



A „GLOBAL DIMMING” ÉS A LÉGIKÖZLEKEDÉS FELHŐKÉPZÉSÉNEK HATÁSA A MAGYARORSZÁGI NAPFÉNYRE

Mitre Zoltán, Lakatos László

*Eszterházy Károly Egyetem, Természettudományi Kar,
Földrajz és Környezettudományi Intézet
3300 Eger, Leányka u. 4. C épület*

A global dimming (globális homály) nevű jelenség a földfelszínre érő napfény mennyiségét csökkenti, ez a környezeti rendszerekben változást hoz létre. Hazánkban a globálsugárzás tendenciájában az 1960-1990 közötti évek szakaszában évtizedenként 1,2%-os csökkenés észlelhető. Az 1990-es évektől a global brightening kifejezés folyamata hazánkban is megjelenik. A természetes tényezőkhöz kívül a global dimming egyik oka lehet az antropogén tevékenység, ennek része a légi közlekedés felhőképzése. Két naperőmű teljesítményét vizsgáltuk. A Nap előtt tartózkodó kondenzcsíkos felhőzet hatása nyomán pillanatnyi teljesítményben átlagosan kb. 11,26±8,44%-os csökkenést tapasztalunk. A napi összesen megtermelt energiát tekintve átlagosan 6,21±4,25%-os visszaesés történik. Az éves napenergia termelésben becslésünk szerint átlagosan kb. 1-1,3% a kondenzcsíkok redukáló hatása.

Kulcsszavak: global dimming, napfénycsökkenés, légi közlekedés kondenzcsík, napenergiatermelés

Abstract

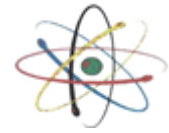
Effects of the global dimming and air traffic contrails in the Hungarian sunlight.

Global dimming phenomenon reduces the content and energy of the sunlight touch the ground; it has an effect in the environmental systems. The rise of aerosol content natural and anthropogenic origin and more clouds after that are the common possible cause of this phenomenon. Global examinations showed 4-6% reduction per three decades in global radiation values since the 1950s. From the 1990s a global brightening phenomenon appeared global radiation values have approximately 1,2 % rise per decade. Our examination in Hungary showed 3,6% reduction per three decades in global radiation between 1960-1990. The rise also appears in values from the 1990s, it is 1,3% per decade, it seems around 2030s increase of global irradiation reach the calculated tendency based on the data before 1950s. One of the possible causes of the global dimming from natural origin can be volcanic activity. Formed sulfate aerosols from dust veil are responsible for the reduced sunlight for many years, ash and particles has short and local effect. Some volcanic eruptions in succession especially in tropical places during a short period could cause reduction in sunlight for decades by the ability of better spread of sulfate aerosols in the higher atmosphere. Between 1950-1990 there were five significant volcanic eruption. During the 2000s examinations showed, that reduction in dust, pollution and other aerosol particles in the atmosphere turned the global dimming to brightening, responsible for speed up of global warming process. Some examinations noticed dimming especially in urban territories. Processes of anthropogenic origin add to the global dimming by sulfate aerosol, carbonate, soot, etc. emissions, also by aircraft contrails. We examined the production of two Hungarian solar power plant during one year in comparison with the production between unclouded and contrail covered days. We found 47 days with contrails and 34 reference days close to them. We found 11,26±8,44% reduction at the momentary production values, 6,21±4,25% in the daily total production. Based on our examination approximately 1-1,3% reduction occurs in the annual solar energy production due to contrails.

Keywords: global dimming, sunlight reduction, aircraft contrails, solar energy production

Bevezetés

A global dimming jelenség a földfelszínre érő napfény (tartalma és energiája) mennyiségét csökkenti. Feltételezett oka a természetes és a mesterséges forrásból légkörbe jutó jelentős aeroszol mennyiség. Ez a légkör optikai tulajdonságai mellett a felhőképződést és a felhők optikai tulajdonságait is megváltoztatja.



A hatás révén a nappali napi maximum és éjszakai napi minimum hőmérséklet közti különbség (DTR) redukálódik (Cohen & Stanhill, 2016; Wild, 2009).

A global dimming részének tekinthetők a légközlekedés általi kondenzcsíkok megjelenése is. Több vizsgálat is utal arra, hogy a kondenzcsíkok hatással vannak a be- és kisugárzás mértékére, azaz befolyásolják a klímát (Cohen & Stanhill, 2016; Kärcher, 2018; Liou, 2002; Minnis, 2015). Munkánk célja a global dimming hazai megjelenésének rövidebb vizsgálata, majd részletesebben a légközlekedés okozta mesterséges eredetű felhők hatásának felmérése a napenergia termelésben két hazai naperőmű adatai alapján.

A felszínre érő napfényt befolyásoló néhány természetes tényező

A Naptól kibocsátott energiamentiségét földtörténeli léptékben rövid időszakra nézve állandónak tekinthetjük. A Földet elérő napsugárzás mennyiségének változása a Föld pályaelem változásaitól, illetve a légkör állapotának természetes és mesterséges eredetű változásából is eredhet. Néhány elmélet szerint a 11 éves napfoltciklus is hatással lehet a földi klímára közvetett módon, pl. a felhőképződésen keresztül (National Research Council, 2005). A klíma és naptevékenység kapcsolata a legújabb kutatások alapján azonban bonyolultabb rendszert képezhet. Érdeemes figyelembe venni a naprendszer óriásbolygói által befolyásolt egyes ciklusokat, rezonanciákat is. A kis jégkorszakot is előidőző kb. 2300 éves Hallstatt-ciklus jól illeszkedik az elmélethez (Scafetta et al., 2016).

