

## A globálsugárzás modellezése digitális domborzatmodell alkalmazásával

Németh Ákos<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Országos Meteorológiai Szolgálat; 1024 Budapest, Kitaibel P. u. 1.; nemeth.a@met.hu

<sup>2</sup>Miskolci Egyetem Természetföldrajz – Környezettani Tanszék; 3515 Miskolc-  
Egyetemváros; qbaraki@freemail.hu

### ÖSSZEFOGLALÁS

A bolygónk felszínére érkező napsugárzás a földi élet fő hajtóereje, az energiamérleg bevételi oldalának legfontosabb eleme. A napsugárzás mérése — a jelenlegi észlelőhálózat ritkasága miatt — nem ad elegendő információt a különböző domborzatú területekre jutó sugárzás mennyiségéről. Munkámban bemutatom a napsugárzás modellezésének egy lehetséges módját, a ma már kiemelkedő minőségben rendelkezésre álló digitális magasságmodellek felhasználásával. A modell nem igényel mért meteorológiai paramétereket, így bármely felhasználó számára hasznos lehet. Kiemelendő, hogy a modell a hazánkban is elterjedt professzionális térinformatikai rendszerre, az ArcView-ra lett kidolgozva.

KULCSSZAVAK: *globál-, direkt- és diffúz sugárzás, digitális domborzatmodell, térinformatika*

### BEVEZETÉS

A Napból érkező sugárzás a Föld energia-bevételének 99,8%-t határozza meg. Szerepet játszik számos meteorológiai (pl.: levegő- és felszínhőmérséklet, szél, stb.), biológiai (pl.: evapotranspiráció, növényi produktivitás, stb.), geomorfológiai (pl.: aprózódás) folyamatban, így érthető, hogy mindig is a tudományos figyelem középpontjában állt. Az elmúlt években számos hazai és nemzetközi kutató foglalkozott azzal, hogy különböző domborzati viszonyokra alkalmazható sugárzási modellt fejlesszen ki. Ezek általában a légkör átlátszóságával kapcsolatos számításokban, illetve a topográfia figyelembevételében különböznek egymástól (Kang et. al., 2002). Az alkalmazott fizikai összefüggések bonyolultsága miatt kevés általánosan felhasználható, regionális méretekben is alkalmazható modell született, többségük csak kis területek sugárzási viszonyait képes modellezni. Az általános sugárzási modellek közül kiemelendő a *SOLARFLUX* (Dubayah and Rich, 1995; Hofierka and Šúri, 2002), a *TopoRad* (Kang et. al., 2002), valamint a *SRAD* (Moore, 1992; Wilson et. al., 2000; Hofierka and Šúri, 2002).

Magyarországon a napsugárzással kapcsolatos kutatásoknak szintén jelentős múltja van. Az ELTE Meteorológiai Tanszéke, illetve az Országos Meteorológiai Szolgálat munkatársainak köszönhetően hazánk sugárzási viszonyairól viszonylag jó képpel rendelkezünk. A sugárzási viszonyok modellezése terén azonban jelentős lemaradásban vagyunk. Ebben a helyzetben üdítő kivételt jelent Rajna Szilárd (Rajna, 2003) munkája, aki a lejtők sugárzásviszonyainak modellezésében mondhatni úttörő munkát végzett és jelentős eredményt ért el. Az általa kidolgozott modell alkalmazása azonban — elsősorban az alkalmazott programnyelv „elavultsága” miatt — meglehetősen nehézkes, ezen kívül nem alkalmas nagyobb térségek sugárzásviszonyainak modellezésére.

Az új sugárzási modell megalkotásánál szempont volt, hogy azt a kereskedelmi forgalomban kapható és hazánkban igen elterjedt ArcView térinformatikai szoftver képes legyen kezelni. A fejlesztés során az ArcView saját programnyelvét, az Avenue-t alkalmaztam. Az ArcView szoftver jól kezeli a digitális domborzatmodelleket, amik a

sugárzási modell legfőbb bemenő paramétereit jelentik. A modell elsőként a Nap – Föld geometriáját határozza meg, majd ezt követően a domborzatmodell felhasználásával a nappól érkező direkt sugárzást, a diffúz sugárzást, majd e kettő összegét jelentő globálsugárzást számolja ki.

