BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR
ÉPÜLETGÉPÉSZETI ÉS GÉPÉSZETI ELJÁRÁSTECHNIKAI TANSZÉK

HORVÁTH MIKLÓS

DIPLOMATERV

Üvegfelületeken beérkező sugárzási nyereség számítása

Tanszéki konzulens:

Dr. Szánthó Zoltán
Egyetemi docens

Külső konzulens:

Virág Zoltán
Ügyvezető igazgató

Budapest, 2013

Szerzői jog © Horváth Miklós, 2013.
Szerzői jog © Dr. Szánthó Zoltán, 2013.
Szerzői jog © Virág Zoltán, 2013.

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
Gépészmérnöki Kar

Épületgépészeti és Gépészeti Eljárástechnika Tanszék

MSc-DT /2013

DIPLOMATERV FELADAT
gépészmérnöki mesterszak, komfort épületgépészeti szakirány

A diplomaterv készítő neve:	**Horváth Miklós**
A tervfeladat témája:	**Üvegfelületen beérkező sugárzási nyereség számítása**
A diplomaterv készítés helye:	DUOPLAN Kft.
Címe:	1085 Budapest, Kőfaragó u. 9.
Üzemi konzulens:	Virág Zoltán
Beosztása:	ügyvezető igazgató
Munkahelye:	Duoplan Kft. 1085 Budapest, Kőfaragó u. 9.
Tanszéki konzulens:	Dr. Szánthó Zoltán egyetemi docens

Záróvizsga tárgyak/tárgycsoportok:

1. Klímatechnika (BMEGEÉPMÉ21, BMEGEÉPMÉ33)
2. Fűtési rendszerek energetikája (BMEGEÉPMÉ23, BMEGEÉPMÉ31)
3. Komfortelmélet (BMEGEÉPMÉ11)

A feladat kiadásának időpontja:	**2013. szeptember 23.**
Beadási határidő:	**2013. december 13.**

·/·

Diplomaterv 1. feladat részletezése/pontosítása/:

A rendelkezésére álló meteorológiai adatok feldolgozásával készítsen olyan számító programot, ami alkalmas egy helyiség üvegfelületen beérkező nyereségeinek számítására! A feladat részeként

- végezzen irodalomkutatást az alkalmazandó számítási modell meghatározására;
- rendszerezze és értékelje a rendelkezésre álló napsugárzásra vonatkozó meteorológiai adatokat;
- készítsen olyan számító programot, ami alkalmas az adott geometriai jellemzőkkel rendelkező helyiség üvegfelületein beérkező sugárzási nyereség számítására az év tetszőlegesen kijelölt időszakában!

Diplomaterv 2. feladat részletezése:

Végezze el a Diplomaterv 1. feladatában elkészített modell validálását az időközben beszerzett napsugárzási adatokkal!
Végezzen irodalomkutatást a vizsgált üvegfelülettel adott szöget bezáró külső árnyékolók hatásának meghatározására! Alkalmazza modelljében a fix geometriájú külső árnyékoló számítását!
Mutassa be a modell alkalmazását egy a konzulensei által meghatározott épületen! Ismertesse a méretezéshez való alkalmazást és az energianyereség számítását!

Budapest 2013. szeptember 23.

.....
tanszékvezető

A tervfeladatot jóváhagyom:

Budapest, 2013. szeptember 23.

.....
dékán

A feladatot átvettem:

.....
hallgató

NYILATKOZATOK

Nyilatkozat az önálló munkáról

Alulírott, *Horváth Miklós* (CO331M), a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem hallgatója, büntetőjogi és fegyelmi felelősségem tudatában kijelentem és saját kezű aláírásommal igazolom, hogy ezt a diplomatervet meg nem engedett segítség nélkül, saját magam készítettem, és a diplomaterv feladatomban csak a megadott forrásokat használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a forrás megadásával megjelöltem.

Budapest, 2013. december 13.

Horváth Miklós

TARTALOMJEGYZÉK

Előszó viii
1. Napenergiahasznosítás jelentősége 9
1.1. Az épületek helyzete Magyarországon, a szoláris nyereség figyelembe vétele 9
2. Szoláris hőterhelés és a hűtési energiaigény számítás a hazai gyakorlatnak megfelelően 11
2.1. A szoláris energianyereség méretezési értékének meghatározása 11
2.2. A szoláris energianyereségből származó hűtési igény számítása 12
3. A sugárzás számító modell megalkotásához felhasznált számítási összefüggések 13
3.1. A napmagasság, azimut és naphossz számítása 13
3.2. A napsugárzás intenzitásának számítása 15
3.3. A napsugárzásból származó energiahozam számítása 22
3.4. Rögzített árnyékoló szerkezet sugárzáscsökkentő hatásának leírása függőleges felület esetén 23
4. A modell megalkotásakor rendelkezésre álló OMSZ adatok 27
4.1. Éves adatok 27
4.2. Napi napfénytartam átlagadatok 28
4.3. Az Angström konstansok meghatározása 30
5. A rendelkezésre álló sugárzásadatok és a modell eredményeinek összEvetése 32
5.1. A számított napmagasság és azimut értékek 32
5.2. Havi adatok összehasonlítása 34
5.2.1. A modellek által számított értékek összehasonlítása vízszintes felületen mért adatokkal 34
5.2.2. A modellek által számított értékek összehasonlítása függőleges felületen mért adatokkal 35
5.2.3. Az Izotróp modell által számított értékeke összehasonlítása déli tájolású, 45°-os dőlésszögű felületen mért adatokkal 39
5.3. Napi adatok összehasonlítása 42
6. Irodakomplexum méretezési és éves szoláris nyereségének meghatározása 46
6.1. Az irodaközpont alapadatai 46
6.2. A vonatkozó hatályos jogszabályok szerinti méretezési eredmények 48
6.3. A dolgozatban ismertetett modell alapján készített méretezési eredmény 49
6.4. A különböző módon elvégzett méretezési eredmények összehasonlítása 51
6.5. A különböző méretezési eljárásokból levonható következtetések összefoglalása, javaslattétel a további kutatásokra 69
7. Összefoglalás 71
8. Summary 74
9. Irodalom jegyzék 76

9.1. Általánosan felhasznált irodalmak jegyzéke 76
9.2. Hivatkozott irodalmak jegyzéke 76
10. Mellékletek jegyzéke 78
10.1. melléklet, napfénytartam adatok OMSZ 1912-2000 adatai alapján 78
10.2. melléklet, a hivatkozott TDK munkából [18] vett adatok és a modellel számított értékek 78
10.3. melléklet, a hivatkozott [18] irodalomból vett adatok és a modellel számított értékek Északi tájolás esetén 78
10.4. melléklet, a hivatkozott [18] irodalomból vett adatok és a modellel számított értékek Keleti tájolás esetén 79
10.5. melléklet, a hivatkozott [18] irodalomból vett adatok és a modellel számított értékek Déli tájolás esetén 79
10.6. melléklet, a hivatkozott [18] irodalomból vett adatok és a modellel számított értékek Nyugati tájolás esetén 79
10.7. melléklet, a Naplopó Kft. honlapjáról vett adatok 80
10.8. melléklet, a Naplopó Kft. honlapjáról vett adatok átlagértékei, a modellel számított értékek 80
10.9. melléklet, az irodakomplexum helyszínrajza 81
10.10. melléklet, az irodakomplexum üvegszerkezeteinek tájolása (É=180°; K=-90°; D=0°; Ny=90°) 82

ELŐSZÓ

Diplomatervem első részében egy olyan számítási módszer kidolgozása a feladatom, amely alkalmas tetszőleges tájolású és dőlésszögű felületre érkező napsugárzás meghatározására. A témaválasztást annak érdekességén kívül az indokolta, hogy hazánkban a vonatkozó szabványok alapján csak elnagyoltan lehet számítani a sugárzási nyereséget, így az nem alkalmas például alacsony energiafogyasztású épületek, passzív házak és a nemzeti energiastratégiában 2020-ra előírt közel nulla energiafogyasztású épületek méretezéséhez. Diplomatervemben egy olyan számítási módszer kidolgozását mutatom be, amely a nap pályája alapján, napfénytartam adatok ismeretében számítja egy tetszőleges dőlésszögű és tájolású felületre beérkező sugárzás várható mennyiségét.

A dolgozat második felében a felépített számító modell validálását végzem el. A rendelkezésemre álló napsugárzási adatokkal hasonlítom össze a modell által szolgáltatott eredményeket, így annak használhatósága bizonyítható. A dolgozat további részében az árnyékolás hatásának számítása is cél, így ezzel tovább bővítem a modellt. A dolgozat utolsó részében a felépített modellel meghatározom egy, a konzulenseim által választott épület méretezési szoláris nyereségét, továbbá a modell alapján becslést teszek a várható éves szoláris energiahozamra is.

* * *

A diplomaterv megírásához hozzájárultak mindazok, akik információt szolgáltattak, illetve tanácsaikkal segítettek. Elsősorban konzulenseimnek, Dr. Szánthó Zoltánnak és Virág Zoltánnak köszönöm támogatását és figyelmét. Ezúton szeretném megköszönni Varga Pálnak és az Országos Meteorológia Szolgálatnak a szolgáltatott adatokat. Köszönöm továbbá barátaim, családom támogatását és segítségét, mivel nélkülük ez a diplomamunka nem jöhetett volna létre.

Budapest, 2013. december 13.

Horváth Miklós

1. NAPENERGIAHASZNOSÍTÁS JELENTŐSÉGE

Napjainkban az energetika területén egyre jobban keresik az energia-megtakarítás lehetőségeit. Számos területen jelentkezik igény jobb, hatékonyabb technológiára, berendezésekre, amelyek alkalmazásával lehetőség van a kibocsátott szennyezőanyagok és a felhasznált energiaforrások mennyiségének csökkentésére. A megtakarítási lehetőségek között egyre nagyobb hangsúlyt kap a megújuló energiaforrások alkalmazása.

1.1. Az épületek helyzete Magyarországon, a szoláris nyereség figyelembe vétele

Ma Magyarországon a felhasznált összes energia 40%-át az épületekben használják fel, ennek az energiamennyiségnek körülbelül kétharmada fűtésre és hűtésre fordítódik. A hazai épületállomány az Európai Uniós átlagnál rosszabb állapotban van, ezért is szükséges átalakításuk és korszerűsítésük. Az épületek korszerűsítésével a fűtési igény csökken, így egyre nagyobb szerepet kap fűtési idényben az aktív és passzív napenergia hasznosítás. Az energiafelhasználás csökkentéséhez fontos tényező továbbá az épületek hűtési igényének csökkentése, melyre jó lehetőség a nyári szoláris hőterhelés minimalizálása.

Új épületek esetén szükséges a szoláris energiaáram becslése, azonban ennek meghatározására csak közelítő számítások állnak rendelkezésre. Jelenleg hazánkban a beérkező szoláris energia mennyiségének meghatározása az MSZ 04-140-es szabványcsalád alapján történik. Sajnálatos módon ezek a szabványok már közel 35 évesek, és a számítás során több, ma már nem feltétlenül megengedhető elnagyolást tesznek. A szabványok egyik legnagyobb hibája, hogy a szoláris energiahozamot csak statikus módon lehet meghatározni. Mindössze 8 féle tájolásra és 2 féle dőlésszögre lehet méretezési adatokat találni bennük, így nem felelnek meg a mai kor követelményeinek, ugyanis ez a statikus tervezési módszer nem elégséges a kis energiafelhasználású, akár

közel nulla energiaigényű épületek tervezésénél, hiszen ezekben megnő a nyereségáramok jelentősége a hőburok hőellenállásának növekedésével. Mindenképpen dinamikus, részletesebb számítási módszerre van szükség.

A diplomamunka célja egy olyan számítási algoritmus megalkotása és bemutatása, amely alkalmas egy adott tájolású és dőlésszögű felületre érkező napsugárzás teljesítményének meghatározására. A modellben a sugárzási teljesítmény számítása nappálya modell alapján történik, amely geometriai és statisztikai alapon dinamikusan számítja a nyereségáramokat, így megállapítható, hogy különböző üvegszerkezetek esetén milyen tervezési értéket kell figyelembe venni. A diplomamunkában elemzésre kerül az árnyékoló szerkezetek sugárzáscsökkentő hatása is. A felépített modell alapján lehetőség nyílik az épületek szoláris nyereségének pontosabb meghatározására, amely kulcsfontosságú az alacsony, vagy közel nulla energiafelhasználású épületek esetében.

2. SZOLÁRIS HŐTERHELÉS ÉS A HŰTÉSI ENERGIAIGÉNY SZÁMÍTÁS A HAZAI GYAKORLATNAK MEGFELELŐEN

Jelenleg hazánkban az MSZ-04-140-2:1991 és MSZ-04-140-4:1978 szabványoknak [1] és [2], illetve a 7/2006. (V. 24.) TNM rendeletnek [3] megfelelően számítják a szoláris energianyereség méretezési értékét, illetve az éves energianyereséget. A 2012-ben kiadott 40/2012 (VIII. 13.) BM rendelet [4] a TNM rendelet módosítását tartalmazza. A gyakorlati számítások során a tervezők többsége a WinWatt programot használja a méretezési igények meghatározására, illetve az energianyereség számítására. Ebben a fejezetben a program számítási algoritmusai kerülnek bemutatásra.

2.1. A szoláris energianyereség méretezési értékének meghatározása

A szoláris energianyereséget a WinWatt program alapvetően a vonatkozó MSZ-04-140-4:1978 szabványnak megfelelően számítja. A program készítői azonban szükségesnek érezték, hogy a szabványt elméleti számításokkal alátámasztva kiterjesszék. Ennek eredményeképpen a szabványtól eltérően lehetőség nyílik a függőlegestől eltérő helyzetű nyílászárók modellezésére. További előnye a számítási modell fejlesztésének, hogy a szabványban megadottaktól eltérő tájolású nyílászárók is bevihetők a programba. A számítási metódusban ezt a redukciós tényezők újbóli meghatározásával vették figyelembe. Az üvegszerkezetek szoláris nyereségének szabvány szerinti számítását a 2.1 egyenlet írja le:

$$\dot{Q}_{ü} = A_{ü} \cdot [N_{Ü} \cdot N_{Á} \cdot I_{SRG} \cdot Z + k_{Ü} \cdot (t_e - t_i)] \qquad (2.1)$$

ahol $A_{ü}$ az üvegezett felület [m²]
$N_{Ü}$ az üvegezés naptényezője[1]
$N_{Á}$ az árnyékolás naptényezője[1]
I_{SRG} a 3 mm vastag normál síküvegen behatoló napsugárzás intenzitása [W/m²]
Z a redukciós tényező [1]
$k_{Ü}$ az üvegezés hőátbocsátási tényezője [W/(m²K)]
t_e a külső léghőmérséklet [°C]
t_i a belső léghőmérséklet [°C]

A programban lehetőség van továbbá különböző árnyékoló szerkezetek bevitelére is. Az árnyékoló szerkezetek árnyékoló hatását a program a 2.2 egyenlet alapján számítja. Az egyenletből látható, hogy árnyékoló szerkezetek bevitelekor csak a direkt sugárzás csökkenését veszi figyelembe a program, a diffúz sugárzás értékét változatlannak tekinti. Az árnyékolás hatását a program minden órára számítja, és a kritikus időponthoz tartozó árnyékolási tényezőt veszi figyelembe.

$$N_{Á} = \frac{I_{DIF} + \frac{A_{kr}}{A_{ü}} \cdot I_{DIR}}{I_{SRG}} \tag{2.2}$$

ahol $N_{Á}$ az árnyékolás naptényezője [1]
I_{DIF} a diffúz napsugárzás intenzitása [W/m²]
I_{DIR} a direkt napsugárzás intenzitása [W/m²]
I_{SRG} a 3 mm vastag normál üvegen áthatoló napsugárzás intenzitása [W/m²]
A_{kr} a kritikus időpontban árnyékolás nélkül maradó üvegfelület [m²]
$A_{ü}$ a teljes üvegfelület [m²]

2.2. A szoláris energianyereségből származó hűtési igény számítása

A 7/2006 TNM rendelet a hűtési energiaigényt a 2.3 egyenlet alapján határozza meg:

$$Q_{hű} = \frac{24}{1000} \cdot n_{hű} \cdot \left(\sum A_N \cdot q_b + Q_{sdnyár} \right) \tag{2.3}$$

ahol $Q_{hű}$ a gépi hűtés éves nettó energiaigénye [kWh/a]
$n_{hű}$ a hűtési napok száma [1/a]
A_N a nettó hűtött szintterület [m²]
q_b a belső hőterhelés fajlagos értéke [W/m²]
$Q_{sdnyár}$ a direkt sugárzási hőterhelés [W]

Az $n_{hű}$ azoknak a napoknak a száma, ahol a 2.4 egyenlet szerinti feltétel teljesül:

$$\bar{t_e} \geq 26 - \Delta t_{bnyár} \tag{2.4}$$

ahol $\bar{t_e}$ a külső hőmérséklet napi átlagértéke [kWh/a]
$\Delta t_{bnyár}$ a belső és külső hőmérséklet napi középértékeinek különbsége nyári feltételek között

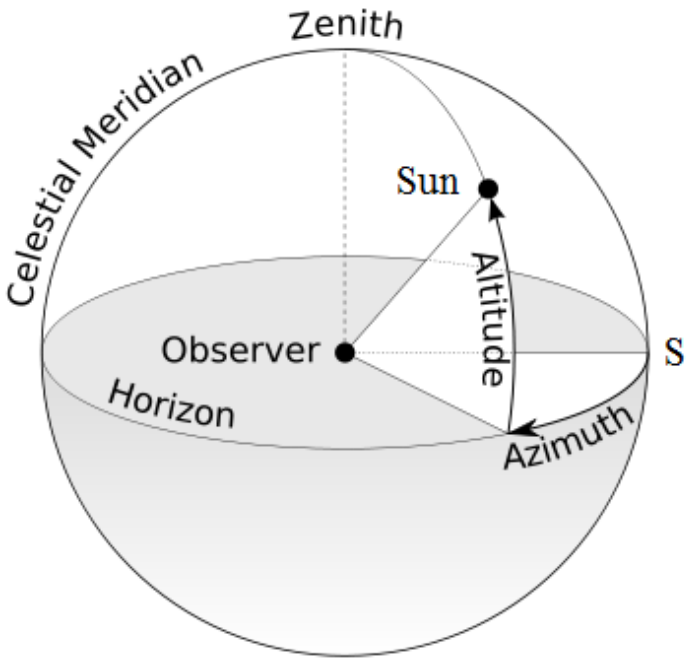
A számítási módszerben szereplő sugárzási értékek a hivatkozott szabványban meghatározott értékeken alapulnak.

3. A SUGÁRZÁS SZÁMÍTÓ MODELL MEGALKOTÁSÁHOZ FELHASZNÁLT SZÁMÍTÁSI ÖSSZEFÜGGÉSEK

A nappályamodellt a részletek ismertetésénél hivatkozott irodalmak alapján Microsoft Excel programban készítettem el. A modell megalkotásához figyelembe kell venni a Föld forgástengelye és a Nap körüli keringés tengelye közötti 23,5°-os eltérést, amely miatt a Nap látszólagos pályája az égbolton minden nap más. Nyáron a nap magasabb, télen alacsonyabb pályát ír le. A nap állásából és a sugárzás intenzitásából számítható az éves energiahozam.

3.1. A napmagasság, azimut és naphossz számítása

A napmagasság és az azimut értékeket a [5] és [6] irodalmak alapján számítottam. A napmagasság megegyezik a Nap horizontsíkra vetített beesési szögével. Az azimut pedig a nap horizontsíkra vetített helyzetének egy adott iránytól való eltérését jelenti, ebben az esetben a modell szempontjából előnyös déli irányt vettem 0°-nak. Az egyes értékek értelmezését a 3-1. ábra szemlélteti.



3-1. ábra, A napmagasság és azimut értelmezése [7]

Az egyes értékek meghatározásához szükséges a nap deklinációjának meghatározása. A deklináció éves periódussal ismétlődik, a Föld Nap körüli pályája és az egyenlítő által meghatározott síkok eltéréséből adódik, a 3.1 egyenlet [5] alapján számítható:

$$\delta = 23{,}45 \cdot \sin\left(\frac{284+\mathrm{n}}{360} \cdot 2\pi\right) \tag{3.1}$$

ahol δ a nap deklinációja [°]
n a vizsgált nap sorszáma, január 1. = 1 [1]

A napmagasság értéke a 3.2 egyenletből [6] határozható meg:

$$\sin \alpha_S = \sin \delta \cdot \sin \phi + \cos \delta \cdot \cos \omega \cdot \cos \phi \tag{3.2}$$

ahol α_S a napmagasság [°]
δ a nap deklinációja [°]
ϕ a földrajzi hely hosszúsági foka [°]
ω a nap óraszöge, 1 óra = 15° [°]

Az azimut értéke a 3.3.a egyenletből számítható, a 3.3.b – 3.3.f egyenletek segítségével [6]:

$$\sin \gamma_S = C_1 \cdot C_2 \cdot \gamma_S' + C_3 \cdot \left(\frac{1-C_1 \cdot C_2}{2}\right) \cdot 180 \tag{3.3.a}$$

$$\sin \gamma_S' = \frac{\sin \omega \cdot \cos \delta}{\cos \alpha_S} \tag{3.3.b}$$

$$C_1 = \begin{cases} 1, ha\ |\omega| < \omega_{ew} \\ -1, ha\ |\omega| > \omega_{ew} \end{cases} \tag{3.3.c}$$

$$\cos \omega_{ew} = \frac{\tan \delta}{\tan \phi} \tag{3.3.d}$$

$$C_2 = \begin{cases} 1, ha\ \phi \cdot (\phi - \delta) \geq 0 \\ -1, ha\ \phi \cdot (\phi - \delta) < 0 \end{cases} \tag{3.3.e}$$

$$C_3 = \begin{cases} 1, ha\ \omega \geq 0 \\ -1, ha\ \omega < 0 \end{cases} \tag{3.3.f}$$

ahol γ_S az azimut [°]
δ a nap deklinációja [°]
α_S a napmagasság [°]
ω a nap óraszöge, 1 óra = 15° [°]
ϕ a földrajzi hely hosszúsági foka [°]

A nap hosszát a 3.4 egyenlet alapján számítottam [6]:

$$\mathrm{N} = \frac{2}{15} \cdot \cos^{-1}(-\tan\phi \cdot \tan\delta) \tag{3.4}$$

ahol N a nap hossza [óra]
ϕ a földrajzi hely hosszúsági foka [°]
δ a nap deklinációja [°]

3.2. A napsugárzás intenzitásának számítása

A Föld felszínén a napsugárzás intenzitás meghatározásához meg kell határozni az atmoszféra sugárzás csökkentő hatását is. A modell megalkotása során a napos órák felhasználásával veszem figyelembe az atmoszféra csökkentő hatását. A sugárzás csökkenésének meghatározásához első lépés az atmoszféra határára helyezett vízszintes felületre érkező globális sugárzás meghatározása. Ezt a sugárzásmennyiséget a 3.5 egyenlet alapján határoztam meg [6]:

$$\mathrm{G}_0 = \mathrm{G}_{sc} \cdot \left[1 + 0{,}033 \cdot \cos\left(\frac{n}{365} \cdot 360\right)\right] \cdot \sin\alpha_S \tag{3.5}$$

ahol G_0 a beérkező globális sugárzás intenzitása [kW/m²]
G_{sc} a szoláris konstans, értéke 1,367 [kW/m²]
n a vizsgált nap sorszáma, január 1. = 1 [1]
α_S a napmagasság [°]

Az atmoszféra csökkentő hatásának figyelembevételére az úgynevezett égbolt tisztasági tényezők szolgálnak. Ezen két faktor értelmezését a 3.6.a és 3.6.b egyenletek írják le [8]:

$$K_{glob} = \frac{G}{G_0} \tag{3.6.a}$$

$$K_{diff} = \frac{D}{G} \tag{3.6.b}$$

ahol K_{glob} a globális sugárzásra vonatkozó égbolt tisztasági tényező [kW/kW]
K_{diff} a diffúz sugárzásra vonatkozó égbolt tisztasági tényező [kW/kW]
G_0 a beérkező globális sugárzás intenzitása [kW/m²]
G a vízszintes felületre beérkező globális sugárzás intenzitása [kW/m²]
D a vízszintes felületre beérkező diffúz sugárzás intenzitása [kW/m²]

Ezek a tényezők közvetlenül még nem számíthatóak, mivel nem áll rendelkezésemre tetszőleges időpontban a mért globális, illetve diffúz sugárzás értéke. A globális sugárzásra vonatkozó égbolt tisztasági tényező meghatározható azonban a mért napos órák száma alapján az úgynevezett Angström konstansok segítségével. Ennek a módszernek a lényege, hogy egy adott területen mérik a vízszintes felületre érkező globális sugárzás értékét és a napos órákat, majd a mért adatok alapján a 3.7 egyenletből az Angström konstansok értéke meghatározható [9]. A későbbiekben a meghatározott konstansok ismeretében a napos órák és nap hossza alapján számítható a globális sugárzásra vonatkozó égbolt tisztasági faktor.

$$\frac{G}{G_0} = a + b \cdot \frac{\sigma}{N} \tag{3.7}$$

ahol G a vízszintes felületre beérkező globális sugárzás intenzitása [kW/m^2]
G_0 a beérkező globális sugárzás intenzitása [kW/m^2]
σ a napos órák [óra]
N a nap hossza [óra]
a, b az Angström konstansok

A modellel végzett számítások során az OMSZ által közzétett 1912-2000 évek közötti napfénytartam adatokat használtam fel [10]. A napfénytartamot az OMSZ a mérések megkezdése óta ugyanazzal a technikával regisztrálja:

„A megfigyelő hálózatában már a kezdetektől a Campbell-Stokes rendszerű napfénytartam mérő használatos, mely a napsugárzás hőhatását használja ki. A műszer lényegében egy fémállványra szerelt, 96 mm átmérőjű üveggömb, amely a napsugarakat gyűjtőlencseként egy ún. napszalagra irányítja. Az óraskálával rendelkező napszalagot az üveggömb gyújtótávolságában elhelyezkedő gömbhéj alakú mélyedésben kell elhelyezni. Ahová az összegyűjtött napsugarak esnek, a papír megpörkölődik vagy kiég. A Nap, amint az égbolton látszólagos mozgása közben tovább halad, pályájának ívét, a sugárzás erőssége szerint erősebben, vagy gyengébben a szalagra égeti.

A nappálya évszakonként változó magasságú ívének megfelelően 3 féle napszalag használatos: nyári, téli és tavaszi-őszi. A szalagot minden este cserélni kell.

A napi napfénytartamot a napszalagokon lévő égetési nyomok összegzése útján nyerjük tized óra pontossággal.” [10]

A 3-2. ábra egy, a napfénytartam mérésére alkalmazott Campbell – Stokes rendszerű napfénytartam mérőt ábrázol.

3-2. ábra, Campbell - Stokes rendszerű napfénytartam mérő [10]

Fontos megjegyezni azonban, hogy a Campbell – Stokes napfénytartam mérőnek négy fő hibája van, amelyek növelik az ezzel az eszközzel mért és rögzített adatok hibáját:

- a regisztráló papír túlégetése: erősen változékony idő esetén a gyors változásokat nem képes lekövetni, így felülbecsli a valódi napfénytartamot ebben az időszakban.
- a mérőműszer mérési határa 120 W/m^2 sugárzásintenzitás, amely eredményeképpen bizonyos esetekben alulbecsli a napos órák számát.
- az adatok rögzítése manuálisan történik, mely magában hordozza a hibás rögzítés lehetőségét.
- az üveggömb teljesítménye az időjárás sajátosságainak függvényében romolhat (pl.: pára, dér), amely megfelelő felügyelet nélkül a napos órák számának alulméréséhez vezet.