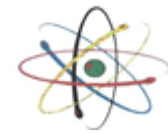
A napfény redukálásában jelentős a vulkanikus hatás. A keletkező szulfátaeroszolok felelősek lehetnek a felszínre beérkező napfény hosszabb idejű korlátozásáért, a globális átlaghőmérséklet csökkenéséért, egyéb vulkáni anyagszolgáltatás szerepe rövid és lokális. Amennyiben sorozatos vulkánkitörés történik és főleg a trópusi területeken, a légköri áramlások nyomán a szulfátaeroszolok nagyobb területen elterjednek a légkörben (Gao et al. 2008; Harangi, 2013). A középkori kis jégkorszak okaként négy jelentős vulkánkitörést is említenek (Miller et al., 2012). Szintén vulkanikus hatáshoz köthető i.sz. 535/536 körül egy hirtelen bekövetkező és elhúzódó nagy globális lehűlés. (Larsen et al., 2008).

A global dimming jelenség

A global dimming („globális homály”) problémáját 2001-ben vetették fel először, amikor a 20. századi globálisugárzás értékek vizsgálata során kitűnt, hogy annak tendenciája a század közepén elmarad a korábbi évtizedek trendjétől (Stanhill & Cohen, 2001). Számos adatelemzés is igazolja azt, hogy az 1960-1980-as évek környezetében a globálisugárzás értékei csökkenő tendenciát mutatnak (Wild, 2009). Átlagosan 30 év alatt 4-6 %-os csökkenést mutattak ki, de pl. az USA-ban a besugárzás csökkenése 1961-1990 között a 10%-ot is elérhette (Liepert, 2002; Wild et al. 2005).

Magyarországon debreceni napfénytartam adatok alapján 1920-1940-es években egy egyenletes lassú emelkedés tapasztalható, amelyet egy csökkenő trend követett az 1980-as évektől tapasztalt újabb emelkedésig (Justyák & Tar, 1994). Összességében a hazai globálisugárzás adatok követik a nemzetközi tendenciát (Nagy, 2005; 2015).

A global dimming hatásait vizsgálva kimutatták, hogy csökkenti a növényi életfolyamatok sebességét a növényi fejlődést lassítja a hűtőhatása következtében (Stanhill & Cohen, 2001). A lecsökkent napfény nyomán a monszunnak gyengébb ereje van (Ramanathan, 2007). A csapadékátrendeződés miatt a nedvesebb területeken például a gabonatermés jelentősen csökkenhet, a kontinentális és szárazabb területeken a pedig akár növekedhet is (Yang et al. 2013). A csökkenő napfény hatása jól szemléltethető napfogyatkozások során tett környezeti vizsgálatok segítségével (Finta & Mitre, 2015). Egyes kutatások a global dimming jelenséget a nagyvárosi környezethez kötik.



Műholdas vizsgálat például csak a szárazföldek felett észlelt besugárzás csökkenést (Alpert et al., 2005; Pinker et al., 2005). A fejlődő indiai városoknál is jó észlelhető a jelenség (Soni et al., 2016). Az 1950-es évekig tartó emelkedés (early brightening) után a 2000-es években újra növekvő tendenciát vett a globálsugárzás értéke, global brightening (globális kifényesedés) indult meg (Wild et al. 2005; 2007; Wild, 2009). Úgy vélik, hogy az utóbbi évek globális felmelegedése azért gyorsult fel, mert a global dimming-et okozó aeroszol részecskék, por, egyéb szennyező anyagok légköri mennyisége csökken és a múlt század második felében történt vulkánkitörések (El Chicón, Pinatubo, stb.) hatása is megszűnt (Cole, 2007; Michalenko, 2007). 1986-2000 közötti globálsugárzás adatok évtizedenként 1,2%-os növekedést mutatnak világszinten. Európában 1985-2005 között a növekedés 1,8-2,5%-os (Wild 2009). A hazai globálsugárzás adatok tendenciájában is észlelhető egy emelkedés (Nagy 2005).

A kondenzcsíkok hatása

A légközlekedésből eredő mesterséges felhők a napfény egy részét visszaverik, a felszíni besugárzás csökken, este pedig a kisugárzást gátolják. Hatásuk a légközlekedés szén-dioxid kibocsátás hatásának mértékét is meghaladhatja (Cohen & Stanhill, 2016; Lim et al., 2017). A légközlekedés arányát a klímaváltozást előidőző összes hatásban akár pár százalékra is becsülik. A kondenzcsíkok a természetes felhőképződést is jelentősen mérséklék és módosítják. A kondenzcsíkok hatása akkor jelentős, ha összefüggő felhőzetté állnak össze, így tartósan a Nap előtt tudnak vonulni (Burkhardt & Kärcher, 2011; Kärcher, 2018; Minnis, 2015).

1987-ben az USA középnyugati területén a maximális felszíni hőmérséklet 2-4 °C-kal alacsonyabb volt kondenzcsíkos területeken (Mims et al., 1997). A 2001-es World Trade Center terrortámadás nyomán bevezetett három napos repülési tilalom idején az USA-ban 1,8 °C-os növekedést tapasztaltak DTR-ben (Travis et al. 2002). Viszont e kutatás eredményét vitatják, a kondenzcsíkok hatását jóval csekélyebbnek vélik (Hong et al., 2008).

