vagyis az azzal szemben álló lehőszigetelt válaszfalak másodlagos hőtároló tömegnek tekinthetők.



26. ábra: A második mérési szakasz első 4 napjáról készült diagram, 1. és 3. kutatószoba

A 26. ábrán látható, hogy a belső falak hőtároló tömegének kizárása korántsem adott olyan szembetűnő változást az első időszak mérési adataihoz képest, mint amire a kezdetekben számítottam. Az időszak első napján az 1. kutatószoba felmelegedése csak csekély mértékben volt eltérő a 3. szobában kimutatottakhoz képest. Vagyis a helyiség hőmérsékletének megemelkedésében döntő szerepet játszó hőtároló tömeg csak a padló lehet.

A 2. napon látható visszaesés oka az aznapi esős időjárás, a 3. és 4. napon látszó értékkülönbségek pedig a szomszédos építkezés árnyékolóhatásának tudhatók be.

Amennyiben figyelembe vesszük a Prof. Zöld András könyvében [1.] leírtakat, hogy a direkt sugárzást érő felületek hőtároló tömege és abszorpciós tényezője elsődleges fontosságú a direkt rendszerekben, beláthatjuk, hogy jelen esetben is a szürke, matt greslappal (magas abszorpciós tényezőjű felülettel) burkolt padló az a szerkezet, ami a napsugarakból származó energiát felfogja és konvekció útján a belső levegőnek átadja.

A sugárzásintenzitás kiszámításában használt szerkesztések (17. ábra) segítségével lemérhettem a padlónak azt az átlagos felületét, amely egy nap alatt hőtároló tömegként szolgálhat a napsugárzás direkt komponensének. Ez az érték a számítások szerint a padló teljes felületének negyede-ötöde. A hőtároló tömegek pontos meghatározásához pontos felülethőmérséklet mérésekre lett volna szükség, de ezt nem mértük a kísérletek során, így a valós hőtároló tömeg csökkenésének okát csak becsülni tudom, viszont e szerint a számításban harmadára lecsökkentett értéke a tömegnek helytállónak találom. Természetesen a diffúz sugárzáshoz tartozó hőtároló tömeg megmaradt a teljes számított értéknek, fallal és padlóval együtt.

A számított érték közelíti a mért értékeket, viszont még nem éri el optimális hibahatárt, így megoldást keresve tovább kutattam.

6.2. A számításból kapott érték újraértelmezése

A számítási módszerből megkapható érték az időben befolyó hőáram következtében kialakuló hőmérsékletkülönbség. Azonban a mért értékek nem egyeznek meg a számított értékekkel, hiszen a számításból kapható érték a hőtároló tömeg átlaghőmérsékletére vonatkozik, nem pedig a léghőmérsékletre. Ez a kettő a szoláris rendszerekben nappal nem egyezik meg egymással.

Prof. Zöld András leírja [1.], hogy a megfelelő hőtárolótömeg mennyiség elengedhetetlen a direkt rendszerekben.

„Nagyon fontos megjegyezni, hogy a sugárzási energia hasznosításának az elégséges hőtároló tömeg az alapfeltétele. Minimumként a magyar szabványban is szereplő ökölszabályból indulhatunk ki, amely szerint egy m²

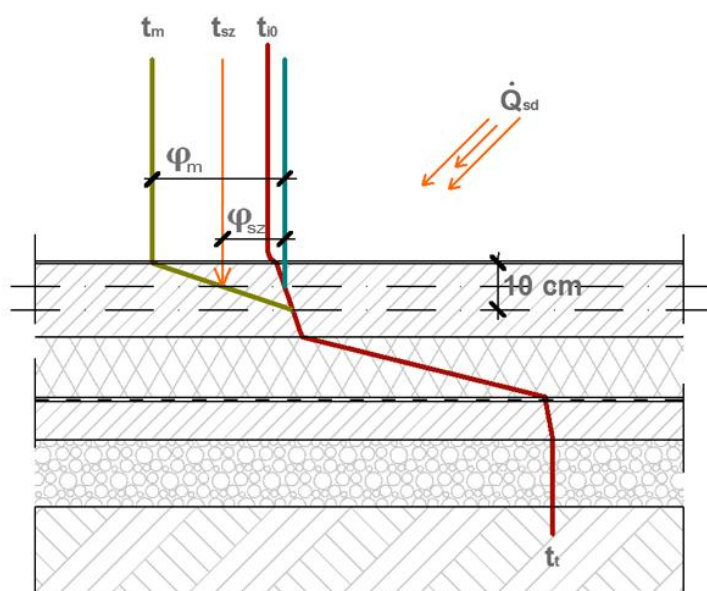
tökéletesen áteresztő nyílás mögött legalább 2000kg hőtároló tömegre van szükség.”