Az előzőekben ismertetett számítási módszerrel a globális sugárzáshoz tartozó égbolttisztasági faktor meghatározható. Ezen faktor ismeretében diffúz sugárzáshoz tartozó égbolt tisztasági faktor is meghatározható. A két faktor közötti korreláció meghatározásával több irodalom is foglalkozik ([11], [12]), azonban a modellbe a [12] irodalom számítási módszere került beépítésre. Az alkalmazott algoritmust a 3.8 egyenlet mutatja be:

$$K_{diff} = \begin{cases} 1{,}020 - 0{,}254 \cdot K_{glob} - 0{,}0123 \cdot \sin\alpha_S \,, ha\ K_{glob} \leq 0{,}30 \\ 1{,}4 - 1{,}749 \cdot K_{glob} - 0{,}0177 \cdot \sin\alpha_S \,, ha\ 0{,}30 < K_{glob} < 0{,}78 \\ 0{,}486 \cdot K_{glob} - 0{,}182 \cdot \sin\alpha_S \,, ha\ K_{glob} \geq 0{,}78 \end{cases} \quad (3.8)$$

ahol K_{glob} a globális sugárzásra vonatkozó égbolt tisztasági tényező [kW/kW]
K_{diff} a diffúz sugárzásra vonatkozó égbolt tisztasági tényező [kW/kW]
α_S a napmagasság [°]

Az előzőek alapján meghatározott K_{glob} és K_{diff} faktorok segítségével egy vízszintes felületre érkező globális sugárzás meghatározható, annak komponenseivel (direkt, diffúz és visszavert) együtt. Számos irodalomban foglalkoznak adott tájolású és dőlésszögű felületre érkező globális sugárzás meghatározásával. Az irodalmakban általános probléma, hogy míg direkt és visszavert sugárzás mennyisége viszonylag pontosan meghatározható, addig a diffúz sugárzási komponens meghatározása esetén különböző modellek születtek, amelyek közül mindegyiknek megvan az előnye és a hátránya. A dolgozatban a három legelterjedtebb modell kerül bemutatásra.

A legegyszerűbb modell az úgynevezett Izotróp égbolt modell. Ezen modell sajátossága, hogy az egész égboltot a diffúz sugárzás szempontjából egységes felületnek tekinti. A modell abban az esetben ad jó becslést a diffúz sugárzás mértékére, ha erősen felhős az égbolt. Az Izotróp égbolt modell az adott tájolású és dőlésszögű felületre érkező sugárzást a 3.9.a – 3.9.d egyenletek alapján veszi [13]:

$$\mathrm{G}_t = \mathrm{I}_t + \mathrm{D}_t + R_t \quad (3.9.a)$$

$$I_t = (G - D) \cdot R_{dir} \quad (3.9.b)$$

$$\mathrm{D}_t = D \cdot (1 + \cos\alpha_M) \cdot \tfrac{1}{2} \quad (3.9.c)$$

$$R_t = G \cdot A \cdot (1 - \cos \alpha_M) \cdot \frac{1}{2} \quad (3.9.d)$$

ahol G_t a felületre érkező globális sugárzás intenzitása [kW/m²]
I_t a felületre érkező direkt sugárzás intenzitása [kW/m²]
D_t a felületre érkező diffúz sugárzás intenzitása[kW/m²]
R_t a felületre érkező földfelszínről visszavert sugárzás intenzitása [kW/m²]
G a vízszintes felületre beérkező globális sugárzás intenzitása [kW/m²]
D a vízszintes felületre beérkező diffúz sugárzás intenzitása [kW/m²]
R_{dir} a direkt sugárzási tényező [1]
α_M a felület dőlésszöge [°]
A az albedó értéke [1]

A 3.9.d egyenlet esetén a [14] irodalom alapján azzal a közelítéssel éltem, hogy az A értéke minden időpontban állandó. Ezzel a közelítéssel a modell alulbecsüli a visszavert sugárzás értékét téli időszakban, amikor a hótakaró megnövelné az albedó értékét.

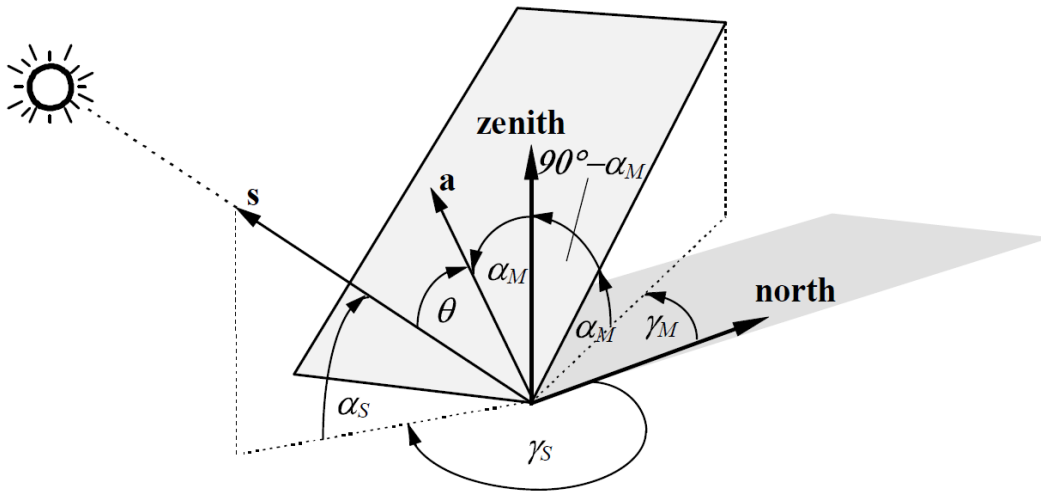
A direkt sugárzási tényező a 3.10.a egyenlet alapján határozható meg. Az egyenletben szereplő θ szöget a 3-3. ábra szemlélteti, számítása pedig a 3.10.b egyenlet alapján történik [6].

$$R_{dir} = \frac{\cos \theta}{\sin \alpha_S} \quad (3.10.a)$$

ahol θ a vizsgált sík normálvektora és a vízszintes sík által bezárt szög és a napmagasság különbsége [°]
α_S a napmagasság [°]

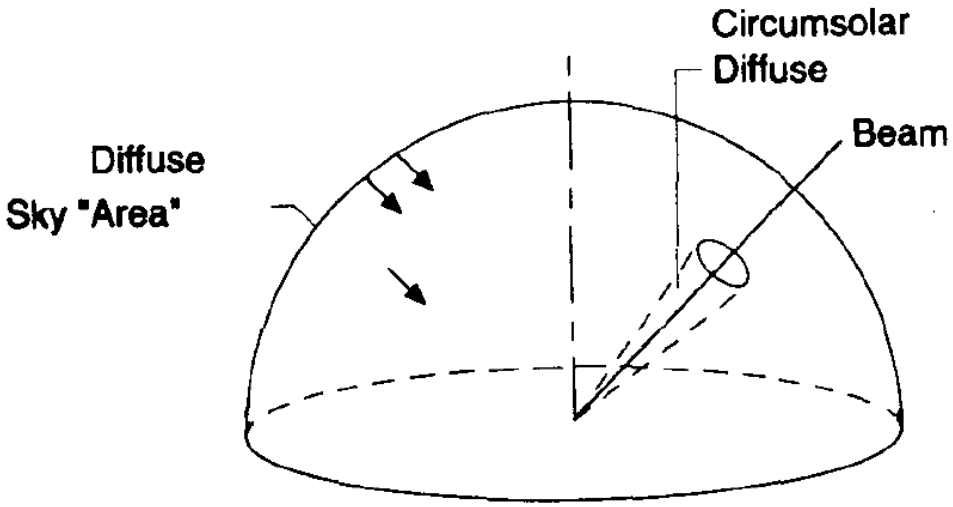
$$\theta = \cos^{-1}\left(\begin{array}{c}\sin\delta \cdot \sin\phi \cdot \cos\alpha_M - \sin\delta \cdot \cos\phi \cdot \sin\alpha_M \cdot \cos\gamma_M \\ + \cos\delta \cdot \cos\phi \cdot \cos\alpha_M \cdot \cos\omega + \cos\delta \cdot \sin\phi \cdot \sin\alpha_M \cdot \cos\gamma_M \cdot \cos\omega \\ + \cos\delta \cdot \sin\alpha_M \cdot \sin\gamma_M \cdot \sin\omega\end{array}\right) \quad (3.10.b)$$

ahol θ a vizsgált sík normálvektora és a vízszintes sík által bezárt szög és a napmagasság különbsége [°]
δ a nap deklinációja [°]
ϕ a földrajzi hely hosszúsági foka [°]
ω a nap óraszöge, 1 óra = 15° [°]
α_M a felület dőlésszöge [°]
γ_M a felület tájolása (a modellben a déli tájoláshoz van viszonyítva) [°]



3-3. ábra, Tetszőleges tájolású és dőlésszögű felület szögeinek értelmezése [14]

Az Izotróp modell hátránya, hogy csak erősen borult égbolt esetén ad közelítőleg jó értéket. Az úgynevezett Hay modell az égboltot diffúz sugárzás szempontjából két részre osztja. Az egyik rész az izotróp rész, melynek számítása a fentiekkel azonosan történik. A másik rész pedig az égbolton a Nap környékéről származó cirkumszoláris diffúz sugárzási komponens. A felosztást a 3-4. ábra szemlélteti. Ez esetben a diffúz sugárzás a 3.11.a egyenlet alapján számítható a 3.11.b segédegyenlet felhasználásával. A direkt és visszavert sugárzási komponens számítása továbbra is a 3.9.b és 3.9.d egyenletek segítségével történik.



3-4. ábra, A Hay modell szerinti felosztása az égboltnak [6]

$$\mathrm{D}_t = D \cdot \left[(1 - A_i) \cdot (1 + \cos \alpha_M) \cdot \frac{1}{2} + A_i \cdot R_{dir}\right] \quad (3.11.a)$$

$$A_i = \frac{(G-D)}{G_0} \quad (3.11.b)$$

ahol D_t a felületre érkező diffúz sugárzás intenzitása[kW/m^2]

D a vízszintes felületre beérkező diffúz sugárzás intenzitása [kW/m^2]

A_i az anizotróp faktor [1]

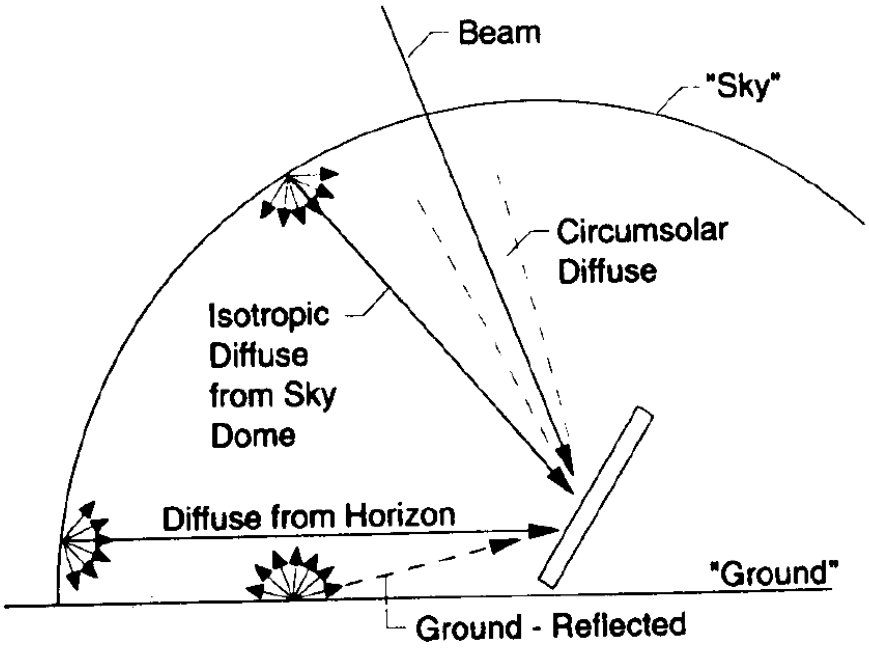
R_{dir} a direkt sugárzási tényező (3.10.a egyenlet alapján) [1]

α_M a felület dőlésszöge [°]

G a vízszintes felületre beérkező globális sugárzás intenzitása [kW/m^2]

G_0 a beérkező globális sugárzás intenzitása [kW/m^2]

A Hay modell alapján számított diffúz sugárzás értéke borult égbolt esetén közelít a tisztán izotróp égboltra történő számítási eredményhez, azonban derült idő esetén az úgynevezett cirkumszoláris rész kap nagyobb jelentőséget, amely magasabb, a direkt sugárzáshoz hasonló diffúz sugárzást vesz figyelembe. A Hay modellt számos helyen alkalmazták déli tájolású felületek esetén, azonban használata során kiderült, hogy alulbecsüli a diffúz sugárzást, ezért egy újabb (korrigált) modell is megalkotásra került [15]. A modell lényege, hogy a Hay modellt kiegészítve egy újabb részt különítettek el az égbolton. Ez az égbolt alsó részét jelenti, az új modellnél alkalmazott égbolt felosztást a 3-5. ábra szemlélteti.



3-5. ábra, Az égbolt diffúz sugárzás szerinti felosztása [6]

A diffúz sugárzás számítása ebben az esetben a 3.12.a egyenlet alapján történik, a 3.12.b segédegyenlet felhasználásával [15]:

$$\mathrm{D}_t = D \cdot \left[(1 - A_i) \cdot (1 + \cos \alpha_M) \cdot \frac{1}{2} \cdot \left(1 + f \cdot \sin^3\left(\frac{\alpha_M}{2}\right)\right) + A_i \cdot R_{dir}\right] \quad (3.12.a)$$

$$f = \sqrt{\frac{(G-D)}{G_0}} \quad (3.12.b)$$

ahol D_t a felületre érkező diffúz sugárzás intenzitása[kW/m²]
D a vízszintes felületre beérkező diffúz sugárzás intenzitása [kW/m²]
f a horizont fényességi faktor [1]
A_i az anizotróp faktor (3.11.b egyenlet alapján) [1]
R_{dir} a direkt sugárzási tényező (3.10.a egyenlet alapján) [1]
α_M a felület dőlésszöge [°]
G a vízszintes felületre beérkező globális sugárzás intenzitása [kW/m²]
G_0 a beérkező globális sugárzás intenzitása [kW/m²]

A fentebb ismertetett három különböző modell (Izotróp modell, Hay modell, Korrigált Hay modell) alapján a globális sugárzás közelítőleg meghatározható egy adott felületen a napos órák számának ismeretével.

3.3. A napsugárzásból származó energiahozam számítása

Az előző számítási módszer alapján meghatározható tehát egy adott felületre érkező globális sugárzás értéke. Az elkészített számító program 15 perces bontásban számítja a globális sugárzást. Mivel a számítás alapjául szolgáló napsugárzás adatok csak napi bontásban állnak rendelkezésemre, ezért azzal a közelítéssel éltem, hogy a modellben minden egyes negyedórához tartozó energiahozam a két számított sugárzásintenzitás megfelelő, tehát az adott napra számított napos és borult időtartam arányából áll összse. A globális sugárzásösszeg egy adott időpillanatra a 3.13 egyenlet alapján számítható:

$$E_{ti} = G_{ti} \cdot 0{,}25 \tag{3.13}$$

ahol E_{ti} a vizsgált időintervallumban a felületre érkező globális sugárzásmennyiség [kWh/m²]

G_{ti} a vizsgált időintervallumban a felületre érkező globális sugárzás intenzitás [kW/m²]

0,25 a vizsgált időtartam hossza [h]

Egy adott üvegszerkezeten beérkező sugárzás kisebb, mint az üvegfelületre érkező, a csökkenés mértéke az üveg úgy nevezett „g" értékével arányos, ezt az értéket minden gyártó meghatározza az általa elkészített üvegszerkezetekre. A tényező figyelembevétele a 3.14 egyenlet alapján történik:

$$G_{th} = \sum G_{ti} \cdot g \tag{3.14}$$

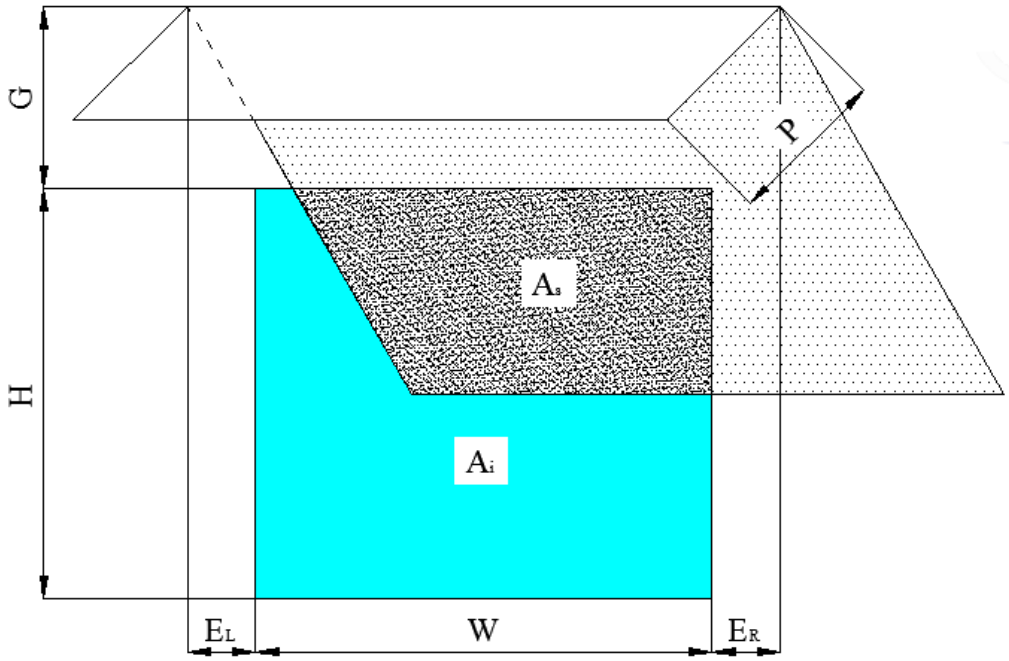
ahol G_{th} az egy nap folyamán a helyiségbe érkező sugárzás mennyisége [kWh/m²]

G_{ti} egy 15 perces periódusban az üvegfelületre érkező globális sugárzásmennyiség [kWh/m²]

g az üvegszerkezetre érkező napsugárzás helyiségbe jutó hányada [1]

3.4. Rögzített árnyékoló szerkezet sugárzáscsökkentő hatásának leírása függőleges felület esetén

A diplomamunka célja volt a rögzített árnyékoló szerkezetek hatásának a modellbe való illesztése is. A fix telepített árnyékoló modellezését a [17] irodalom alapján végeztem el. A számításoknál az égboltot izotróp felületnek tekintem. Egy általános rögzített árnyékoló sematikus képét a 3-6. ábra szemlélteti.



3-6. ábra, Az árnyékoló szerkezet és az ablakfelület helyzetének ábrázolása

Az ábrán látható jelölések az ablak és az árnyékoló szerkezet méreteit és egymáshoz viszonyított elhelyezkedését definiálják. W az ablak szélessége, H az ablak magassága. G az ablak és az árnyékoló szerkezet közötti távolság. EL, illetve ER az árnyékoló szerkezet túllógása az ablak széleihez képest. P az árnyékoló szerkezet vízszintes kilógása a faltól. A hivatkozott irodalom alapján a 3.14 egyenlet szerint számítható az árnyékoló szerkezet csökkentő hatása.

$$G_{r,i} = I_i \cdot f_i + D_i \cdot F_{r-s} + R_i \cdot F_{r-g} \tag{3.14}$$

ahol $G_{r,i}$ az árnyékolással rendelkező felületre érkező globális sugárzás intenzitása a vizsgált időpillanatban[kW/m²]

I_i az árnyékolás nélküli felületre érkező direkt sugárzás intenzitása a vizsgált időpillanatban [kW/m²]

D_i az árnyékolás nélküli felületre érkező diffúz sugárzás intenzitása a vizsgált időpillanatban [kW/m²]

R_i az árnyékolás nélküli felületre érkező visszavert sugárzás intenzitása a vizsgált időpillanatban [kW/m²]

f_i az árnyékolt és a teljes üvegfelület aránya [m²/m²]

F_{r-s} a diffúz sugárzást csökkentő tényező [1]

F_{r-g} a visszavert sugárzást csökkentő tényező [1]

Az egyenletben szereplő sugárzás értékek az Izotróp modell (3.9.a – 3.9.d egyenletek) alapján határozhatók meg.

Az f_i arányszámot a 3.16 egyenlet írja le.

$$f_i = \frac{A_i}{A_{tot}} \tag{3.16}$$

ahol A_i az árnyékolás nélküli ablakfelület [m²]

A_{tot} a teljes ablakfelület [m²]

A diffúz sugárzást csökkentő tényezőt a 3.17 egyenlet alapján lehet számítani a 3.17.a – 3.17.c segédegyenletek felhasználásával [17]. A segédegyenletekben szereplő szimbólumok értelmezését a 3-7. ábra mutatja be.

$$F_{r-s} = \frac{1}{2} - F_{r-0} \tag{3.17}$$

$$F_{r-0} = \int_A F_{dA-A1}\,dA + \int_A F_{dA-A2}\,dA \tag{3.17.a}$$

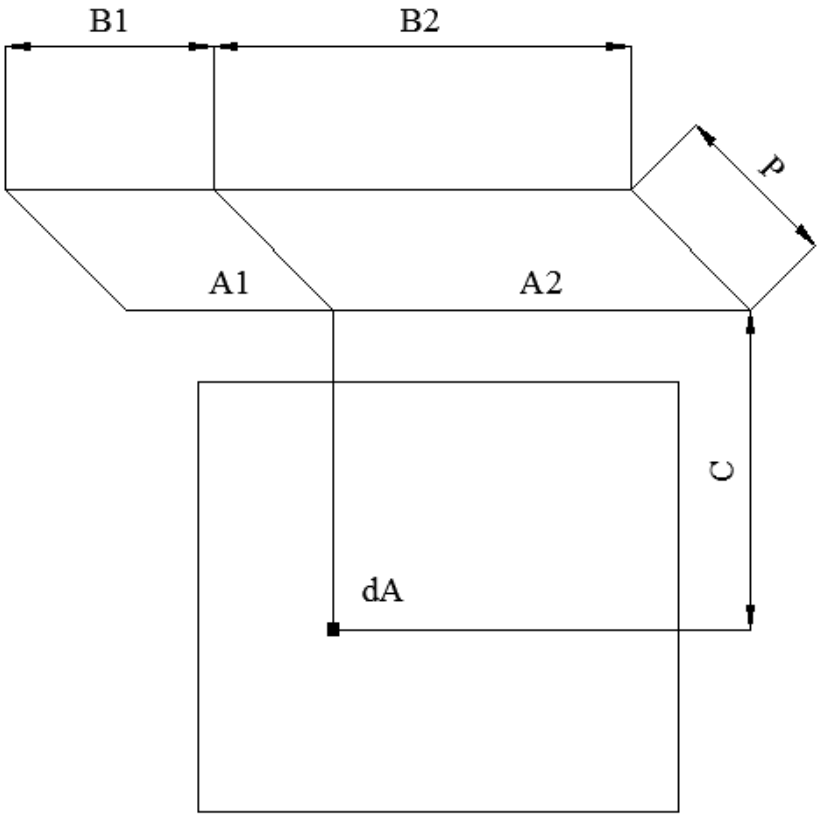
$$F_{dA-A1} = \frac{1}{2\pi} \cdot \left\{ \tan^{-1}\left[\frac{B1}{C}\right] - \left[\frac{\frac{C}{B1}}{\sqrt{\left(\frac{P}{B1}\right)^2 + \left(\frac{C}{B1}\right)^2}} \cdot \tan^{-1} \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{P}{B1}\right)^2 + \left(\frac{C}{B1}\right)^2}} \right] \right\} \tag{3.17.b}$$

$$F_{dA-A2} = \frac{1}{2\pi} \cdot \left\{ \tan^{-1}\left[\frac{B2}{C}\right] - \left[\frac{\frac{C}{B2}}{\sqrt{\left(\frac{P}{B2}\right)^2 + \left(\frac{C}{B2}\right)^2}} \cdot \tan^{-1} \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{P}{B2}\right)^2 + \left(\frac{C}{B2}\right)^2}} \right] \right\} \tag{3.17.c}$$

A visszavert sugárzást csökkentő tényező értéke állandó, a 3.18 egyenlet írja le:

$$F_{r-g} = \frac{1}{2} \tag{3.18}$$

Az ismertetett összefüggések alapján számítható egy fix árnyékoló szerkezet globális sugárzást csökkentő hatása. A számításokat minden egyes időpillanatra el kell végezni, hogy meghatározható legyen a csökkentett sugárzásintenzitás.



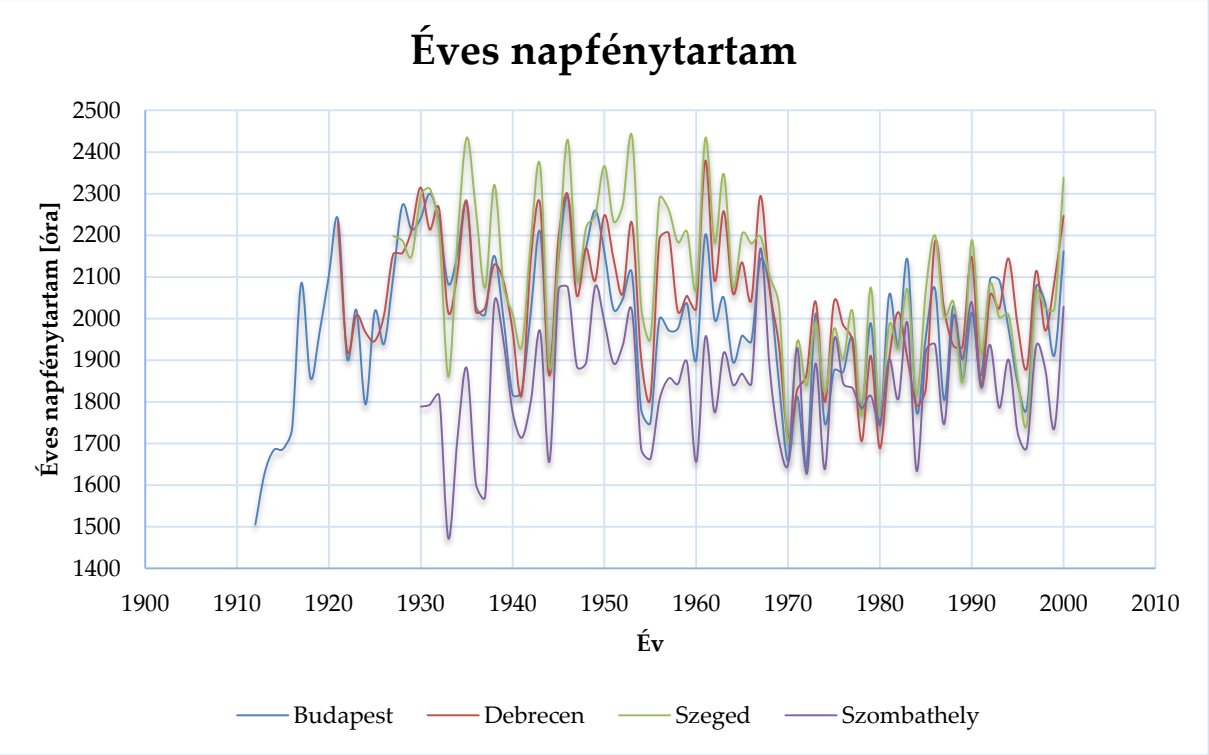
3-7. ábra, A felületelemek értelmezése

4. A MODELL MEGALKOTÁSAKOR RENDELKEZÉSRE ÁLLÓ OMSZ ADATOK

A modell alapvetően az Országos Meteorológiai Szolgálat által közzétett adatokat használja fel. Az OMSZ a mért napfénytartam adatokat a különböző mérőállomásokról (Budapest, Szeged, Debrecen és Szombathely) a honlapján közzétette [10].

4.1. Éves adatok

Az OMSZ honlapján közzétette az éves napfénytartam adatokat 4 nagyobb városra vonatkozóan. Az adatokat a 4-1. ábra szemlélteti.



