

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

HORVÁTH MIKLÓS

TDK dolgozat

Üvegszerkezetekre érkező napsugárzás mennyiségének
meghatározása nappálya modell alapján

Tanszéki konzulens:

Dr. Szánthó Zoltán

Egyetemi docens

Budapest, 2013

TARTALOMJEGYZÉK

1. Napenergiahasznosítás jelentősége	4
1.1. Az épületek helyzete Magyarországon, a szoláris nyereség figyelembe vétele	4
2. Szoláris hőterhelés és a hűtési energiaigény számítás a hazai gyakorlatnak megfelelően.....	6
2.1. A szoláris energianyereség méretezési értékének meghatározása.....	6
2.2. A szoláris energianyereségből származó hűtési igény számítása	7
3. A sugárzás számító modell megalkotásához felhasznált számítási összefüggések.....	9
3.1. A napmagasság, azimut és naphossz számítása.....	9
3.2. A napsugárzás intenzitásának számítása	11
3.3. A napsugárzásból származó energiahozam számítása.....	19
3.4. Rögzített árnyékoló szerkezet sugárzáscsökkentő hatásának leírása függőleges felület esetén	20
4. A modell megalkotásakor rendelkezésre álló OMSZ adatok	24
4.1. Éves adatok	24
4.2. Napi napfénytartam átlagadatok	25
4.3. Az Angström konstansok meghatározása	27
5. A rendelkezésre álló sugárzásadatok és a modell eredményeinek összevetése	29
5.1. A számított napmagasság és azimut értékek	29
5.2. Havi adatok összehasonlítása	31
5.2.1. A modellek által számított értékek összehasonlítása vízszintes felületen mért adatokkal	31
5.2.2. A modellek által számított értékek összehasonlítása függőleges felületen mért adatokkal	32
5.2.3. Az Izotróp modell által számított értékeke összehasonlítása déli tájolású, 45°-os dőlésszögű felületen mért adatokkal	36
5.3. Napi adatok összehasonlítása	38
6. Összefoglalás.....	42
7. Summary	44
8. Irodalom jegyzék.....	46
8.1. Általánosan felhasznált irodalmak jegyzéke	46

8.2. Hivatkozott irodalmak jegyzéke	46
9. Mellékletek jegyzéke.....	48
9.1. melléklet, napfénytartam adatok OMSZ 1912-2000 adatai alapján	48
9.2. melléklet, a hivatkozott TDK munkából [17] vett adatok és a modellel számított értékek	48
9.3. melléklet, a hivatkozott [17] irodalomból vett adatok és a modellel számított értékek Északi tájolás esetén.....	48
9.4. melléklet, a hivatkozott [17] irodalomból vett adatok és a modellel számított értékek Keleti tájolás esetén.....	49
9.5. melléklet, a hivatkozott [17] irodalomból vett adatok és a modellel számított értékek Déli tájolás esetén.....	49
9.6. melléklet, a hivatkozott [17] irodalomból vett adatok és a modellel számított értékek Nyugati tájolás esetén.....	49
9.7. melléklet, a Naplopó Kft. honlapjáról vett adatok.....	50
9.8. melléklet, a Naplopó Kft. honlapjáról vett adatok átlagértékei, a modellel számított értékek	50

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 az energia 40%-át az épületekben használják fel, ennek az energiamennyiségnek körülbelül kétharmada fűtésre és hűtésre fordítódik. A hazai épületállomány az Európai Unió átlagnál rosszabb állapotban van, ezért is szükséges átalakításuk és korszerűsítésük. Az épületek korszerűsítésével a fűtési igény csökken, így egyre nagyobb szerepet kap fűtési időnyben 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 egyes tagjai már 35 évnél is régebbiek, és a számítás során több, ma már nem feltétlenül megengedhető elnagyolást tesznek. Mindössze 8 féle tájolásra és 2 féle dőlésszögre lehet méretezési adatokat találni bennük. A szabványok egyik legnagyobb hibája, hogy a szoláris energiahozamot csak statikus módon lehet meghatározni, Ezek így nem felelnek meg a mai kor követelményeinek, ugyanis ez a statikus tervezési módszer nem kielégítő 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 dolgozat 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 dolgozatban 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 energiateljesítményű épületek esetében.

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

A hazai épületgépészeti gyakorlatban jelenleg az MSZ-04-140-4:1978 szabványnak [1], illetve a 7/2006. (V. 24.) TNM rendeletnek [2] megfelelően számítják a szoláris energianyereség méretezési értékét, illetve az éves energianyereséget. A 2012-ben kiadott 40/2012 (VIII. 13.) BM rendelet [3] 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 méretezési 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 függőlegetől eltérő helyzetű nyílászárók modellezésére. További előnye a számítási modell fejlesztésének, hogy a szabványban megadottaktól eltérő tájolású nyílászárók is bevihetők a programba. A számítási módszerben ezt a redukciós tényezők újbóli meghatározásával vették figyelembe. Az üvegszerkezetek szoláris nyereségének szabvány szerinti számítását a 2.1 egyenlet írja le:

$$\dot{Q}_{\ddot{u}} = A_{\ddot{u}} \cdot [N_{\ddot{u}} \cdot N_{\ddot{A}} \cdot I_{\text{SRG}} \cdot Z + k_{\ddot{u}} \cdot (t_e - t_i)] \quad (2.1)$$

ahol $A_{\ddot{u}}$ az üvegezett felület [m^2]

$N_{\ddot{u}}$ az üvegezés naptényezője[1]

$N_{\ddot{A}}$ az árnyékolás naptényezője[1]

I_{SRG} a 3 mm vastag normál síküvegen behatoló napsugárzás intenzitása [W/m^2]

Z a redukciós tényező [1]

$k_{\ddot{u}}$ az üvegezés hőátbocsátási tényezője [$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$]

t_e a külső léghőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$]

t_i a belső léghőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$]

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 bevitelénél csak a direkt sugárzás csökkenését veszi figyelembe a program, a diffúz sugárzás értékét változatlanul tekinti. Az árnyékolás hatását a program minden órára számítja, és a kritikus időponthoz tartozó árnyékolási tényezőt veszi figyelembe.

$$N_{\hat{A}} = \frac{I_{DIF} + \frac{A_{kr}}{A_{\hat{u}}} \cdot I_{DIR}}{I_{SRG}} \quad (2.2)$$

ahol $N_{\hat{A}}$ az árnyékolás naptényezője [1]

I_{DIF} a diffúz napsugárzás intenzitása [W/m^2]

I_{DIR} a direkt napsugárzás intenzitása [W/m^2]

I_{SRG} a 3 mm vastag normál üvegen áthatoló napsugárzás intenzitása [W/m^2]

A_{kr} a kritikus időpontban árnyékolás nélkül maradó üvegfelület [m^2]

$A_{\hat{u}}$ a teljes üvegfelület [m^2]

2.2. A szoláris energianyereségből származó hűtési igény számítása

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

$$Q_{h\hat{u}} = \frac{24}{1000} \cdot n_{h\hat{u}} \cdot (\sum A_N \cdot q_b + Q_{sdnyár}) \quad (2.3)$$

ahol $Q_{h\hat{u}}$ a gépi hűtés éves nettó energiaigénye [kWh/a]

$n_{h\hat{u}}$ a hűtési napok száma [1/a]

A_N a nettó hűtött szintterület [m^2]

q_b a belső hőterhelés fajlagos értéke [W/m^2]

$Q_{sdnyár}$ a direkt sugárzási hőterhelés [W]

Az $n_{h\ddot{u}}$ azoknak a napoknak a száma, ahol a 2.4 egyenlet szerinti feltétel teljesül:

$$\bar{t}_e \geq 26 - \Delta t_{bny\acute{a}r} \quad (2.4)$$

ahol $\bar{t}_e$ a külső hőmérséklet napi átlagértéke [K]

$\Delta t_{bny\acute{a}r}$ a belső és külső hőmérséklet napi középértékeinek különbsége nyári feltételek között

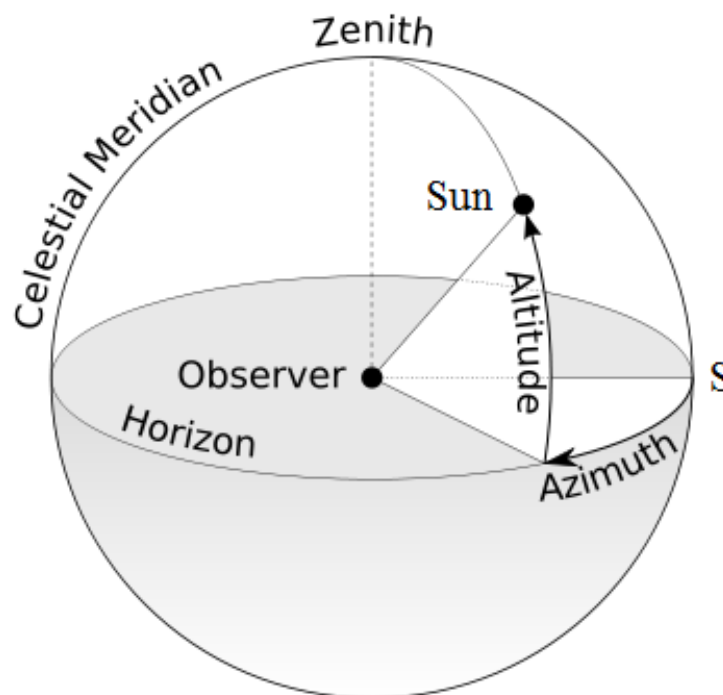
A számítási módszerben szereplő sugárzási értékek a hivatkozott szabványban meghatározott értékeken alapulnak.

3. A SUGÁRZÁS SZÁMÍTÓ MODELL MEGALKOTÁSÁHOZ FELHASZNÁLT SZÁMÍTÁSI ÖSSZEFÜGGÉSEK

A nappályamodellt Microsoft Excel programban készítettem el, a részletek ismertetésénél hivatkozott szakirodalom felhasználásával. A modell megalkotásához figyelembe kell venni a Föld forgástengelye és a Nap körüli keringés tengelye közötti $23,5^\circ$ -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 [4] és [5] 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 alapnak. Az egyes értékek értelmezését a 3-1. ábra szemlélteti.



