

ÉRINTI-E A HAZAI TELEPÜLÉSEKET A GLOBÁLIS ELSÖTÉTÜLÉS?

MITRE ZOLTÁN - LAKATOS LÁSZLÓ

DOES THE GLOBAL DIMMING AFFECTS THE HUNGARIAN SETTLEMENTS?

Global dimming phenomenon reduces the content and energy of the sunlight touch the ground; it has an effect in the environmental systems. 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. Urban areas highly contribute to the global dimming as the most aerosol content, reduce the sunlight, can be measured above countryside and towns. Global radiation were studied in the period between 1951-2014 by division of some sample Hungarian cities into industrial and non-industrial categories. Global radiation decrease of 0.5% was recognized above cities with remarkable industries in comparison with the non-industrial ones. At last 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% reduction at the momentary production values, 6% in the daily total production. Based on our examination approximately 1-1,3% reduction occurs in the annual solar energy production due to contrails.

BEVEZETÉS

A global dimming (globális homály vagy globális elsötétedés) nevű jelenség a földfelszínre elérő napfény (tartalma és energiája) mennyiségét csökkenti. A jelenség feltételezett oka a természetes és a mesterséges forrásból légkörbe jutó aeroszol részecskék nyomán az optikai mélység növekedése, a felhők visszaverő képességének emelkedése, valamint antropogén eredetű felsőlégköri tevékenység nyomán felhők (pl. kondenzcsíkok) megjelenése. E hatások révén hőmérséklet csökkenés következik be, ugyanis a lecsökkent napfény nyomán a központi csillagunkból a Föld felszínét elérő napsugárzás energiája csökken (WILD 2009).

A napsugárzás lecsökkenésének, ezáltal a klíma megváltozásának társadalmi hatásai közismertek. I. e. 14-12. század között az Égei-tenger vidékén 2 °C hőmérsékletcsökkenés ment végbe, bronzkori görög települések néptelenedtek el (DRAKE 2012, FINNÉ et al. 2011). Az i. sz. 6. század első felében, 535/536 körül a felszínre elérő napfény lecsökkenése globális lehűlést eredményezett, ennek hatására visszaesett a mezőgazdasági termelés, továbbá aszály, járványok voltak

jelen egy évtizeden át (*LARSEN et al. 2008*). A jelenség nyomán előálló pestisjárványnak Bizánc lakosságának közel fele áldozatául esett. Tágabb értelemben a 13-18. század között tartanak nyilván egy hosszabb, hűvösebb klímájú időszakot, amelyet „kis jégkorszak” néven is neveznek, átlagosan 0,6 °C átlagos hőmérséklet csökkenéssel (*BRADLEY 2003; MANN 2002*), ennek társadalmi és településekre vonatkozó körülményeiről az írásos történelem révén már van információnk.

A két utolsó említett klímaváltozás okául vulkáni tevékenység hatása igazolható (*LARSEN et al. 2008; MILLER et al. 2012*). Szintén vulkánkitörés miatt állt elő a 18. század végén az a klímaváltozás, ami részben hozzájárult a francia forradalom kitöréséhez. Amennyiben sorozatos vulkánkitörés történik és főleg a trópusi területeken, a légköri áramlások nyomán a szulfátaeroszolok nagyobb területen elterjednek a légkörben. Ezek az aeroszolok korlátozzák a napfény hatását (*GAO et al. 2008; HARANGI 2013*). A görög települések elnéptelenedését, valamint a középkori kis jégkorszakot okozó klímaváltozás már csillagászati okokkal is magyarázható (*SCAFETTA et al. 2016*).

A napfénycsökkenés hatására vonatkozó egyre pontosabb kutatások eredményezték a „global dimming” jelenség múlt század második felében való jelenlétének felismerését is. Kimutathatóvá vált, hogy a jelenség a szárazföldek felett és főként a nagyvárosi környezetben észlelhető (*ALPERT et al. 2005*). Adatelemzések és modellezések mutattak rá, hogy a global dimmingnek klimatikus és mezőgazdasági hatása van (*STANHILL-COHEN 2001*). A megújuló napenergia felhasználással kapcsolatban derült fény arra, hogy a napenergia termelés hatásfokát - a jelenség részeként - légiközlekedés által kiváltott felhőképződés mérsékli (*GRUBER et al. 2018*).