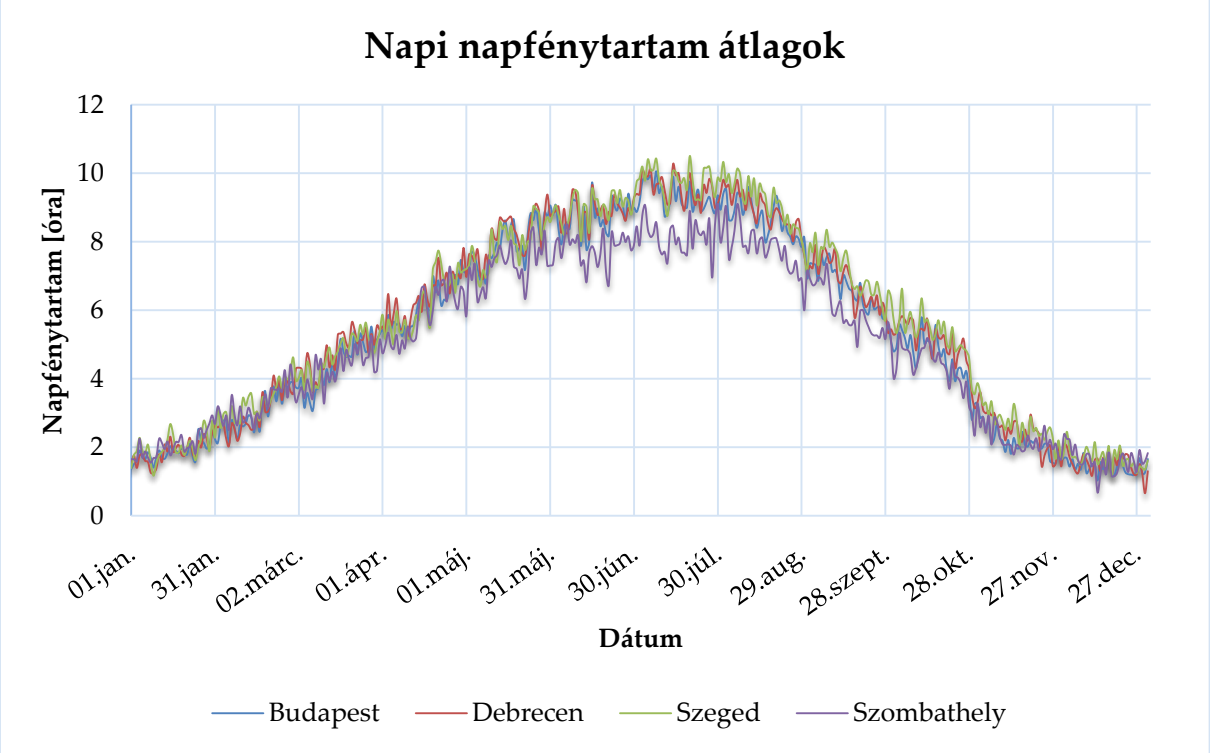
4-1. ábra, Éves napfénytartam adatok

Az ábrán látható, hogy Budapesten a méréseket 1912-ben kezdték meg, míg Debrecenben csak 1920-ban, Szegeden 1927-ben, illetve Szombathelyen 1930-ban. Látható továbbá, hogy a városokban az éves napfénytartam mennyisége hasonlóan ingadozik, a különböző évek időjárási viszonyainak megfelelően. Az 1970-es évek előtt jellemzően nagyobbak a mért adatok közötti különbségek. A Szegedi mérőállomásról származó adatok magasabbak, mint a többi városból származó adatok. A legalacsonyabb

mért adatok Szombathelyről származnak. A ’70-es évektől kezdve a napos órák száma lassú emelkedő tendenciát mutat, ennek oka valószínűleg a szilárdtüzelés visszaszorulása.

4.2. Napi napfénytartam átlagadatok

A dolgozat szempontjából azonban nem az éves adatok a fontosak, hanem a napi adatok. A napi adatokat is az OMSZ honlapjáról gyűjtöttem össze. A mért napfénytartam adatokat minden egyes város esetén a mért időszakra vonatkozóan napi szinten átlagoltam. Fontos megjegyezni azonban, hogy a modell megalkotása során a szökőéveket nem vettem figyelembe, így a február 29-i mért adatokat az átlagolások során figyelmen kívül hagytam. Az így kapott napi napfénytartam átlagértékeket a 4-2. ábra szemlélteti.

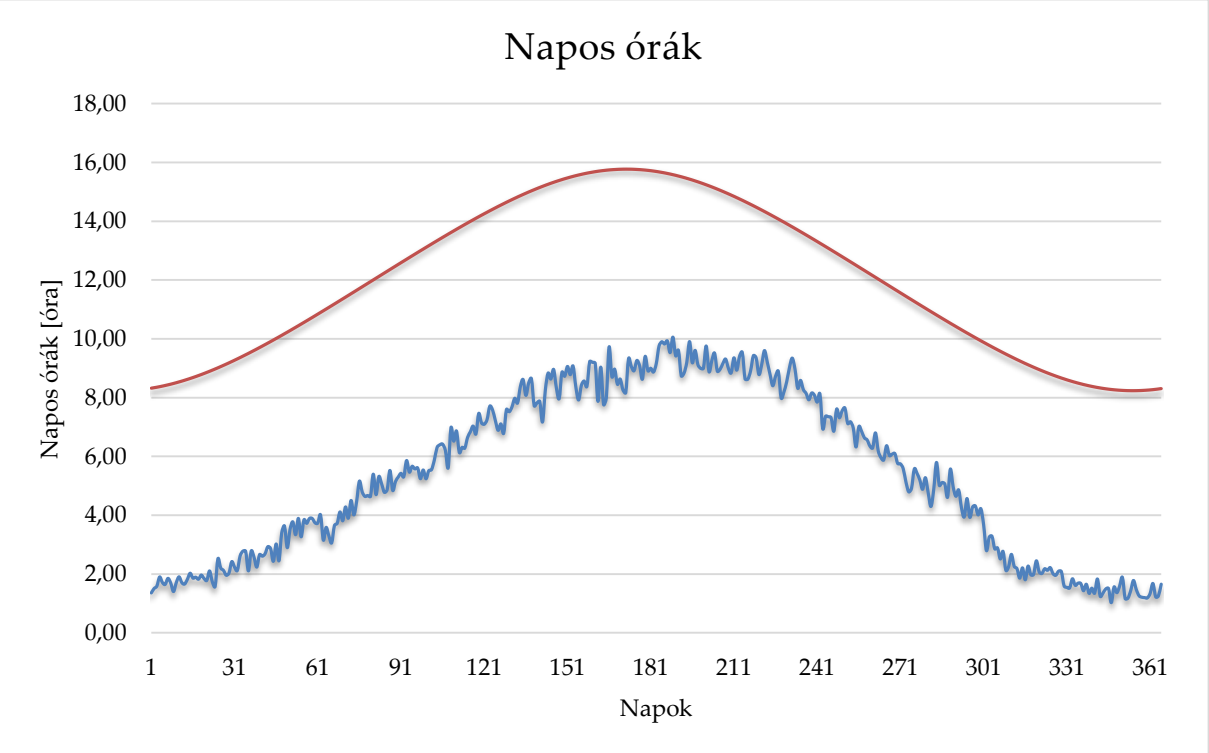


4-2. ábra, Napi napfénytartam átlagok

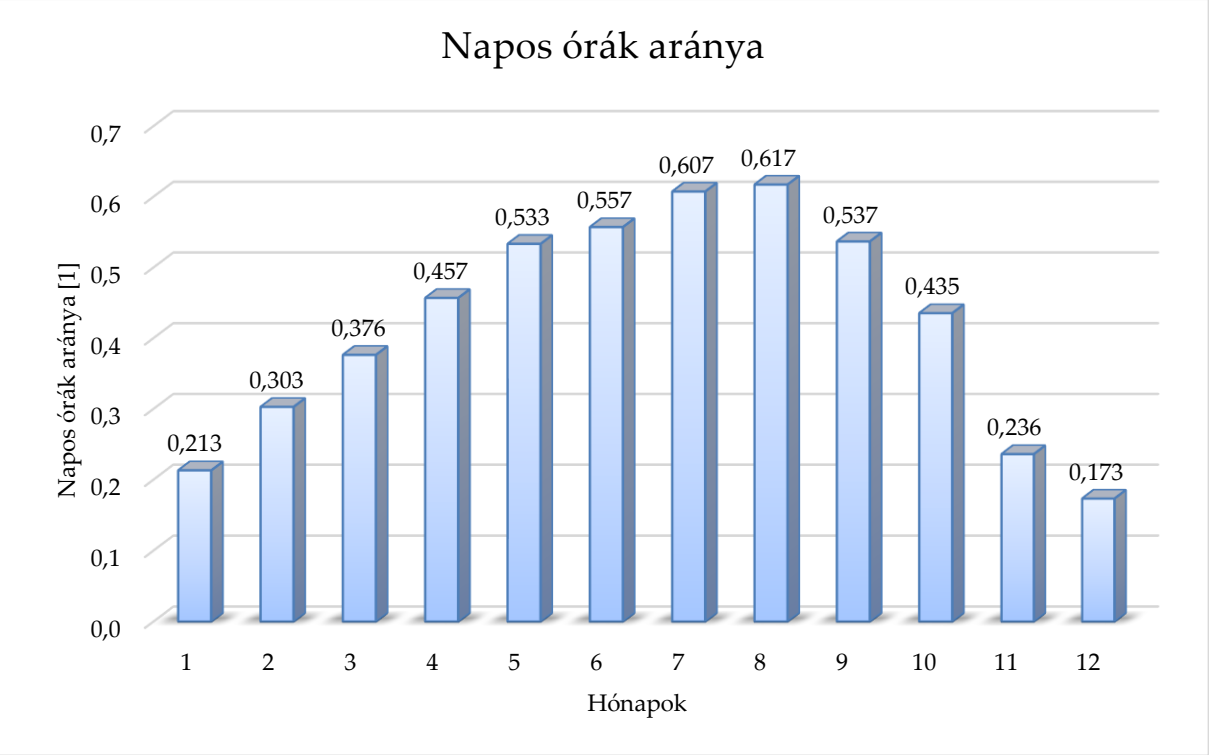
Az ábrán látható, hogy az egyes városokban a napi napfénytartam átlagok hasonló értéket vesznek fel. Ebben az esetben is a Szegeden mért adatok magasabbak, míg a Szombathelyen mértek alacsonyabbak. Látható továbbá, hogy az egyes napok között

az átlagolás minimalizálta az ingadozásokat. Az napi átlagértékek közötti ingadozások a fűtési idényben (október 15. – április 15.) jellemzően kisebbek.

A dolgozat további részében Budapest adatait használtam fel, így ezen mérőállomáshoz tartozó mérési adatok elemzését tovább részletezem. A dolgozat szempontjából a globális sugárzás megállapításakor fontos a napos idő arányának megállapítása a nap hosszának függvényében. A nap hosszát az elkészített nappálya modell alapján számítottam (3.4 egyenlet), a kapott értékeket a 4-3. ábra mutatja be. A számított „napos idő/nap hossza" arányt az 1912-2000 közötti időszakra vonatkozóan a 4-4. ábra szemlélteti. A diagramokhoz felhasznált értékeket a 10.1 melléklet tartalmazza.



4-3. ábra, A napos idő és a nap hossza

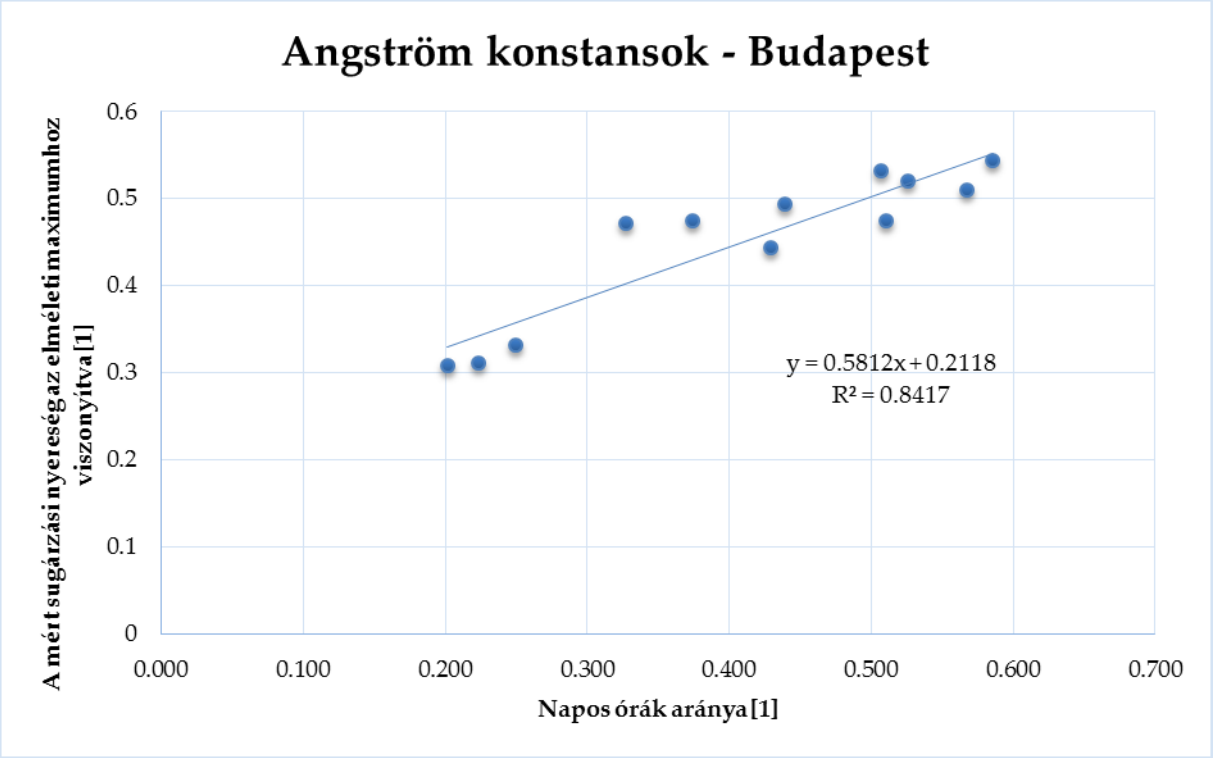


4-4. ábra, Napos órák aránya a nap hosszához viszonyítva

4.3. Az Angström konstansok meghatározása

A modellel való számítás első lépéseként meg kell határozni az Angström konstansokat az adott földrajzi helyre vonatkozóan. A konstansok meghatározását a számítási metódusoknál ismertetett 3.7 egyenlet alapján végeztem. A konstansok meghatározásához szükséges vízszintes felületen mért sugárzási energiahozam ismerete, illetve az adott időszakra vonatkozó napos órák aránya.

A vízszintes felületre érkező sugárzási adatokat a [18] irodalomból vettem. A rendelkezésemre álló napos órák adatsorából az mérési időtartam ismerete híján az 1970 – 2000 közötti időszak átlagát vettem figyelembe. Az Angström konstansokat a 4-5. ábra alapján a=0,2118 és b=0.5812 értéknek vettem fel. Az ábrán látható, hogy az adatsorhoz tartozó R^2 értéke 0,8417. A kapott R^2 érték alapján a konstansok értékét elfogadom, azonban ezzel a közelítéssel a modellel végzett számítások pontosságát csökkentem, így a kapott értékek értékelésekor ezt figyelembe kell venni. A kapott korrelációt a modell szempontjából elfogadhatónak tartom, azonban javasolt a konstansok pontosabb meghatározása egyazon mérőállomás származó adatok alapján.



4-5. ábra, A Budapestre vonatkozó Angström konstansok

5. A RENDELKEZÉSRE ÁLLÓ SUGÁRZÁSADATOK ÉS A MODELL EREDMÉNYEINEK ÖSSZEVETÉSE

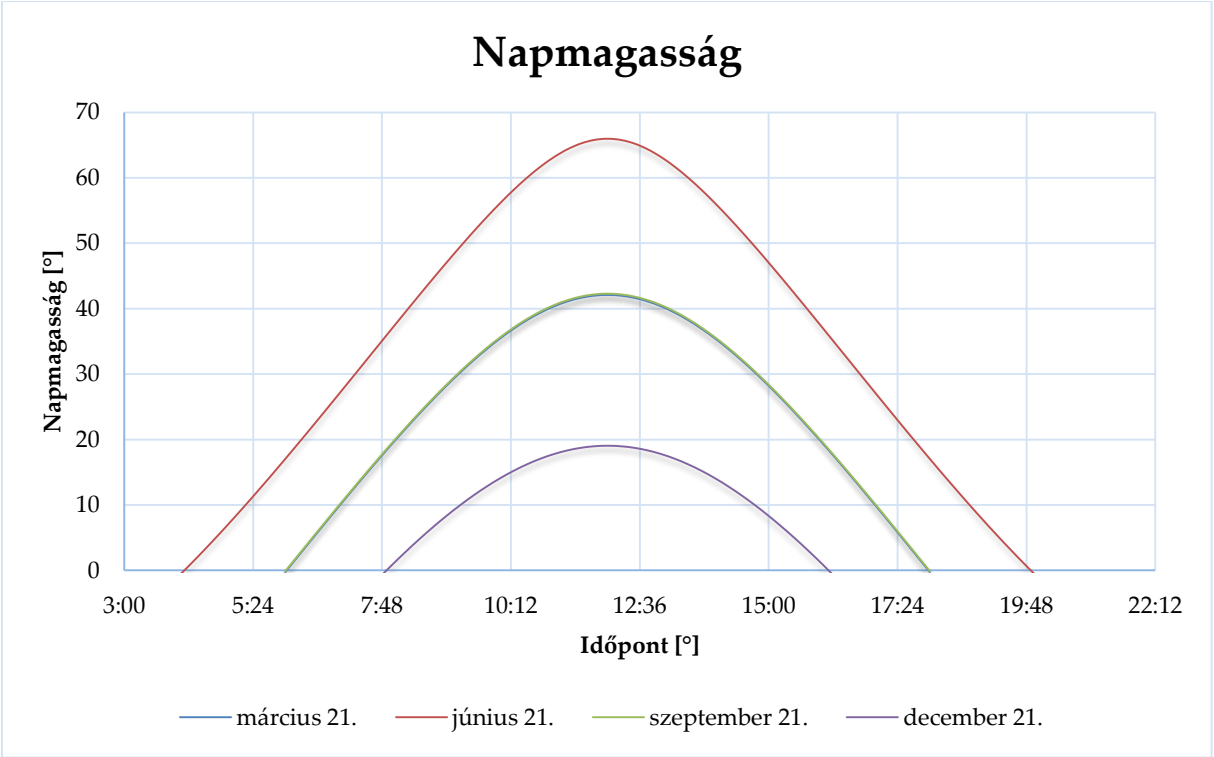
Ebben a fejezetben a rendelkezésemre álló mérési adatokat hasonlítom össze a számítási módszer ismertetésénél leírt három különböző modell által számított értékekkel. A rendelkezésemre álló adatok havi, illetve egy esetben napi bontásban is a rendelkezésemre álltak.

A számítások első lépéseként meg kell határozni a nappályát. A nappályát a napmagassággal és az azimut értékkel lehet jellemezni, ezen értékek a vizsgált hely adott földrajzi koordinátáitól függenek. Ezek az értékek mindhárom ismertetett modell esetén azonosak.

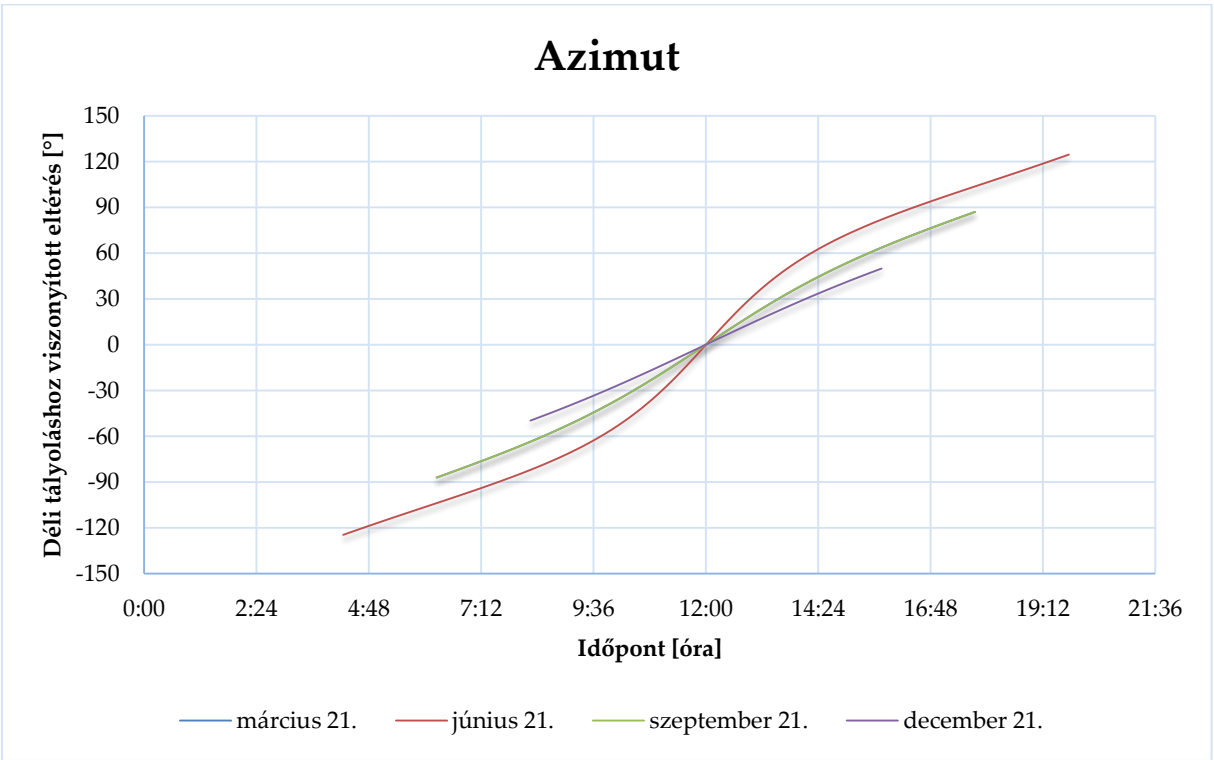
5.1. A számított napmagasság és azimut értékek

A napmagasság évi alakulását a 5-1. ábra szemlélteti. Az ábrán látható, hogy a nap a nyári időszakban magasabban jár, mint télen. A legmagasabb napállás 65,95° június 21-én, míg a legalacsonyabb 19,05° december 21-én van. A kapott diagram megfelel a valóságnak.

Az azimut értékeket a 5-2. ábra szemlélteti. Az ábrán látható, hogy egy év során a napok hossza változó, az északi féltekén a leghosszabb nap a nyári napfordulóra, június 21-re adódik, a legrövidebb pedig a téli napfordulóra, december 21-re. A diagramon látható továbbá, hogy csak a tavaszi és őszi napéjegyenlőség esetén kel a nap keleten és nyugszik nyugaton. A nyári napfordulókor északkeleti irányban kel fel, és északnyugati irányban nyugszik. A téli napfordulókor a nap hossza a legrövidebb, délkeleten kel fel és délnyugaton nyugszik a nap.



5-1. ábra, Napmagasság változása

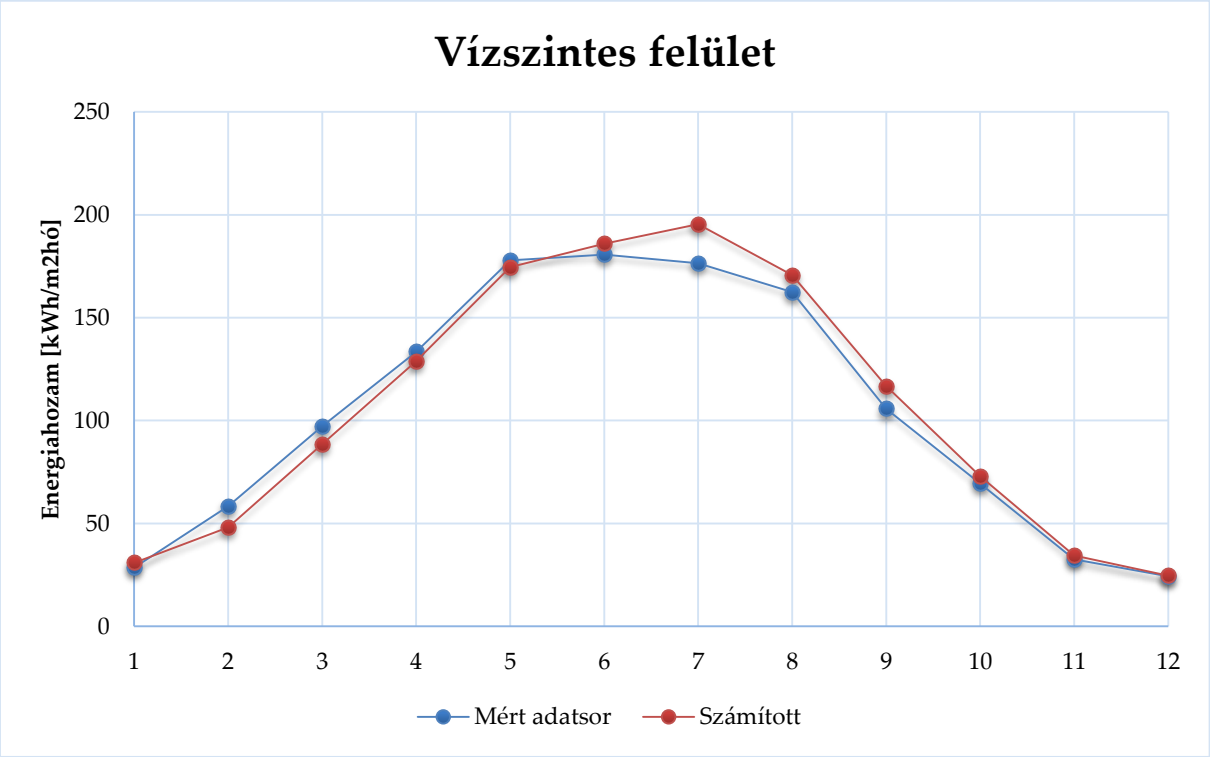


5-2. ábra, Azimut értékek változása

5.2. Havi adatok összehasonlítása

5.2.1. A MODELLEK ÁLTAL SZÁMÍTOTT ÉRTÉKEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA VÍZSZINTES FELÜLETEN MÉRT ADATOKKAL

Vízszintes felületre vonatkozó számítás során mindhárom modell azonos számítási eredményt ad. A modellek által számított értékeket a [18] irodalom Budapestre vonatkozó adataival hasonlítom össze. Ezen adatoknál sajnos nem áll rendelkezésemre a mérési időtartam, azonban az adatok előzőleg megjelölt forrása az OMSZ. Az adatok megtalálhatók a [18] 4.1.1. táblázatában, a táblázatból Budapest adatait használtam fel. A felhasznált adatok és a számított eredmények az 5-3. ábra mutatja be, az értékek a 10.2 mellékletben találhatók.



5-3. ábra, Vízszintes felületre érkező sugárzás mért- és számított adatai

A diagramon látható, hogy vízszintes felület esetén közelítenek egymáshoz az adatok, az adatsorok között számított korrelációs együttható 0,993. A diagramról általánosan megállapítható, hogy a számított adatsor július hónap kivételével jól közelíti a mért értékeket. Az eltérés éves szinten 1,5%, amely a modell egyszerűsítéseit figyelembe véve rendkívül alacsonynak mondható.

5.2.2. A MODELLEK ÁLTAL SZÁMÍTOTT ÉRTÉKEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA FÜGGŐLEGES FELÜLETEN MÉRT ADATOKKAL

A diplomaterv fő célja volt egy olyan számító program készítése, amely alkalmas üvegfelületeken beérkező sugárzás meghatározására. Az üvegszerkezetek általában függőlegesen kerülnek beépítésre, így mindenképpen szükséges 90°-os dőlésszög esetén is a modell értékeinek validálása. Mérési adatok csak 1969-1976 között mért 8 éves periódusból állnak rendelkezésemre [19]. Ezen havi átlagadatok a hivatkozott irodalom [19] 4.4-es táblázatában találhatók. Az említett mérési időszakra rendelkezésemre állnak az OMSZ honlapjáról [10] a napfénytartam adatok is, így lehetőségem nyílt a modellből két számítási eredmény vizsgálatára is. A mért és számított értékeket északi-, keleti-, déli- és nyugati tájolás esetén rendre az 5-4. ábra, 5-5. ábra, 5-6. ábra, 5-7. ábra tartalmazza. Az mért adatok és a számított értékek a 10.3 – 10.6 mellékletekben találhatók.