3-1. ábra, A napmagasság és azimut értelmezése [6]

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 [4] alapján számítható:

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

ahol δ a nap deklinációja [$^\circ$]

n a vizsgált nap sorszáma, január 1. = 1 [1]

A napmagasság értéke a 3.2 egyenletből [5] határozható meg:

$$\sin \alpha_S = \sin \delta \cdot \sin \phi + \cos \delta \cdot \cos \omega \cdot \cos \phi \quad (3.2)$$

ahol α_S a napmagasság [$^\circ$]

δ a nap deklinációja [$^\circ$]

ϕ a földrajzi hely szélességi foka [$^\circ$]

ω a nap óraszöge, 1 óra = 15° [$^\circ$]

Az azimut értéke a 3.3.a egyenletből számítható, a 3.3.b – 3.3.f egyenletek segítségével [5]:

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

$$\sin \gamma'_S = \frac{\sin \omega \cdot \cos \delta}{\cos \alpha_S} \quad (3.3.b)$$

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

$$\cos \omega_{ew} = \frac{\tan \delta}{\tan \phi} \quad (3.3.d)$$

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

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

ahol γ_S az azimut [$^\circ$]

δ a nap deklinációja [$^\circ$]

α_S a napmagasság [$^\circ$]

ω a nap óraszöge, 1 óra = 15° [$^\circ$]

ϕ a földrajzi hely szélességi foka [$^\circ$]

A nappal hosszát a 3.4 egyenlet alapján számítottam [5]:

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

ahol N a nappal hossza [óra]

ϕ a földrajzi hely szélességi foka [$^\circ$]

δ a nap deklinációja [$^\circ$]

3.2. A napsugárzás intenzitásának számítása

A Föld felszínén a napsugárzás intenzitás meghatározásához meg kell határozni az atmoszféra sugárzás csökkentő hatását is. 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 [5]:

$$G_0 = G_{sc} \cdot \left[1 + 0,033 \cdot \cos \left(\frac{n}{365} \cdot 360 \right) \right] \cdot \sin \alpha_S \quad (3.5)$$

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

G_{sc} a szoláris konstans, értéke $1,367$ [kW/m^2]

n a vizsgált nap sorszáma, január 1. = 1 [1]

α_S a napmagasság [$^\circ$]

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 [7]:

$$K_{glob} = \frac{G}{G_0} \quad (3.6.a)$$

$$K_{diff} = \frac{D}{G} \quad (3.6.b)$$

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 [8]. A későbbiekben a meghatározott konstansok ismeretében a napos órák és nappal hossza alapján számítható a globális sugárzásra vonatkozó égbolt tisztasági faktor.

$$\frac{G}{G_0} = a + b \cdot \frac{\sigma}{N} \quad (3.7)$$

ahol G a vízszintes felületre beérkező globális sugárzás intenzitása [kW/m²]

G_0 a beérkező globális sugárzás intenzitása [kW/m²]

σ a napos órák [óra]

N a nappal hossza [óra]

a, b az Angström konstansok

A modellel végzett számítások során az OMSZ által közzétett 1912-2000 évek közötti napfénytartam adatokat használtam fel [9]. 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 gyűjtőtávolságában 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.” [9]

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



3-2. ábra, Campbell - Stokes rendszerű napfénytartam mérő [9]

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 ([10], [11]), azonban a modellbe a [11] irodalom számítási módszere került beépítésre. Az alkalmazott algoritmust a 3.8 egyenlet mutatja be:

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

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. Ezekben 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 a maga előnye és hátránya. A dolgozatban a három legelterjedtebb modell kerül bemutatásra.

A legegyszerűbb modell az úgynevezett Izotróp égbolt modell. Ezen modell sajátossága, hogy a diffúz sugárzás szempontjából az egész égboltot 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 határozza meg [12]:

$$G_t = I_t + D_t + R_t \quad (3.9.a)$$

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

$$D_t = D \cdot (1 + \cos \alpha_M) \cdot \frac{1}{2} \quad (3.9.c)$$

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

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]

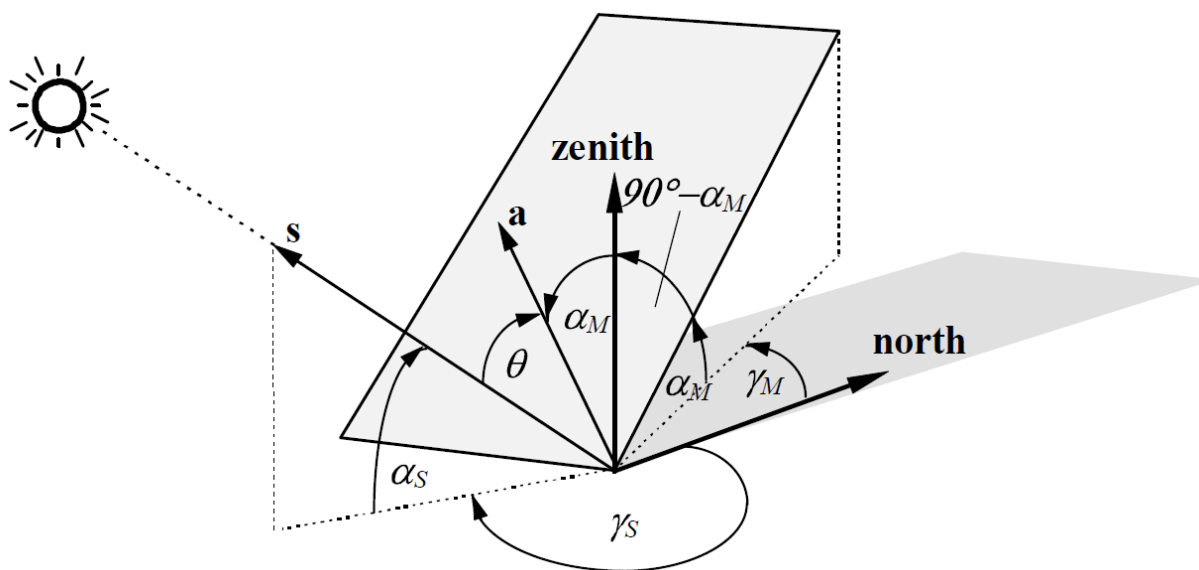
A 3.9.d egyenlet esetén a [13] irodalom alapján azzal a közelítéssel éltem, hogy az A értéke minden időpontban állandó. Ezzel a közelítéssel a modell alulbecsüli a visszavert sugárzás értékét téli időszakban, amikor a hótakaró megnövelné az albedó értékét.

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 [5].

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

α_S a napmagasság [$^{\circ}$]

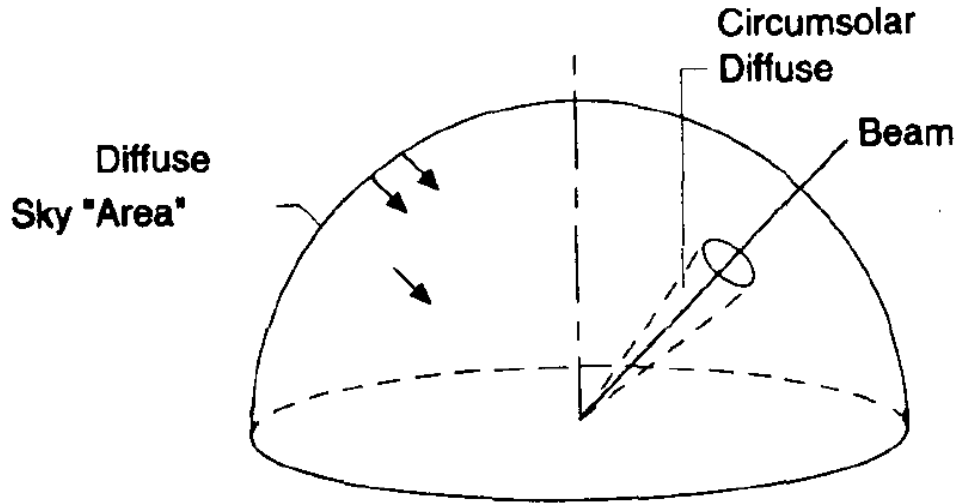
γ_M a felület tájolása (a modellben a déli tájoláshoz van viszonyítva) [°]



3-3. ábra, Tetszőleges tájolású és dőlésszögű felület szögeinek értelmezése [13]

16

komponens. A felosztást a 3-4. ábra szemlélteti. Ez esetben a diffúz sugárzás a 3.11.a egyenlet alapján számítható a 3.11.b segédegylet felhasználásával. A direkt és visszavert sugárzási komponens számítása továbbra is a 3.9.b és 3.9.d egyenletek segítségével történik.



3-4. ábra, Az égbolt „Hay” modell szerinti felosztása [5]

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

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

ahol D_t a felületre érkező diffúz sugárzás intenzitása [kW/m²]

D a vízszintes felületre beérkező diffúz sugárzás intenzitása [kW/m²]

A_i az anizotróp faktor [1]

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

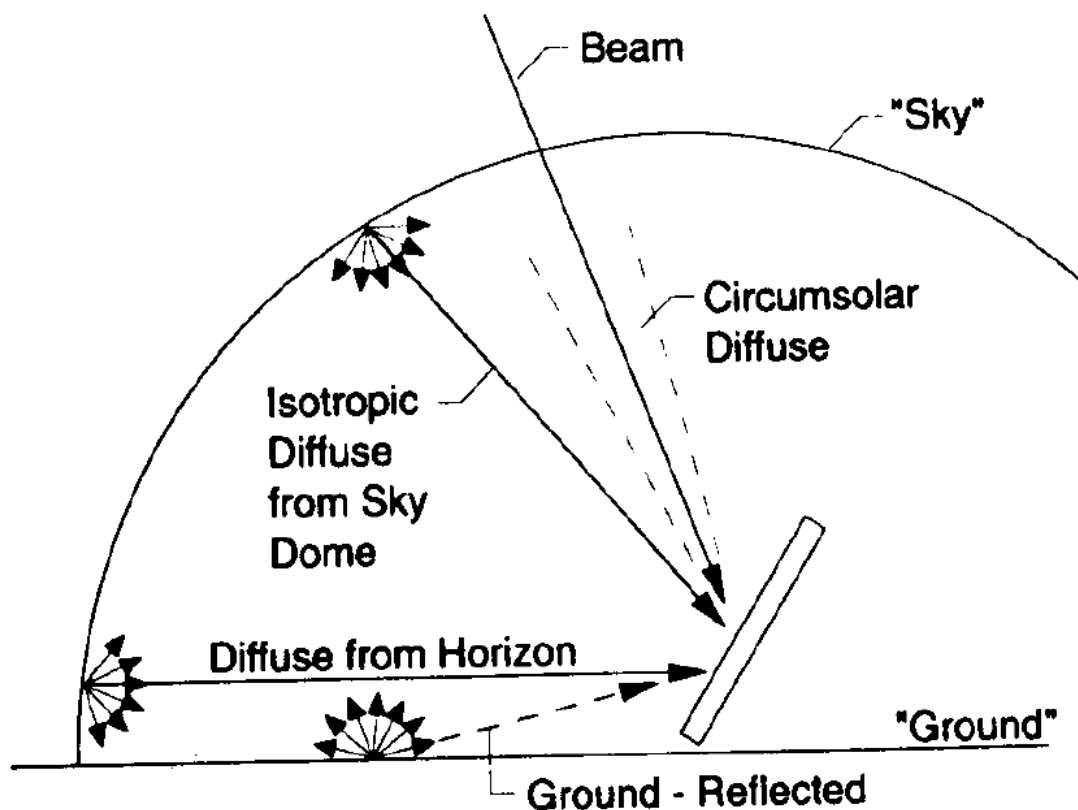
α_M a felület dőlésszöge [°]

G a vízszintes felületre beérkező globális sugárzás intenzitása [kW/m²]

G_0 a beérkező globális sugárzás intenzitása [kW/m²]

A Hay modell alapján számított diffúz sugárzás értéke borult égbolt esetén közelíti 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 [14]. 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 [5]

A diffúz sugárzás számítása ebben az esetben a 3.12.a egyenlet alapján történik, a 3.12.b segédegyenlet felhasználásával [14]:

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

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

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/m^2]

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

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 általam 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 össze. A globális sugárzásösszeg egy adott időpillanatra a 3.13 egyenlet alapján számítható:

$$E_{ti} = G_{ti} \cdot 0,25 \quad (3.13)$$

ahol E_{ti} a vizsgált időintervallumban a felületre érkező globális sugárzásmennyiség [kWh/m^2]

G_{ti} a vizsgált időintervallumban a felületre érkező globális sugárzás intenzitás [kW/m^2]