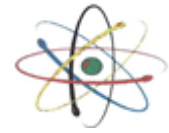
A Nap előtt mozgó kondenzcsíkok pillanatnyi maximális redukáló hatása 60%-ot is meghaladhatja a besugárzás értékében. A takarások napi átlaga több mérés alapján 3-15%-os redukciót eredményezett (Mims et al. 1997; Weihs et al. 2013; 2015). A kondenzcsíkok napenergia termelésben elfoglalt napi és pillanatnyi redukáló hatása számos mérés alapján és különféle technológiákat alkalmazva átlagosan 2-10% között alakult (Gruber et al. 2018; Weihs et al. 2015).

Vizsgálati módszer

A global dimming hazai megjelenésének vizsgálata

A vizsgálatot Nagy (2005; 2015) 1936-2014 között vizsgált, korrigált globálsugárzás adatsor módszertanára alapozva végeztük el, további adatokhoz az ELTE FORESEE Dobor et al. (2014) és a CarpatClim adatbázist használtuk. Nagy (2005) a globálsugárzás vizsgálatához a normál értékek használatát javasolja: bizonyos makro szinoptikus helyzetekben, derült idő esetén a felszínre érkező globálsugárzás nagyságának időbeni stabilitása céljából. A normál értékekre illesztett harmadfokú polinom a tendenciát követhetővé teszi.

Vizsgálatunkban a 79 év éves globálsugárzás értékeinek átlagával elosztottuk minden évben az éves globálsugárzás értékét. A kapott adatokra illesztett polinom függvényt a [1936;2014] intervallumon értelmeztük. A bevezetésben ismertetett nemzetközi vizsgálatok arra utalnak, hogy a global dimming jelensége az 1950-es évektől kezdve észlelhető. Ezért felosztottuk az adatsort három részre, a polinom függvény lokális minimum és maximum pontjait figyelembe véve. Így két emelkedő periódust és közöttük egy csökkenő periódust kaptunk. Az első periódusban az early brightening szakaszát vizsgálva egy feltételezett tendenciát is meghatároztunk, amelyet az éves globálsugárzás értékek az 1960-as évtől felvettek volna, ha nincs global dimming. Az éves adatok ettől való eltérését is vizsgáltuk.



A légközlekedés hatásának vizsgálata a napenergia termelésben

A termelés csökkenését empirikus vizsgálattal mutattuk ki teljesen azonos napállással, (napelem és légköri) hőmérsékleti viszonyokkal, légköri paraméterekkel rendelkező kondenzcsíkos és ahhoz közeli teljesen derült napok között. A vizsgálat ötletét először Travis et al. (2002) módszertana és eredményei adták, majd ezt Weihs et al. (2013; 2015) eljárásával, tapasztalataival továbbfejlesztettük.

Kutatásunk során két magyarországi naperőmű adatait vizsgáltuk 2018. február 1-e és 2019. január 31-e között. Az inverterek adatai alapján az erőmű napi és pillanatnyi teljesítményéről kaptunk adatokat. A kiválasztott két naperőmű közelében az Időkép (idokep.hu) webfelületéről elérhető, négy égtáj égboltképét rögzítő számos webkamera üzemel. A kamerák egész napos gyorsított videóit archívumban elérhetőek, az égboltkép jól értékelhető.

Minden nap videófelvételét elemeztük, az égboltképek alapján vizsgálatra alkalmas napokat ill. derült referencianapokat jelöltünk ki. Mims et al. (1997) javaslata alapján azokat a napokat tekintettük ideálisnak, amelyeknél a kondenzcsíkos felhőzet jelenléte tartós, a csíkok mennyisége jelentős, azok a Nap elé kerülhetnek. Külön figyeltük a természetes felhőzet megjelenését, amennyiben ez jelentős mértékű volt, az adott napot elkülönítettük.

A Nap helyzetére és a besugárzás mértékére számítógéppel kontroll számításokat és elméleti adatsort készítettünk. Amikor a referencianapok értékeit például gomolyfelhősödés zavarta, az elméleti modell adatsorának trendje alapján a visszaeső érték helyét pótolni lehetett.

Az eredményeket összehasonlítottuk és meghatároztuk a kondenzcsíkok százalékos redukáló hatását a napenergia termelés pillanatnyi és napi értékeiben. A kapott értékekből következtetéseket vontunk le és az átlagos redukáló hatás mértékét megbecsültük a termelésben.

Eredmények

Global dimming hazai megjelenése

A vizsgált globálsugárzás adatsor az 1. ábrán látható közös koordinátarendszerben a trendet jelző polinom függvénnyel. Az ábrán jelöltük az 1936 utáni jelentősebb vulkánkitörések időpontjait is.