Az északi tájolású felülethez tartozó ábrán (5-4. ábra) látható, hogy a számított adatok az egyszerűbb Hay modell kivételével minden esetben magasabbak a mért adatoknál. Az eltérés éves szinten az Izotróp modell esetén 33,0%, a Hay modell esetén -3,0%, illetve a Korrigált Hay modell esetén 11,3%. Ebben az esetben tehát a Hay modell adja a legjobb közelítő eredményt. A modellek közötti nagy eltérés a diffúz sugárzás különbözőképpen való kezelése miatt lép fel. Ebben az esetben a Korrigált Hay modell túlbecsüli a diffúz sugárzás mértékét az egyszerű Hay modellhez képest. Ez a felülbecslés északi tájolású felület esetén hibás, mivel ebben az esetben a diffúz sugárzás a meghatározó. A diagramon látható továbbá, hogy a számító modellek nyári esetben

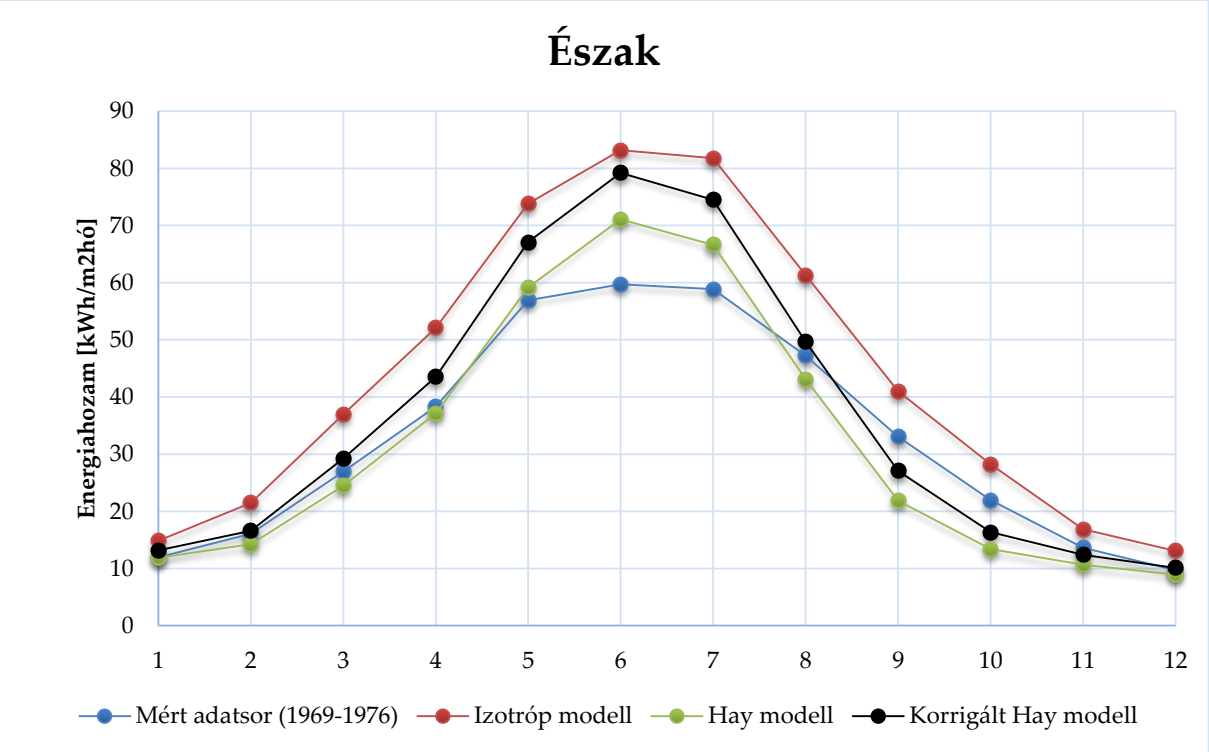
jellemzően magasabb értéket adnak, mint a mért adatok, az év többi részében azonban jobban közelítik a mért értékeket.

Keleti tájolás esetén már mindhárom modell pontosabb eredményt ad (5-5. ábra). Ebben az esetben megfigyelhető, hogy a modellek által számított értékek jellemzően magasabbak, mint a mért adatsor. A diagramon látható, hogy ismét a Hay modell adja a legjobb közelítést, éves szinten az eltérés ebben az esetben 2,0%. Izotróp modell esetén az eltérés 6,7%, míg a Korrigált Hay modell 8,9%-al felülbecsli a beérkező energiamennyiséget. A közelebbi eredmények oka valószínűleg az, hogy keleti tájolás esetén megjelenik a délelőtti órákban meghatározó direkt sugárzás és a diffúz sugárzás jelentősége ezekben az órákban lecsökken.

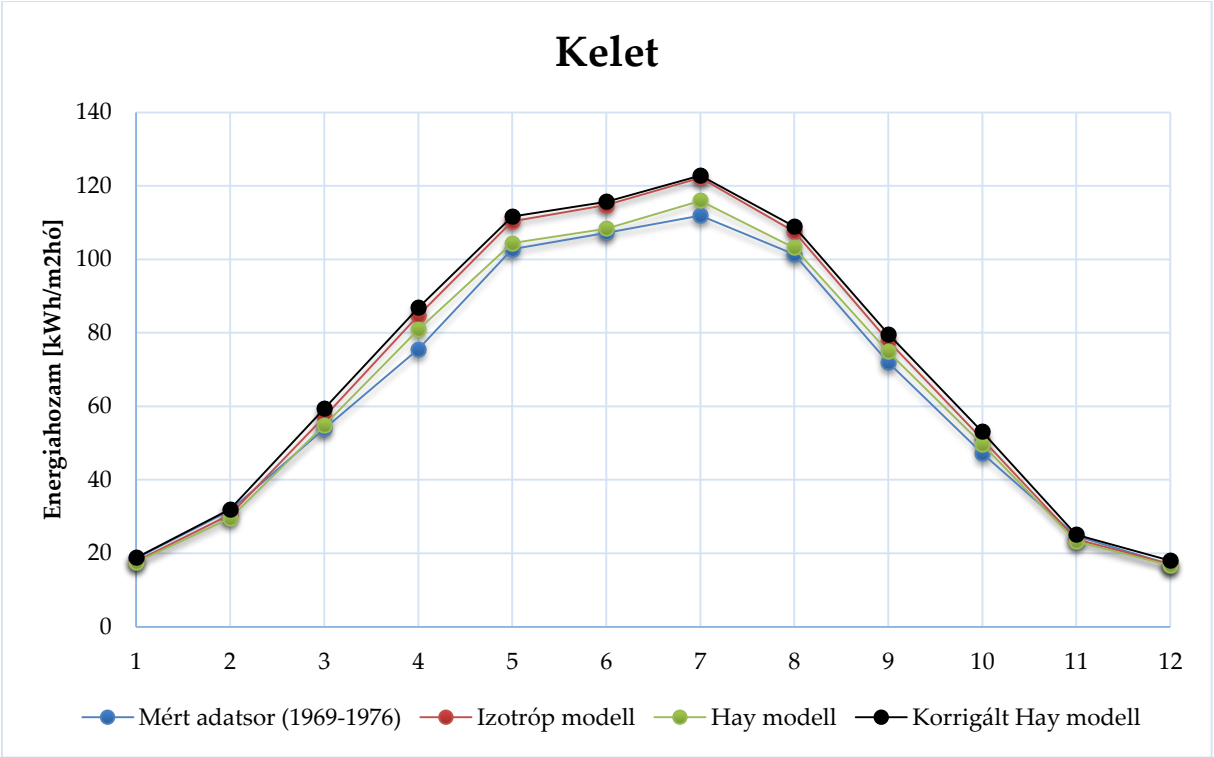
A déli tájolású felületre elvégzett számítások során a modellek által számított értékek minden esetben alulbecsülik a beérkező sugárzás mennyiségét (5-6. ábra). Ebben az esetben a Korrigált Hay modell adja a legpontosabb eredményt. Ennek oka, hogy déli tájolás esetén mind az Izotróp, mind pedig a Hay modell alulbecsüli a diffúz sugárzás értékét, ha magas a direkt sugárzás részaránya, amely déli tájolás esetén meghatározó. A Korrigált Hay modell alkalmazása esetén az eltérés éves szinten -6,0%. Az Izotróp modell esetén az eltérés -13,8%, míg az egyszerű Hay modell esetén -12,0%. A számítások során a déli tájolású felületre számított értékek hozták a legközelebbi eredményeket a mérési adatokhoz.

Nyugati tájolás esetén a kapott diagram (5-7. ábra) hasonló a keleti tájolású felülethez. Ami észrevehető, hogy a számított értékek megegyeznek a keleti tájolású felületre számítottal, azonban a mért értékek alacsonyabbak. Ennek oka valószínűleg, hogy a délelőtti és délutáni órák között a felhőzöttség aránya nem egyenletes, így a keleti és nyugati tájolás között energianyereség szempontjából eltérés van. Ennek megfelelően az éves eltérés is nagyobb. A legközelebbi eredményt adó modell a Hay modell, azonban ebben az esetben az eltérés éves szinten már 11,4%. Az Izotróp modell esetén az eltérés 16,4%, míg a Korrigált Hay modell esetén 18,9%.

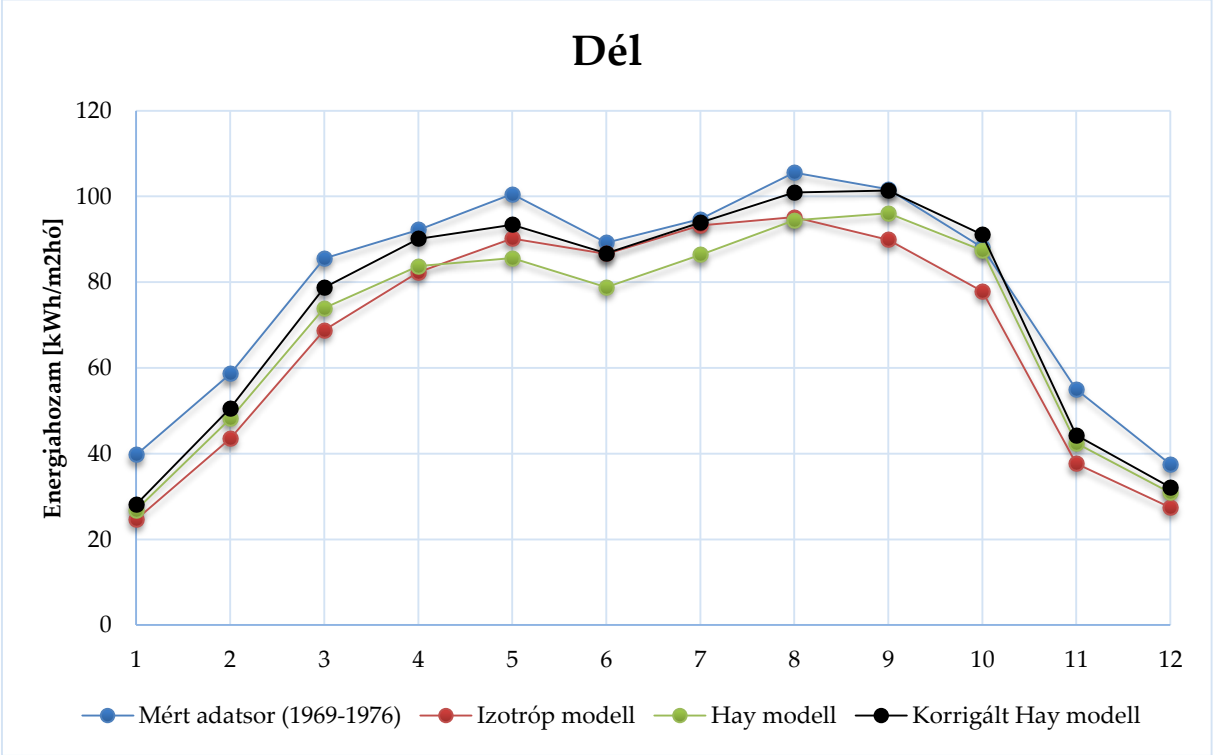
Általánosan megállapítható, hogy az Izotróp modell egyik esetben sem bizonyult optimálisnak, így ennek a modellnek a használatát függőleges felületek esetén elvetendőnek tartom. Északi, keleti és nyugati tájolású felületek esetén az eredmények alapján a Hay modell alkalmazása javasolt. Déli tájolás esetén a Korrigált Hay modell adta a legjobban közelítő eredményt, így ebben az esetben ezen modell alkalmazása javasolt. A mért adatsorok és az egyes esetekben legközelebbi eredményt adó modellek eredményeinek korrelációja: északi tájolás esetén 0,975, keleti tájolás esetén 0,999, déli tájolás esetén 0,992, illetve nyugati tájolás esetén 0,999. A kapott korrelációs tényezők alapján kijelenthető, hogy a legjobban közelítő modellek az éves energianyereség változását jól követi, azonban a kapott értékek egyes esetekben jelentősen eltérnek.



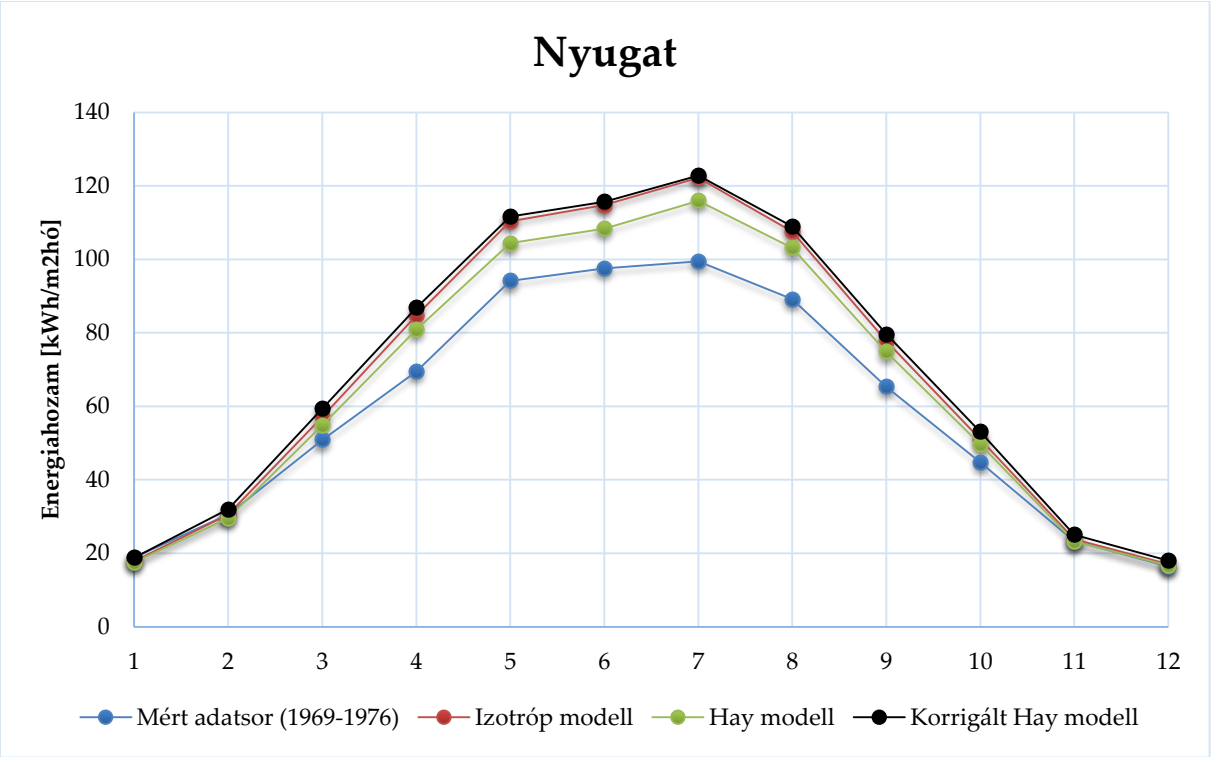
5-4. ábra, Északi tájolású, függőleges felületre érkező sugárzás mért és számított értékei



5-5. ábra, Keleti tájolású, függőleges felületre érkező sugárzás mért és számított értékei



5-6. ábra, Déli tájolású, függőleges felületre érkező sugárzás mért és számított értékei

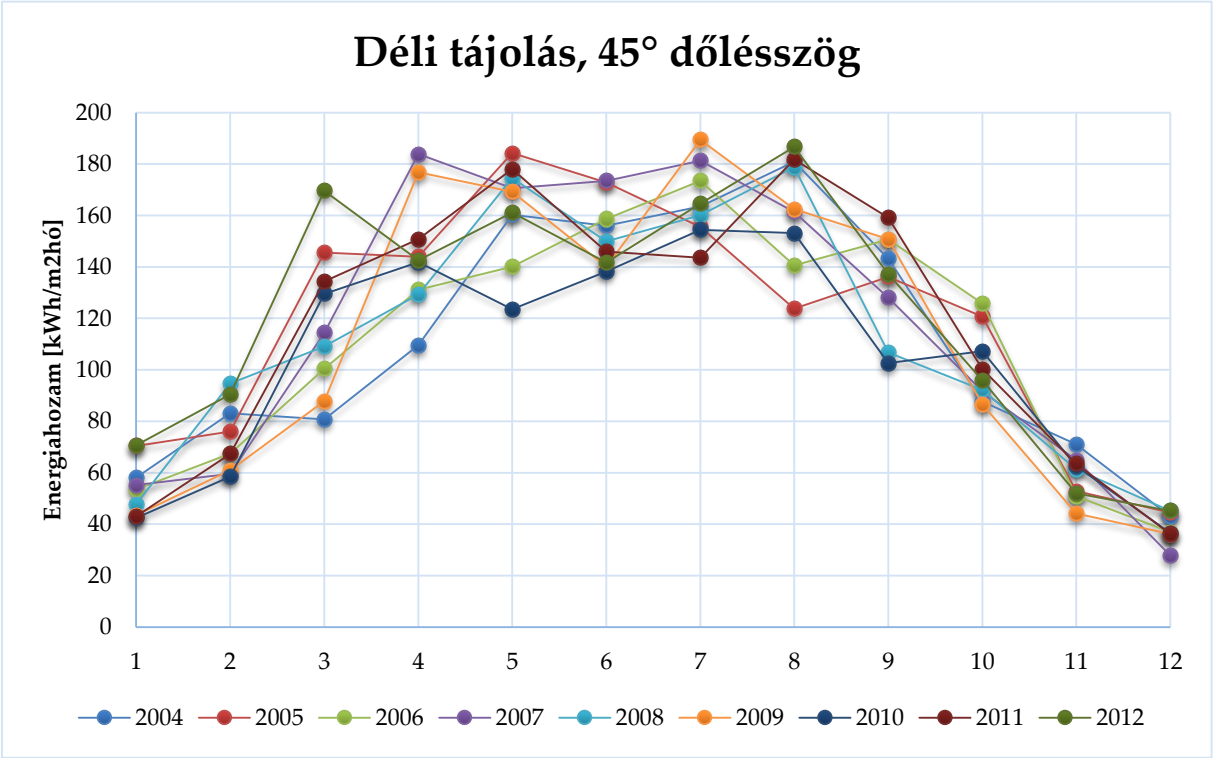


5-7. ábra, Nyugati tájolású, függőleges felületre érkező sugárzás mért és számított értékei

5.2.3. AZ IZOTRÓP MODELL ÁLTAL SZÁMÍTOTT ÉRTÉKEKE ÖSSZEHASONLÍTÁSA DÉLI TÁJOLÁSÚ, 45°-OS DŐLÉSSZÖGŰ FELÜLETEN MÉRT ADATOKKAL

A modell értékeléséhez, a 45°-os déli tájolású felülethez tartozó mért globális sugárzási adatokat a Naplopó Kft. honlapjáról vettem [18]. A napsugárzás mérő állomás üzembe helyezése 2004. január 1-én volt. A napsugárzást egy déli tájolású 45°-ban döntött felületen mérik egy Kipp & Zonen gyártmányú, CM-5 típusú szellőztetett piranométerrel. A piranométer 2%-os pontossággal méri a beérkező globális sugárzást. A mérőállomás földrajzi pozíciója: É: 47,55727°, K: 19,05033°, H: 12 m. A cég a 2004-2012 között mért adatokat a honlapján közzétette, így azokat használtam fel [18]. A mérőberendezést az 5-8. ábra mutatja be. A mért adatokat az 5-9. ábra tartalmazza, az ábrázolt értékek a 10.7 mellékletben találhatóak.

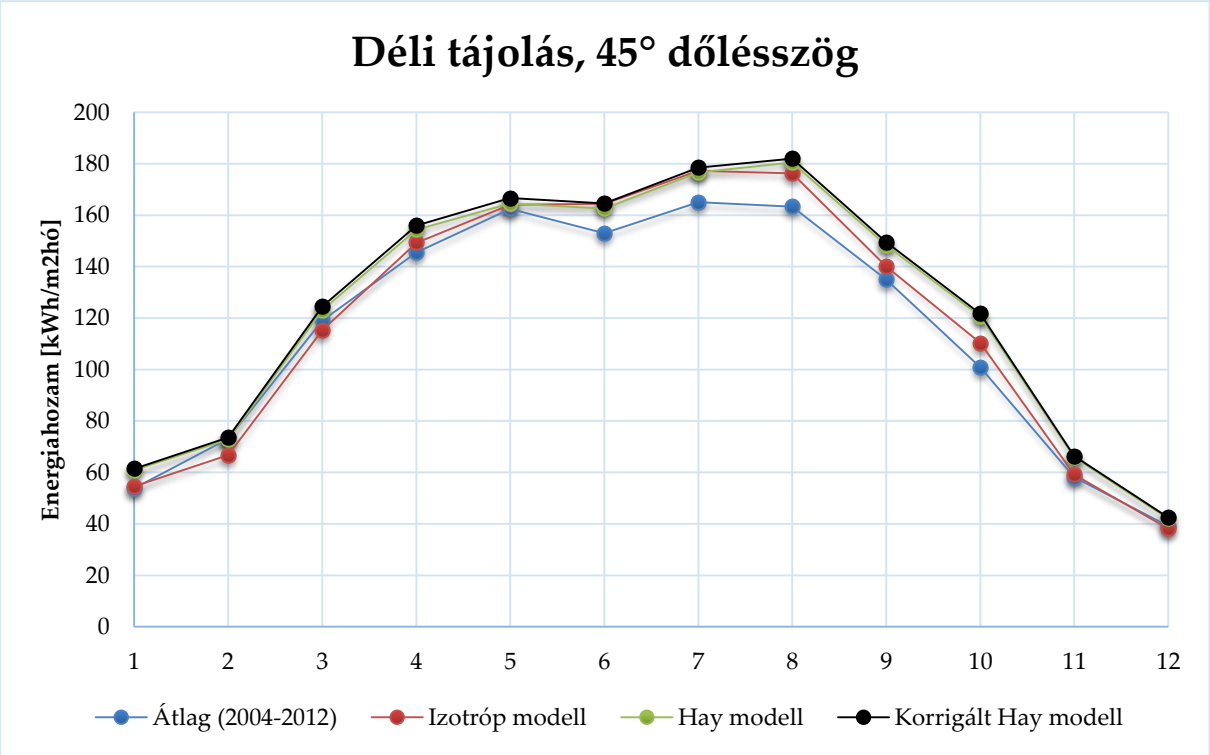
5-8. ábra, Kipp & Zonen gyártmányú, CM-5 típusú piranométer



5-9. ábra, A Naplopó Kft. által rögzített sugárzásmennyiségek havi értékei 2004-2010 között

Az ábrán látható, hogy a 45°-os dőlésszögű, déli tájolású felületre nyáron érkező sugárzás mennyisége háromszorosa a télen beesőnek. Látható továbbá, hogy az egyes évek mért értékei szórnak ugyan, de egy állandó trendet mutatnak.

A honlapról vett mérési adatokat a mért időszakra átlagoltam. Az így kapott havi átlagértékek és a modellek által számított értékeket az 5-10. ábra szemlélteti, az adatokat a 10.8 melléklet tartalmazza. A diagramon látható, hogy a számított értékek jellemzően magasabbak, mint a mérési adatok. Ebben az esetben a legközelebbi értéket az Izotróp modell hozta, éves szinten 3,3%-os eltéréssel. A másik két modell esetén a számított értékek magasabbak. A Hay modell esetén számított érték éves szinten 7,1%-al magasabb, míg a Korrigált Hay modell esetén az eltérés 8%. A számított korrelációs együttható mindhárom számított adatsor esetén magasabb, mint 0,993.



5-10. ábra, A Naplopó által mért értékek átlagai és a modellel számított értékek

5.3. Napi adatok összehasonlítása

A Naplopó Kft.-nek köszönhetően rendelkezésemre állnak a cég mérőműszerei által napi szinten rögzített energianyereség értékek. Ebben az alfejezetben a rendelkezésemre álló adatokat hasonlítom össze az Izotróp modell által számított értékekkel. Az összehasonlítást csak ezzel az egy modellel végzem el, mivel a havi adatok esetén ez a modell hozta a legközelebbi értékeket. A rendelkezésemre álló adatok birtokában 2004. január 10. és 2012. április 5. között napi adatokból meghatároztam a modell segítségével az aktuális napra számított sugárzási nyereséget.

Az eredmények összehasonlítása során felmerülő probléma volt, hogy a sugárzásmérés által kapott adatok az adatgyűjtő hibás működése miatt egyes napokon hiányoztak, ezért ezekre a napokra a napos órák száma alapján számított energianyereséget figyelmen kívül hagytam, tehát 0 értékkel helyettesítettem. Az elvégzett korrekció után a kapott éves adatok és korrelációs együtt hatók a 5-1. táblázatban láthatóak. A kapott eredményekből látható, hogy az Izotróp modell által számított legnagyobb eltérés 15,8%, azonban ez az eltérés összességében 8,5%. A teljes időtartamra számított korrelációs együttható pedig 0,952. Az eredményekből látható, hogy, ha a modellel napi adatok szintjén végezzük az összehasonlítást, akkor déli tájolású 45°-os dőlésszögű felületre magas korrelációs együttható mellett folyamatos felülbecsléssel kapjuk az eredményeket.

5-1. táblázat, Globális sugárzásból származó éves energiahozam 45°-os dőlésszögű felületen

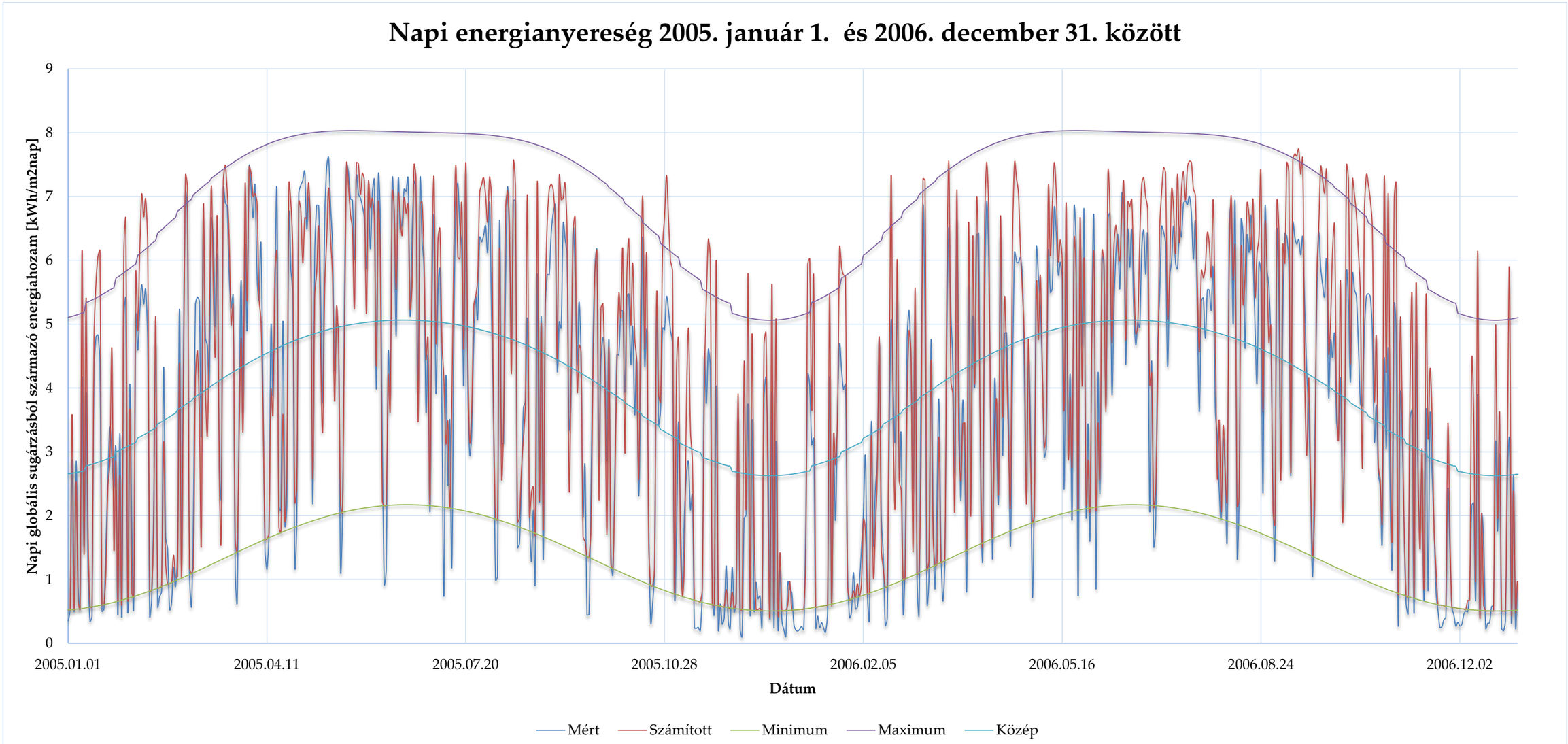
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Mért	1297,1	1419,7	1329,4	1409,5	1348,7	1267,4	1178,4	1386,3	355,6
Számított	1320,4	1504,2	1492,7	1530,3	1478,5	1391,3	1287,5	1605,6	397,4
Eltérés [%]	1,8	6,0	12,3	8,6	9,6	9,8	9,3	15,8	11,8
Korreláció	0,935	0,946	0,949	0,961	0,952	0,964	0,964	0,960	0,944

Megjegyzés: A táblázatban szereplő értékek [kWh/m²év] mértékegységben értendőek, azzal a megkötéssel, hogy 2004-ben az adatok csak január 10-e után álltak rendelkezésre, illetve 2012-ben pedig csak április 5-ig.