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:

$$G_{th} = \sum G_{ti} \cdot g \quad (3.14)$$

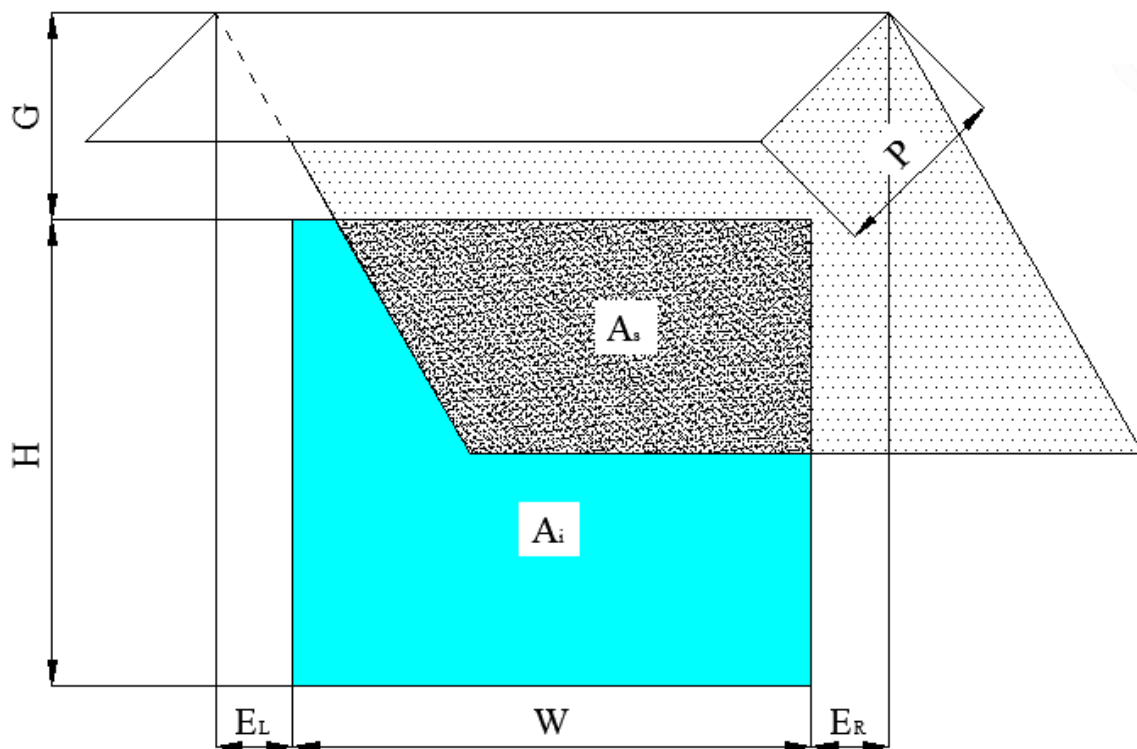
ahol G_{th} az egy nap folyamán a helyiségbe érkező sugárzás mennyisége [kWh/m²]

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 dolgozat egyik célja a rögzített árnyékoló szerkezetek hatásának a modellbe való illesztése is. A fix telepített árnyékoló modellezését a [16] 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.

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

ahol $G_{r,i}$ az árnyékolással rendelkező felületre érkező globális sugárzás intenzitása a vizsgált időpillanatban [kW/m^2]

I_i az árnyékolás nélküli felületre érkező direkt sugárzás intenzitása a vizsgált időpillanatban [kW/m^2]

D_i az árnyékolás nélküli felületre érkező diffúz sugárzás intenzitása a vizsgált időpillanatban [kW/m^2]

R_i az árnyékolás nélküli felületre érkező visszavert sugárzás intenzitása a vizsgált időpillanatban [kW/m^2]

f_i az árnyékolt és a teljes üvegfelület aránya [m^2/m^2]

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.

$$f_i = \frac{A_i}{A_{tot}} \quad (3.16)$$

ahol A_i az árnyékolás nélküli ablakfelület [m^2]

A_{tot} a teljes ablakfelület [m^2]

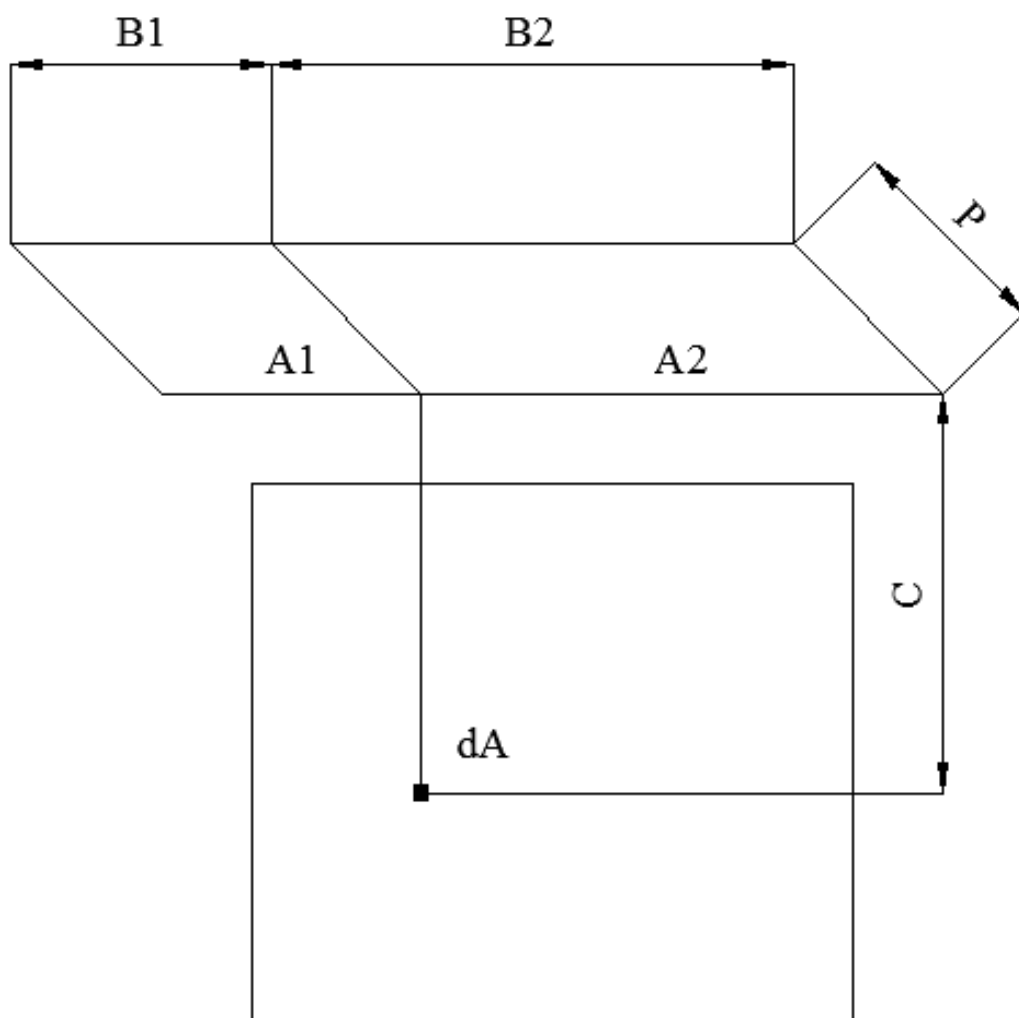
A diffúz sugárzást csökkentő tényezőt a 3.17 egyenlet alapján lehet számítani a 3.17.a – 3.17.c segédegyenletek felhasználásával [16]. A segédegyenletekben szereplő szimbólumok értelmezését a 3-7. ábra mutatja be.

$$F_{r-s} = \frac{1}{2} - F_{r-0} \quad (3.17)$$

$$F_{r-0} = \int_A F_{dA-A1} dA + \int_A F_{dA-A2} dA \quad (3.17.a)$$

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

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



3-7. ábra, A felületelemek értelmezése

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

$$F_{r-g} = \frac{1}{2} \quad (3.18)$$

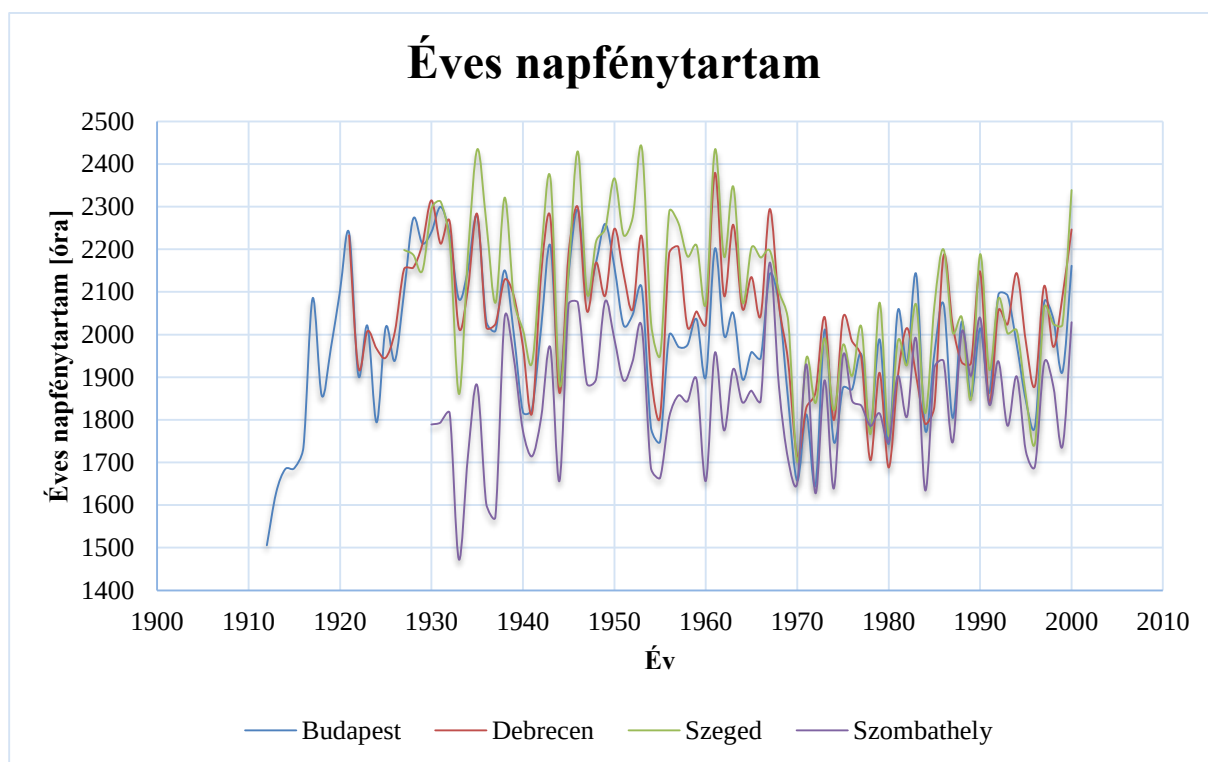
Az ismertett összefüggések alapján számítható egy fix árnyékoló szerkezet globális sugárzást csökkentő hatása. A számításokat minden egyes időpillanatra el kell végezni, hogy meghatározható legyen a csökkentett sugárzásintenzitás.

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 [9].