([1.] Prof. Zöld András: Energiatudatos építészet)

Ennek hiányban ugyanis a belső tér túlmelegedhet, ami a lakók komfortérzetének csökkenését válthatja ki.

A számításban lévő eltérés nem közvetlenül ebből az okból adódik, hanem ennek a gondolatmenetnek a folytatásából levezetett jelenségből.

A napfény a belső levegőt úgy melegíti fel, hogy a bejutó sugarakat elnyelő szerkezet felmelegedik, és aztán konvekció útján leadja a levegőnek az energiája egy részét. Mivel a levegő hőtároló tömege elhanyagolható, hőmérséklete csak néhány perces késéssel követi a belső burkolófelületek hőmérsékletét.



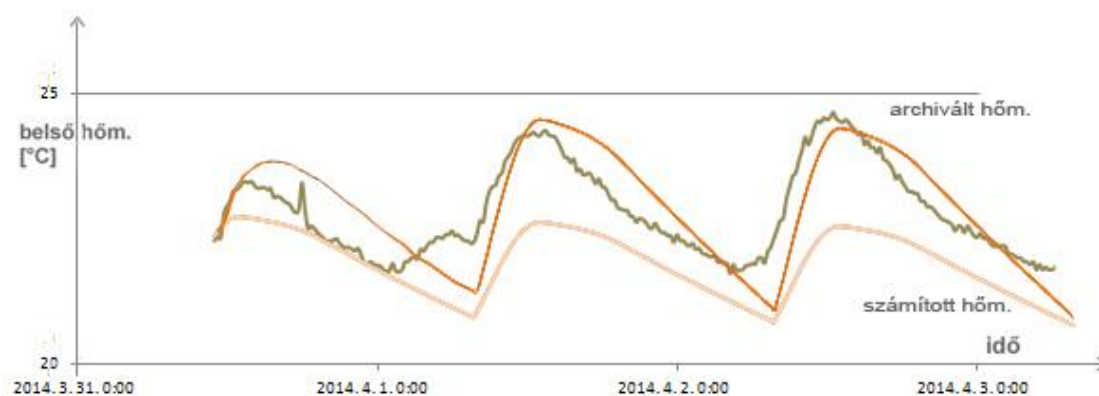
27. ábra: A hőátadás szemléltetése

A 27. ábrán piros vonallal jelöltem a padlószerkezet hőmérsékleteloszlását általános esetben, azaz a kezdeti állapotban, amikor még nem éri napsugárzás a padlót. t_{i0} -al jelöltem a kezdeti belső hőmérsékletet, t_r -vel pedig a talaj hőmérsékletét. Ebben a pillanatban a belső hőtároló tömeg, vagyis a sematikus ábrán bemutatott esetben a felső 10 cm-es réteg középpontjában mérhető hőmérséklet a zöld vonallal jelzett érték. Ez természetesen csak akkor helyes, ha a hőtároló tömegben a hőmérsékleteloszlást lineárisan közelítjük.

Az árnyékolók elhúzása után a bejutó sugárzás felmelegíti a szerkezet felső rétegét, viszont a felmelegedés nem egyenletesen megy végbe a hőtároló tömegben. A hőtárolásban résztvevő réteg felszíne sokkal melegebb lesz, mint az egész réteg átlagos értéke. A fentebb leírtak alapján a levegő hőmérséklete szinte azonnal felveszi a legfelső réteg hőmérsékletét, és meg is tartja azt egészen addig, amíg az épületszerkezet felszíne lejjebb nem hűl.

Az 27. ábrán φ_m -mel jelöltem a mért hőmérsékletkülönbséget, φ_{sz} -el pedig a számítással meghatározott értékeket, ugyanakkor narancssárga nyíllal jelöltem a t_{sz} számított hőmérsékleteket, zölddel pedig a mért t_m hőmérsékletértékeket, melyeket pl. a 24. ábrán ugyanígy narancssárga és zöld színnel ábrázoltam.

Az ábrán tisztán látható, hogy a számított és a mért hőmérsékletváltozás értékei között nagyjából másfélszeres, kétszeres eltérés tapasztalható, hiszen az archiváló rendszer érzékelője a levegő hőmérsékletét mérte. Ha ennek az információnak a tudatában tekintünk a 28. diagramon, tisztán látható a számítási módszerből adódó érték közeledése a mért értékek felé.