## MÓDSZEREK

A beérkező sugárzási energia nagysága függ a Nap és a Föld egymáshoz viszonyított helyzetétől, a napsugarak beesési szögétől, az atmoszféra külső rétegére érkező napsugárzás nagyságától, a légkör átlátszóságától (transzmisszivitás), valamint a tengerszint feletti magasságtól. A sugárzás modellezésének alapja a Nap látszólagos helyzetének pontos meghatározása a vizsgált terület minden pontján. Ezt egyszerű geometriai összefüggések segítségével, az alábbiak szerint lehet meg tenni.

A *deklinációs szög* ( $\delta$ ) a Napnak az égi egyenlítőtől mért szögtávolsága. A gyakorlatban  $-23$  fok és  $+23$  fok között naponta változik. Számítását az alábbiak szerint lehet elvégezni (Kumar et. al., 1997):

$$\delta = 23,45 \cdot \sin(360 \cdot (D + 284) / 365,25) \quad (1)$$

ahol:  $D$  = az ún. Julián-dátum (a naptári napok folyamatos számozásával kapjuk. Pl.: január 1. a Julián-dátum szerinti 1. nap, míg december 31. a 365. (szökőévben 366.) nap).

Az *óraszög* ( $\eta$ ) a Nap 24 óra alatt zajló mozgását írja le a Föld körül. Megmutatja, hogy a Nap mennyire van keletre, illetve nyugatra a helyi meridiánhoz képest. Értéke a délelőtti órákban negatív, míg délután pozitív, illetve 0, amikor a Nap a helyi meridiánon van.

$$\eta = 15 \cdot (H - 12) \quad (2)$$

ahol:  $H$  = a vizsgált óra.

A Napnak a horizont feletti magasságát a *napmagasság* ( $\alpha$ ) adja meg. A napmagasság folyamatosan változik; 0 a napmagasság a napkelte és a napnyugta időpontjában, maximumát pedig deleléskor éri el. A delelési napmagasság minden évszakban más és más. Kiszámításához ismernünk kell az adott hely földrajzi szélességét ( $\varphi$ ), a deklinációs szöget ( $\delta$ ) és az óraszöget ( $\eta$ ) (Gates, 1980).

$$\sin \alpha = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \eta \quad (3)$$

A Nap *azimutszöge* ( $\beta_s$ ) a napsugarak, valamint a földi É-D irány által bezárt szög. Meghatározása a földrajzi szélesség ( $\varphi$ ), a deklinációs szög ( $\delta$ ), az óraszög ( $\eta$ ), valamint a napmagasság ( $\alpha$ ) ismeretében az alábbi összefüggés alapján lehetséges (Page, 1986):

$$\cos \beta_s = (\sin \varphi \cdot \sin \alpha - \sin \delta) / \cos \varphi \cdot \cos \alpha \quad (4)$$

Az előzőekben meghatározott napmagasság ( $\alpha$ ) és nap azimut ( $\beta_s$ ), illetve a digitális domborzatmodellből származtatott kitétség ( $\beta_l$ ) és lejtőszög ( $\chi$ ) ismeretében a *napsugarak beesési szöge* ( $i$ ) egyszerűen számítható:

$$\cos i = \cos \alpha \cdot \sin \chi \cdot \cos(\beta_s - \beta_l) + \sin \alpha \cos \chi \quad (5)$$