4.1. Éves adatok

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



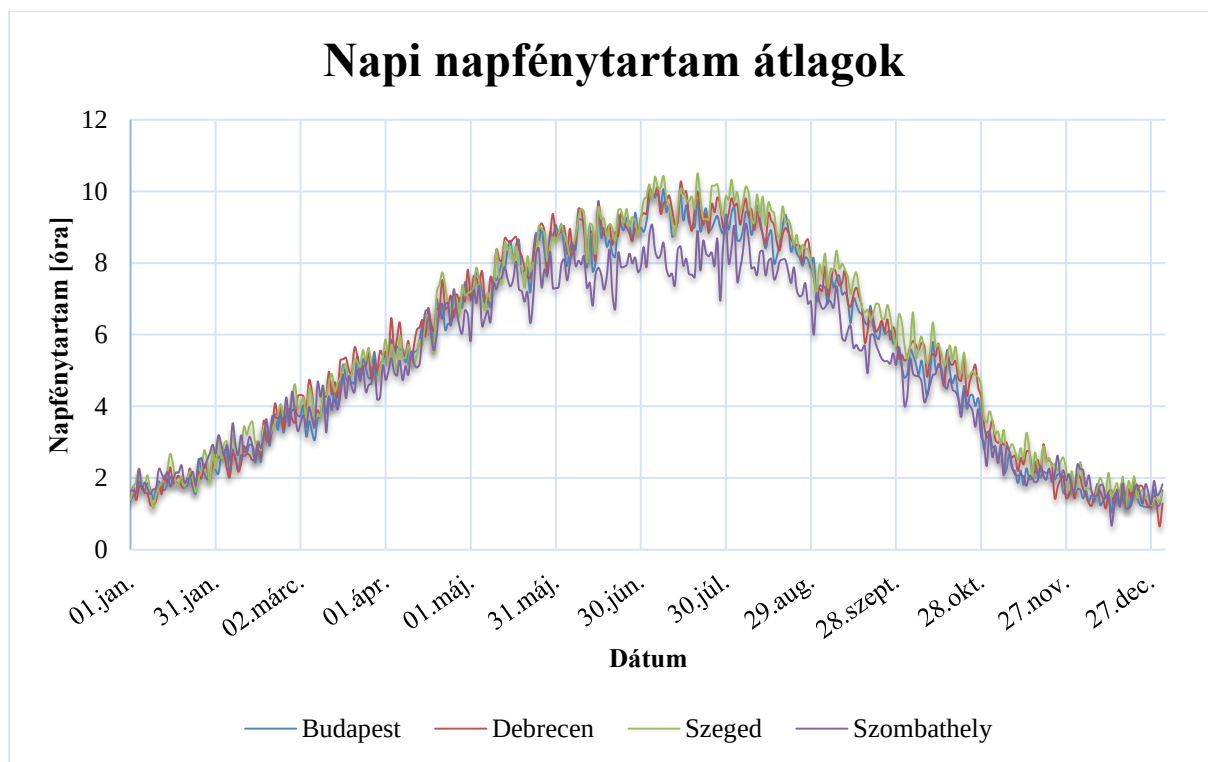
4-1. ábra, Éves napfénytartam adatok

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 évek előtt a mért értékek szórása jóval nagyobb, illetve az egyes helyszínek közötti eltérés is jelentősebb. Azonban a '70-es éveknél az értékek jellemzően kisebbek, a szórás is kisebb lett, és innentől kezdve a napos órák száma lassú emelkedő tendenciát mutat, ennek oka valószínűleg a szilárdtüzelés visszaszorulása.

4.2. Napi napfénytartam átlagadatok

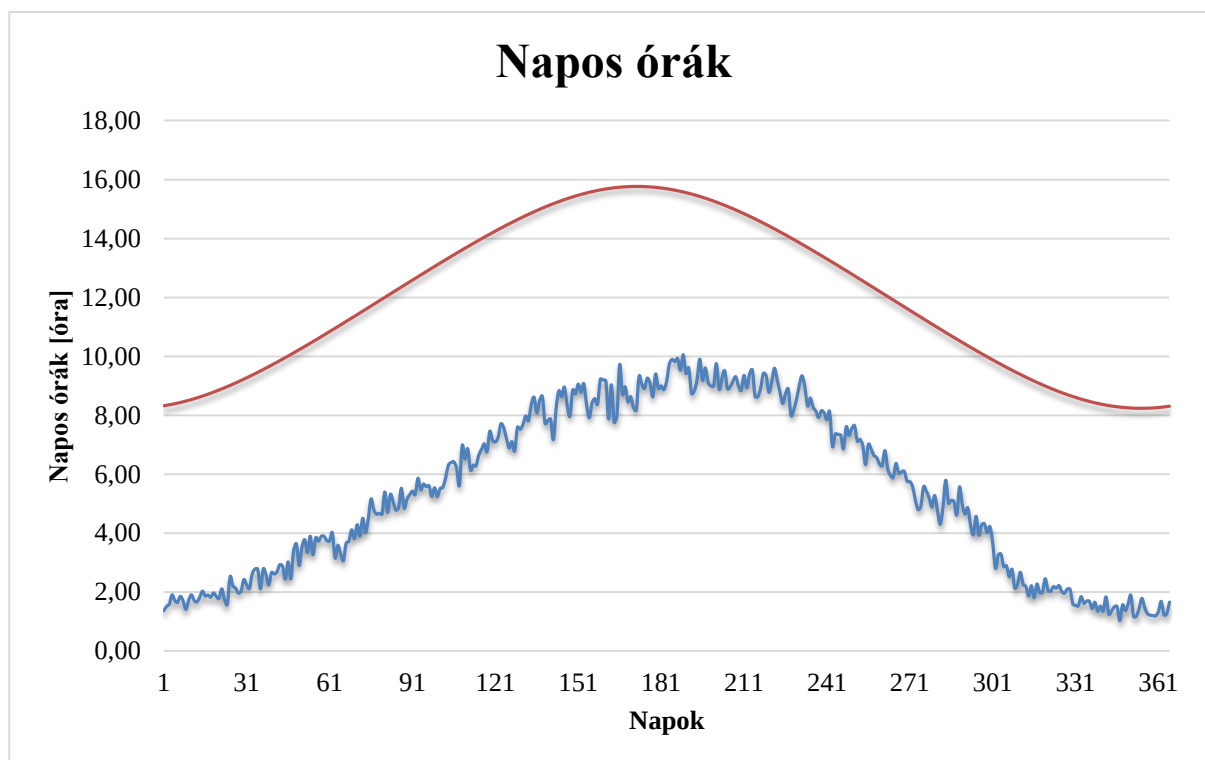
A dolgozat szempontjából azonban nem az éves adatok a fontosak, hanem a napi adatok. A napi adatokat is az OMSZ honlapjáról gyűjtöttem össze. A mért napfénytartam adatokat minden egyes város esetén a mért időszakra vonatkozóan napi szinten átlagoltam. Fontos megjegyezni azonban, hogy a modell megalkotása 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.



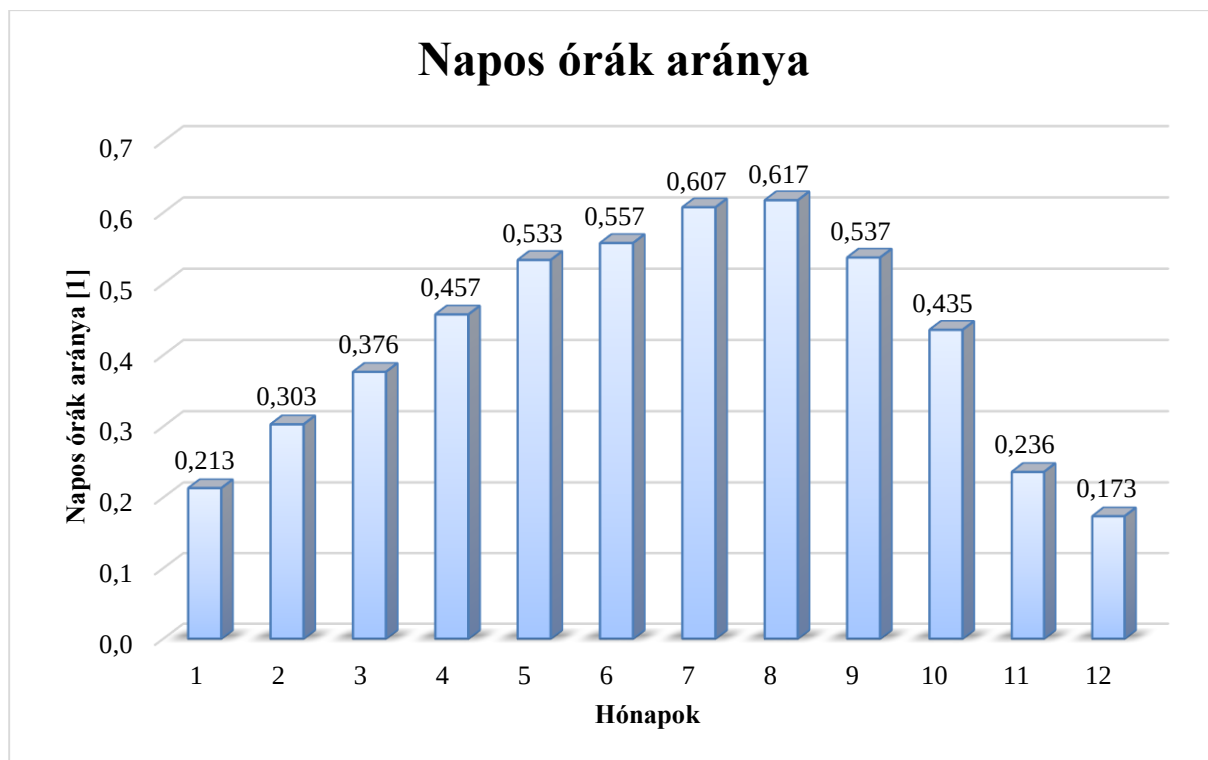
4-2. ábra, Napi napfénytartam átlagok

Az előző 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 nappal hosszának függvényében. A nappal hosszát az elkészített nappálya modell alapján számítottam (3.4 egyenlet), a kapott értékeket a 4-3. ábra mutatja be. A számított „napos idő/nappal hossza” arányt az 1912-2000 közötti időszakra vonatkozóan a 4-4. ábra szemlélteti. A diagramokhoz felhasznált értékeket a 9.1 melléklet tartalmazza.