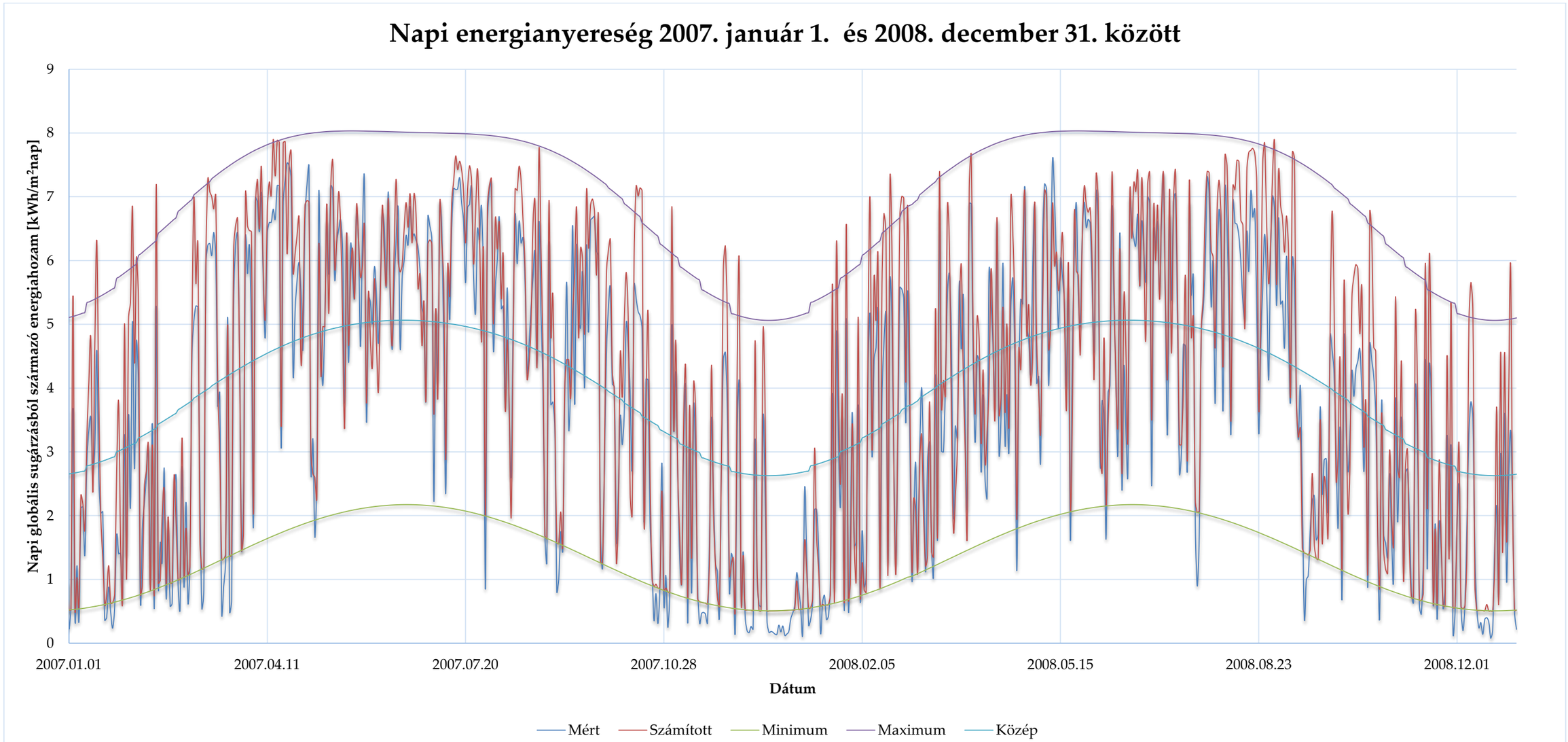
A mérési adatok hiba nélkül voltak regisztrálva 2005. január 1. és 2008. december 31. között. Ezeket az adatokat tovább elemeztem. Az adott időszakra meghatároztam a modell által számítható maximális (tiszta égbolt), minimális (borult égbolt), illetve a középértékhez (50%-ban tiszta égbolt) tartozó energiahozamot. A kapott eredményeket az 5-11. ábra és az 5-12. ábra szemlélteti.

A kapott diagramokon látható, hogy az adott évre vonatkozó számítási eredmények számos esetben meghaladják a modell által teljesen tiszta égboltra számított eredményeket. Ez lehet az oka valószínűleg, hogy a modell felülbecsüli az éves energianyereséget a mérési eredményekhez képest. Ennek oka valószínűleg az, hogy az Angström konstansok meghatározása nem volt pontos, így az egyes sugárzáskomponensek számítása hibát hordoz magában. Az ilyen napoktól eltekintve a modell által számított és a mért értékek közel vannak egymáshoz.

A kapott diagramokon megfigyelhető továbbá, hogy a mért energianyereségben megjelenő ugrásszerű változásokat a modell nem képes lekövetni. Ennek oka az, hogy a modell az időjárási viszonyokat csak a napos órák számával veszi figyelembe. Azonban előfordulnak olyan napok, amikor az atmoszférában kevesebb a szennyeződés (pl. eső után), így a légkör sugárzáscsökkentő hatása kisebb és magasabb a beérkező sugárzásmennyiség. Illetve olyan napok is előfordulhatnak, amikor a szélcsendes idő miatt a légkörben megnő a különböző szennyező anyagok koncentrációja, így csökkentik a légkör sugárzás áteresztő képességét. Ezt az állítást támasztja alá, hogy vannak olyan mérési eredmények is, amelyek a modell által számított minimális érték alatt vannak. 237 ilyen érték van, amely a teljes adatsor 16,2%-a.



5-11. ábra, Napi energianyereségek 45°-os dőlésszögű felületen, 2005. január 1. és 2006. december 31. között



5-12. ábra, Napi energianyereségek 45°-os dőlésszögű felületen, 2007. január 1. és 2008. december 31. között

6. IRODAKOMPLEXUM MÉRETEZÉSI ÉS ÉVES SZOLÁRIS NYERESÉGÉNEK MEGHATÁROZÁSA

Ebben a fejezetben egy a konzulenseim által választott irodakomplexum várható szoláris energianyereségét határozom meg a 3. fejezetben ismertetett Hay modell alapján. A számítások során meghatározom a nyári méretezési szoláris energianyereséget, illetve becslést teszek a várható éves energiahozamra is. Az irodakomplexum elemzését B.Sc. szakdolgozatom keretében végeztem el [21]. Ebben a rendelkezésre álló szabványok és az akkor még hatályos 7/2006-os TNM rendelet alapján végeztem el a méretezést, illetve tettem becslést a várható éves hűtési igényre.

6.1. Az irodaközpont alapadatai

Az irodaközpont építési helyszíne Budapest. Az épületek fő funkciója üzleti hasznosítású irodaterület, azonban a földszinten üzletek, illetve éttermek is helyet kapnának. A komplexum épületeinek elhelyezkedése és tájolása a 10.9 mellékletben látható. Az A1, A2, B1, B2, C1, C2, D1, D2, E1 hét emeleti és egy nyolcadik gépészeti szintből állnak. A gépészeti szint az A2, B2, C2, D2 épületek esetében részben fedett. A többi épületen a szabadban vannak a berendezések. Az irodaépületek földszintjén üzlethelyiségek kaptak helyet, illetve az A2 épület esetén étterem. Az 1-7. szinteken kisterű irodák kerültek kialakításra. Az irodaépületeket két fajta építmény köti össze. Az A, B, C épületek biztosítják az átjárást az irodaépületek között minden szinten, illetve ezekben találhatók a liftek is. Az I., II., III. jelzésű épületek csak a földszinten kötik össze az irodaépületeket. Az I. épületben étterem kapott helyet, míg a másik kettőben üzlethelyiség.

A szoláris energianyereség szempontjából meghatározó az üvegfelületek tájolása és nagysága. Az üvegfelületeket égtájakra felosztva épületek szerinti bontásban a 6-1. táblázat tartalmazza. A táblázatban látható, hogy az üvegszerkezetek megoszlása a

komplexumon közel egyenletes. Északi és déli tájolású üvegszerkezetből ≈2800 m^2 van, míg keleti és nyugati tájolásúból ≈2100 m^2. A táblázatban szereplő üvegfelületeknél az égtájaktól való 10°-ot nem meghaladó eltérések figyelmen kívül hagytam. Az üvegszerkezetek pontos tájolását a 10.10 melléklet tartalmazza. Az üvegszerkezetek a tervek szerint U_w=1,1 W/m^2K hőátbocsátási tényezővel és 0,6-es g értékkel rendelkeznek. Az üvegszerkezeteken külön árnyékoló szerkezet nem került kialakításra.

6-1. táblázat, Az irodakomplexum épületeinek üvegszerkezetei tájolás szerinti bontásban

	Üvegfelület [m^2]				
Épület	**Észak**	**Kelet**	**Dél**	**Nyugat**	**Vízszintes**
A	-	142,5	-	342	142
A1	147,6	252,5	72	194,6	-
A2	344,6	172,5	402,2	14,4	-
B	-	413,3	-	142,5	175
B1	290,7	-	176,8	137,5	-
B2	284,8	15,6	405,8	167,9	-
C	-	142,5	-	413,3	194
C1	317,5	164,4	225,3	3,6	-
C2	393,9	181,8	474,8	13,4	-
D	-	413,3	-	136,8	184
D1	270,7	7,3	230,4	175	-
D2	334,6	-	438,1	203,8	-
E1	429,7	134	388,4	2,4	-
I.	-	39,1	-	22,9	29,9
II.	-	33,6	-	56,9	35,1
III.	-	-	2,4	38,5	39,2
Komplexum	2814,1	2112,3	2816,1	2065,3	799,2

6.2. A vonatkozó hatályos jogszabályok szerinti méretezési eredmények

A komplexum méretezését B.Sc. szakdolgozatomban végeztem el. A méretezés során számítottam a belső, illetve a külső hőterhelést is. A számításokat WinWatt programmal végeztem a vonatkozó előírások alapján. A kapott eredményeket a 6-2. táblázatban foglalom össze. A komplexum esetén a csúcsterhelés értéke 1296 kW, melynek időpontja 14:00, és a meghatározott méretezési érték egy fiktív napra vonatkozik.

6-2. táblázat, Az irodakomplexum épületeinél jelentkező szoláris energianyereség a WinWatt program alapján

Épület	Szoláris hőterhelés [kW]	Csúcsterhelés időpontja [óra]
A	113,197	17
A1	67,723	10
A2	102,205	13
B	120,920	10
B1	65,499	18
B2	97,458	14
C	143,605	16
C1	74,459	13
C2	113,895	13
D	122,404	10
D1	76,773	17
D2	109,246	14
E1	100,721	13
I	21,162	15
II.	26,319	16
III.	21,349	15
Komplexum	1296,249	14

6.3. A dolgozatban ismertetett modell alapján készített méretezési eredmény

Az irodakomplexum egyes épületeinek, illetve a teljes komplexumnak a szoláris nyereség számítását a dolgozatban bemutatott Hay modell szerint is elvégeztem. A számításokhoz azért ezt a modellt vettem alapul, mert függőleges felületekre összességében ez a modell adta a legpontosabb eredményt. A számítás során a különböző, a 10.10 mellékletben részletesen megadott felületekre számítottam az egész év során a különböző napokra adódó szoláris nyereség mértékét 15 perces bontásban. A különböző tájolásra kapott 15 perces értékeket az minden épület esetén az adott tájolású felületek méretével felszoroztam és összegeztem. Az így kapott, napi bontásban rendelkezésre álló eredményeket összegeztem, és a kapott összegek közül megkerestem a legmagasabbat. A kapott maximum értékeket és időpontjaikat a 6-3. táblázatban foglalom össze. A táblázatban közölt adatok alapján a modell által a teljes komplexumra számított maximális sugárzási nyereség értéke 1750 kW, melynek időpontja 10:15-re adódott, melynek a számítások szerinti dátuma augusztus 20.

6-3. táblázat, Az irodakomplexum épületeinél jelentkező szoláris energianyereség a dolgozatban ismertetett modell alapján

Épület	Szoláris hőterhelés [kW]	Csúcsterhelés időpontja [óra:perc]	Dátum
A	159,717	16:00	augusztus 10.
A1	108,383	7:30	augusztus 20.
A2	164,535	10:00	augusztus 20.
B	193,119	8:00	augusztus 10.
B1	102,874	19:45	július 8.
B2	159,715	13:30	augusztus 20.
C	202,750	15:30	augusztus 20.
C1	112,382	9:45	augusztus 20.
C2	188,881	10:15	augusztus 20.
D	195,193	8:00	augusztus 10.
D1	113,455	13:45	augusztus 20.
D2	177,585	13:30	augusztus 20.
E1	153,867	10:45	augusztus 20.
I	21,724	9:00	július 8.
II.	29,893	15:30	augusztus 10.
III.	25,451	14:30	augusztus 10.
Komplexum	1749,865	10:15	augusztus 20.

A diplomamunka kiírásának eleget téve a Hay modell eredményei alapján becslést tettem a várható éves szoláris energiahozamra, illetve megbecsültem a fűtési idényben és a nyáron beáramló sugárzási energianyereség mennyiségét is. A becsléseket a modellel végzett számítás során a kapott 15 perces értékek összegzése alapján tettem meg. Az egyes épületekre, illetve a komplexumra becsült értékeket a 6-4. táblázatban foglaltam össze.

6-4. táblázat, Az irodakomplexum épületeinél jelentkező szoláris energianyereség éves, fűtési idény-beli és nyári időszakban jelentkező értékei

Épület	Éves szoláris nyereség [kWh/m²]	Szoláris nyereség (okt. 15. - ápr. 16.) [kWh/m²]	Szoláris nyereség (jún. 1. - aug. 31.) [kWh/m²]
A	250,55	63,27	108,22
A1	60,37	15,94	25,55
A2	46,62	14,44	17,67
B	243,59	62,41	104,19
B1	41,10	12,23	16,18
B2	44,47	14,08	16,51
C	251,23	65,18	106,54
C1	41,43	12,43	16,22
C2	44,61	13,91	16,82
D	236,43	60,53	101,18
D1	42,88	12,96	16,59
D2	46,06	14,51	17,19
E1	42,54	13,30	16,10
I	72,76	18,38	31,43
II.	87,91	22,33	37,83
III.	57,95	15,03	24,62
Komplexum	63,05	18,10	25,23

6.4. A különböző módon elvégzett méretezési eredmények összehasonlítása

Az előző, 6.2 és 6.3 pontok alapján elvégzett méretezési eredmények összehasonlítását ebben a fejezetrészben végeztem el. A 6.2 pontban bemutatott eredményeket a WinWatt programmal számítottam. Mint az a 2.1 pontban ismertetésre került, a

WinWatt, a vonatkozó MSZ-04-140-4:1978 szabvány szerint számítja a sugárzási nyereséget. A 2.1 egyenletben szereplő Z redukciós tényezők azonban a program számára újbóli meghatározásra kerültek, így a WinWatt programmal végzett méretezési számítás eltér a szabvány szerintitől. A dolgozat elkészítése során fontosnak tartottam, hogy az eredeti szabvány szerint is elvégezzem a szoláris nyereségek számítását.

A vonatkozó szabványok átnézése során egy további, eltérő méretezési lehetőséget is találtam. Ez a méretezés az MSZ-04-140-2:1991 szabványon alapszik. A szabványban ismertetésre kerül 12+1 különböző felületre a beeső napsugárzás értéke órai bontásban (14-26 táblázatok). A 14-es számú táblázat függőleges felületre tartalmazza a felületre érkező direkt, diffúz és globális sugárzási értékeket, illetve a referencia üvegszerkezeten bejutó sugárzás értékét. A 15-26-os táblázatokban a függőleges felületekre érkező direkt, diffúz és globális, illetve a referencia üvegszerkezeten bejutó sugárzási adatok vannak megadva. A függőleges felületek egymáshoz képest 30°-onként vannak elforgatva. Fontos megjegyezni, hogy a rendelkezésemre álló szabvány táblázatai hibásan voltak megadva, adatok hiányoztak, illetve elírásokat is tartalmaztak. A számítások előtt a hiányzó és elírt adatokat felülvizsgáltam és megfelelően korrigáltam.

Az MSZ szabványok és a dolgozatban ismertetett modell alapján elvégzett méretezési számítások során szükség volt a nyári időszámítás figyelembe vételére, ugyanis ezek a módszerek nem tartalmazták a nyári időszámítás miatt fellépő 1 órás időeltolódást.

Az összehasonlítás egyszerűsítése miatt a hasonló épületeket csoportokra bontottam, így lehetőség van a különböző épülettípusok, illetve eltérő homlokzati üvegezési arányok vizsgálatára is. Fontos megemlíteni továbbá, hogy az összehasonlítást órás bontásban végeztem el, mivel a szabványok, illetve a WinWatt program alapján csak ezen értékek álltak rendelkezésemre. A vizsgálatokhoz az egyes épületekről a méretezési napokra diagramot készítettem, így grafikus formában lehetőség van az adatok

összehasonlítására. Az elkészített 10 csoportot a 6-5. táblázat tartalmazza. A táblázatban egy csoportba sorolt épületek üvegszerkezetei azonos tájolásúak, azonban arányuk épületenként kis mértékben eltérő.

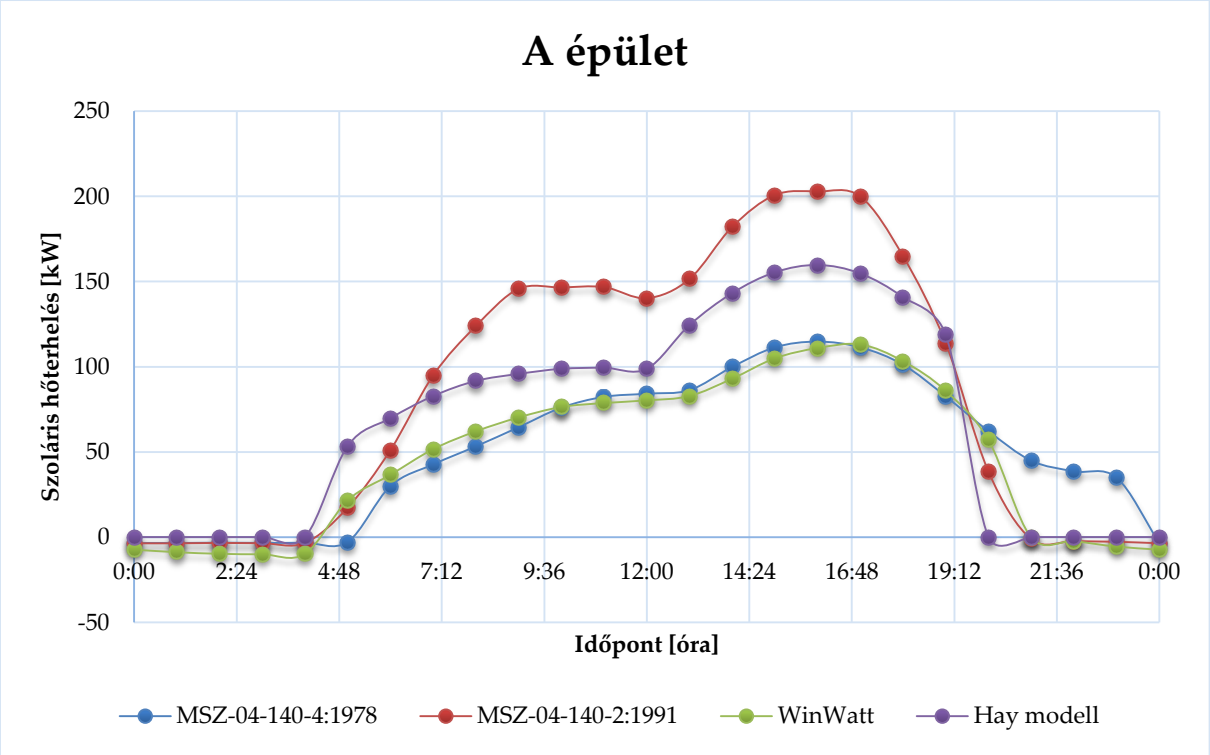
6-5. táblázat, Az összehasonlításhoz megalkotott épületcsoportok

Épületcsoport	Épületek
1	A, C
2	A1
3	A2, C2
4	B, D
5	B1, D1
6	B2, C2
7	C1, E1
8	I., II.
9	III.
10	Komplexum

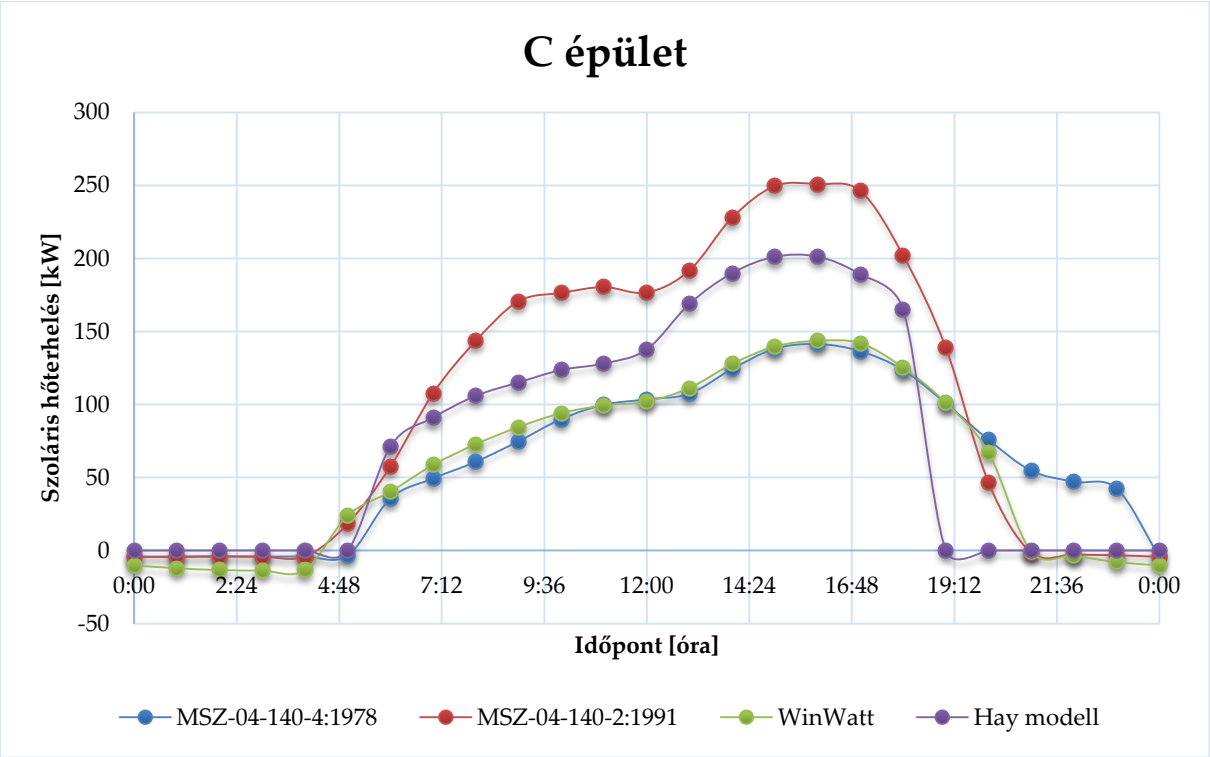
Az 1. csoportba az A és C átjáró épületek tartoznak. Az épületek közös jellemzője, hogy üvegfelületeik keleti és nyugati tájolásúak, nyugati irányban az üvegfelületek aránya több, mint kétszerese a keletinek. Az épületek tetőszerkezete is üvegszerkezet, így itt is jelentkezik szoláris nyereség. Az 1. csoport épületeinek diagramjait a 6-1. ábra és a 6-2. ábra szemlélteti.

Az ábrákon megfigyelhető, hogy a két épület esetén a különböző számítási módszerek nagyon hasonló eredményeket adnak, azonban az egyes módszerek között jelentős eltérés is adódhat. A WinWatt-al végzett számítások eredményei az alapjául szolgáló MSZ-04-140-4:1998-as szabvány szerint végzettel közelítőleg megegyeznek. A két metódus között szembeötlő különbség azonban, hogy 20:00 óra után jelentős különbséget mutatnak, az 1978-as szabvány alapján végzett számítás szerint még este 23:00-kor is

megjelenő szoláris terhelés van. A dolgozatban bemutatott modell és az MSZ-04-140-2:1991-es szabvány alapján elvégzett számítások eredményei jellegre hasonlóak, azonban a szabványban közölt sugárzási értékekkel számított sugárzási energiahozam jelentősen magasabb, mint bármelyik egyéb módszerrel végzett számítás. A diagramokat vizsgálva megállapítható, hogy a Hay modell, amely a felületekre érkező globális sugárzás alapján számítja a sugárzási energiahozamot láthatóan nagyobb értéket ad, mint a redukciós tényezőkkel számított. A modell által számított értékek azonban jellemzően kisebbek, mint az 1991-es szabványból kivett sugárzási értékekkel számított.



6-1. ábra, Az A épület méretezési diagramja



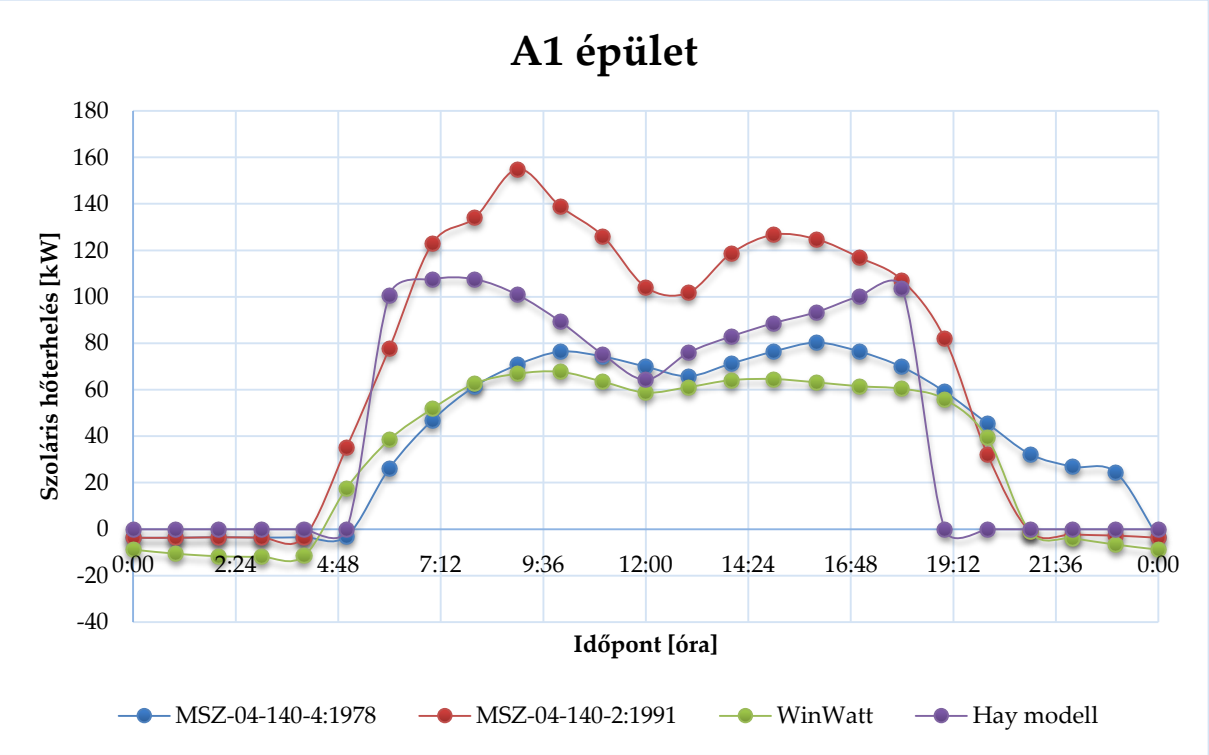
6-2. ábra, A C épület méretezési diagramja

A 2. csoportba csak az A1 épület tartozik, mivel ehhez hasonló épület nincs több a komplexumban. Az A1 épület üvegfelületei jellemzően kelet-nyugati tájolásúak, azonban ennél az épületnél már megjelennek az északi és keleti tájolású üvegszerkezetek is. Az épület különböző módszerek szerinti méretezési diagramját a 6-3. ábra szemlélteti.