28. ábra: A megduplázott hőmérsékletkülönbség hatása az első mérési szakasz 1. kutatószobáján lefuttatott számításra

A 28. ábrán ábrázolt duplázott hőmérsékletkülönbség már jobban megközelíti a valóságban mért értékeket. A még pontosabb számításhoz a kutatási időszakban felülethőmérséklet mérésre, és a hőtároló tömeg rétegenkénti hőmérsékletének vizsgálatára lett volna szükség, hiszen a hőmérséklet a sugárzott felület felé a valóságban nem egyenes arányosságban oszlik el, hanem exponenciálisan növekszik a terhelt felület irányába. Ezeket a méréseket nem hajtottam végre.

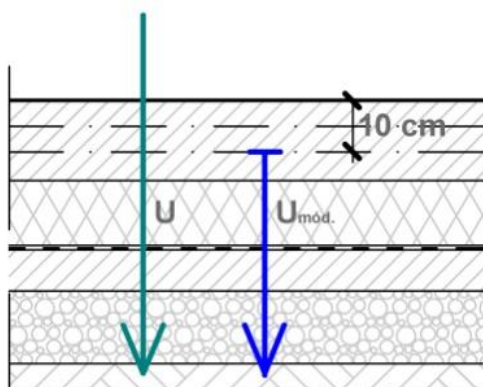
6.3. A számítást módosító egyéb tényezők

Amennyiben a K – veszteségtényezőt a 3. kutatószobában mért értéken megváltoztatjuk, lerontjuk, a folyamat számított görbe növekvő jellege megszűnhet.

Érdemes megfontolni a tényt, hogy a számított és a tényleges hőveszteségtényező valamilyen okból nem egyezik meg. Ennek több oka is lehet.

Az egyik ilyen ok a kivitelezésen megépített és a terveken szereplő épületszerkezetek épületfizikai értékeinek különbözősége lehet. A kivitelezőkkel való konzultáció során felsorolt változtatásokat (mint pl. a falszerkezet anyagának eltérése a tervektől, a nyílászárók pontos típusa, stb.) már a számítások elején figyelembevettem, viszont természetesen adódhatnak hibák, melyek ronthatják az épület energetikai értékeit.

A K tényező változásának egy másik oka a hőátbocsátási tényező kiszámításában való módosítás lehet. A kiszámolt hőmérsékletkülönbség a helyiség átlagos hőtároló tömegére vonatkozik. A hőtároló tömeg lehűlésének módszere eltér a szokványos hőátbocsátási tényező számításától, amikor a belső levegő szempontjából számítjuk ki az értékeket. Amennyiben a hőtároló tömegre szeretnénk meghatározni az értéket, a megszokott egyenletből ki kell vonnunk a levegő konvekciós hőátadási tényezőjét, és át kell értelmeznünk a hőtároló tömeg hőmérsékletét és méretét. Ezt a 29. ábrán szemléltetem.



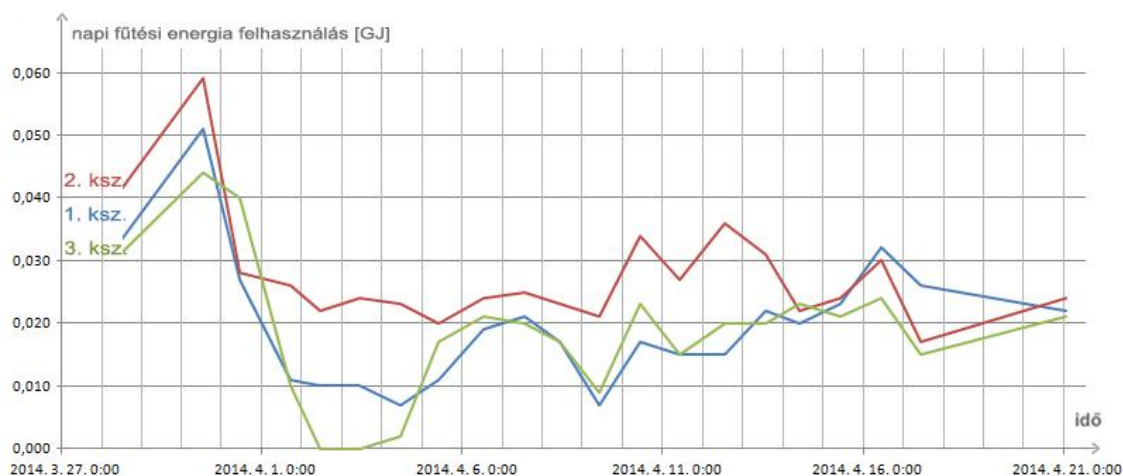
29. ábra: A hőátbocsátási tényező számítás módosítása

Természetesen a mért és számított értékek közötti eltérést okozhatják még a sugárzási értékek kiszámításánál figyelembe nem vett tényezők, mint az aktuális felhőzet besugárzott energiát redukáló hatásának figyelembevétele, a beépített környezet időbeli változása, a kutatószobák közötti közös használatú tér eltérő hőmérséklete (ugyanis ebben az esetben a válaszfalak nem belső falnak számítanak), a fűtési rendszer beavatkozása 22°C fenntartása érdekében, stb.