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

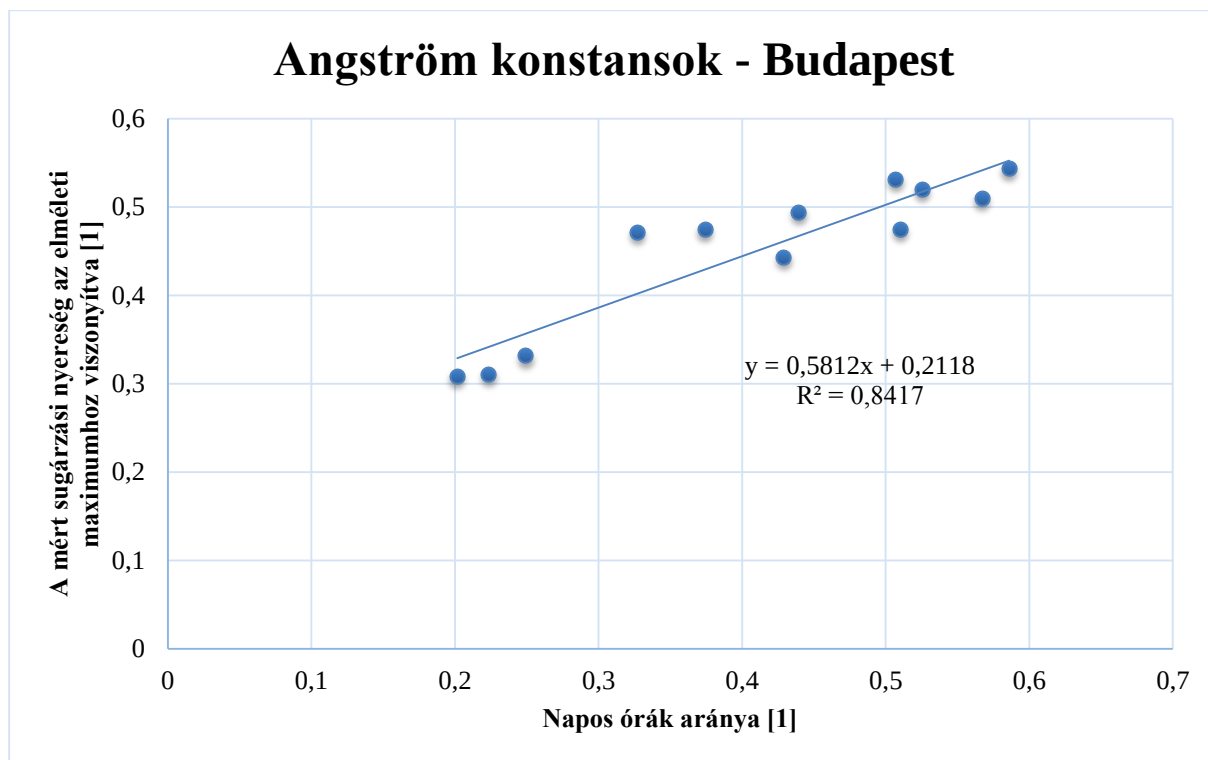


4-4. ábra, Napos órák aránya a nappal hosszához viszonyítva

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 módszerknél 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 [17] irodalomból vettem. A rendelkezésemre álló napos órák adatsorából az mérési időtartam ismerete híján az 1970 – 2000 közötti időszak átlagát vettem figyelembe. Fontos megjegyezni azonban, hogy a két adatsor nem egy mérőállomásról származik, így ebből is hiba adódik a későbbiekben. 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 értéket a modell szempontjából elfogadhatónak tartom, azonban célszerű lenne a konstansok pontosabb meghatározása egyazon mérőállomásról származó adatok alapján.



4-5. ábra, Budapestre vonatkozó Angström konstansok

5. A RENDELKEZÉSRE ÁLLÓ SUGÁRZÁSADATOK ÉS A MODELL EREDMÉNYEINEK ÖSSZEVETÉSE

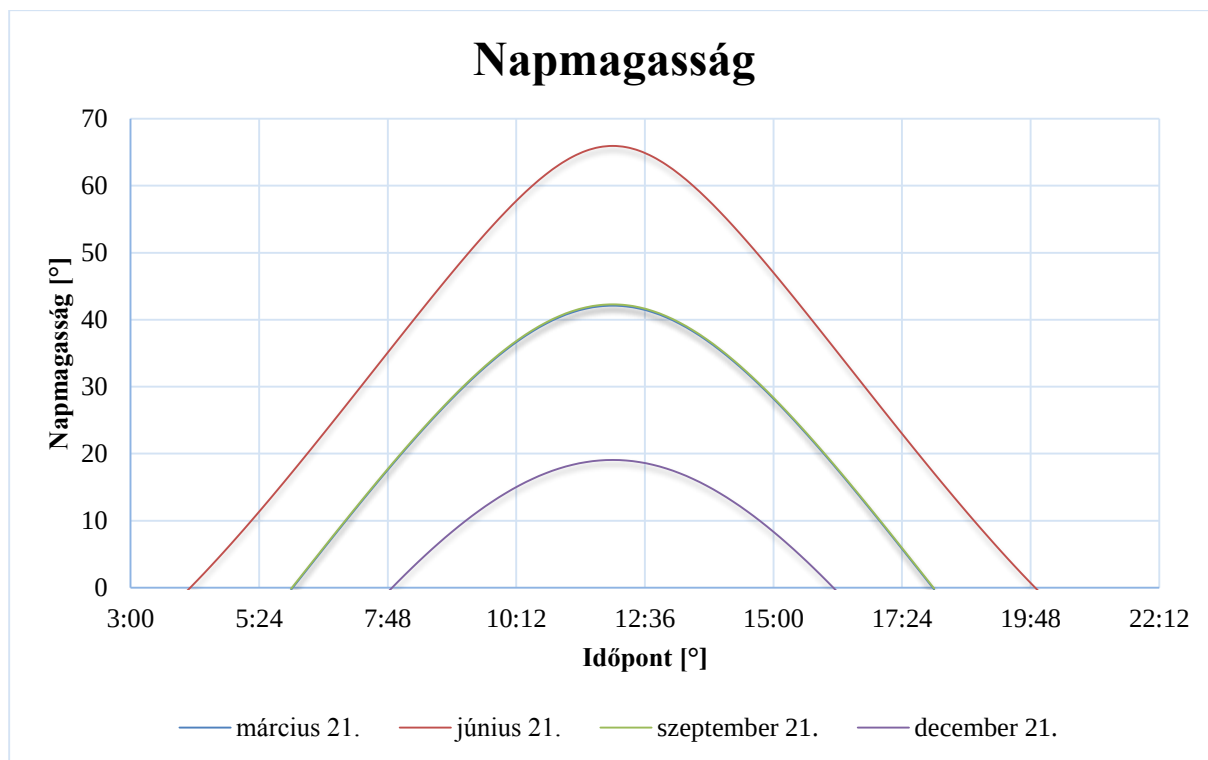
Ebben a fejezetben a rendelkezésemre álló mérési adatokat hasonlítom össze a számítási módszer ismertetésénél leírt három különböző modell által számított értékekkel. A mérési adatok havi, illetve egy esetben napi bontásban is a rendelkezésemre álltak.

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.

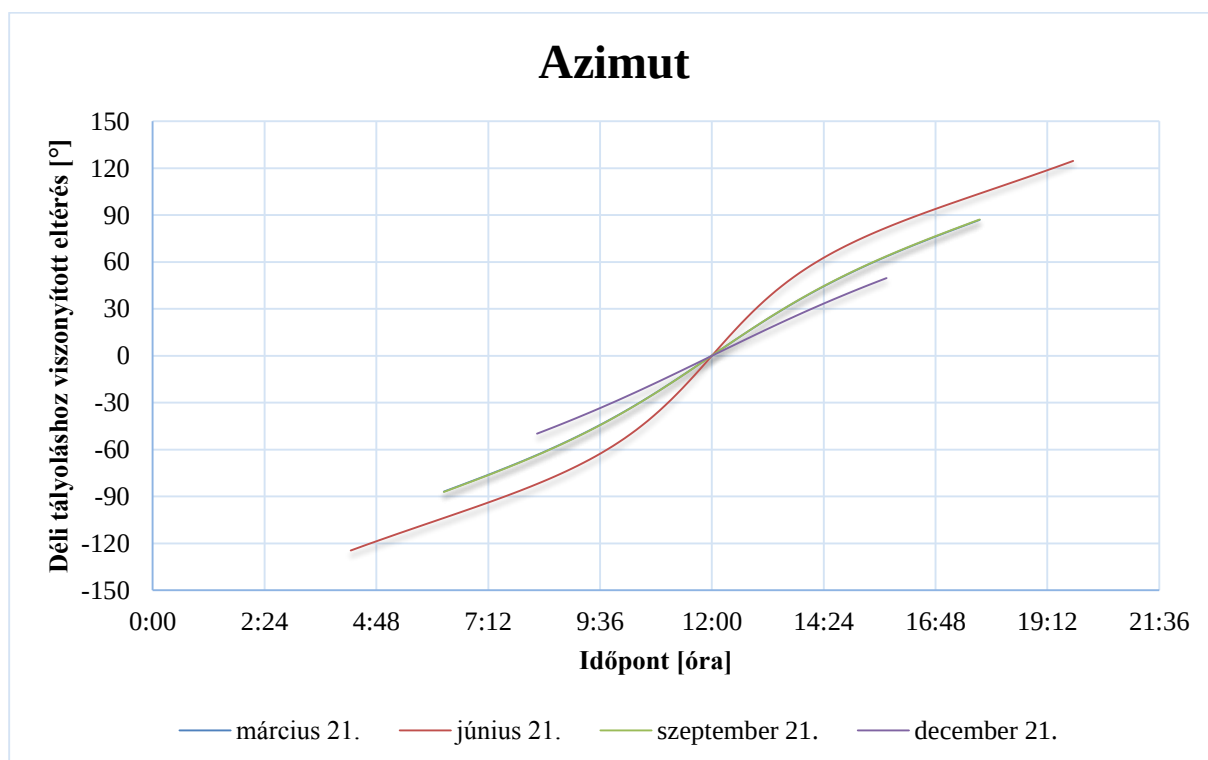
5.1. A számított napmagasság és azimut értékek

A napmagasság évi alakulását az 5-1. ábra szemlélteti. Az ábrán látható, hogy a nap a nyári időszakban magasabban jár, mint télen. A legmagasabb napállás $65,95^\circ$ június 21-én, míg a legalacsonyabb $19,05^\circ$ 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 nappal hossza a legrövidebb, délkeleten kel fel és délnyugaton nyugszik a nap. A diagramon látható továbbá, hogy a nyári időszámítást a modell nem veszi figyelembe, csillagászati időt alkalmaz. Említést érdemel továbbá, hogy az időpontok számításánál az analemma jelenségét nem vettem számításba, azonban ez csak pár perces eltérést okoz és éves periódussal ismétlődik.