A diagramon az előző épületcsoporthoz hasonló tendencia figyelhető meg. Ebben az esetben is a WinWatt és az MSZ-04-140-4:1978-as szabvány által számított értékek vannak közel egymáshoz. Ebben az esetben azonban feltűnő, hogy a jellemzően keleti tájolású üvegszerkezetekkel rendelkező épület esetén a szabvány számítása szerinti csúcsérték délutánra esik, amikor az arányaiban nagyobb keleti üvegszerkezeteket nem éri direkt napsugárzás. A WinWatt programmal kapott eredményeknél is említésre méltó, hogy a délelőtti csúcshoz tartozó érték mindössze 4,8%-al, míg a keleti tájolású üvegszerkezetek aránya 29,8%-al nagyobb. A két említett méretezési számítás között az előzőekhez hasonlóan megmaradt az esti órákban az eltérés, nevezetesen,

hogy az MSZ-04-140-4:1978 szabvány alapján végzett számítás esetén a késő esti órákban még jelentkezik szoláris terhelés.

A dolgozatban bemutatott Hay modell alapján elvégzett méretezés eredménye azt mutatja, hogy jelentős terhelés jelentkezik, amikor a Nap éppen kel, illetve nyugszik, napközben pedig az északi és déli tájolású felületeken kisebb terhelés jelentkezik. Az eredmények alapján ebben az esetben is megállapítható, hogy a reggeli és esti csúcs között csak kis eltérés van annak ellenére, hogy a keleti és a nyugati tájolású üvegszerkezetek között közel 30%-os különbség van. A Hay modell által végzett számítás eredményei jellemzően magasabbak, mint a WinWatt programmal, vagy az MSZ-04-140-4:1978 szabvány alapján végzett számítások, azonban alacsonyabbak, mint az 1991-es szabványban ismertetett sugárzási értékek alapján számítottak. Az MSZ-04-140-2:1991-es szabvány alapján számított délelőtti és délutáni csúcs között már jelentősebb különbség van, ebben az esetben az eltérés már 22,3%.

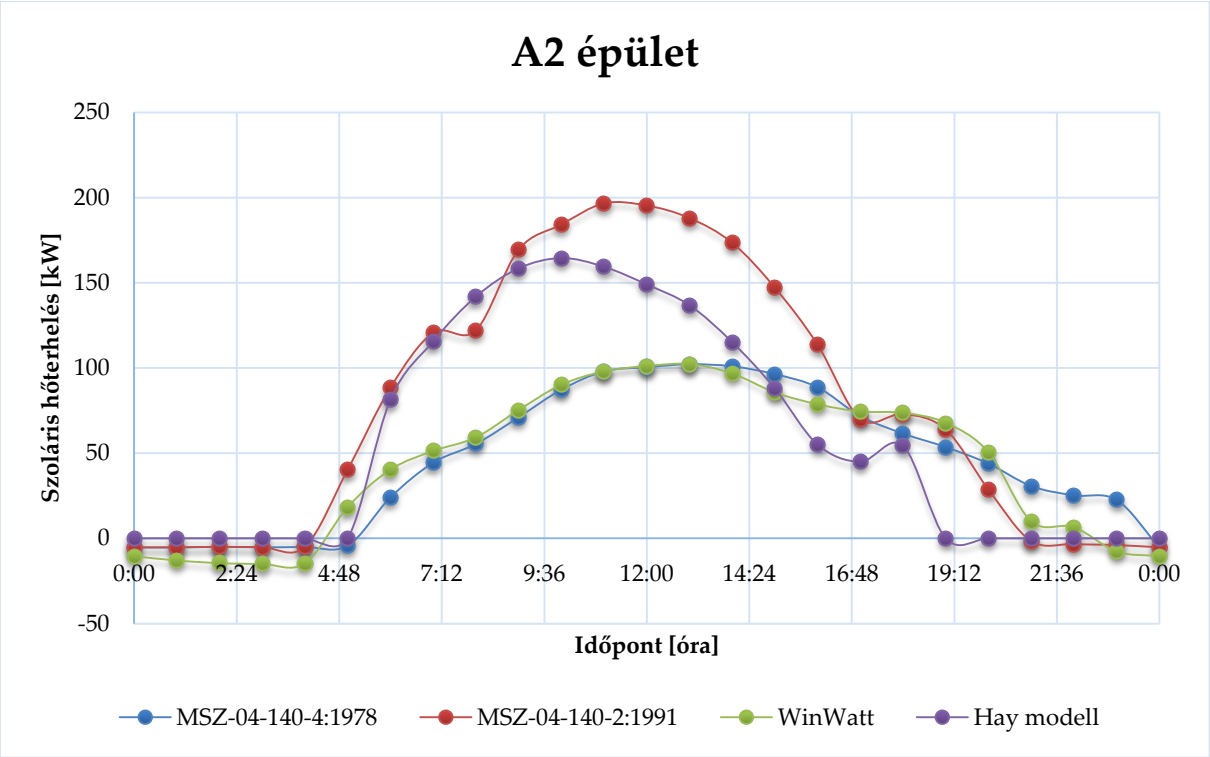


6-3. ábra, Az A1 épület méretezési diagramja

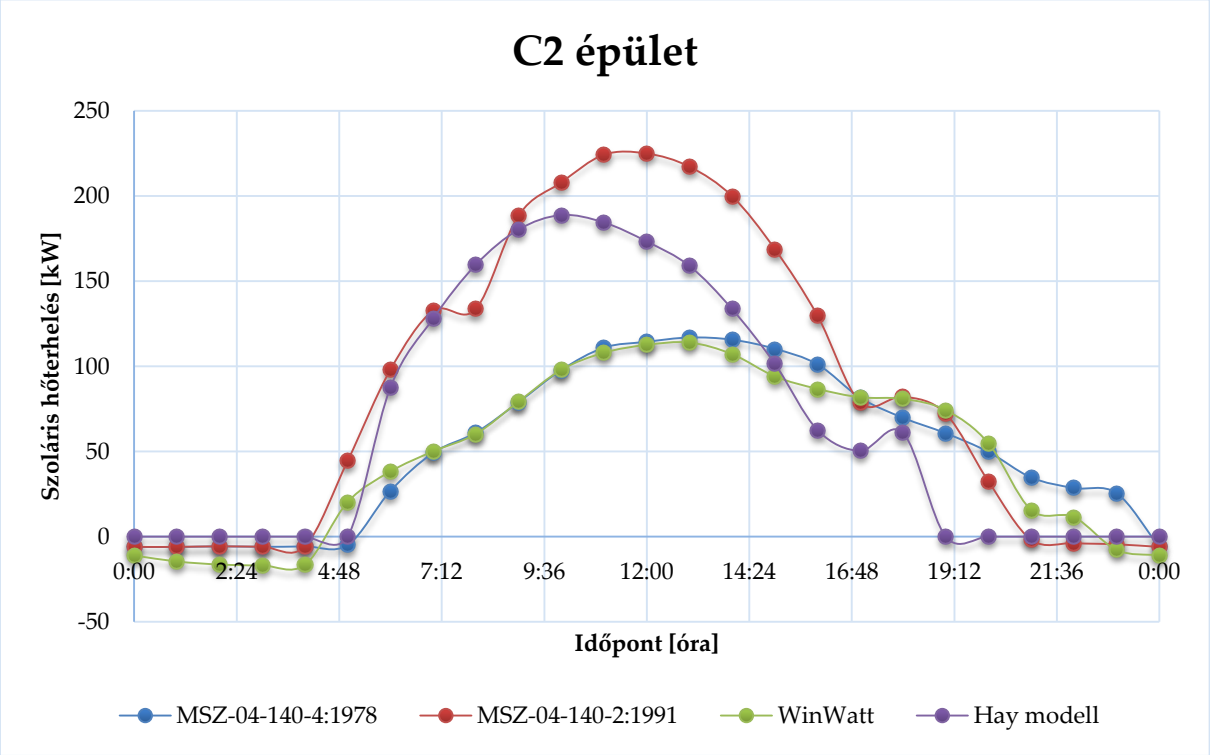
A harmadik épületcsoportba az A2 és a C2 épületek tartoznak. Ezen épületek esetében az üvegfelületek jellemzően északi és déli irányban vannak tájolva, illetve ezen tájolású üvegszerkezetek mellett jelentős még a keleti tájolású üvegszerkezetek mérete, azonban ennek aránya közelítőleg csak 20%-a az északi és déli tájolásúaknak. Fontos megjegyezni azonban, hogy az épületek tájolása nem tisztán északi, keleti stb., hanem 10°-al el vannak forgatva. A méretezési számításoknál ezt az eltérést a szabványok szerinti méretezésnél nem volt lehetőségem figyelembe venni, azonban a WinWatt programmal, illetve a dolgozatban bemutatott Hay modellel végzett számítások ezt a 10°-os eltérést figyelembe vették. Az épületek méretezési diagramjait a 6-4. ábra és a 6-5. ábra szemlélteti.

Az ábrákon látható, hogy az előzőekhez hasonlóan mind a WinWatt programmal végzett, mind pedig az 1978-ban kiadott szabvány alapján végzett számítás hasonló eredményt hozott. Ezeknek a számításoknál a csúcs időpontja a déli órákra adódott, amely a jelentős északi és déli tájolású üvegszerkezetek mellett várható, azonban ebben az esetben is látható, hogy nyugati tájolású üvegszerkezetek híján is van jelentősebb terhelés a délutáni órákban, amely meghaladja a reggel, a keleti tájolású felületeken mérhető terhelést.

A dolgozatban bemutatott Hay modellel végzett méretezési eredmény szerint az épület keleti tájolású üvegszerkezetei miatt a méretezési csúcs időpontja a reggel 10:00-ra adódott. A modell által számított eredményeknél is szembetűnő, hogy 18:00-kor egy alacsonyabb délutáni csúcs is megjelenik, melynek oka az északi oldalt érő napsugárzás megjelenése. Az MSZ-04-140-2:1991-es szabványban lévő sugárzási adatokon nyugvó méretezés ebben az esetben is a bemutatott modellhez hasonló eredményt hozott, azonban itt is magasabb méretezési értéket hozott. A csúcs időpontja ebben az esetben 11:00-ra adódott, amely a szemlélettel megegyezik, azonban ezen számításnál is megjelent 18:00-kor egy magasabb sugárzási nyereség.



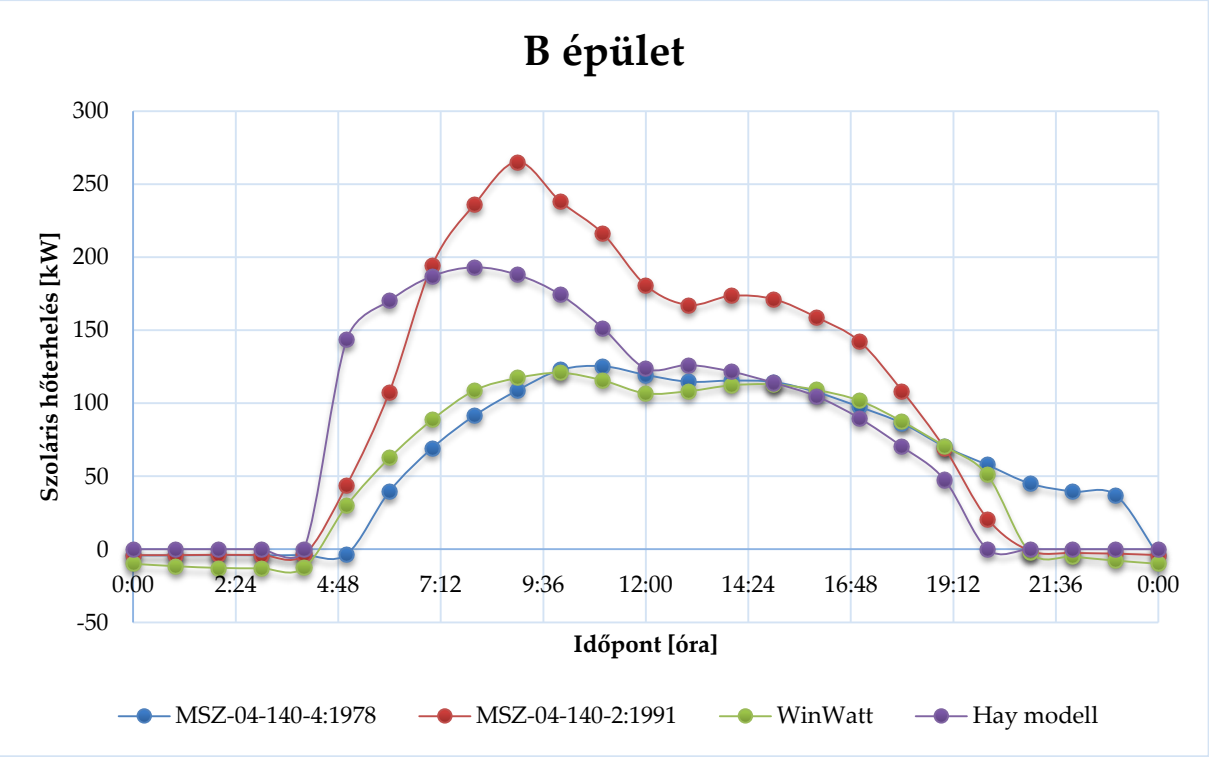
6-4. ábra, Az A2 épület méretezési diagramja



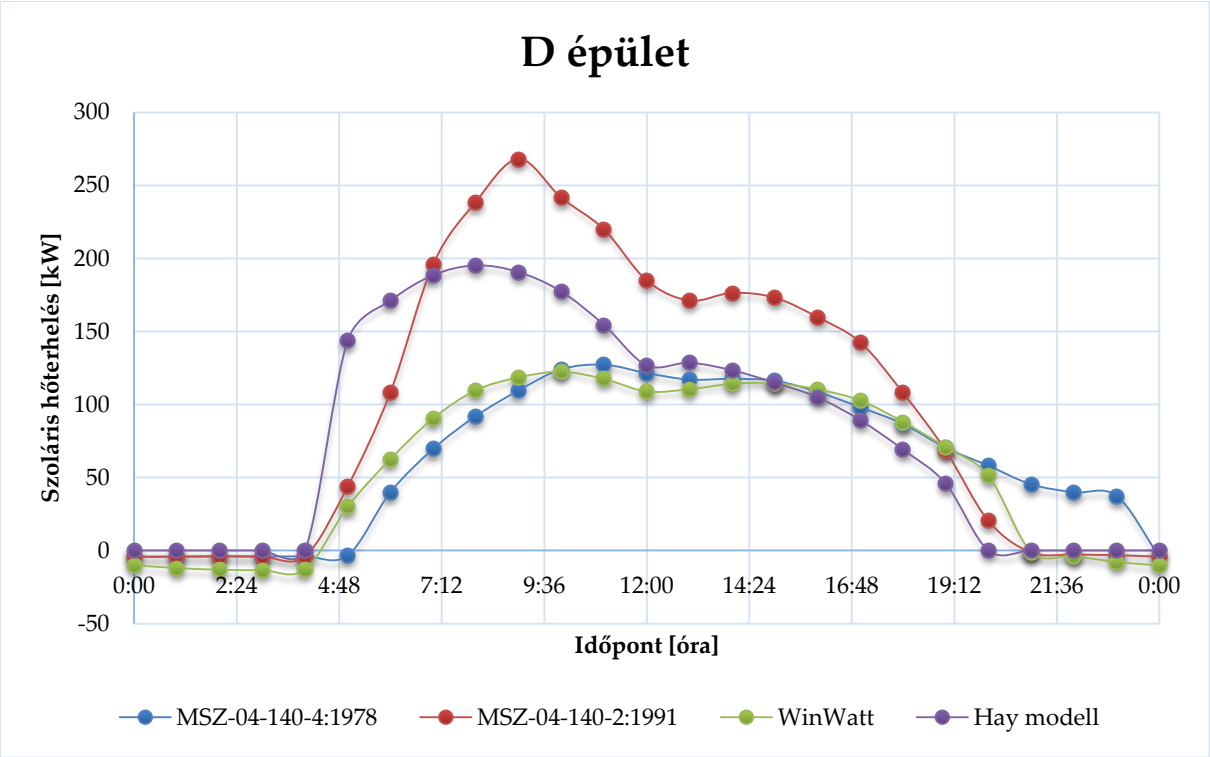
6-5. ábra, A C2 épület méretezési diagramja

A 4. épületcsoportba a B és D épületek tartoznak. Ezen épületek is átjáró épületek, mint az A és C épületek, így jellemzően az üvegszerkezeteik kelet-nyugati tájolásúak, azonban keleti irányban körülbelül háromszor annyi üvegfelület található, mint nyugati irányban. Ezen épületeken is üvegfelület a tetőszerkezet, így azon keresztül is jelentkezik szoláris terhelés. A B és D épületek diagramjait a 6-6. ábra és a 6-7. ábra szemlélteti.

A méretezési diagramok hasonlóak az A és C épülethez tartozókhoz, az eltérés abban jelentkezik, hogy az üvegszerkezetek tájolásának fordított aránya miatt a csúcsterhelés időpontja délután helyett délelőtt van, ennek oka pedig a nagyarányú keleti tájolású felület. Az MSZ-04-140-2:1991-es szabvány sugárzásértékei alapján számított értékek esetén megfigyelhető továbbá, hogy 9:00-kor egy nagyobb kiugrás, amely a többi, hasonló épületnél nem figyelhető meg.



6-6. ábra, A B épület méretezési diagramja



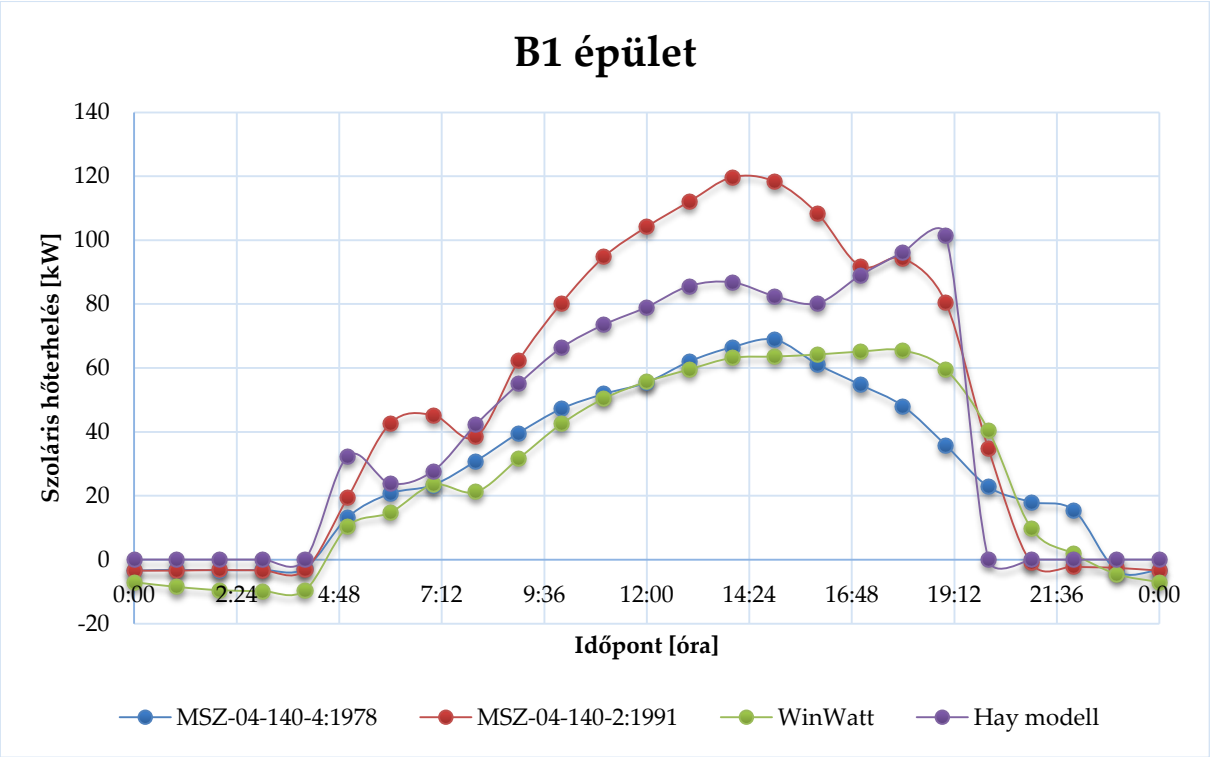
6-7. ábra, A D épület méretezési diagramja

Az 5. csoportba a B1 és D1 jelölésű irodaépület tartozik. Ezek jellemzője, hogy tájolás szempontjából 10 fokkal el vannak forgatva, így a felületeik irányítása nem egyezik meg teljesen az égtájakkal, azonban az eltérés mértéke nem nagy. A méretezési számításoknál ezt az eltérést a szabványok szerinti méretezésnél elhanyagoltam, azonban a WinWatt programmal, illetve a dolgozatban bemutatott Hay modellel végzett számítások esetén ezt az eltérés figyelembe tudtam venni. Az épületeken az üvegfelületek tájolása jellemzően északi és déli, északi irányban nagyobb üvegfelülettel. Az épületeken van továbbá nyugati tájolású ablakfelület is, azonban ennek mérete csupán az északi és déli tájolású felületek 29%-a. Az épületek üvegezési arányait tekintve tehát az A2 és C2 épületekhez hasonlíthatóak, azzal az eltéréssel, hogy ezen épületeknél nem keleti, hanem nyugati tájolású üvegszerkezetek vannak az északi és déli tájolású ablakfelületek mellett. A méretezési eredményeket a 6-8. ábra és a 6-9. ábra szemléltetik.

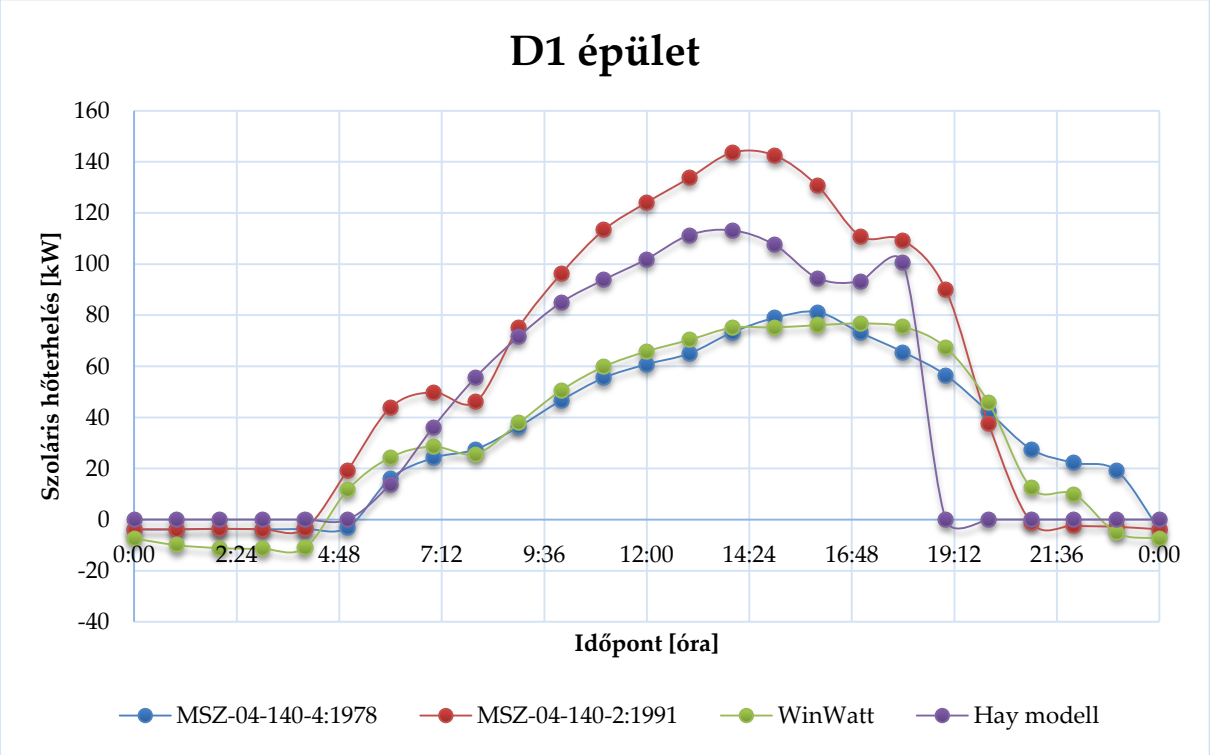
Az B1 és D1 méretezési diagramjain látható, hogy a Winwatt program és az alapjául szolgáló MSZ-04-140-4:1978 szabvány szerint végzett méretezés nagyon hasonló eredményt hozott. A B1 épület esetén azonban a délutáni órákban jelentősebb eltérés tapasztalható a szabvány szerint és a WinWatt által végzett számítások között. A programmal végzett méretezésnél látható, hogy a nyugati tájolású üvegfelületek alapján megjelenik egy jelentősebb délutáni terhelés, amely a csúcs időpontját az 1978-as szabvány csúcsidőpontjához képest későbbre, 18:00-ra tolja. A szoláris terhelés azonban a WinWatt programmal végzett számítások esetén 21:00-ra szinte teljesen megszűnik, míg a ’78-as szabvány alapján számítva a szoláris terhelés továbbra is megjelenik. A D1 épület esetén is megjelenik ez a különbség a két módszerrel végzett számítás eredményei között, azonban ebben az esetben a fajlagosan nagyobb nyugati tájolású felület miatt az eltérés kisebb.

A dolgozatban ismertetett Hay modell szerint végzett számítás szerint a szoláris terhelés csúcsidőpontja a B1 épület esetén este 19:00-ra adódott. Látható azonban, hogy egy alacsonyabb csúcsterhelés is megjelenik napközben 14:00-kor, melynek oka a nagyarányú északi és déli tájolású felület. A D1 épület esetén azonban már megfigyelhető, hogy a modellel végzett számítás szerint a csúcsidő 14:00-ra adódott, hasonlóan a B1 épület második csúcsidejéhez képest. Az eltérést valószínűleg az okozza, hogy a D1 épület esetében nagyobb a déli tájolású üvegfelületek aránya, így az lesz a meghatározóbb.

Az MSZ-04-140-2:1991-es szabvány sugárzási értékeire alapozott számítás nem mutat nagy különbséget a két épület között. Látható, hogy mindkét esetben a legmagasabb órai terhelés 14:00-ra adódott és az esti órákban csak kisebb terhelés jelentkezett a nyugati tájolású felületeken. Megfigyelhető továbbá a reggeli órákban a sugárzási nyereség kismértékű visszaesése is. Továbbra is ezzel a módszerrel végzett számítási eredmény hozta a legmagasabb méretezési értéket.