Mivel a „global dimming” a településeket is érintő jelenség, valamint részletes nemzetközi kutatások állnak rendelkezésre, ennél fogva indokolt annak vizsgálata, hogy néhány hazai település esetén a napfény lecsökkenésének mértéke felismerhető-e. A települések energiaellátásában egyre nagyobb arányt képviselő napenergia termelést a global dimming egyik összetevője a légiközlekedés felhőképzése befolyásolja. A jelenség hatása, mértéke az energiatermelés változásának vizsgálata, számszerűsítése gyakorlati szempontból szintén indokolt.

1. A GLOBAL DIMMING KUTATÁSI HÁTTERE

1.1. A GLOBAL DIMMING FELISMERÉSE

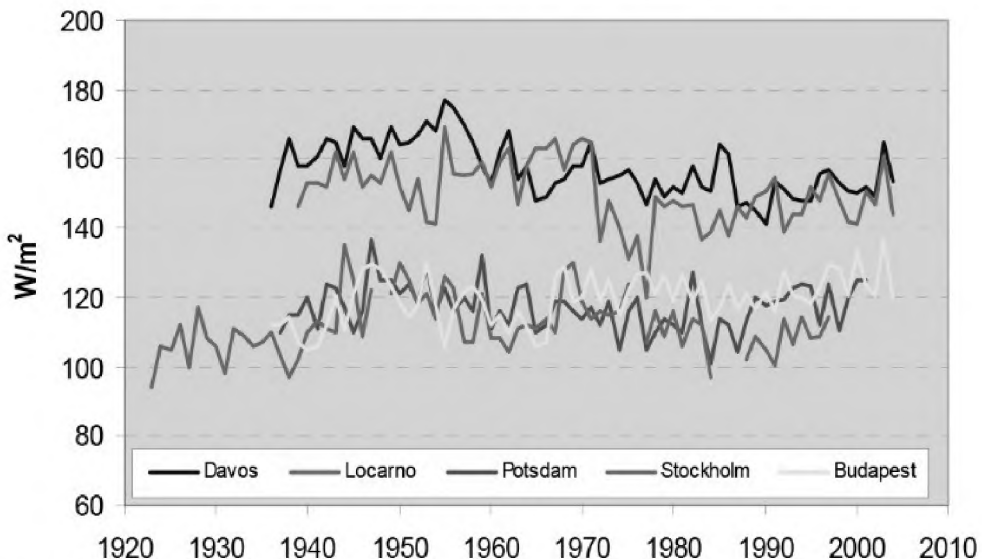
A global dimming problémáját 2001-ben vetették fel először, amikor a 20. századi napfény globálisugárzás értékek vizsgálata során kitűnt, hogy annak tendenciája a század közepén elmarad a korábbi évtizedek trendjétől (*1. ábra*).

Feltételezett okának azon természetes (pl. vulkanikus) és mesterséges eredetű aeroszolt és egyéb légszennyező anyagokat tartották, amelyek a légkör optikai tulajdonságát megváltoztatják, különösen a felhők esetén (STANHILL-COHEN 2001). Jelenleg még vita tárgyát képezi, hogy a global dimming jelenségben az aeroszol a felhőképződéssel kapcsolatban van-e (TANAKA et al. 2016). Kínában (YANG et al. 2013) és az USA-ban is az aeroszol megnövekedést tartják is a global dimming jelenség előidézőjének (LIEPERT 2002). Más vizsgálatok szerint a légköri átlátszóság csökkenés mellett a vastag felhőzet is lecsökkentette az éves napsugárzás mennyiségét és feltételezhetően az aeroszol elősegíti a felhőképződést (STANHILL-COHEN 2001).

1. ábra: A globálisugárzás éves összegeinek tendenciája Budapest és négy európai város obszervatóriumának mérési adatai alapján.

Figure 1. Trend of annual sums of global radiation based on measurement data of Budapest and four more european observatory.