5-1. ábra, Napmagasság változása

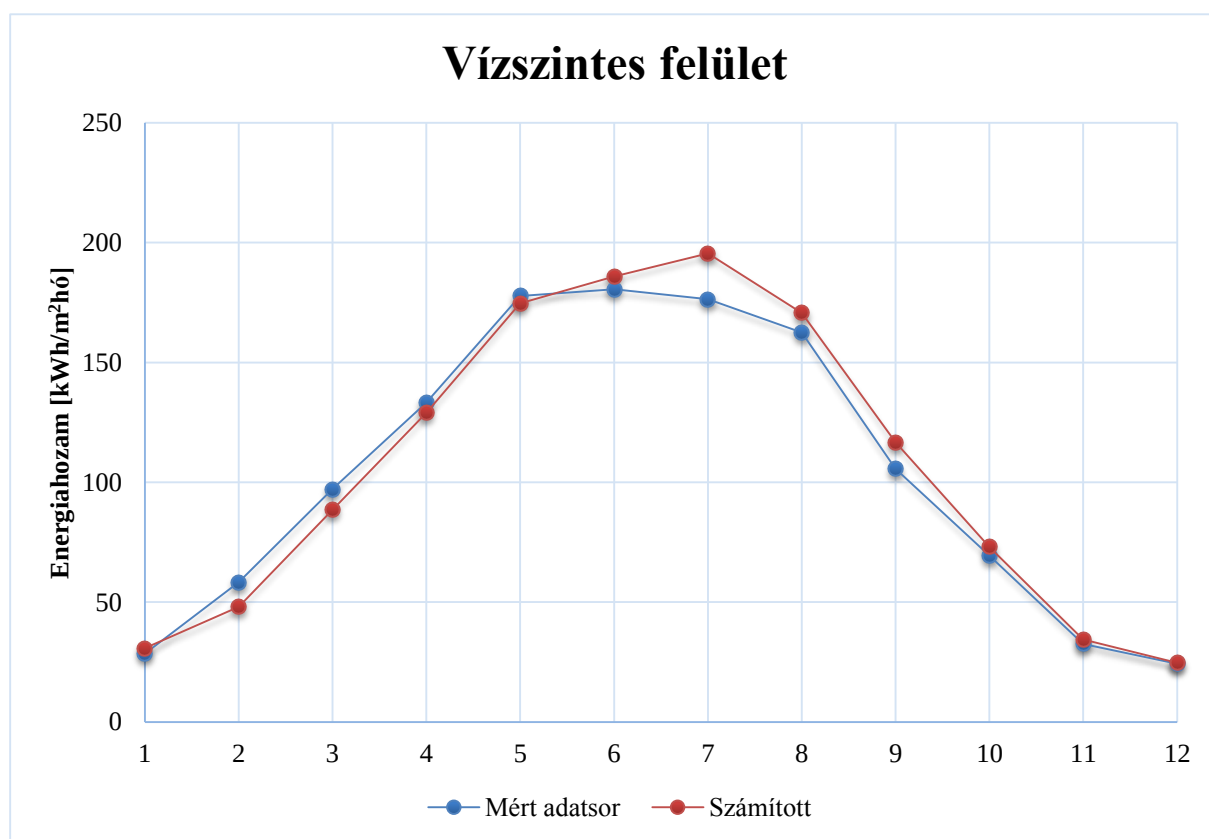


5-2. ábra, Azimut értékek változása

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 [17] 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 [17] 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 9.2 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 TDK dolgozat 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 [18]. Ezen havi átlagadatok a hivatkozott irodalom [18] 4.4-es táblázatában találhatók. Az említett mérési időszakra rendelkezésemre állnak az OMSZ honlapjáról [9] 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 9.3 – 9.6 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.

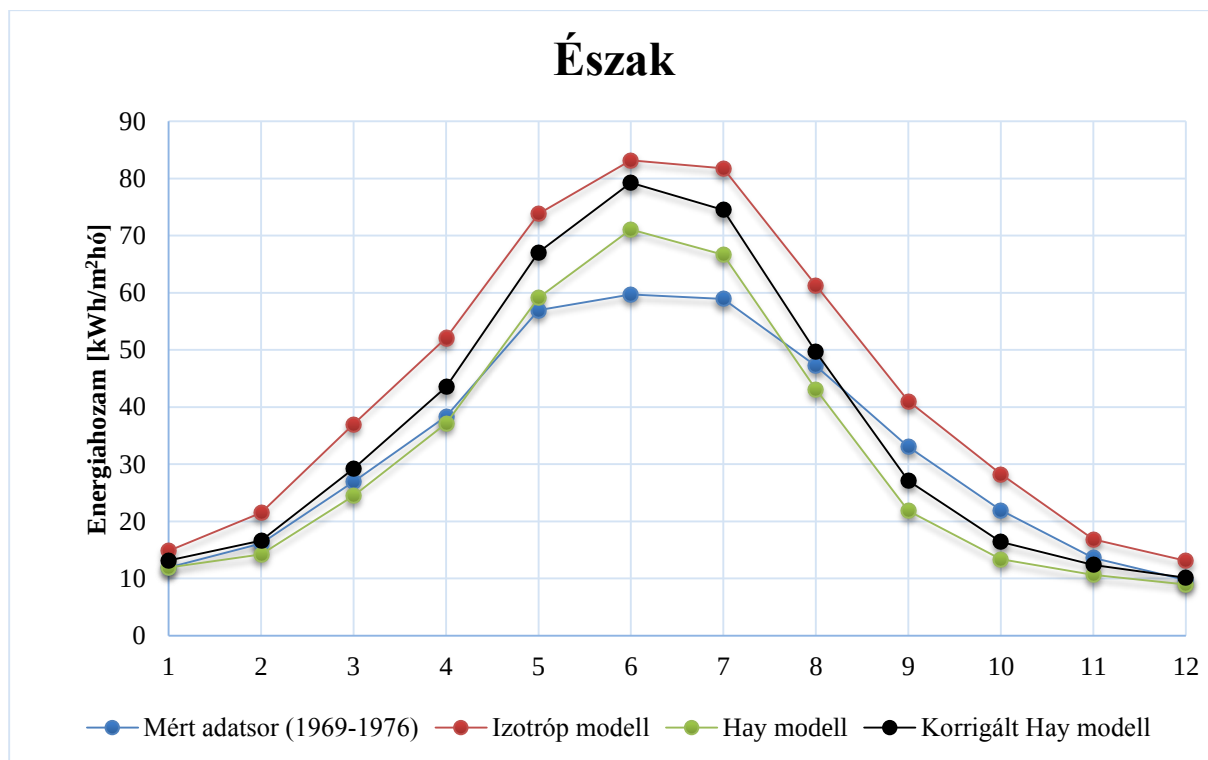
Keleti tájolás esetén már mindhárom modell pontosabb eredményt ad (5-5. ábra). Ebben az esetben megfigyelhető, hogy a modellek által számított értékek jellemzően magasabbak, mint a mért adatsor. A diagramon látható, hogy ismét a Hay modell adja a legjobb közelítést, éves szinten az eltérés ebben az esetben 2,0%. Izotróp modell esetén az eltérés 6,7%, míg a Korrigált Hay modell 8,9%-al felülbecsüli 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.

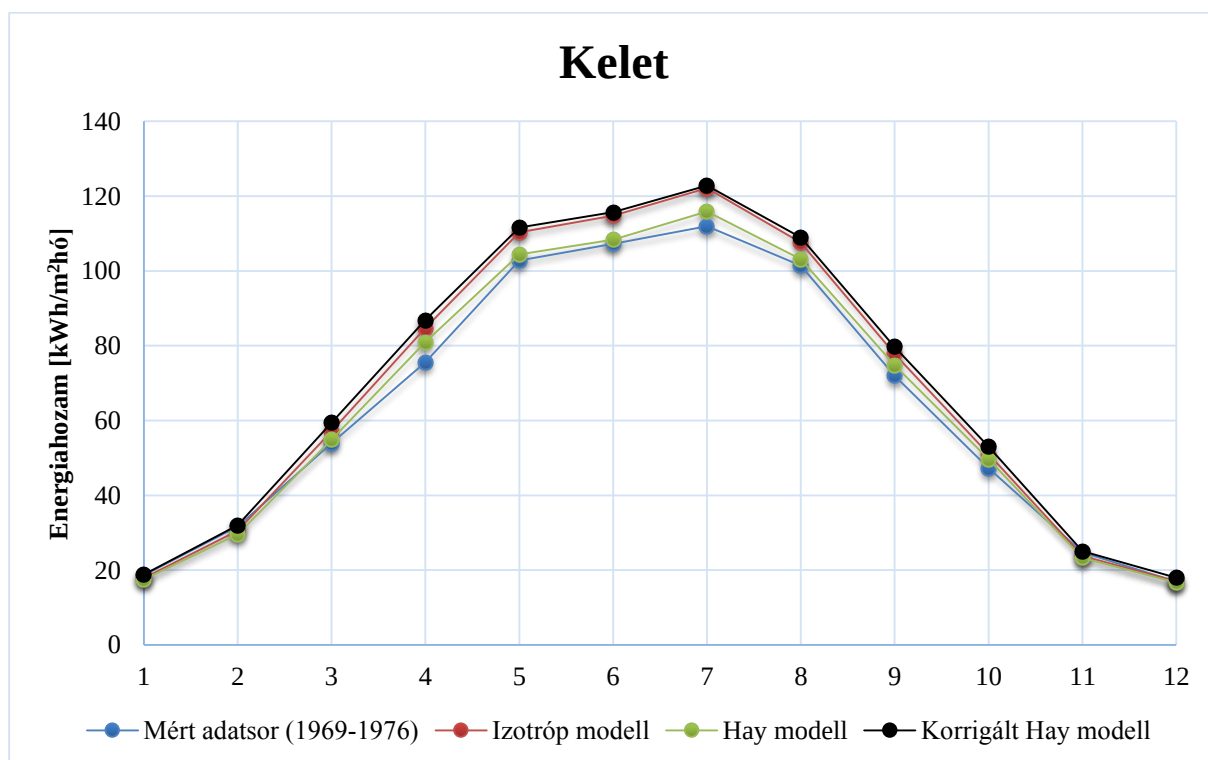
A déli tájolású felületre elvégzett számítások során a modellek által számított értékek minden esetben alulbecsülik a beérkező sugárzás mennyiségét (5-6. ábra). Ebben az esetben a Korrigált Hay modell adja a legpontosabb eredményt. Ennek oka, hogy déli tájolás esetén mind az Izotróp, mind pedig a Hay 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 felhőzettség 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%.

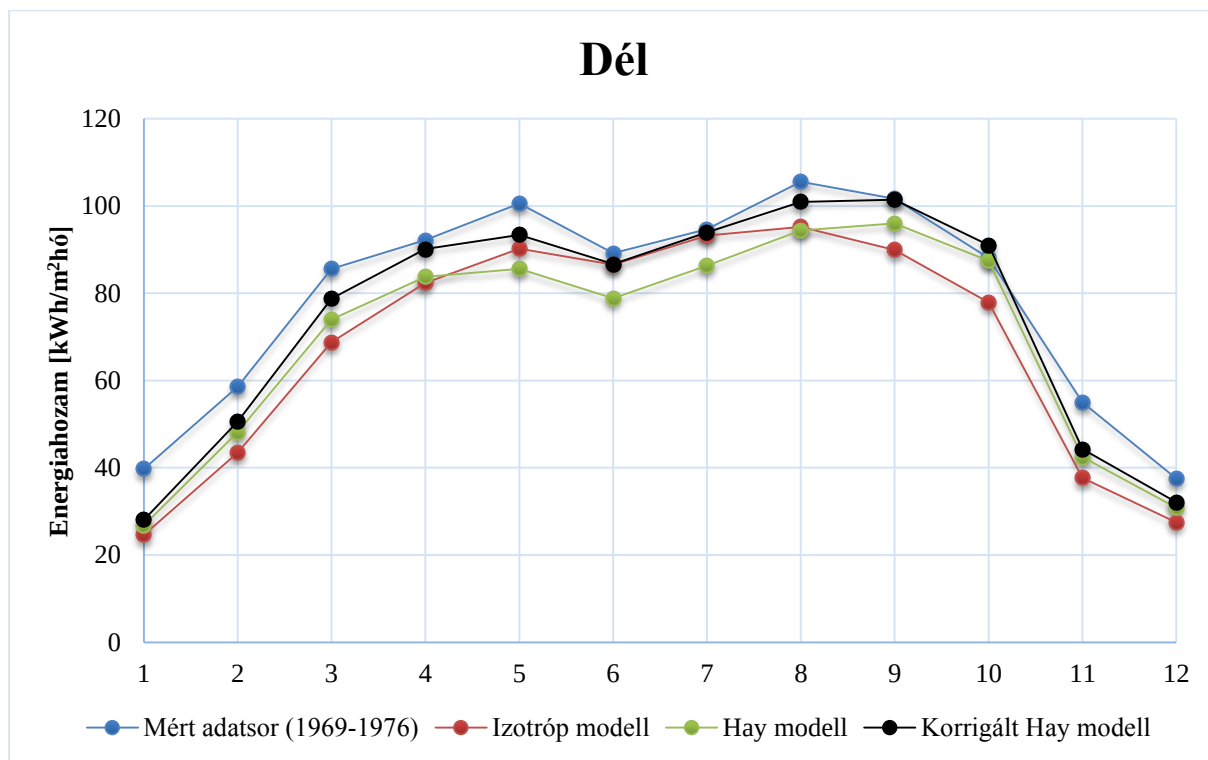
Általánosan megállapítható, hogy az Izotróp modell egyik esetben sem bizonyult optimálisnak, így ennek a modellnek a használatát függőleges felületek esetén elvetendőnek tartom. Északi, keleti és nyugati tájolású felületek esetén az eredmények alapján a Hay modell alkalmazása javasolt. Déli tájolás esetén 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.