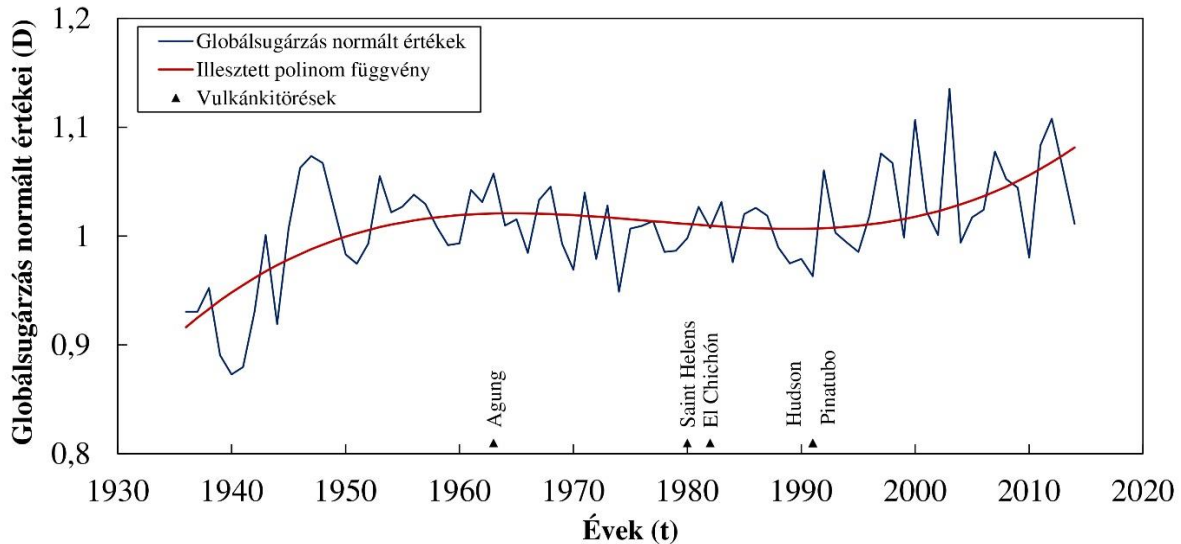
A magyarországi globálsugárzás adatokban az 1950-es évek közepéig, vagyis az early brightening szakaszában a nemzetközi megfigyeléseknek megfelelő emelkedést tapasztaltunk. A nagy szórású mutató adatokban az emelkedés trendjét több módszerrel is vizsgáltuk, ezek eredményeit értékelve átlagosan 1,9%-os emelkedés becsülhető évtizedenként.

A teljes adatsor tendenciáját jelző polinom függvény alapján a globálsugárzás emelkedő jellege az 1950-es évek közepétől mérséklődik, majd az 1960-as években egy lokális maximum után – szintén követve a nemzetközi trendet – elindul a csökkenő folyamat. A csökkenés a 80-as évek végéig észlelhető, ebben a néhány évtizedben jellemző az adatok korábbinál kisebb szórása. Vizsgálatunk szerint hazánkban a global dimming okozta globálsugárzás csökkenés átlaga hozzávetőlegesen 1,2% évtizedenként.

A trendet jelző polinom függvény lokális minimuma 1990 körül érzékelhető, ezt követően újra elindul az emelkedő tendencia. Ezt a növekedő szakaszt is az adatok nagyobb szórása jellemzi. Az emelkedés átlaga 2014-ig számolva 1,3% évtizedenként. A 2000-es években a fényesedés egyre inkább felgyorsul, a 2014-ig gyűjtött adatsor utolsó tíz évében már 2,3%-os átlagos emelkedés is kimutatható.

Az early brightening (vagyis global dimming által nem érintett) adatokra illesztett és előrevetített különféle tendenciákat vizsgálva minden esetben elmondható, hogy a globálsugárzás mért értékei még 2014-ben is elmaradnak ezektől. A 2000-es évektől tapasztalt jelentős fényesedés azonban a következő évtizedekben gyorsan elérheti a számított tendenciát.

Ha a polinom függvény értékeit és early brightening alapján felvett (valószínűnek vélt) tendenciát előre vetítjük – és a mért adatok továbbra is követik a jóslott trendet – akkor a 2030-as évek közepén a különbség megszűnik. Az ezt követő további tendencia előrejelzése bizonytalan.



1. ábra: Éves globálisugárzás adatok normált értékeinek alakulása 1936-2014 között, jelentősebb vulkánkitörések évei jelölve. Adatok forrása: Nagy (2015; 2015), OMSZ, ELTE Foresee
Fig 1.: Tendency of annual normal data of global irradiance during 1936-2014, years of major volcanic eruptions are signed. Based on data Nagy (2015; 2015), OMSZ, ELTE Foresee

Légiközlekedés hatása a napenergia termelésre

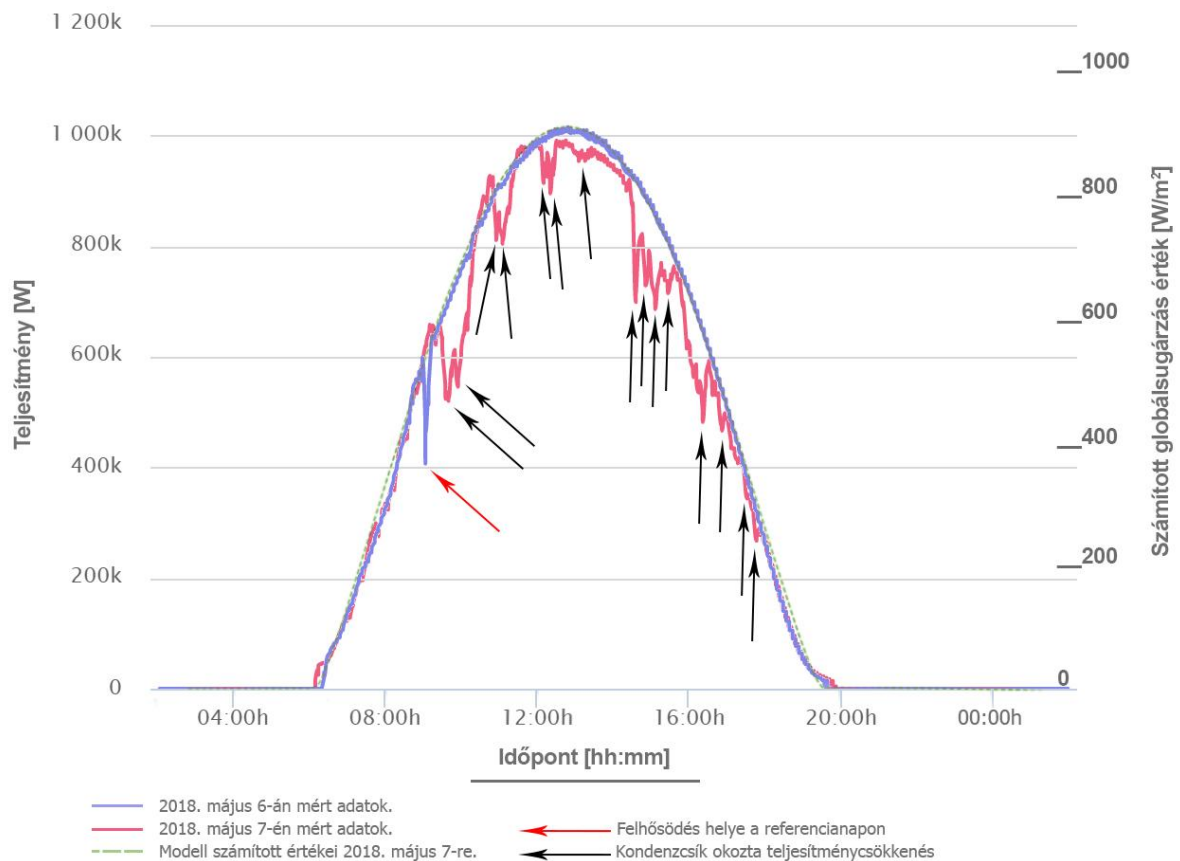
A vizsgálat egy éve alatt a webkameraképek elemzése nyomán 47 nap kondenzcsíkos felhőzettel terhelt napot, ezekhez pedig 34 db referencianapot állapítottunk meg. Van olyan referencianap, amely két kondenzcsíkos naphoz is felhasználható.