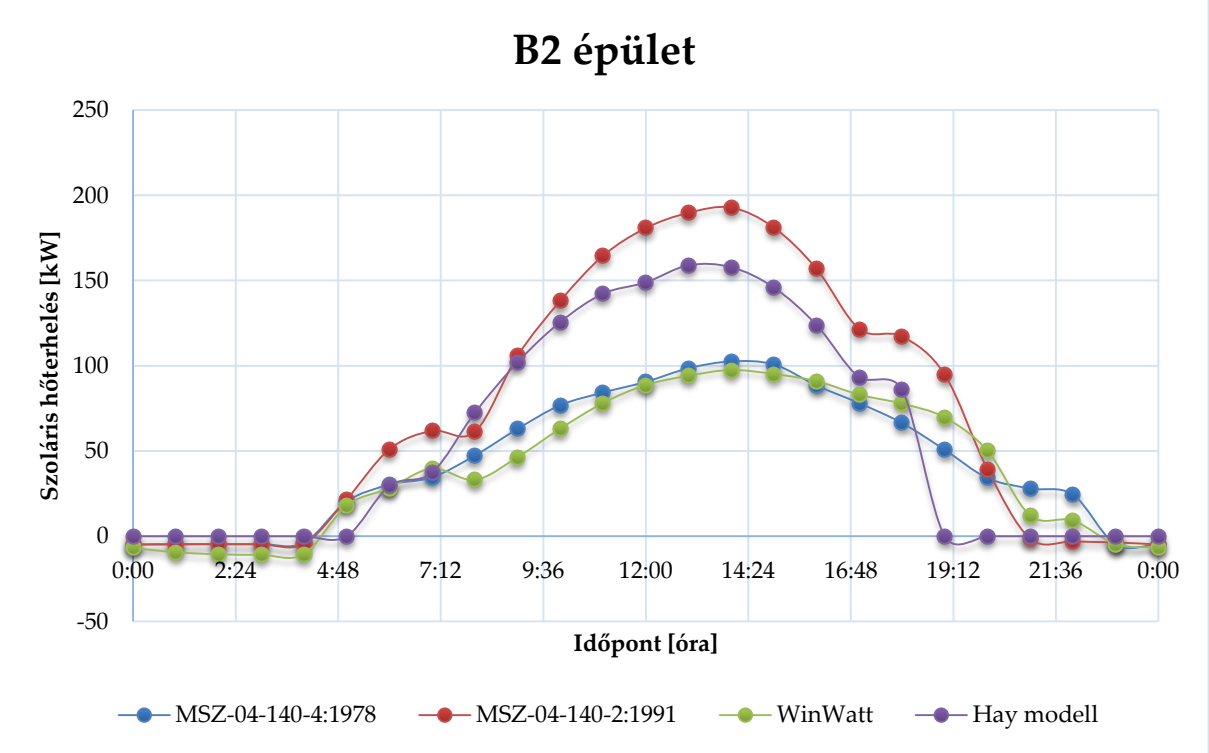
6-8. ábra, A B1 épület méretezési diagramja



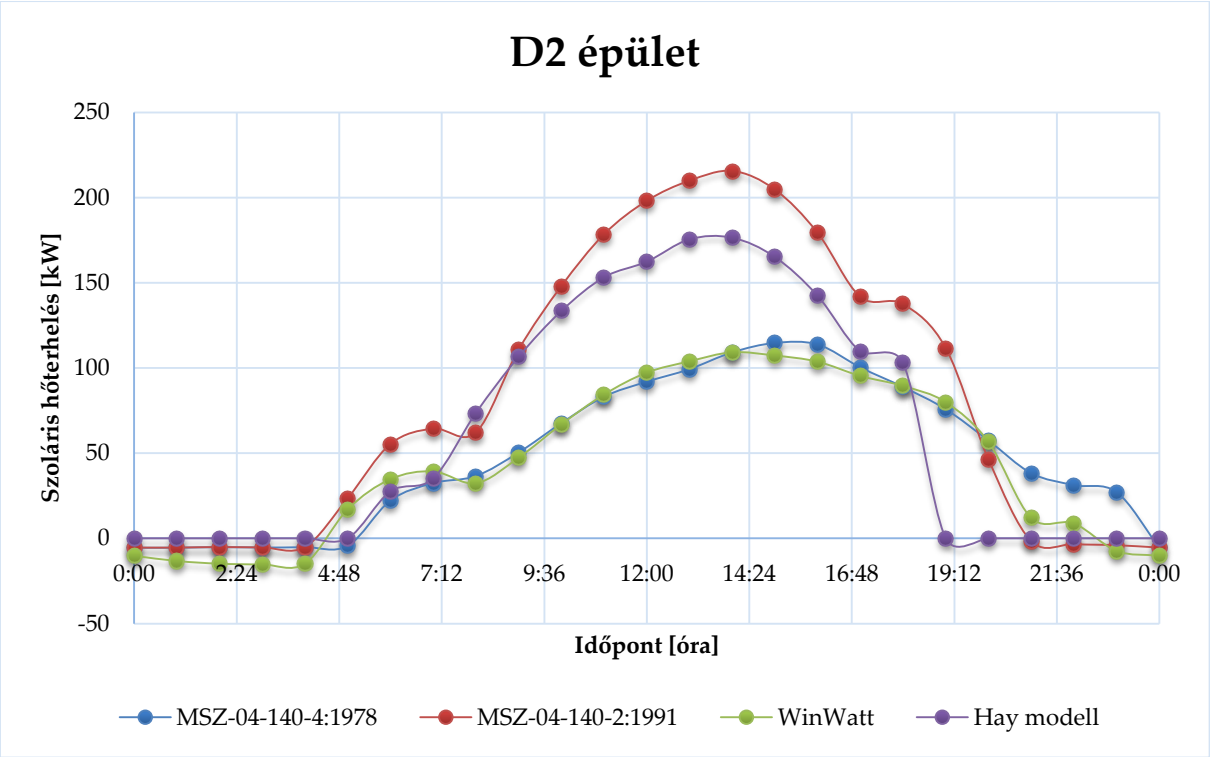
6-9. ábra, A D1 épület méretezési diagramja

A 6. épületcsoportba a B2 és a D2 épületek tartoznak. Ezen épületek üvegszerkezeteinek tájolása pontosan a főégtájak irányába mutat. Mindkét épület esetén a B1 és D1 épületekhez hasonló arányban vannak a nyílászárók elhelyezve a homlokzatokon. A B2 épület esetében a nyugati tájolású üvegszerkezetek aránya az északi és nyugati tájolású szerkezetekhez viszonyítva 24%, míg ugyanez az arány a D2 épületnél 26%. A méretezési diagramokat a 6-10. ábra és a 6-11. ábra mutatja be.

Az előbb hivatkozott ábrákon látható, hogy a méretezési diagramok hasonlóak a B2 és D2 épületek esetében a B1 és D1 épületekhez, azonban néhány különbség megfigyelhető. Az egyik ilyen, hogy a B1 épület esetén a WinWatt program és az MSZ-04-140-4:1978-as szabvány méretezése között megjelenő jelentősebb különbség már egyik épületnél sem fordul elő. Megfigyelhető továbbá, hogy a dolgozatban ismertetett Hay modell és az 1991-es szabványban ismertetett sugárzási adatok alapján végzett méretezéseknél a B1 és D1 épületnél jelentkező esti kiugrás ebben az esetben már nem jelentkezik. Ennek oka, hogy az épületek nyugati ablakai tisztán nyugatra vannak tájolva, és nem attól 10°-al elforgatva déli irányba.



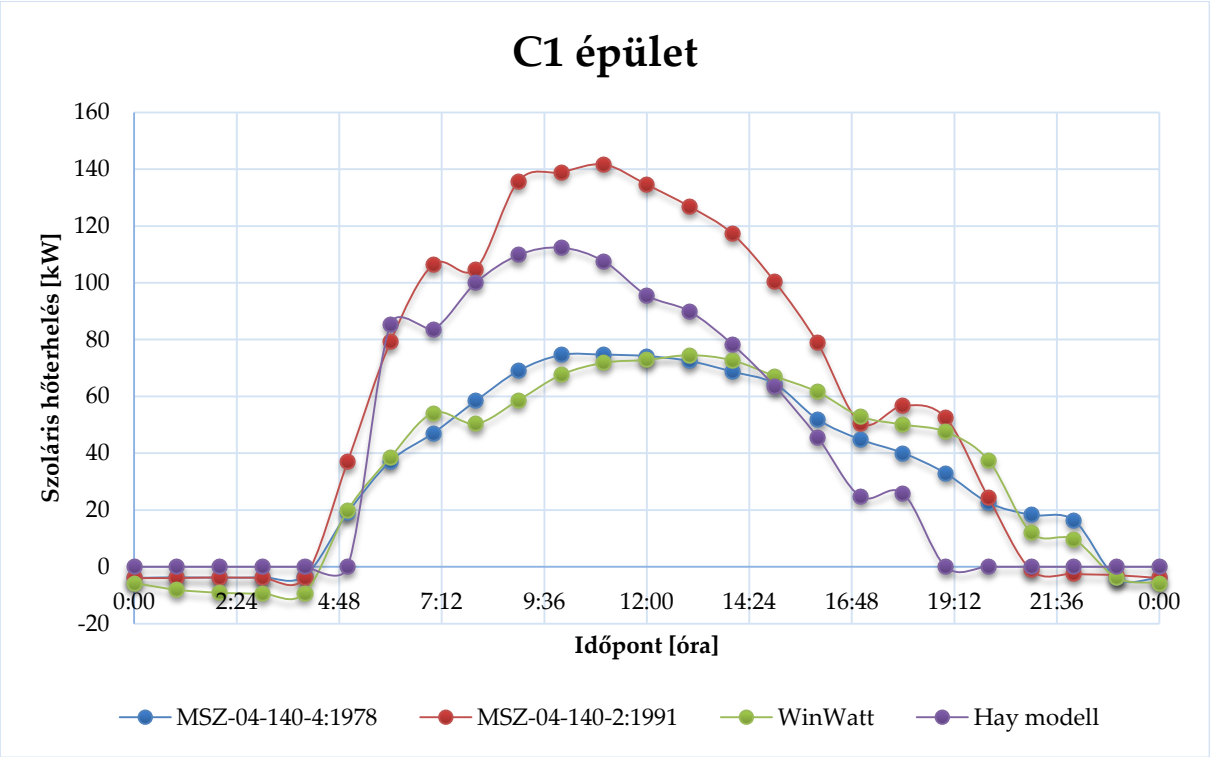
6-10. ábra, A B2 épület méretezési diagramja



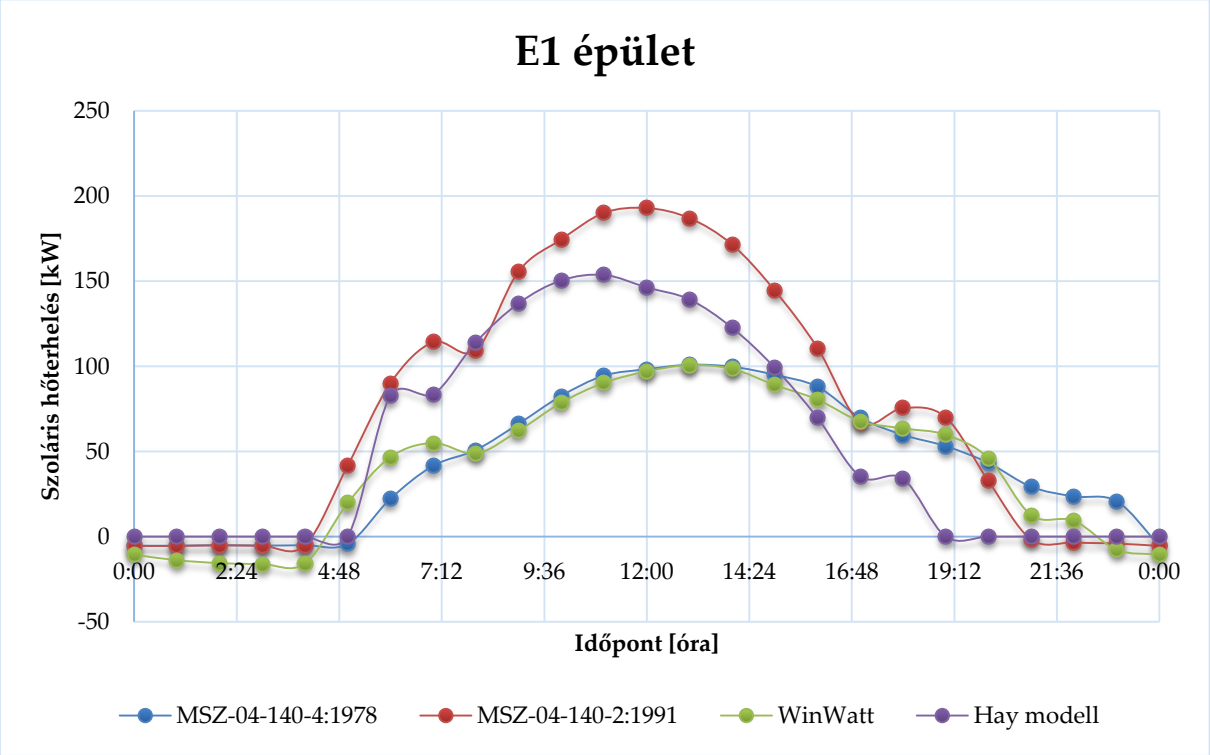
6-11. ábra, A D2 épület méretezési diagramja

A 7. épületcsoportba tartozik a C1 és az E1 épület. Ezek az épületek tájolásukat tekintve a B2 és D2 épületekkel megegyezőek, azonban nyugati tájolású üvegszerkezetek helyett keleti tájolású ablakokkal rendelkeznek. Az épületek hasonlóak továbbá az A2 és C2 épületekhez is, azonban azokhoz képest 10°-al el vannak forgatva, így a homlokzati felületeik a főégtájak felé néznek. Az épületek méretezési diagramjait a 6-12. ábra és a 6-13. ábra mutatja be.

A C1 és E1 épületek méretezési diagramjain látható, hogy a kapott eredmények az A2 és C2 épületek esetén kapottakhoz hasonlóak. A 10°-os elforgatás miatti eltérések ebben az esetben nem játszanak nagy szerepet; a méretezési diagramok alakja és időbeni lefutása a különböző modellek esetén nagyon hasonló, illetve a modellek közötti eltérések sem változnak.



6-12. ábra, A C1 épület méretezési diagramja

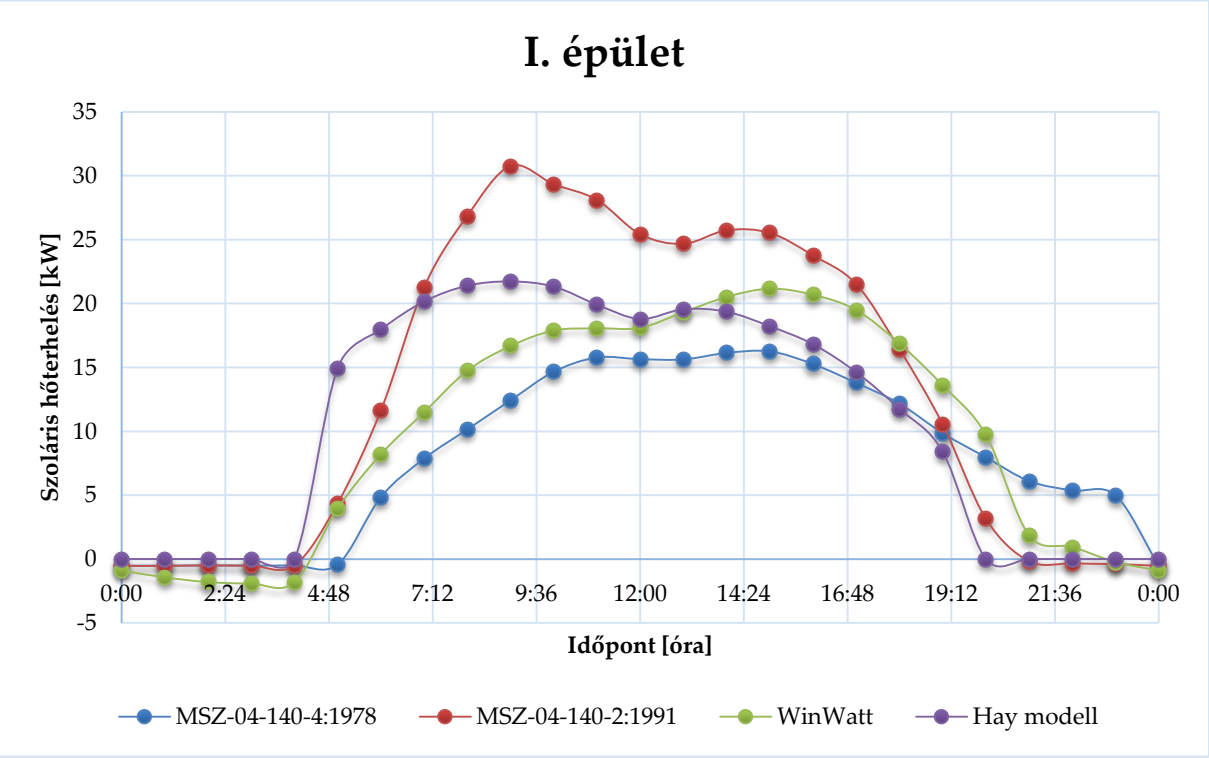


6-13. ábra, Az E1 épület méretezési diagramja

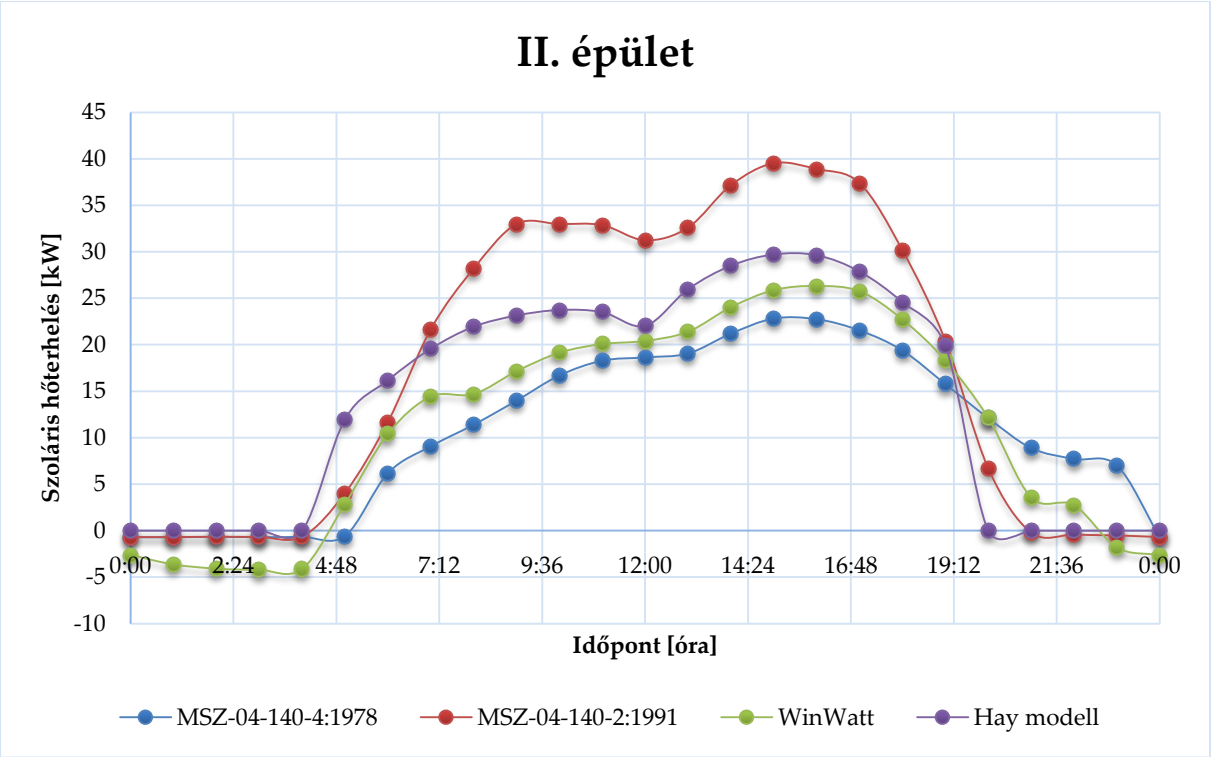
A 8. csoportba az I. és II. jelzésű földszinti épületek tartoznak. Ezen épületek közös jellemzője, hogy mindössze egy szintből állnak. Az épületeken az üvegszerkezetek jellemzően keleti és nyugati tájolásúak, illetve a tetőn tetőablakok kerültek elhelyezésre. Az I. épületben a függőleges üvegfelületek nagyobb arányban kelet felé vannak tájolva, míg a II. épület esetén nyugati irányba van tájolva nagyobb mértékű üvegfelület. A különböző módszerek számítási eredményeit összefoglaló méretezési diagramokat a 6-14. ábra és a 6-15. ábra tartalmazza.

Az ábrákon látható, hogy a dolgozatban ismertetett Hay modell számítása alapján kapott eredmények mindkét épület esetén közelebb kerültek a Winwatt programmal, illetve az MSZ-04-140-4:1978-as szabvány által végzett számítások eredményeihez.

A I. épület diagramját vizsgálva azonban szembetűnő, hogy az kisebb részarányú nyugati tájolású üvegszerkezet ellenére a csúcsterhelés időpontja délutánra adódik. A másik két számítási módszer esetében a csúcs időpontja délelőttre adódott, ami megfelel a várakozásnak. A II. épület esetén a döntően nyugati tájolású üvegszerkezetek miatt mind a négy módszer esetén a csúcs időpontja délutánra tolódott.



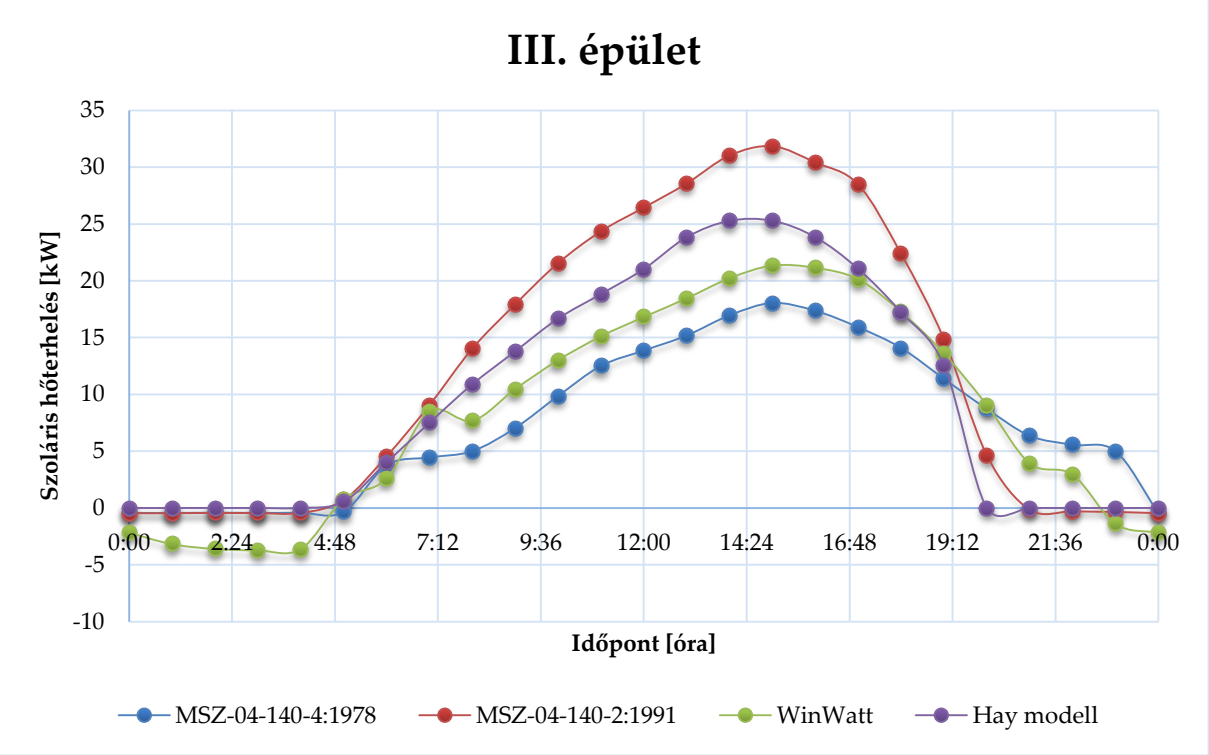
6-14. ábra, Az I. épület méretezési diagramja



6-15. ábra, A II. épület méretezési diagramja

A 9. épületcsoportba csak a III. épület tartozik. Ez az épület hasonlít ugyan az I. és II. épületekhez, azonban ennek az épületnek nincsen keleti tájolású üvegfelülete, így függőleges üvegfelületek közül meghatározó a nyugati tájolású. Ezen az épületen is találhatók felülvilágító ablakok. Az épület méretezési diagramját a 6-16. ábra mutatja be.

Az ábrán látható, hogy a nyugati tájolású függőleges felület határozza meg alapvetően a szoláris sugárzási terhelés csúcsidőpontját. A különböző méretezési eljárások közötti alapvető, már az előzőekben ismertetett különbségek ennél az épületnél is megjelennek.



6-16. ábra, A III. épület méretezési diagramja

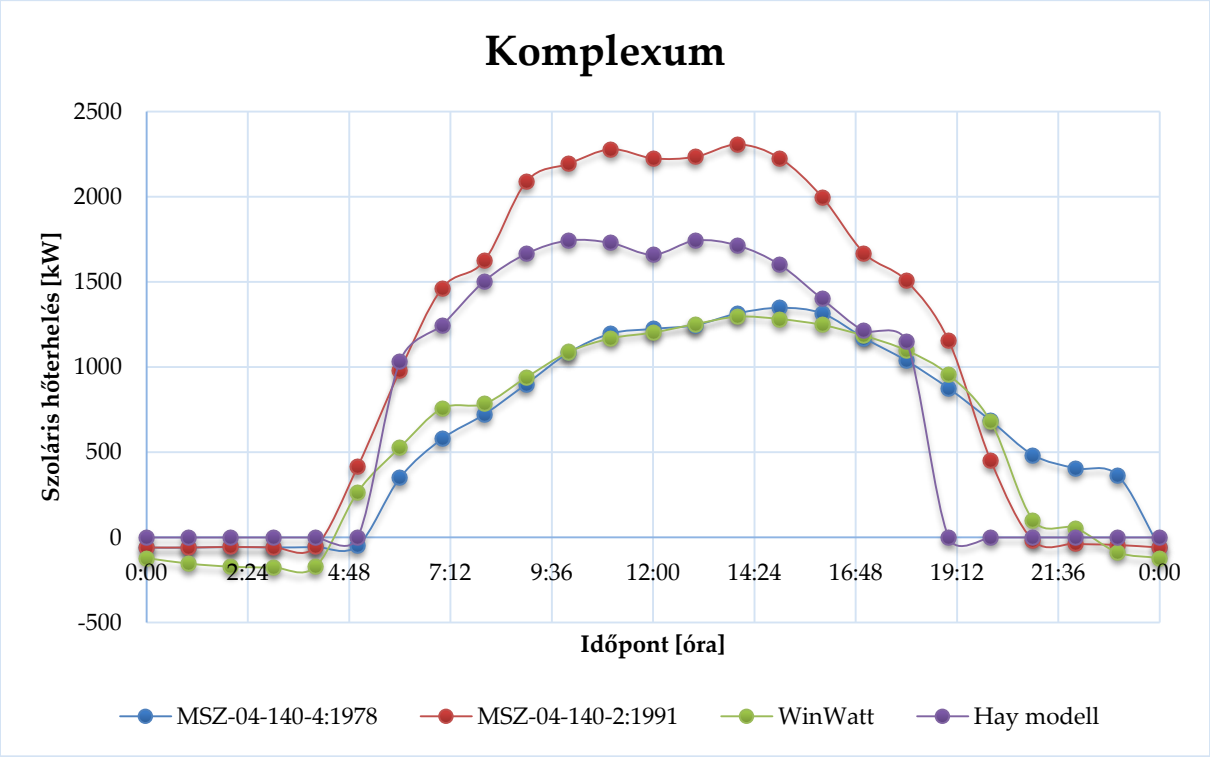
A 10., utolsó épületcsoport maga a teljes komplexum. A komplexum üvegszerkezetei alapvetően észak-déli tájolásúak, ez nagyjából 2800-2800 m² üvegfelületet jelent ezekben az irányokban. A teljes komplexumot vizsgálva keleti és nyugati irányba is nagy üvegfelület van tájolva, ezen üvegfelületeknek teljes mérete tájolásonként 2100-2100 m². A komplexumon elvégzett méretezések eredményeit a 6-17. ábra tartalmazza.

Az ábrán látható, hogy a WinWatt programmal készített méretezés és az MSZ-04-140-4:1978-as szabvány ismét közeli eredményeket hoztak. Megfigyelhető, hogy a délutáni terhelés valamivel magasabb, mint a délelőtti, annak ellenére, hogy nyugati irányban valamivel kevesebb ablak van tájolva. Említésre méltó továbbá, hogy az esti órákban ebben az esetben is a szabvány alapján számított méretezés szerint jelentős szoláris terhelés jelentkezik. Megfigyelhető továbbá, hogy a déli órákban a jelentkező szoláris terhelés nem esik vissza számottevően.

A diplomatervben ismertetett Hay modell szerint számított méretezési eredmények a teljes komplexum esetében is magasabbak voltak, mint a WinWatt programmal számított értékek. A modell szerint számított adatsor vizsgálata során megfigyelhető,

hogy a délelőtti és délutáni órákban is van egy-egy kisebb kicsúcsosodás, azonban a valamivel nagyobb keleti tájolású üvegszerkezetek miatt a csúcs időpontja délelőttre adódik.

Az MSZ-04-140-2:1991 sugárzási adatai alapján készített méretezésnél megfigyelhető, hogy ez a számítási módszer adja a legmagasabb méretezési eredményt. Ebben az esetben is megfigyelhető, hogy a csúcs időpontja a délutáni órákra tolódott.