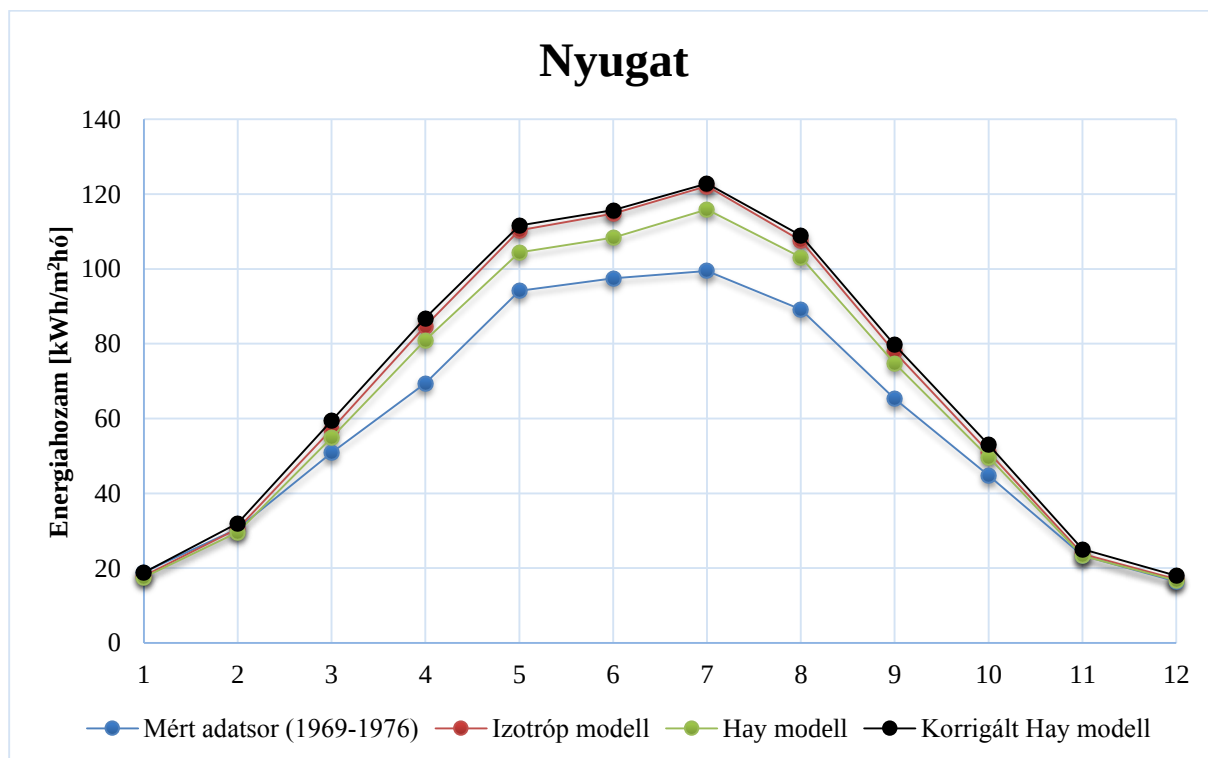
5-4. ábra, Északi tájolású, függőleges felületre érkező sugárzás mért és számított értékei



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



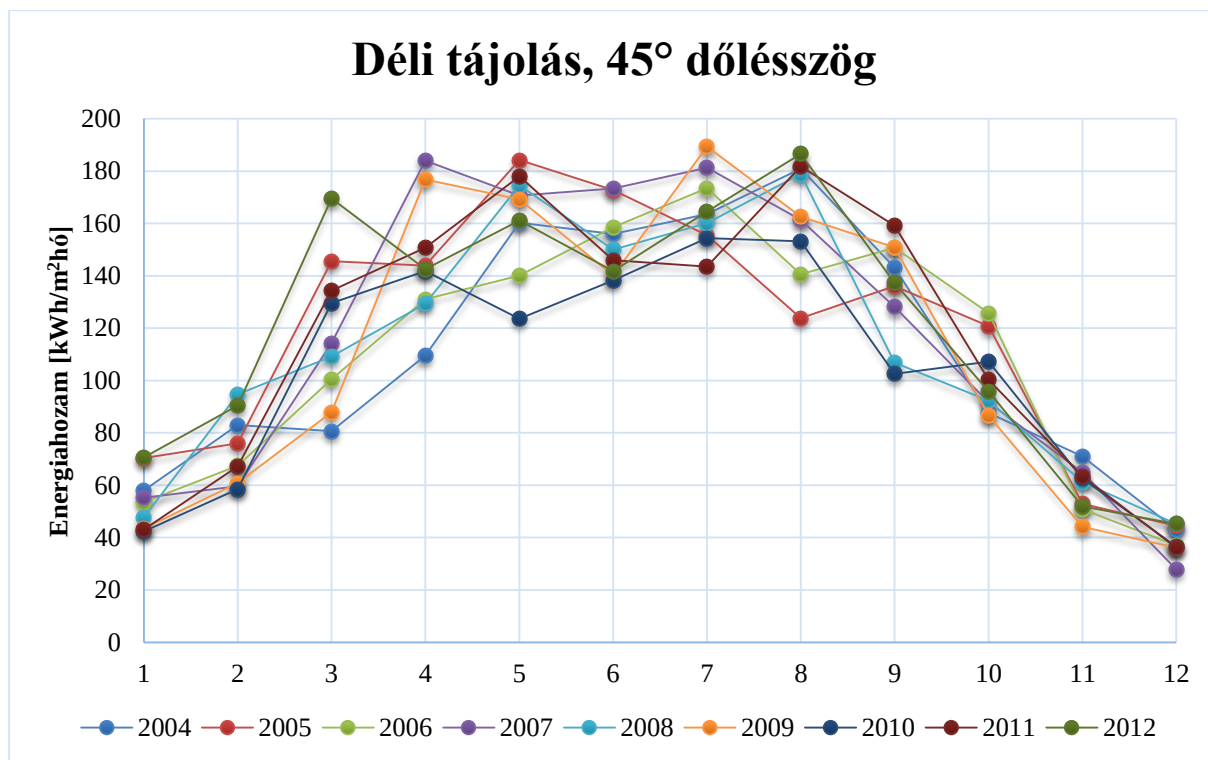
5-7. ábra, Nyugati tájolású, függőleges felületre érkező sugárzás mért és számított értékei

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 [17]. 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 [17]. A mérőberendezést az 5-8. ábra mutatja be. A mért adatokat az 5-9. ábra tartalmazza, az ábrázolt értékek a 9.7 mellékletben találhatóak.



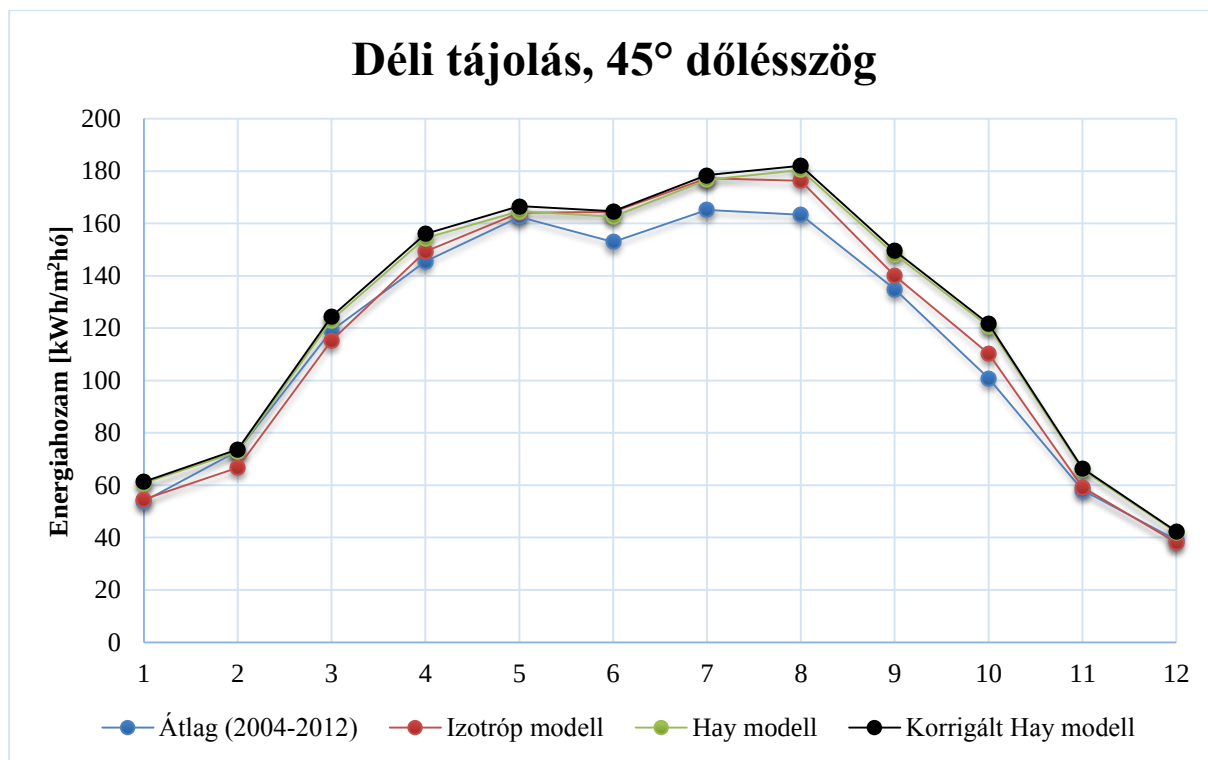
5-8. ábra, Kipp & Zonen gyártmányú, CM-5 típusú piranométer



5-9. ábra, A Naplopó Kft. által rögzített sugárásmennyiségek 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 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 9.8 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 az 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