A naperőművek adataiban a kondenzcsíkok megjelenése a Nap előtt a pillanatnyi teljesítményre vonatkozó adatsorban felismerhető. Példaként a 2. ábrán a május 7-i nap pillanatnyi teljesítmény adataiból készült grafikon látható. A felhősávok Nap előtt történő elvonulása, időzése a fekete nyilakkal jelzett helyeken jól felismerhető. A referencianapon egy gomolyfelhő hatását a modellszámítás segítségével pótoltuk. A bemutatott május 7-i napon a 14 óra 00 perc és 16 óra 15 perc között, 15 perces felbontású adatokban a 1. táblázatban foglalt teljesítmény csökkenést tapasztaltuk.

1. táblázat: 2018. május 7-én a jelölt időpontokban a pillanatnyi teljesítmény csökkenésének mértéke a referencianaphoz viszonyítva.

Table 1.: Amount of reduction in momentary capacity on 7th May in 2018 at signed times (h:m) compared to the reference days.

Óra [h]	14	14	14	14	15	15	15	15	16	16	16	16
Perc [m]	0	15	30	45	0	15	30	45	0	15	30	45
Csökkenés mértéke [%]	2,32	2,53	5,63	9,3	15,22	9,9	6	3,85	11,9	15,08	3,36	9,18



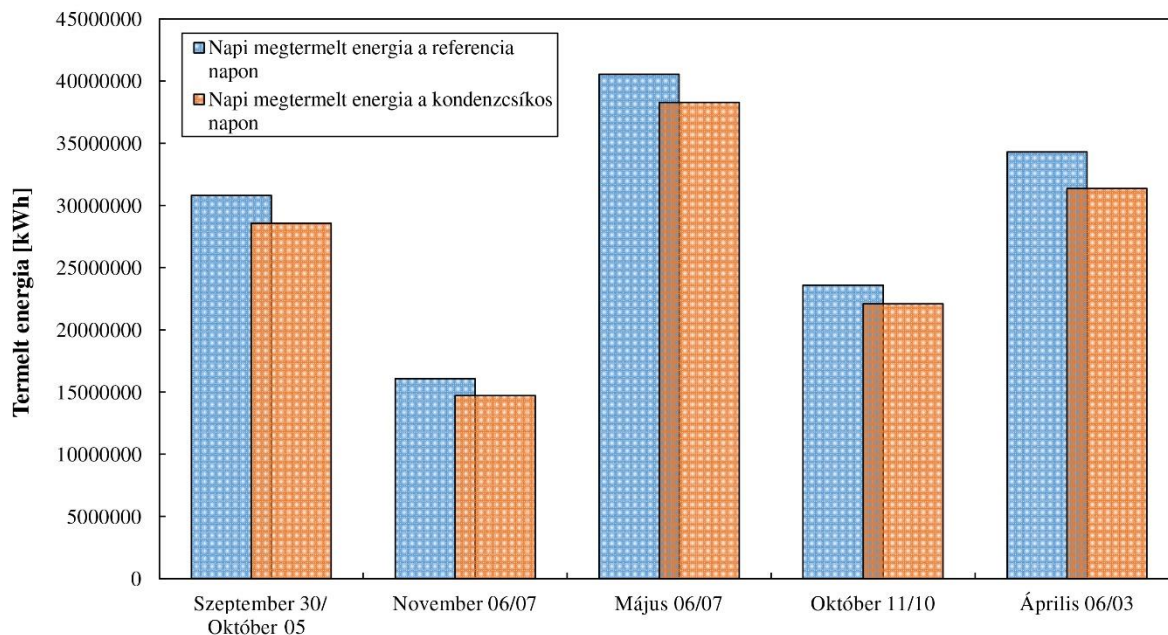
2. ábra: Az egyik erőmű termelési adatai a 2018. május 7-i kondenzcsíkos és a május 6-i referencianapon. Az ábrán elhelyeztük a számolt globálisugárzás-modell grafikonját is.

Fig 2: Production data of a powerplant during days of 7th of May in 2018 with contrails and 6th of May as reference. In the figure we placed the graph of global irradiance model calculation as well (right axis).