A modell legfontosabb része a korábban meghatározott szoláris geometriai paraméterek, valamint az empirikus módon leírt fizikai összefüggések segítségével történő globálsugárzás számítás. Ennek során első lépésként a légkör külső felszínére érkező sugárzás mennyiségét ( $S_{out}$ ) kell meghatározni. Ez az energiameennyiség a napállandó, valamint a Nap – Föld távolság függvénye. A *napállandó* ( $S_c$ ) értéke  $1367 \text{ W/m}^2$ , bár számos modell ettől eltérő értékkel kalkulál. Ezt az értéket a Nap – Föld távolság négyzetével arányos korrekciós tényezővel kell szorozni, hogy a Föld külső szféráira érkező energia mennyiségét meg tudjuk határozni. A Föld pályája (mint ahogy az köztudott) nem kör alakú. A két égitest közötti távolság napról napra változik, így hol több, hol kevesebb energia éri el a légkör külső régióit. Mivel a Föld pályájának excentricitása viszonylag kicsi, így a korrekciós tényező értéke sem lehet nagy. van Dam (2001) nyomán az atmoszféra külső *felszínére érkező sugárzási energia* ( $S_{out}$ ) az alább összefüggés szerint számolható:

$$S_{out} = S_c \cdot (1 + 0,034 \cdot \cos(360 \cdot D / 365)) \quad (6)$$

Az atmoszféra külső felszínére érkező napsugaraknak át kell hatolniuk a Föld levegőburkán. Az út során természetes módon a sugárzási energia csökken. Az energiavesztés mértéke a légkör vastagságának, valamint optikai áteresztőképességének ( $\tau$ ) függvénye. A földfelszínre érkező sugárzási energia van Dam (2001) megfigyelései szerint a következő összefüggés alapján számítható:

$$S_{nor} = S_{out} \cdot \tau^{M_h} \quad (7)$$

ahol:

$$M_h = M_0 \cdot P_h / P_0 \quad (8)$$

$$M_0 = \sqrt{1229 + (614 \cdot \sin \alpha)^2} - 614 \cdot \sin \alpha \quad (9)$$

és

$$P_h / P_0 = ((288 - 0,0065 \cdot h) / 288)^{5,256} \quad (10)$$

A (10) egyenletben meghatározott  $P_h/P_0$  tagot a szakirodalomban *nyomási korrekciónak* nevezik, ahol  $P_h$  bármely  $h$  magasságban mért légnyomást, míg a  $P_0$  a tengerszinten mérhető légnyomást jelenti.

Mindezek alapján a felszínre érkező sugárzási energia és a napsugarak beesési szöge alapján a Föld felszínére érkező *direkt sugárzás* ( $S_{dir}$ ) a következő egyszerű összefüggéssel írható le:

$$S_{dir} = S_{nor} \cdot \cos i \quad (11)$$

A globálsugárzás — definíciója szerint — a vízszintes síkon elhelyezkedő megfigyelési helyre, a felette elhelyezkedő teljes féltérből érkező sugárzási fluxus. Az előbbieken ennek mindössze egyik összetevőjét, a Napból közvetlenül érkező, ún. direkt sugárzást határoztuk

meg. A globálsugárzásnak fontos összetevője azonban a levegő részecskéin szóródó sugárzás, más néven diffúz sugárzás. A tapasztalatok szerint a diffúz sugárzás a direkt sugárzásnak mintegy 15%-át éri el. Ez azonban csak felhőmentes, tiszta égbolt esetén érvényes megállapítás. Borult égbolt esetén a globálsugárzás teljes egészét a diffúz sugárzás teszi ki. A *diffúz sugárzás* ( $S_{dif}$ ) meghatározására van Dam (2001) összefüggését használtam:

$$S_{dif} = S_{out} \cdot (0,271 - 0,294 \cdot \tau^{M_h}) \cdot \sin \alpha \quad (12)$$