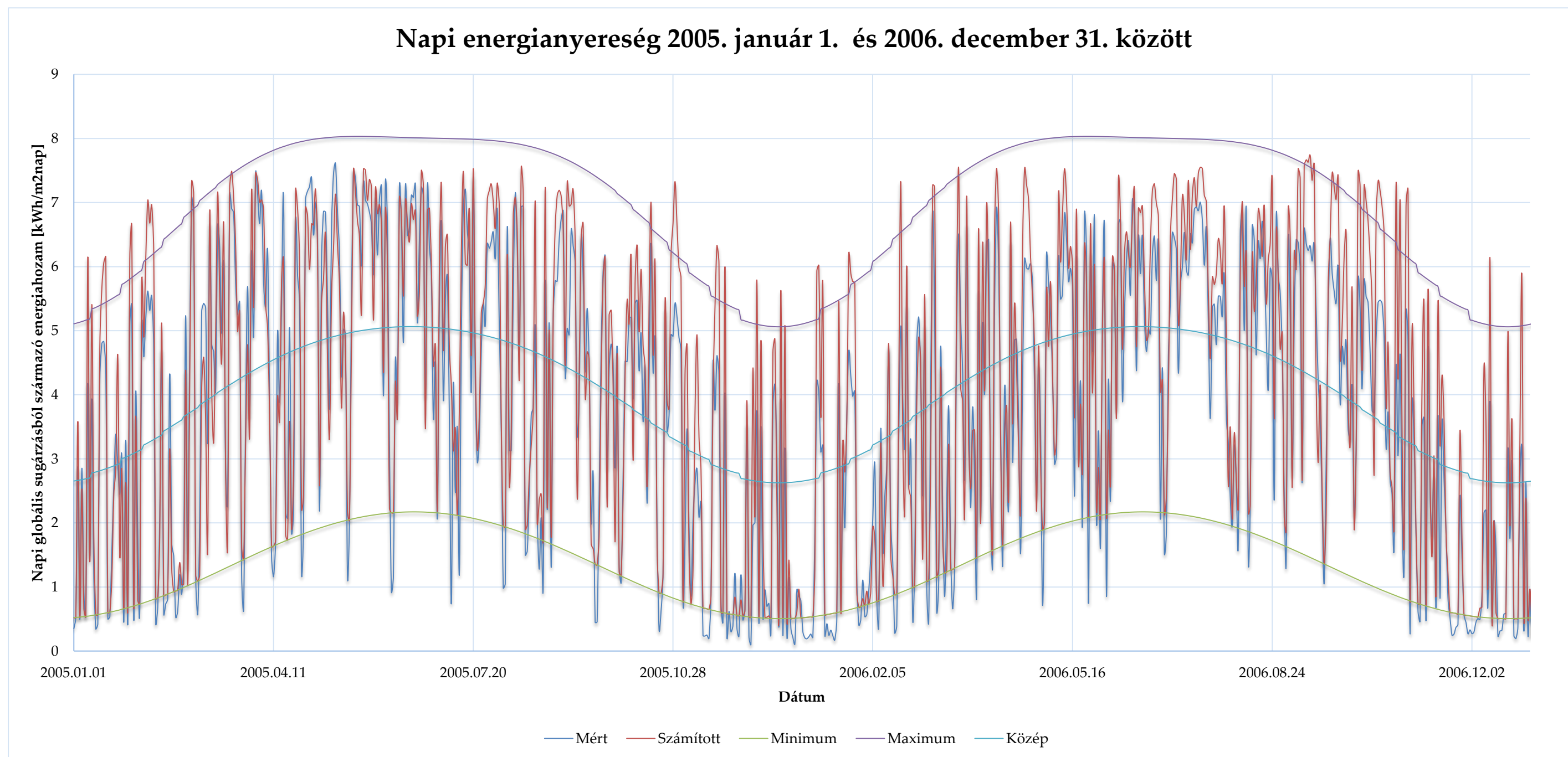
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Mért	1297,1	1419,7	1329,4	1409,5	1348,7	1267,4	1178,4	1386,3	355,6
Számított	1320,4	1504,2	1492,7	1530,3	1478,5	1391,3	1287,5	1605,6	397,4
Eltérés [%]	1,8	6,0	12,3	8,6	9,6	9,8	9,3	15,8	11,8
Korreláció	0,935	0,946	0,949	0,961	0,952	0,964	0,964	0,960	0,944

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

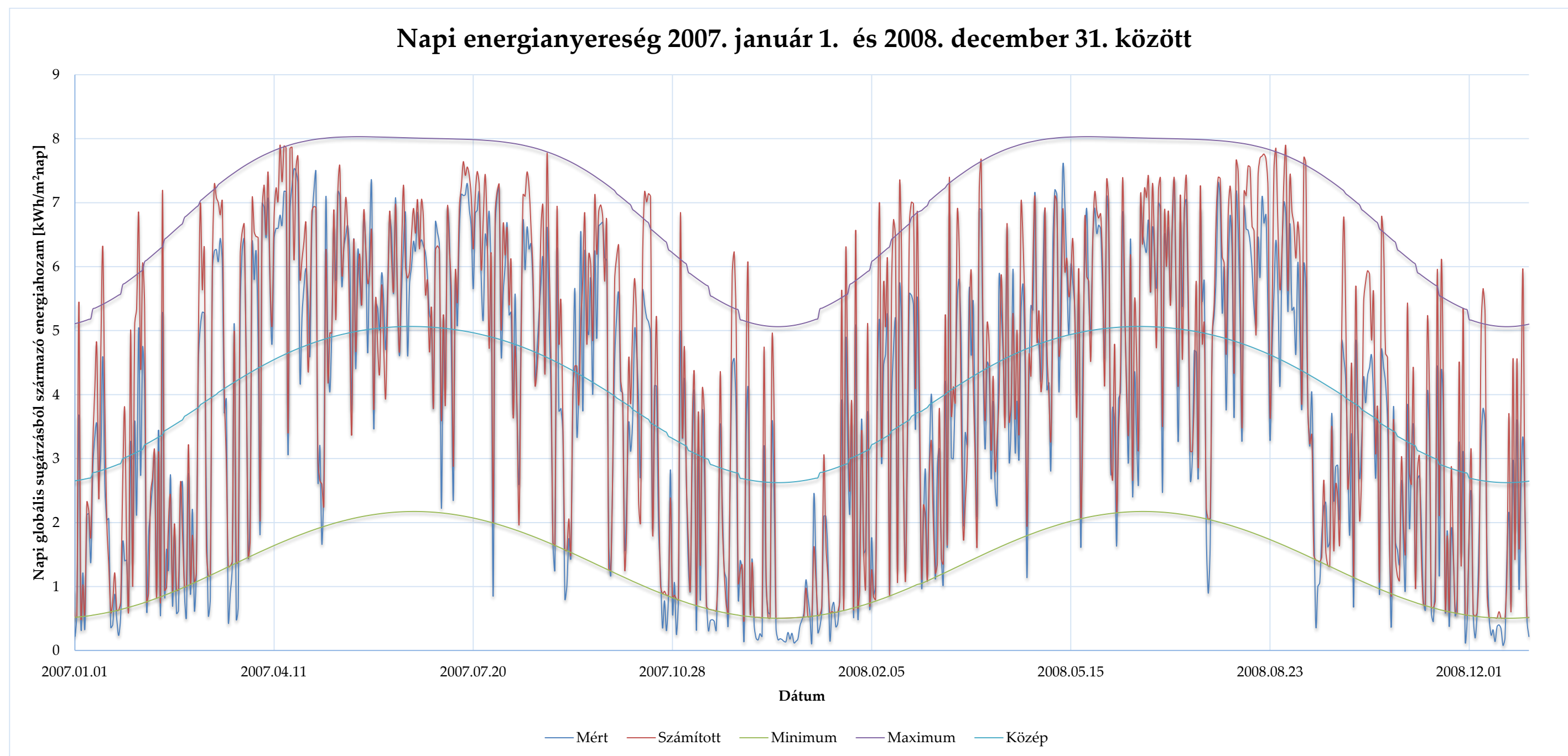
A mérési adatok hiba nélkül voltak regisztrálva 2005. január 1. és 2008. december 31. között. Ezeket az adatokat tovább elemeztem. Az adott időszakra meghatároztam a modell által számítható maximális (tisztá égbolt), minimális (borult égbolt), illetve a középértékhez (50%-ban tisztá égbolt) tartozó energiahozamot. 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 tisztá 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. 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 különféleképpen kezelik. 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 újabb különálló részt vezet be az égbolton: a horizont irányából érkező sugárzás egy külön fényességi faktorral van figyelembe véve. A dolgozatban bemutatásra került továbbá a fix árnyékoló szerkezetekhez tartozó számítási metódus is.

A dolgozatban a különböző modellekkel számított eredményeket vetettem össze 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 annak is, hogy a modell a mérési eredményekhez képest felülbecsüli az éves energianyereséget. Ennek magyarázata valószínűleg az, hogy az Angström konstansok meghatározása nem elegendően 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. Előfordulnak azonban olyan napok, amikor az atmoszférában kevesebb a szennyeződés (pl. eső után), így a légkör sugárzáscsökkentő hatása kisebb, és magasabb a beérkező sugárzásmennyiség. 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.

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

7. SUMMARY

In the first part of the study 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 study a calculation method was also shown to calculate the effect of an overhang over window.

In the second part of the study 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 of the models calculate 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 closest results, however, all the results were over the measured values. The result from the Isotropic model was 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 study, 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.

8. IRODALOM JEGYZÉK

8.1. Általánosan felhasznált irodalmak jegyzéke

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

8.2. Hivatkozott irodalmak jegyzéke

- [1] MSZ-04-140-4:1978 szabvány
- [2] 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet
- [3] 40/2012 (VIII. 13.) BM rendelet
- [4] P. I. Cooper: The absorption of radiation in solar stills. Solar Energy 12. évfolyam. pp. 333-346. 1969
- [5] John A. Duffie - William A. Beckman: Solar Engineering of Thermal Processes, Fourth Edition 2013. ISBN 13-978-471-69867-8
- [6] URL: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Azimuth-Altitude_schematic.svg
- [7] 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
- [8] 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
- [9] URL: http://www.met.hu/eghajlat/eghajlati_adatsorok/bp/Navig/Index2.htm
- [10] 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

- [11] 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
- [12] K. K. Gopinathan: Solar radiation on inclined surfaces. Solar Energy 45. évfolyam. pp. 19-25. 1990
- [13] V. Quasching, R. Hanitsch: Shade calculations in photovoltaic systems. ISES Solar World Conference – konferencia Harare, Zimbabwe. 1995. szeptember 11-15.
- [14] D. T. Reindl, W. A. Beckman, J. A. Duffie: Evaluation of hourly tilted surface radiation models. Solar Energy 45. évfolyam. pp. 9-17. 1990
- [15] S. A. Klein: Calculation of monthly average insolation on tilted surfaces. Solar Energy 19. évfolyam. pp. 325-329. 1977
- [16] 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.
- [17] Nagy B.: A szoláris nyereségek pontosítása a hazai épületenergetikai számításoknál. TDK dolgozat, Budapest, 2011.
- [18] Zöld A.: et.al, 2000. *Épületgépészet 2000 Alapismeretek I. kötet*. Budapest: Épületgépészet kiadó Kft.
- [19] URL: <http://naplopo.hu/tudastar/napsugarzasi-adatok>

9. MELLÉKLETEK JEGYZÉKE

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

	Jan.	Febr.	Márc.	Ápr.	Máj.	Jún.	Júl.	Aug.	Szept.	Okt.	Nov.	Dec.
Nappal 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/Nappal 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

9.2. melléklet, a hivatkozott TDK munkából [17] 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 értendők.

9.3. melléklet, a hivatkozott [17] 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 értendők.

9.4. melléklet, a hivatkozott [17] 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 értendők.

9.5. melléklet, a hivatkozott [17] 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 értendők.

9.6. melléklet, a hivatkozott [17] 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 értendők.

9.7. 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 értendők.

9.8. 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 értendők.