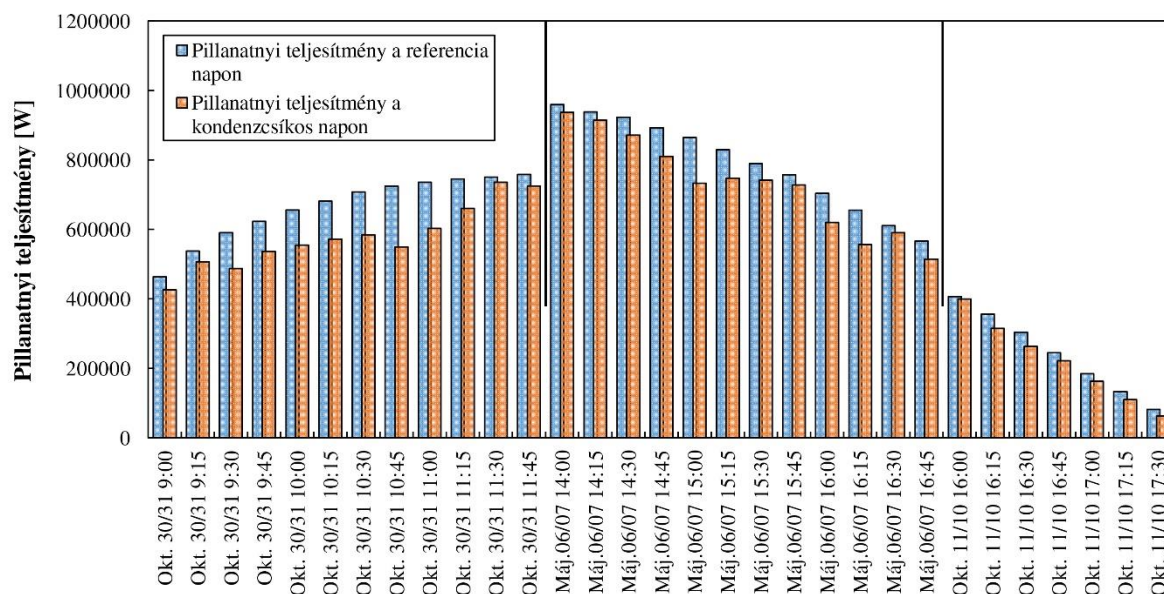
A 3. ábrán öt kiválasztott nap-páron a napi megtermelt energiák összegeit tüntettük fel. A kiválasztott öt kondenzcsíkos napon a nappali időszak nagy hányadában jelen volt a kondenzcsíkos felhőzet, tehát annak hatása jelentős mértékben jelentkezett a napi energiatermelésben. A 3. ábrán bemutatott kondenzcsíkos napok napi megtermelt energiájában (ábra szerint balról jobbra haladva) 7,2-8,4-5,6-6,3-8,5%-os csökkenés tapasztalható a mellettük elhelyezett referencia napok megtermelt energiáihoz képest.

A vizsgált egy évben a napi termelésben történt redukáló hatás minimum 1%, maximum 13,7% volt, az összes értéket tekintve átlagosan $6,21 \pm 4,25\%$ -os energia visszaesést számítottunk a napi megtermelt értékekben.

A 4. ábrán három kiválasztott nap-pár jelölt időpontjaiban a napenergia termelés pillanatnyi teljesítmény értékeit tüntettük fel. Megfigyelhető a teljesítmény-csökkenés ingadozása is, ami a kondenzcsíkos felhőzet vonulásának is betudható. Megfigyelhető a különböző időpontok alapján a Nap horizont feletti magasságának csökkenésével a pillanatnyi teljesítmény csökkenése is. A 4. ábrán bemutatott adathalmazban a pillanatnyi teljesítmény csökkenése 1,7-24,1% közötti érték. A teljes vizsgált időszakban átlagosan $11,26 \pm 8,44\%$ a csökkenés a pillanatnyi termelésben.



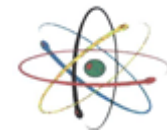
3. ábra: Napi megtermelt napenergia adatai öt kiválasztott nap-páron.
Fig 3: Daily production data of solar energy during five selected date-pairs.



4. ábra: Pillanatnyi napenergia termelés teljesítménye 3 különböző nap-páron a jelzett időpontokban.
Fig 4: Momentary solar energy production capacity of 3 different day-pairs at the signed times.

Következtetések

Hazánkban a global dimming jelensége a világszerte hasonlóan az 1960-1990 közötti időszakban jelenik meg. Nagysága azonban nem kiemelkedő, a három évtizedre számítva 3,6%-os a visszaesés, ez a 4-6%-os világszerte picit elmarad. A global brightening évtizedenkénti 1,3%-os hazai értéke a nemzetközi mérések tendenciájával jó egyezést mutat.



Meg kell említenünk, hogy az early brightening-ben tapasztalt globálsugárzás tendencia vizsgálata során figyelembe kellett venni, hogy az early brightening időszak nem elég hosszú a feltételezett tendencia pontosabb előrejelzéséhez (az 1900-as évek első évtizedeiből nem áll rendelkezésre adatsor a világviszonylatú méréseknél sem), így a feltételezett tendencia óvatos becslés és számos modellszámítás átlagos eredménye. A global brightening értékének jobb egyezése a nemzetközi adatokkal a mérési technika fejlődésével is magyarázható.