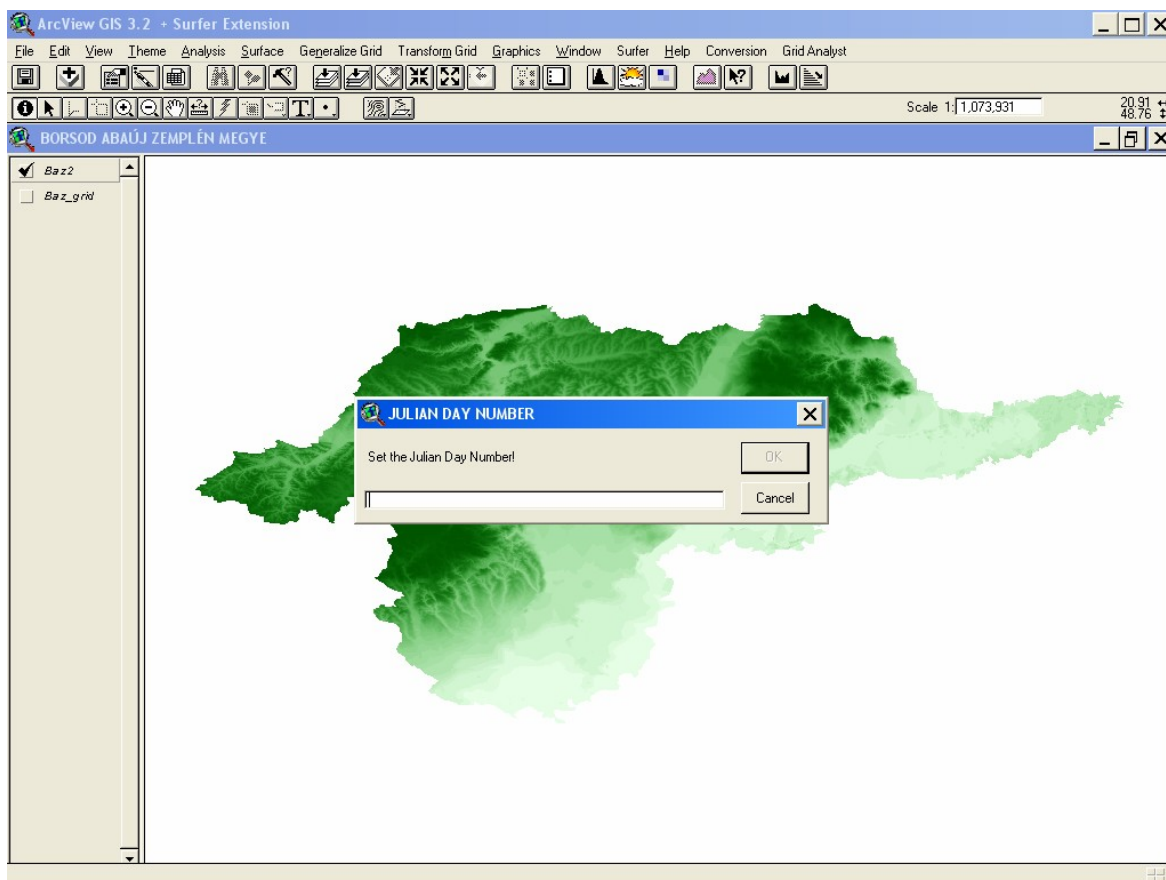
A teljes, pillanatnyi beérkező sugárzás mennyiségét, tulajdonképpen a *globálsugárzás* ( $S_{in}$ ) nagyságát (11) és (12) ismeretében nagyon egyszerűen meghatározhatjuk:

$$S_{in} = S_{dir} + S_{dif} \quad (13)$$

## EREDMÉNYEK

Az előzőekben ismertetett matematikai összefüggéseket az ESRI Avenue programnyelvre segítségével tettem az ArcView program számára is alkalmazhatóvá. Az így elkészített script futásához szükséges az ArcView Spatial Analyst kiterjesztésének aktiválása. A modell más szoftver-kiegészítést nem igényel.

A modell futtatásához néhány fontos bemenő paramétert — digitális domborzatmodell (tengerszint feletti magasság, lejtőszög, kitettség), Julián-dátum, helyi idő — meg kell adni. Ezeket az adatokat manuálisan, egy párbeszéd-ablak segítségével lehet meghatározni (1. ábra).