A globál sugárzás éves összegeinek menete



Forrás: NAGY (2005)

Az 1960-as évektől végzett folyamatos mérések nyomán 1989-ben már 10 % sötétedést tartottak nyilván (PINKER et al. 2005). STANHILL-COHEN (2001) szerint a Földön mért napsugárzás évtizedenként 2,7 %-kal csökkent 1958-1992 között. Egyes mérések arra utalnak, hogy a legnagyobb sötétedés 1961-1990 között az USA-ban volt, amely a 10%-ot elérte 1990-re (LIEPERT 2002). Annyi bizonyos, hogy három évtized alatt kb. 4-6%-os globálisugárzás értékcsökkenést mutatnak a vizsgálatok (WILD et al. 2005, WILD 2009).

WILD et al. (2005, 2007) és *WILD (2009)* felhívja a figyelmet, hogy a 2000-es években a sötétedés folyamata alábbhagyott és növekvő tendenciát vett a globálsugárzás értéke. A 2000-res évek végén és a 2010-es években végzett elemzések rámutatnak arra, hogy a global dimming az ezredforduló környékén már global brightening (globális kifényesedés) irányába változott. 1992-2002 között a globálsugárzásban már 3,6%-os évtizedenkénti emelkedés tapasztalható (*WILD et al. 2005*). 1986-2000 közötti adatok alapján az érték 1,2 % évtizedenként világszinten (*WILD 2009*).

1.2. A GLOBAL DIMMING KÖRNYEZETI HATÁSA

A global dimming első körben az időjárásra van hatással. A lecsökkent napfény nyomán a monszonnak gyengébb ereje van. Indiában 1950-2002 között 7% csökkenést mutattak ki a napfényben, a nyári monszun napi csapadékmennyisége ez idő alatt több, mint 1,2 mm-rel csökkent (*RAMANATHAN 2007*).

A jelenség okozta párolgás és csapadék változás a növényzetre is hatással van (*RODERICK & FARQUHAR 2002*). Kínai szimulációs vizsgálatok szerint a global dimming és klímaváltozás miatt a monszunos területeken a gabonatermés négyöt évtized alatt 32%-kal csökkent, közben a kontinentális és szárazabb területeken 24%-os növekedést modelleztek (*YANG et al. 2013*).

Nedves klímán a napfénycsökkenés hatására a termésben csökkenés tapasztalható (*STANHILL & COHEN 2001*). Indiai vizsgálatok alapján a global dimming az erdei ökoszisztémára pozitív hatást gyakorolt, azonban a füves területeken és szántóföldön a lecsökkent fotoszintézis negatív tendenciákat okozott. Ez a probléma rámutat az élelmiszernövények termelésére vonatkozó káros hatásra (*MEENA et al. 2013*).

Egyes kutatások szerint az utóbbi évek globális felmelegedése a global brightening hatására is felgyorsult. Úgy látják, hogy 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.) felsőlégköri hatása is megszűnt (*COLE 2007; MICHALENKO et al. 2007*). Vannak kutatások, amelyek a felhőzet csökkenésének szerepét látják a global brightening jelenségben (*STANHILL et al. 2013*).