A napenergia termelés vizsgálatánál úgy láttuk, hogy mivel a borús napokon csekély az energiatermelés, a kondenzcsíkok hatása pedig a derült napok jelentősebb energiatermelését mérsékli, ezért érdemes az éves napenergia termelésben megjelenő arányt megbecsülni. Éves viszonylatban 22-23 %-os azon napok aránya, amelynek szinte a teljes egésze alkalmas lehet a termelésre. 12-13%-ban fordult elő olyan nap, amikor kondenzcsík jelen van a termelés szempontjából ideális napon. A modellszámítás alapján, ha szélsőségesen úgy vesszük, hogy az összes többi nap teljesen borúsna vehető napközben, akkor a redukálás a napenergia termelésben éves szinten kb. 1,75%. Ha nem veszünk minden napot borúsna akkor ez kb. 1,3%. További korrekciók alapján úgy becsüljük, hogy a vizsgált területen 1-1,3% közötti a csökkenés átlaga az éves energiatermelésben a kondenzcsíkok miatt.

A két vizsgált naperőmű teljes kapacitás esetén 2500 háztartás, kb. 10 ezer fő energiafogyasztását tudja kiszolgálni. Ekkor a kondenzcsík áthaladásának pillanatában átlagosan kb. 280 háztartás energiaellátásával azonos kiesés jöhet létre. Tartósan kondenzcsíkos napon egy nap alatt átlagosan kb. 160 háztartás energiaellátásával kevesebb energia kerül a hálózatba, ez kb. 250-1000 ember napi energiaigényét jelentheti, amely egy közepes méretű falunak felel meg.

Vizsgálatunk alapján éves viszonylatban kb. 25-33 háztartás éves energiafogyasztása esik ki az erőművek napenergia termeléséből a kondenzcsíkok jelenléte miatt.

Mivel úgy tűnik, hogy hazánkban is a naperőművek elterjedése nyomán tör utat a megújuló energia termelése, nem szabad figyelmen kívül hagyni a kondenzcsík-hatást. Vizsgálatunk – annak célkitűzése alapján – nem terjedt ki a kondenzcsíkok éjszakai jelenlétére. Az éjszakai égboltra tett hatás későbbi vizsgálata indokolt, mivel a földet elérő kozmikus fényt – így a csillagászati vizsgálatok lehetőségét is – redukálja, valamint megnöveli a fényszennyezés hatását.

Köszönetnyilvánítás



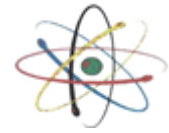
A KUTATÁS AZ EMBERI ERŐFORRÁSOK MINISZTERIUMA ÚNKP-18-2 KÓDSZÁMÚ ÚJ NEMZETI KIVÁLÓSÁG PROGRAMJÁNAK TÁMOGATÁSÁVAL KÉSZÜLT.

Felhasznált irodalom

1. Alpert, P.; Kishcha, P.; Kaufman, Y.J. & Schwarzbard, R. (2005) Global dimming or local dimming?: Effect of urbanization on sunlight availability. *Geophysical Research Letters*, vol. 32, L17802.
2. Burkhardt, U. & Kärcher, B. (2011) Global radiative forcing from contrail cirrus. *Nature Climate Change* 1, pp. 54-58.
3. Cohen, S. & Stanhill, G. (2016). Widespread Surface Solar Radiation Changes and Their Effects. In: Letcher, T.M. (Ed.) *Climate Change*, Elsevier, pp. 491–511.
4. Cole, S. (2007) Global 'Sunscreens' Has Likely Thinned, Report NASA Scientists. Internet: https://www.nasa.gov/centers/goddard/news/topstory/2007/aerosol_dimming.html (Letöltve: 2019. május 15.)
5. Dobor, L., Barcza, Z., Hlásny T., Havasi Á., Horváth F., Ittész P. & Bartholy J. (2014). Bridging the gap between climate models and impact studies: The FORESEE Database, *Geosci Data J* 2:1-11. doi:10.1002/gdj3.22