Egy másik fontos kísérleti lehetőség lett volna a padló hőtároló tömegének kizárása és az így a belső térbe érkező napsugárzás okozta hatások vizsgálata, azonban a helyiséget csak a padlófűtési rendszeren keresztül tudtuk fűteni az egyéb felületfűtési rendszerek pillanatnyi üzemi hibái miatt.

7. A fűtési energiafelhasználásból levonható következtetések

Az kutatáshoz tartozó megfigyelések része volt a kutatószobák fűtési energiafelhasználásának megfigyelése is. A rögzített értékekről készített diagramról leolvasható összefüggéseket érdemes megemlíteni.

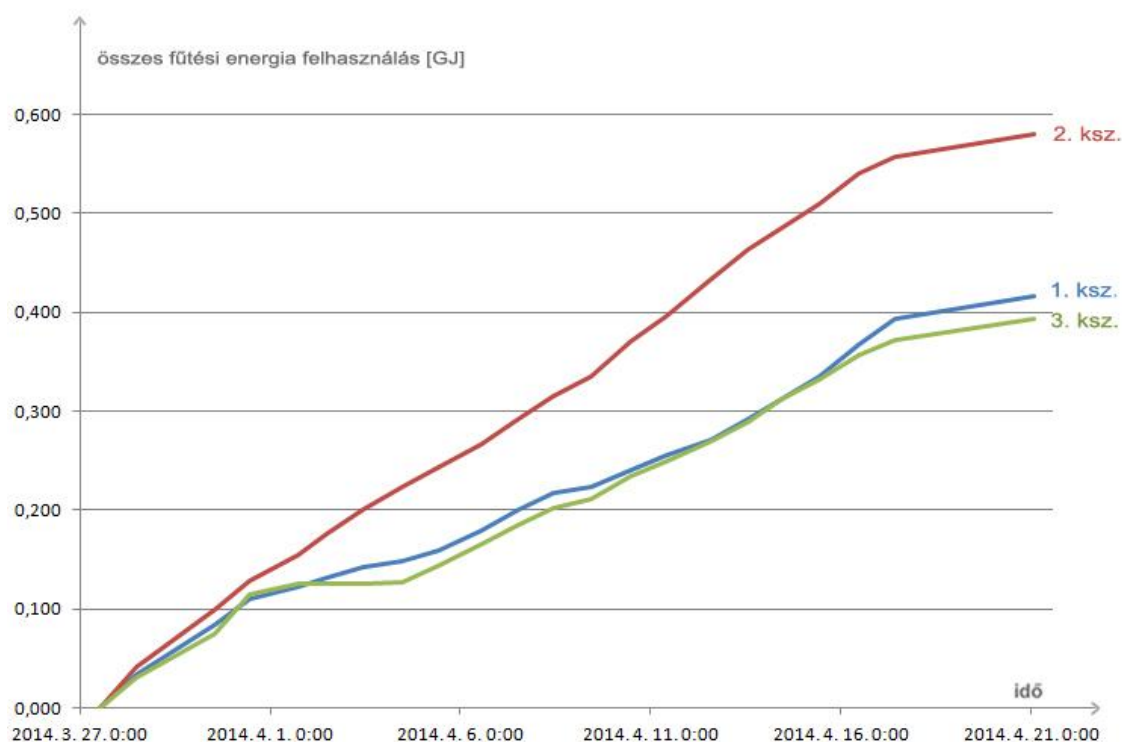


30. ábra: Napi fűtési energiafogyasztás

A 30. ábrán kékekkel az 1-es, pirossal a 2-es, zölddel pedig a 3-as kutatószoba napi fűtési energiafogyasztásának alakulását ábrázolom. Az itt feltüntetett értékeket a napi személyes leolvasásaim alkalmával gyűjtöttem. Erre azért volt szükség, mert a 3. kutatószobában az archiváló rendszer nem rögzítette az energiafelhasználást.