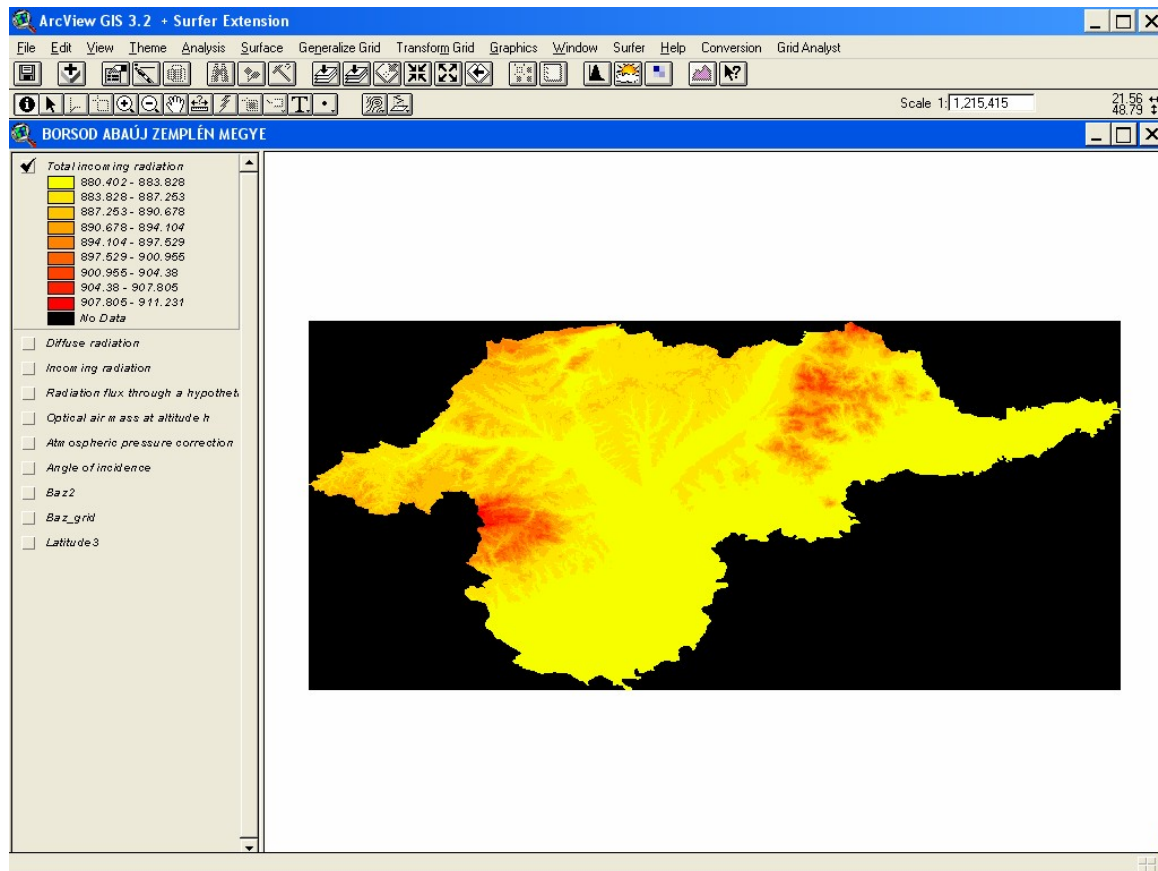
1. ábra: A Julián-dátum, az óra és a földrajzi szélesség megadása manuálisan történik

Ezen kívül a modell további paramétereket tartalmaz, illetve a számítások során saját maga állítja elő. Ezek egy része raszteres, míg másik része számformátumú. Az 1. táblázat összefoglalóan tartalmazza a globálsugárzás modell bemenő paramétereit:

A paraméter neve	formátum	leírás	mértékegység	forrás
<i>StartDay</i>	szám	Julián-dátum	mértékegység nélküli	manuális
<i>DemGrid</i>	raszter	tengerszint feletti magasság	méter	digitális domborzatmodell
<i>SlopeGrid</i>	raszter	lejtőszög	tizedfok	digitális domborzatmodell
<i>AspectGrid</i>	raszter	kitettség	tizedfok	digitális domborzatmodell
<i>Hour</i>	szám	időpont	tized óra	manuális
<i>Latitude</i>	szám	földrajzi szélesség	tizedfok	manuális
<i>Scons</i>	szám	napállandó	W/m <sup>2</sup>	

**1. táblázat: A sugárzási modell bemenő paramétereit**

A modell futtatása során számos eredmény keletkezik. Ezek jelentős részét — deklinációs szög, óraszög, napmagasság, a nap azimutszöge, direkt sugárzás, illetve diffúz sugárzás — a program a további számításokhoz felhasználja. A modell legfontosabb eredményeként azonban a vizsgált területre egy adott pillanatban érkező teljes sugárzási energia, tulajdonképpen a globálsugárzás térképét kapjuk (2. ábra).



2. ábra: Borsod-Abaúj-Zemplén megye globálsugárzás-térképe

## ÖSSZEFOGLALÁS

Munkám során egy komplex sugárzási modell alapjait készítettem el. A program egyelőre még nem tartalmazza az árnyékolás hatásait, valamint a felszínről visszaverődő sugárzást. Ezeket a közeljövőben pótolni kell. Szükséges továbbá a modell-eredmények megfelelő összevetése a mért globálsugárzás adatokkal, illetve a modell összehasonlítása más, a bevezetőben említett sugárzási modellekkel. Ennek ismeretében jelen dolgozatomban előzetes eredménynek tekintendő.

A program jelen állapotában is látszik azonban, hogy egy könnyen kezelhető és minimális bemenő adatot igénylő sugárzási modelltől van szó. Ezek a tulajdonságok a későbbi széleskörű felhasználást (pl. napenergia kutatás, agroklimatológiai vizsgálatok, stb.) segíthetik elő.

## IRODALOM

- Dubayah, R.; Rich, P. M. (1995): Topographic solar radiation models for GIS. – Int. J. Geographical Systems 9(4): 405 – 419.
- Gates, D. M. (1980): Biophysical ecology. Springer Verlag, New York
- Hofierka, J.; Šúri, M. (2002): The solar radiation model for Open source GIS: implementation and applications. – Proceedings of the Open source GIS – GRASS users conference 2002 – Trentino, Italy, 11 – 13 September 2002.; 19 p.
- Kang, S; Kim S.; Lee, D. (2002): Spatial and temporal patterns of solar radiation based on topography and air temperature. – Can. J. For. Res. 32.: 487 – 497.

- Kumar, L.; Skidmore, A. W.; Knowles, E. (1997):** Modelling topographic variation in solar radiation in a GIS environment. – *Int. J. Geographical Systems* **11**(5): 475 – 497.
- Moore, I. D. (1992):** Terrain Analysis Programs for the Environmental Sciences: TAPES. *Agricultural Systems & Information Technology* 2, pp. 37 – 39.
- Page, J. K. [ed.] (1986):** Prediction of Solar Radiation on Inclined Surfaces. – *Solar Energy R&D in the European Community, Series F, Vol. 3. (Solar Radiation Data)*; D. Reidel Publishing Co.; 459 p.
- Rajna Sz. (2003):** Lejtők sugárzásviszonyainak modellezése. – szakdolgozat (ELTE TTK), 52 p.
- van Dam, O. (2001):** Forest filled with gaps. Effects of gap size on water and nutrient cycling in tropical rain forest. (A study in Guyana). – PrintPartners Ipskamp B.V., Enschede, Amsterdam.
- Wilson, J. P.; Gallant, J. C. (2000):** Secondary Topographic Attributes. – In.: J. P. Wilson and J. C. Gallant (eds.): *Terrain Analysis: Principles and Applications*. – John Wiley and Sons Inc., pp. 87 – 131.