6. Finta, Zs. & Mitre, Z. (2015) A kutatás alapú tanulás alkalmazása a 2015. március 20-i nap-fogyatkozás során végzett hőmérséklet mérésre. XIV. Természet-, Műszaki- és Gazdaság-tudományok Alkalmazása Nemzetközi Konferencia előadások, pp. 57-64.
7. Gao, C; Robock, A. & Ammann, C. (2008) Volcanic forcing of climate over the past 1500 years: An improved ice core-based index for climate models. *Journal Of Geophysical Research*, vol. 113, D23111.
8. Gruber, S.; Unterstrasser, S.; Bechtold, J.; Vogel, H.; Jung, M.; Pak, H. & Vogel, B. (2018) Contrails and their impact on shortwave radiation and photovoltaic power production – a regional model study. *Atmospheric Chemistry and Physics* 18, pp. 6393-6411.
9. Harangi, Sz. (2017) Vulkánkitörések klímaváltoztató hatása: a kicsi is számít. *Magyar Tudomány*, 2017/6, pp. 664-673.
10. Hong, G.; Yang, P.; Minnis, P.; Hu, Y.X. & North, G. (2008) Do contrails significantly reduce daily temperature range? *Geophysical Research Letters*, vol. 35, L23815.
11. Justyák J. - Tar K. (1994): Debrecen éghajlata. KLTE, Debrecen, 154 p.
12. Kärcher, B. (2018) Formation and radiative forcing of contrail cirrus. *Nature Communications* 2018; 9: 1824, 17 p.
13. Larsen, L.B., Vinther, B.M., Briffa, K.R., Melvin, T.M., Clausen, H.B., Jones, P.D., Sig-Gaard-Andersen, M.-L., Hammer, C.U., Eronen, M., Grudd, H., Gunnarson, B.E., Hantemi-Rov, R.M., Naurzbaev, M.M. & Nicolussi, K. (2008) New ice core evidence for a volcanic cause of the A.D. 536 dust veil. *Geophysical Research Letters*, vol. 35, issue 4, L04708.
14. Liepert, B.G. (2002) Observed reductions of surface solar radiation at sites in the United States and worldwide from 1961 to 1990. *Geophysical Research Letters*, vol. 29, No. 10, 1421 (61).
15. Lim, Y.; Gardi, A. & Sabatini, R. (2017) Optimal Aircraft Trajectories to Minimize the Radiative Impact of Contrails and CO₂. *Energy Procedia*, volume 110., pp. 446-452.
16. Liou, K.N. (2002) Radiation and Climate. In: LIOU, K.N. (Ed.) *An Introduction to Atmospheric Radiation. International Geophysics* vol. 84, pp. 442-521.
17. Miller, G.H., Geirsdóttir, Á., Zhong, Y., Larsen, D.J., Otto-Bliesner, B.L., Holland, M.M., Bailey, D.A., Refsnider, K.A., Lehman, S.J., Southon, J.R., Anderson, C., Björnsson, H. & Thordarson, T. (2012) Abrupt onset of the Little Ice Age triggered by volcanism and sustained by sea-ice/ocean feedbacks. *Geophysical Research Letters* vol. 39. issue 2., L02708.
18. Mims, F.M.; Tex, S. & Travis, D.J. (1997) Aircraft Contrails Reduce Solar Irradiance. *Earth and Space Science*, vol. 78, no. 41, p. 448.
19. Minnis, P. (2015) Clouds And Fog | Contrails. *Encyclopedia of Atmospheric Sciences (Second Edition)*, pp. 121-132.
20. Mischelenko, M.I.; Geogdzhayev, I.V.; Rossow, W.B; Cairns, B.; Carlson, B.E.; Laci, A.A., Liu, L & Travis, L.D. (2007) Long-Term Satellite Record Reveals Likely Recent Aerosol Trend. *Science* vol. 315., p. 1543.
21. Nagy, Z. (2005) Napsugárzás mérések az Országos Meteorológiai Szolgálatnál, Budapest globálsugárzási adatsora 1936-tól 2004-ig, Tendenciák a hazai és a nemzetközi adatsorokban. Országos Meteorológiai Szolgálat Levegőkörnyezeti Megfigyelési Főosztály, 31 p.
22. Nagy, Z. (2015) Napsugárzás mérések az Országos Meteorológiai Szolgálatnál. Országos Meteorológiai Szolgálat Léggörfizikai és Méréstechnikai Osztály, 22 p.
23. National Research Council (2005) Radiative Forcing of Climate Change: Expanding the Concept and Addressing Uncertainties. The National Academy Press, Washington, D.C., 222 p.
24. Pinker, R.T.; Zhang, B. & Dutton, E.G. (2005) Do Satellites Detect Trends in Surface Solar Radiation? *Science*, vol. 308., pp. 850-854.
25. Ramanathan, V. (2007) Global Dimming by Air Pollution and Global Warming by Greenhouse Gases: Global and Regional Perspectives. In: O'DOWD, C.D. & WAGNER, P.E. (eds) *Nucleation and Atmospheric Aerosols*. Springer, Dordrecht, pp. 473-483.
26. Scafetta, N., Milani, F., Bianchini, A. & Ortolani, S. (2016) On the astronomical origin of the Hallstatt oscillation found in radiocarbon and climate records throughout the Holocene. *Earth-Science Reviews* 162, pp. 24-43.
27. Soni, V.K., Pandithurai, G. & Pai, D.S. (2016) Is there a transition of solar radiation from dimming to brightening over India? *Atmospheric Research* 169. pp.: 209-224.
28. Stanhil, G. & Cohen, S. (2001) Global dimming: a review of the evidence for a widespread and significant reduction in global radiation with discussion of its probable causes and possible agricultural consequences. *Agricultural and Forest Meteorology* 107, pp. 255-278.
29. Travis, D.J., Carleton, A.M. & Lauritsen, R.G. (2002) Contrails reduce daily temperature range. *Nature* 418, p. 601.



30. Weihs, P.; Feitzinger, E.; Baumgartner, D.; Wagner, J.; Rennhofer, M.; Laube, W. & Gadermaier, J. (2013) Investigation of the effect of contrails on direct and diffuse irradiance. AIP Conference Proceedings 1531, pp. 536-539.
31. Weihs, P.; Rennhofer, M.; Baumgartner, D.J.; Gadermaier, J.; Wagner, J.E.; Gehring, J.E. & Laube, W. (2015) Potential impact of contrails on solar energy gain. Atmospheric Measurement Techniques 8, pp.1089-1096.
32. Wild, M., Gilgen, H., Roesch, A., Ohmura, A., Long, C. N., Dutton, E. G., Forgan, B., Kallis, A., Russak, V. & Tsvetkov, A. (2005) From Dimming to Brightening: Decadal Changes in Solar Radiation at Earth's Surface. Science 308, pp. 847-850.
33. Wild, M.; Ohmura, A & Makowski, K. (2007) Impact of global dimming and brightening on global warming. Geophysical Research Letters, vol. 34, L04702.
34. Wild, M. (2009) Global dimming and brightening: A review. Journal Of Geophysical Research, vol. 114, D00D16.
35. Yang, X., Asseng, S., Fook Wong, M.T., Yu, Q., Li, J. & Liu, E. (2013) Quantifying the inter-active impacts of global dimming and warming on wheat yield and water use in China. Agricultural and Forest Meteorology 182–183. pp. 342– 351.