A diagramról könnyen leolvasható az 1. és 2. kísérleti szakaszban lecsökkent energiafogyasztás. Ezen a diagramon látszik a legjobban, hogy a 3. kutatószobában volt olyan alkalom is, amikor egyáltalán nem volt szükség a padlófűtési rendszer üzemeltetésére. Az is jól látszik, hogy az 1. és a 2. mérési szakaszban a 2-es volt az a helyiség, ahol behúзва tartottuk az árnyékolót, a 3. szakaszban pedig az 1-es szoba, hiszen ezeknek volt a legnagyobb az energiafogyasztása az adott intervallumokban.

Azt is fontosnak tartom megemlíteni, hogy érdekes módon nem csak a kísérletben résztvevő helyiségek fűtési hőszükséglete csökkent a mérések során, hanem a stacioner helyisége is. Ez egy újabb bizonyíték lehet arra, hogy a kísérletek során hőcsere alakulhatott ki a belső tér hőmérsékletei között, így ez is egy tényező lehet, ami befolyásolhatta a mért értékeket.



31. ábra: Összes fűtési energiateljesítmény

A 31. ábrán látható az összes fűtési energiateljesítmény a teljes kutatási időszakban. Jól látszik, hogy az 1-es és 3-as kutatósobában sokkal kevesebbet (két-harmadát) kellett fűteni annak ellenére, hogy csak kilenc napot volt elhúzva a nyílászárót árnyékoló panel az egész kutatási időszak alatt.

8. Összefoglalás

Összességében elmondható, hogy a DEM kutatószobáiba beérkezett napsugárzás mennyisége, a kellő belső hőtároló tömeg hiányában, olyan hirtelen túlmelegedést okozott, hogy az esetlegesen a bent tartózkodó embereknél komfortérzet-csökkenést idézett volna elő, mely „válaszreakcióként” szellőztetést vagy egyéb a belső tér lehűtésére szolgáló intézkedést váltott volna ki.

A kísérletek elvégzése után kimutatható volt a hőmérsékletemelkedés, a fűtési energiafelhasználásban történő változások, az azt okozó napsugárzás-mennyiség számszerű értéke és azok kialakulási körülményei.

Felállítottam egy számítási modellt, mely a folyamatokat és az azokból származó hatásokat szimulálná, de a számítások értékei nem egyeztek meg a valósággal.

Kutatásomban kiderítettem a különbségek esetleges okait: a hőtároló tömeg szerepének változását, a felület túlmelegedéséből és a hővesztésgtényező számításának változásából adódó eltérést.

A felmelegedés pontos kiszámításának módszere a rengeteg változó körülmény és be nem számolt módosító tényezők miatt további munkára szorul.

Szükségnek ítélnék még a továbbiakban, egy a padló hőtároló tömegének kizárására folyó kísérletet, melyben a padlófűtési rendszert is kiváltanánk egy másik, akár elektromos hősugárzós berendezéssel, hogy megállapíthassuk az elsődleges hőtároló tömegek valós számszerű jelentőségét.

Ezen kívül érdemes lenne megvizsgálni a hőtároló tömegek pontos rétegenkénti felmelegedését is a Napból érkező sugarak hatására.

A későbbiekben mindenképpen szeretném folytatni a kutatást a minél pontosabb számítási módszer meghatározása érdekében.

Irodalomjegyzék

Könyvek, folyóiratok:

[1.] – PROF. ZÖLD ANDRÁS (1999): *Energiatudatos építészet*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest

[2.] – DR. SZABÓ IMRE (1986): *Gépészeti rendszertechnika*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest

[3.] – PROF. ZÖLD ANDRÁS (2006): *Az új épületenergetikai szabályozás*, segédlet, BAUSOFT Pécsvárad Kft.

[4.] – DR. GYURCSOVICS LAJOS (1982): *A napenergia hasznosítása az épületgépészetben*, Műszaki könyvkiadó, Budapest

[5.] – DR. FEKETE IVÁN (1985): *Épületfizika kézikönyv*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest

[6.] – DR. KALMÁR FERENC (2009): *Energiafelhasználás csökkentése lakóépületekben*, kiadó: Debreceni Egyetem, nyomta és kötötte: Rexpo Nyomda Debrecen

[7.] – OM SOLAR ASSOCIATION / OM INSTITUTE (1996): *What is OM Solar?*, kiadta és nyomtatta: OM Solar Association / OM Institute, Japán

Internetes források:

[8.] – *Az éghajlati elemek időbeli és térbeli változásai Magyarországon, A napsugárzás*, <http://www2.sci.u-szeged.hu/eghajlattan/pdf/moeghajl02.pdf> (letöltve: 2014. november 2.)

[9.] – www.europa.eu, *Fotovulkanikus Földrajzi Információs Rendszer*, <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php> (letöltve: 2014. október 14.)