6-17. ábra, A kopmlexum méretezési diagramja

6.5. A különböző méretezési eljárásokból levonható következtetések összefoglalása, javaslattétel a további kutatásokra

A diplomaterv előző pontjában a dolgozatban bemutatott Hay modell által a szoláris nyereség méretezését végeztem el egy a konzulenseim által kijelölt irodakomplexumra. A kapott eredményeket három különböző méretezési eredménnyel vetettem össze; ezek a WinWatt programmal számított eredmények, az MSZ-04-140-4:1978-as szabvány alapján számított eredmények és az MSZ-04-140-2:1991-es szabványban közölt sugárzási értékek alapján számított méretezési eredmények.

Az összehasonlítás során általánosan megfigyelhető volt, hogy az MSZ-04-140-4:1978-as szabvány és az ezen szabványon alapuló WinWatt programmal végzett számítások eredményei közel voltak egymáshoz. Feltűnő különbség volt a két számítási módszer között, hogy az esti órákban a szabvány szerinti számításnál jelentős szoláris terhelés mutatkozott, amely a WinWatt programmal számított eredményeknél már nem volt jelen. Megfigyelhető volt továbbá, hogy közel azonos nagyságú keleti és nyugati tájolású felület esetén a csúcsterhelés időpontja délutánra tolódott.

Az MSZ-04-140-2:1991-es szabványban szereplő sugárzási értékek alapján számított sugárzási nyereségeknél megfigyelhető, hogy a számított értékek ebben az esetben a legmagasabbak. Fontos különbség azonban, hogy a sugárzási értékek alapján számított sugárzási terhelés méretezési értéke szignifikánsan eltér a WinWatt programmal, illetve az MSZ-04-140-4:1978-as szabvány alapján számított értéktől. Ennek oka valószínűleg az, hogy az utóbb említett két számítás során az órai terhelések meghatározására a sugárzás névleges értékét használták fel és redukciós tényezőkkel módosították azokat.

A dolgozatban ismertetett Hay modell alapján elvégzett méretezési számítások eredményeit a többi méretezési eljárással összehasonlítva megállapítható, hogy a számított értékek jellemzően alacsonyabbak, mint az 1991-es szabvány sugárzási értékei alapján számított értékek, azonban magasabbak, mint az egyéb két esetben számítottak. A modellel számított eredményeknél látható volt, hogy a redukciós tényezőket alkalmazó módszerekkel szemben keleti és nyugati tájolások esetén jelentősebb csúcsokat eredményez a számítás a reggeli, illetve az esti órákban.

A szabványok által készített méretezéseknél látható, hogy a számított eredmények jelentősen eltérnek annak ellenére is, hogy ugyanazon mérési adatok szolgáltak alapul a megalkotásuknál. A két számítási módszer közötti különbség a redukciós tényezők használatában rejlik, azonban ezen értékek hátteréről nem áll rendelkezésre információ.

7. ÖSSZEFOGLALÁS

A dolgozat első felében három a napsugárzásból származó energiahozam meghatározására alkalmas számítási módszer került bemutatásra. A megalkotott modellek a nap pályája alapján az időjárási viszonyok figyelembe vételével számítják a napból az adott felületre érkező sugárzást. Az időjárási viszonyokat a modellek a napos órák arányával veszik figyelembe.

Az ismertetett modellek a diffúz sugárzás számítását kezelik különféleképpen. Az első bemutatott modell az Izotróp modell, amely a diffúz sugárzást az egész égboltra kiterjedően homogénnek tekinti. A második modell az úgynevezett Hay modell, amely az Izotróp modellhez hasonlóan kezeli az égboltot, azonban a nap irányából érkező diffúz sugárzást cirkumszoláris sugárzásként veszi figyelembe. A harmadik modell a korrigált Hay modell. Ez a modell még egy külön számítandó részt vezet be az égbolton az előző kettő mellé. Ez a modell a horizont irányából érkező sugárzást egy külön fényességi faktorral veszi figyelembe. A dolgozatban bemutatásra került továbbá a fix árnyékoló szerkezetekhez tartozó számítási metódus is.

A dolgozatban a különböző modellekkel számított eredményeket összevetettem a vízszintes felületen, függőleges felületeken (északi, keleti, déli és nyugati tájolású), illetve 45°-os dőlésszögű, déli tájolású felületen mért adatokkal. A modellek a vízszintes felületre érkező sugárzás értékét azonosan számítják, és az eredmények közel vannak a mérési adatokhoz. Függőleges felületek esetén az eredmények összevetése során északi, keleti és nyugati tájolású felület esetén a Hay modell bizonyult a legmegbízhatóbbnak, míg déli tájolás esetén a Korrigált Hay modell.

A modellek által számított eredmények 45°-os dőlésszögű, déli tájolású felület esetén hozták a legváratlanabb eredményt. A várakozással ellentétben a havi adatok összevetésénél az Izotróp modell adta a legközelebbi eredményt, azonban még ez a modell is jelentősen felülbecsüli a mért eredményeket. A napi adatokkal történő összehasonlítás esetén a kapott diagramokon látható, hogy az adott évre vonatkozó számítási

eredmények számos esetben meghaladják a modell által teljesen tiszta égboltra számított eredményeket. Ez lehet az oka valószínűleg, hogy a modell felülbecsüli az éves energianyereséget a mérési eredményekhez képest. Ennek magyarázata valószínűleg az, hogy az Angström konstansok meghatározása nem volt pontos, így az egyes sugárzáskomponensek számítása hibát hordoz magában. Az ilyen napoktól eltekintve a modell által számított és a mért értékek közel vannak egymáshoz.

A számítási eredmények alapján készített diagramokon megfigyelhető, hogy a mért energianyereségben megjelenő ugrásszerű változásokat a modell nem képes lekövetni. Ennek oka az, hogy a modell az időjárási viszonyokat csak a napos órák számával veszi figyelembe. Előfordulhatnak azonban olyan napok, amikor az atmoszférában pl. eső után kevesebb a szennyeződés, így a légkör sugárzáscsökkentő hatása kisebb, és magasabb a beérkező sugárzásmennyiség. Olyan napok is előfordulhatnak, amikor a tartós szélcsend miatt a légkörben megnő a különböző szennyezőanyagok koncentrációja, így csökkentik a légkör sugárzás átereszt ő képességét. Ezt az állítást támasztja alá, hogy vannak olyan mérési eredmények is, amelyek a modell által számított minimális érték alatt vannak.

A modellek alapján kapott eredmények azt mutatják, hogy azok további pontosítást igényelnek. A számítási metódusnál szükséges az Angström konstansok újbóli, pontosabb meghatározása megfelelő mérési adatok alapján. A különböző modellek esetén felül kell vizsgálni a diffúz komponens számítási módszereit és ezeket mérési adatokkal kell összevetni, ugyanis ezek a komponensek hordozzák magukban a legnagyobb bizonytalanságot.

A diplomatervben ismertetett Hay modell alapján egy, a konzulenseim által kijelölt épületkomplexumra elvégeztem a szoláris nyereség számítását. A kapott eredményeket három másik méretezési számítás eredményével hasonlítottam össze. A kapott eredményeket az MSZ-04-140-4:1978-as szabvány alapján számított méretezési értékekkel, az ezen a szabványon alapuló WinWatt program méretezési eredményeivel,

illetve az MSZ-04-140-2:1991-es szabványban közölt sugárzási értékekre alapozott méretezési eredményekkel hasonlítottam össze.

A dolgozatban ismertetett Hay modell alapján elvégzett méretezési számítások eredményeit a többi méretezési eljárással összehasonlítva megállapítható, hogy a számított értékek jellemzően alacsonyabbak, mint az 1991-es szabvány sugárzási értékei alapján számított értékek, azonban magasabbak, mint a két másik módszer alapján számítottak. A Hay modell alapján végzett méretezési számítás eredménye minden esetben egy adott naphoz köthető, addig a többi számítás esetében csak egy ismeretlen, fiktív napra vonatkozó méretezési eredmény kaptam. A modellel számított eredményeknél látható volt, hogy a redukciós tényezőket alkalmazó módszerekkel szemben keleti és nyugati tájolások esetén jelentősebb csúcsokat eredményez a számítás a reggeli, illetve az esti órákban, ha a meghatározó üvegfelületek tájolása keleti, vagy nyugati volt.

A szabványok által készített méretezéseknél látható, hogy a számított eredmények jelentősen eltérnek annak ellenére is, hogy ugyanazon mérési adatok szolgáltak alapul a megalkotásuknál. A két számítási módszer közötti különbség a redukciós tényezők használatában rejlik, azonban ezen értékek hátteréről nem áll rendelkezésre információ.

8. SUMMARY

In the first part of the thesis three calculation methods were shown which aim is to determine the amount of incoming solar energy. These methods were based on the path of the Sun and meteorological data and were able to calculate the incoming solar radiation on surfaces with different orientation and tilt angle. During the calculations the weather conditions were represented with the sunny hours ratio.

The described methods were similar, the only difference was the different calculation method of the diffuse radiation component. The first model was the Isotropic model which calculates a homogeneous diffuse radiation for the sky dome. For the second model (Hay model) the sky dome is separated into two different parts. The diffuse radiation coming from the direction of the Sun was calculated as circumsolar, the rest of the sky dome was treated as an isotropic radiant surface. In the third model (Corrected Hay model) a third part of the sky was treated differently. This part is the horizon which was described with a horizon brightening factor. In the thesis a calculation method was also show to calculate the effect of an overhang over window.

In the second part of the thesis the results from the three different models were compared with measurement data for different surfaces. For a horizontal surface all the models provided the same result. The reason for this was obvious, all off the models calculates the radiation on horizontal surfaces in the same way. The comparison with measured data from vertical surfaces showed a different result. For North, East and West orientations the Hay model gave the best results. For South orientation the Corrected Hay model was the best.

Results from all three models were compared to monthly data measured on a 45°tilt angle, South orientated surface. This comparison provided the most unexpected result. According to the results, the Isotropic model provided the closes results, however, all the results were over the measured values. The result from the Isotropic model were compared to daily measured data for the same surface. The comparison revealed that

the model often overestimates the global radiation which could be a result of the inaccurate determination of the Angström constants.

To summarize the first part of the thesis, it is clear that the model requires further clarification. Based on more appropriate measurement data the Angström constants have to be redefined. The shown models have to be reexamined with the main focus on the diffuse radiation calculation since it has the biggest uncertainty.

In the third part of the thesis, the solar gains were calculated by the Hay model, which was described in the first part of the thesis. The calculated results were compared with three different calculation method's results. These comparison calculations were carried out according to standards MSZ-04-140-4:1978 and MSZ-04-140-2:1991. The third calculation was made in WinWatt program, which was based on the standard MSZ-04-140-4:1978, but the reduction factors for the solar gain calculations were redefined when the program was made.

The calculated values by the Hay model were lower than the values calculated by the standard MSZ-04-140-2:1991, but were higher than the results of the other two calculations. Further difference was that the results of the calculations made by the Hay model were related to a calendar day, but the other calculations were just calculating the results for a notional day. It was also concluded, that the results obtained from calculations based on the standard MSZ-04-140-4:1978 had significantly lower peak in the morning and in the evening than the results from the other calculations in case of east and west glazing orientations.

9. IRODALOM JEGYZÉK

9.1. Általánosan felhasznált irodalmak jegyzéke

- Horváth, M.: Épületek szoláris hőnyereségének vizsgálata. TDK dolgozat, Budapest, 2012.

- Horváth, M.: Üvegszerkezetekre érkező napsugárzás mennyiségének meghatározása nappálya modell alapján. TDK dolgozat, Budapest, 2013.

9.2. Hivatkozott irodalmak jegyzéke

[1] MSZ-04-140-2:1991 szabvány

[2] MSZ-04-140-4:1978 szabvány

[3] 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet

[4] 40/2012 (VIII. 13.) BM rendelet

[5] P. I. Cooper: The absorption of radiation in solar stills. Solar Energy 12. évfolyam. pp. 333-346. 1969

[6] John A. Duffie - William A. Beckman: Solar Engineering of Thermal Processes, Fourth Edition 2013. ISBN 13-978-471-69867-8

[7] URL: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Azimuth-Altitude_schematic.svg

[8] Benjamin Y.H. Liu, Richard C. Jordan: The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse and total solar radiation. Solar Energy 4. évfolyam, 3. szám. pp 1-19. 1960

[9] Griffin Salima1, Geoffrey M. S. Chavula: Determining Angstrom constants for estimating solar radiation in Malawi. International Journal of Geosciences, 2012, 3. szám. pp 391-397. 2012

[10] URL: http://www.met.hu/eghajlat/eghajlati_adatsorok/bp/Navig/Index2.htm

[11] J. F. Orgill, K. G. T. Hollands: Correlation equation for hourly diffuse radiation on a horizontal surface. Solar Energy 19. évfolyam. pp. 357-359. 1977

[12] URL: S. Armstrong, W. G. Hurley: A new methodology to optimise solar energy extraction under cloudy conditions. Renewable Energy 35. évfolyam, 4. szám. pp. 780-787. 2010

[13] K. K. Gopinathan: Solar radiation on inclined surfaces. Solar Energy 45. évfolyam. pp. 19-25. 1990

[14] V. Quasching, R. Hanitsch: Shade calculations in photovoltaic systems. ISES Solar World Conference – konferencia Harare, Zimbabve. 1995. szeptember 11-15.

[15] D. T. Reindl, W. A. Beckman, J. A. Duffie: Evaluation of hourly tilted surface radiation models. Solar Energy 45. évfolyam. pp. 9-17. 1990

[16] S. A. Klein: Calculation of monthly average insolation on tilted surfaces. Solar Energy 19. évfolyam. pp. 325-329. 1977

[17] D. M. Utzinger and S. A Klein: A method of estimating monthly average solar radiation on shaded receivers. Solar Energy 23. évfolyam 5. szám. pp. 369-378. 1979.

[18] Nagy B.: A szoláris nyereségek pontosítása a hazai épületenergetikai számításoknál. TDK dolgozat, Budapest, 2011.

[19] Zöld A.: et.al, 2000. *Épületgépészet 2000 Alapismeretek I. kötet.* Budapest: Épületgépészet kiadó Kft.

[20] URL: http://naplopo.hu/tudastar/napsugarzasi-adatok

[21] Horváth M.: Irodaépület egyik szintjének gépészeti tervezése és energetikai értékelése. Szakdolgozat, Budapest, 2011.

10. MELLÉKLETEK JEGYZÉKE

10.1. melléklet, napfénytartam adatok OMSZ 1912-2000 adatai alapján

	Jan.	Febr.	Márc.	Ápr.	Máj.	Jún.	Júl.	Aug.	Szept.	Okt.	Nov.	Dec.
Nap hossza [h/nap]	8,721	9,995	11,650	13,409	14,917	15,695	15,326	14,002	12,292	10,536	9,041	8,302
Napos órák hossza (OMSZ átlag) [h/nap]	1,857	3,025	4,383	6,125	7,955	8,742	9,306	8,641	6,597	4,586	2,132	1,438
Napos órák/Nap hossza [h/h]	0,213	0,303	0,376	0,457	0,533	0,557	0,607	0,617	0,537	0,435	0,236	0,173

10.2. melléklet, a hivatkozott TDK munkából [18] vett adatok és a modellel számított értékek

	Jan.	Febr.	Márc.	Ápr.	Máj.	Jún.	Júl.	Aug.	Szept.	Okt.	Nov.	Dec.	Éves
Mért adatok	28,5	58,3	97,2	133,3	177,8	180,6	176,4	162,5	105,6	69,4	32,6	24,3	1246,5
Számított értékek	30,9	48,1	88,5	128,9	174,6	185,9	195,5	170,7	116,7	73,1	34,4	24,6	1271,8

Megjegyzés: A táblázatban szereplő havi értékek [kWh/m²hó] mértékegységben, az éves értékek [kWh/m²év] mértékegységben értendőek.

10.3. melléklet, a hivatkozott [18] irodalomból vett adatok és a modellel számított értékek Északi tájolás esetén

	Jan.	Febr.	Márc.	Ápr.	Máj.	Jún.	Júl.	Aug.	Szept.	Okt.	Nov.	Dec.	Éves
Mért adatok	11,94	16,11	26,94	38,33	56,94	59,72	58,89	47,22	33,06	21,94	13,61	9,72	394,44
Izotróp	14,85	21,48	36,99	52,09	73,83	83,16	81,76	61,31	41,02	28,27	16,86	13,09	524,70
Hay modell	11,91	14,23	24,47	37,13	59,14	71,08	66,63	43,14	21,86	13,40	10,66	8,93	382,59
Korr, Hay modell	13,17	16,60	29,22	43,53	67,09	79,22	74,49	49,70	27,08	16,39	12,39	10,12	438,99

Megjegyzés: A táblázatban szereplő havi értékek [kWh/m²hó] mértékegységben, az éves értékek [kWh/m²év] mértékegységben értendőek.

10.4. melléklet, a hivatkozott [18] irodalomból vett adatok és a modellel számított értékek Keleti tájolás esetén

	Jan.	Febr.	Márc.	Ápr.	Máj.	Jún.	Júl.	Aug.	Szept.	Okt.	Nov.	Dec.	Éves
Mért adatok (1969-1976)	18,61	31,67	53,89	75,56	102,78	107,22	111,94	101,39	71,94	47,22	24,72	16,94	763,89
Izotróp	17,86	30,51	57,12	84,76	110,36	114,76	122,17	107,58	77,78	51,05	23,80	17,05	814,79
Hay modell	17,56	29,62	54,83	80,92	104,43	108,34	115,90	103,13	74,83	49,65	23,24	16,72	779,17
Korr. Hay modell	18,81	32,01	59,37	86,84	111,63	115,69	122,79	108,95	79,65	52,98	25,05	17,95	831,74

Megjegyzés: A táblázatban szereplő havi értékek [kWh/m²hó] mértékegységben, az éves értékek [kWh/m²év] mértékegységben értendőek.

10.5. melléklet, a hivatkozott [18] irodalomból vett adatok és a modellel számított értékek Déli tájolás esetén

	Jan.	Febr.	Márc.	Ápr.	Máj.	Jún.	Júl.	Aug.	Szept.	Okt.	Nov.	Dec.	Éves
Mért adatok (1969-1976)	39,72	58,61	85,56	92,22	100,56	89,17	94,72	105,56	101,67	88,06	55,00	37,50	948,33
Izotróp	24,59	43,47	68,82	82,35	90,20	86,57	93,23	95,18	89,89	77,89	37,67	27,45	817,31
Hay modell	26,81	48,16	73,98	83,76	85,59	78,84	86,35	94,41	96,04	87,40	42,44	30,87	834,66
Korr. Hay modell	28,08	50,62	78,74	90,13	93,36	86,71	93,94	100,95	101,41	91,05	44,31	32,13	891,42

Megjegyzés: A táblázatban szereplő havi értékek [kWh/m²hó] mértékegységben, az éves értékek [kWh/m²év] mértékegységben értendőek.

10.6. melléklet, a hivatkozott [18] irodalomból vett adatok és a modellel számított értékek Nyugati tájolás esetén

	Jan.	Febr.	Márc.	Ápr.	Máj.	Jún.	Júl.	Aug.	Szept.	Okt.	Nov.	Dec.	Éves
Mért adatok (1969-1976)	18,89	30,56	50,83	69,44	94,17	97,50	99,44	89,17	65,28	44,72	23,33	16,39	699,72
Izotróp	17,86	30,51	57,12	84,76	110,36	114,76	122,17	107,58	77,78	51,05	23,80	17,05	814,79
Hay modell	17,56	29,62	54,83	80,92	104,43	108,34	115,90	103,13	74,83	49,65	23,24	16,72	779,17
Korr. Hay modell	18,81	32,01	59,37	86,84	111,63	115,69	122,79	108,95	79,65	52,98	25,05	17,95	831,74

Megjegyzés: A táblázatban szereplő havi értékek [kWh/m²hó] mértékegységben, az éves értékek [kWh/m²év] mértékegységben értendőek.

10.7. melléklet, a Naplopó Kft. honlapjáról vett adatok

	Jan.	Febr.	Márc.	Ápr.	Máj.	Jún.	Júl.	Aug.	Szept.	Okt.	Nov.	Dec.	Éves
2004	58,08	83,03	80,67	109,56	160,30	155,99	163,55	180,88	143,16	87,64	71,03	43,05	1336,94
2005	70,41	76,02	145,59	143,90	184,28	172,79	155,53	123,79	136,06	120,72	52,86	44,46	1426,41
2006	53,49	67,45	100,42	131,09	140,07	158,58	173,45	140,63	150,68	125,76	50,83	36,96	1329,40
2007	55,22	59,58	114,34	183,96	170,65	173,39	181,32	161,37	128,04	91,70	64,87	27,79	1412,22
2008	47,74	94,71	109,12	129,29	174,56	149,97	160,11	178,85	106,76	92,21	61,26	45,18	1349,77
2009	43,50	60,89	87,87	176,79	169,20	140,14	189,39	162,54	150,81	86,57	44,15	36,11	1347,96
2010	42,42	58,50	129,57	141,80	123,52	138,22	154,40	153,14	102,58	107,17	62,61	36,57	1250,51
2011	43,06	67,24	134,33	150,75	178,04	145,93	143,52	181,78	159,13	100,23	63,38	36,16	1403,55
2012	70,63	90,39	169,59	142,56	161,14	141,77	164,60	186,60	137,22	95,86	51,91	45,18	1457,45

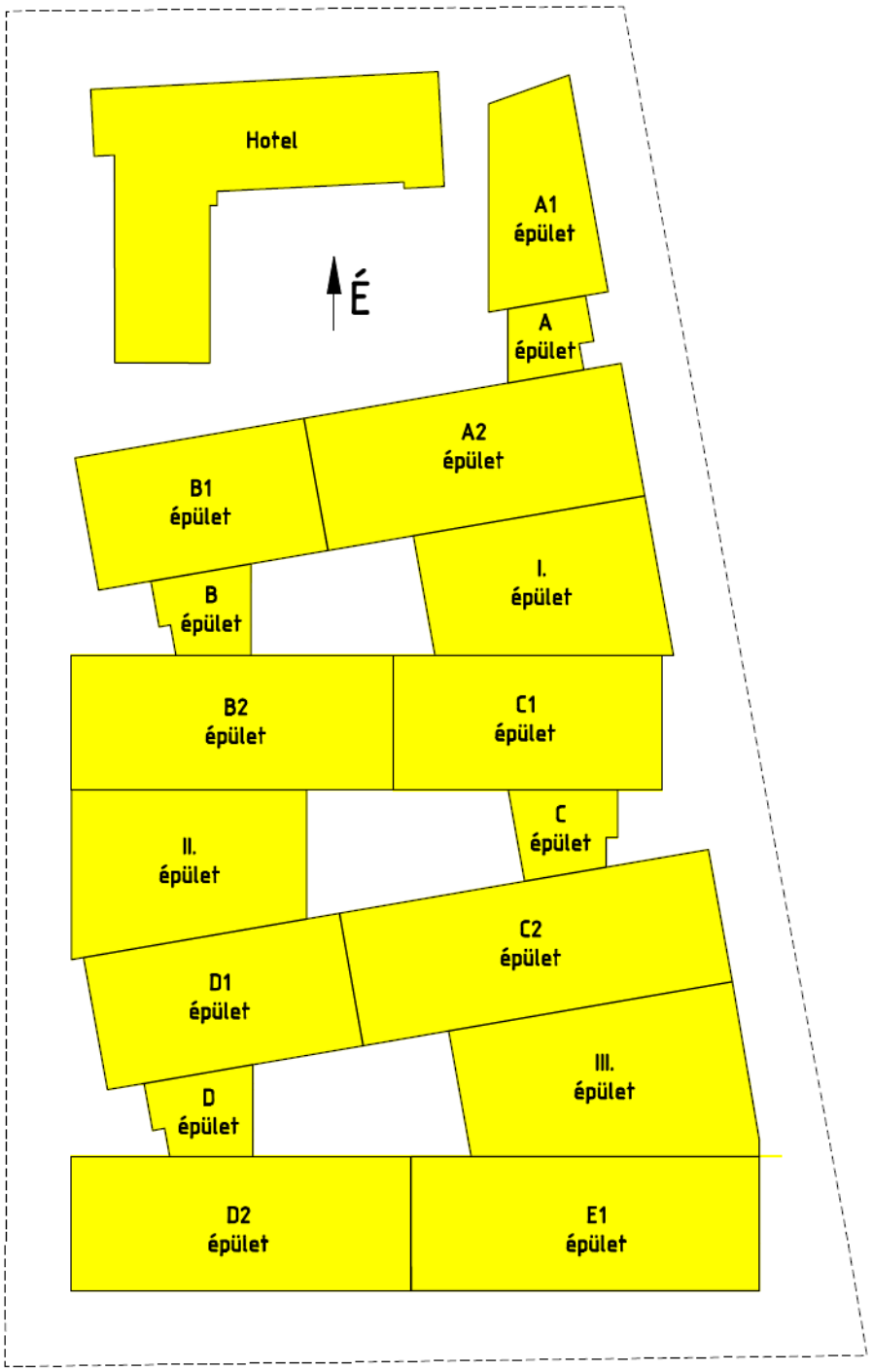
Megjegyzés: A táblázatban szereplő havi értékek [kWh/m²hó] mértékegységben, az éves értékek [kWh/m²év] mértékegységben értendőek.

10.8. melléklet, a Naplopó Kft. honlapjáról vett adatok átlagértékei, a modellel számított értékek

	Jan.	Febr.	Márc.	Ápr.	Máj.	Jún.	Júl.	Aug.	Szept.	Okt.	Nov.	Dec.	Éves
Átlag (2004-2012)	54,58	66,74	115,25	149,25	164,02	164,39	177,24	176,32	140,07	110,25	59,20	38,11	1415,41
Izotróp	60,86	72,86	123,10	154,39	164,62	162,55	176,62	180,45	148,25	120,65	65,82	42,03	1472,20
Hay modell	61,37	73,62	124,45	156,01	166,64	164,61	178,49	182,00	149,57	121,62	66,42	42,42	1487,24
Korr. Hay modell	54,58	66,74	115,25	149,25	164,02	164,39	177,24	176,32	140,07	110,25	59,20	38,11	1415,41

Megjegyzés: A táblázatban szereplő havi értékek [kWh/m²hó] mértékegységben, az éves értékek [kWh/m²év] mértékegységben értendőek.

10.9. melléklet, az irodakomplexum helyszínrajza



10-1. ábra, Az irodakomplexum helyszínrajza [21]

10.10. melléklet, az irodakomplexum üvegszerkezeteinek tájolása (É=180°; K=-90°; D=0°; Ny=90°)

Épület	-100°	-90°	-10°	0°	80°	90°	160°	170°	180°	Vízszintes	Összesen
A	142,5	0,0	0,0	0,0	0,0	342,0	0,0	0,0	0,0	142,0	**626,5**
A1	252,5	0,0	72,0	0,0	0,0	194,6	147,6	0,0	0,0	0,0	**666,7**
A2	172,5	0,0	402,2	0,0	14,4	0,0	0,0	344,6	0,0	0,0	**933,7**
B	0,0	413,3	0,0	0,0	142,5	0,0	0,0	0,0	0,0	175,0	**730,8**
B1	0,0	0,0	176,8	0,0	137,5	0,0	0,0	290,7	0,0	0,0	**605,0**
B2	0,0	15,6	0,0	405,8	0,0	167,9	0,0	0,0	284,8	0,0	**874,1**
C	0,0	142,5	0,0	0,0	413,3	0,0	0,0	0,0	0,0	194,0	**749,8**
C1	0,0	164,4	0,0	225,3	0,0	3,6	0,0	0,0	317,5	0,0	**710,8**
C2	181,8	0,0	474,8	0,0	13,4	0,0	0,0	393,9	0,0	0,0	**1063,9**
D	0,0	413,3	0,0	0,0	136,8	0,0	0,0	0,0	0,0	184,0	**734,1**
D1	7,3	0,0	230,4	0,0	175,0	0,0	0,0	270,7	0,0	0,0	**683,4**
D2	0,0	0,0	0,0	438,1	0,0	203,8	0,0	0,0	334,6	0,0	**976,5**
E1	0,0	134,0	0,0	388,4	0,0	2,4	0,0	0,0	429,7	0,0	**954,5**
I.	39,1	0,0	0,0	0,0	22,9	0,0	0,0	0,0	0,0	29,9	**91,9**
II.	0,0	33,6	0,0	0,0	0,0	56,9	0,0	0,0	0,0	35,1	**125,6**
III.	0,0	0,0	0,0	2,4	38,5	0,0	0,0	0,0	0,0	39,2	**80,1**
Komplexum	795,7	1316,7	1356,2	1460,0	1094,3	971,2	147,6	1299,9	1366,6	799,2	**10607,4**

Megjegyzés: A táblázatban szereplő számértékek [m²] mértékegységben értendőek.