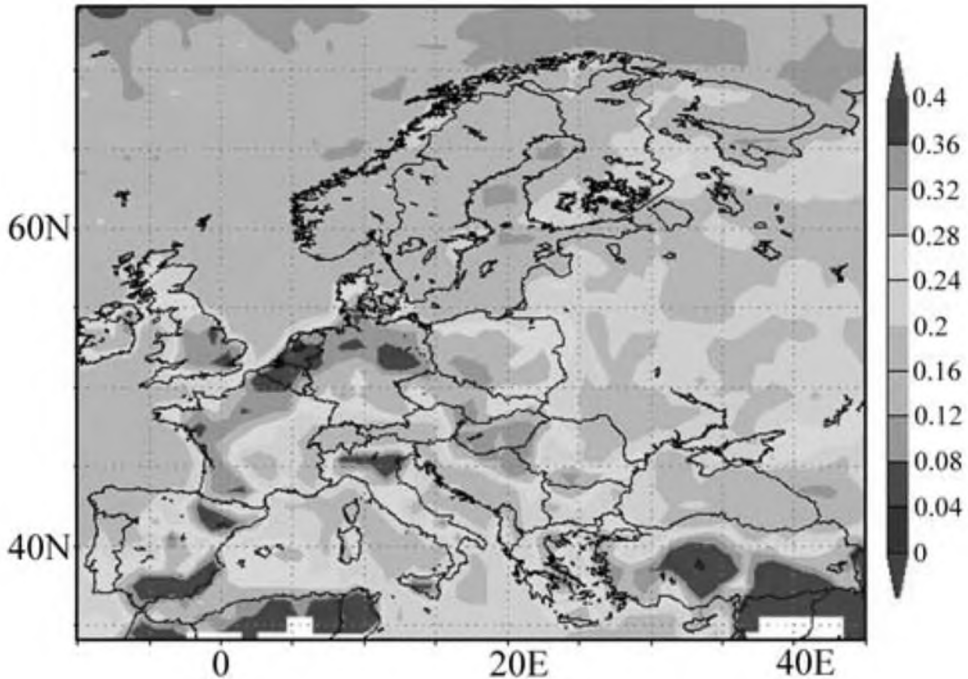
1.3. A GLOBAL DIMMING TELEPÜLÉS SZINTŰ MEGJELENÉSE

A 2000-res évtized közepén hívták fel a figyelmet arra, hogy műholdas vizsgálatok alapján úgy tűnik, hogy a global dimming jelensége főként a nagyvárosi környezetekben jellemző és inkább local dimming, mint global dimming. A településekre koncentrált mérések azt mutatták, hogy nagyvárosok környezetében 1950-1980-as évek között $-0,41 \text{ Wm}^{-2}$ éves sugárzáscsökkenés

tapasztalható, míg csak $-0,16 \text{ Wm}^{-2}$ az 1 millió lakosnál kisebb városok felett. Ezzel egybevág a sűrűbben lakott területek feletti nagyobb aeroszol optikai mélység (2. ábra) (ALPERT *et al.* 2005).

2. ábra: Európa feletti aeroszol optikai mélység átlaga 2004 májusa és 2004 szeptembere között.

Figure 2. Average of aerosol optical depth values above Europe between 2004 may and 2004 september.



Forrás: ALPERT *et al.* (2005).

A global dimming településekhez való kötődést igazolja PINKER *et al.* (2005) műholdas vizsgálata a földfelszín besugárzásának alakulásáról, a kutatás az óceánok felett évenként $0,24 \text{ Wm}^{-2}$ emelkedést tapasztalt, míg szárazföld felett $-0,05 \text{ Wm}^{-2}$ csökkenést (PINKER *et al.* 2005). Egy japán vizsgálat azonban azt mutatta ki, hogy a szigetországban 14 meteorológiai állomás adatai alapján az egyes települések között nem mutatható ki szignifikáns különbség a global dimmingben és brighteningben, ez inkább nagyobb területeken megmutatkozó jelenség nem függhet a helyi légszennyezéstől (TANAKA *et al.* 2016).

A fejlődő országok urbanizációja nyomán megemelkedett antropogén aeroszol kibocsátást azonban Kínában és Indiában is említik, mint global dimminget előidőző tényezőt. Kínában - többek között Peking környékén - az

antropogén folyamatokat tartják a jelenség okának és az abból kialakuló terméscsökkenés háttérének. Indiában 1971-2000 között évenként $-0,6 \text{ Wm}^{-2}$ volt átlagosan a globálsugárzás csökkenés, olyan nagyvárosoknál, mint Delhi, Mumbai, Kalkutta ezek az értékek $-0,7$ és $-0,8 \text{ Wm}^{-2}$ közti értéket vettek fel (SONI *et al.* 2016; YANG *et al.* 2013).

1.4. HAZAI NAPPÉNYCSÖKKENÉS NÉHÁNY KORÁBBI VIZSGÁLATA

A globálsugárzás változás 1970-es évek körüli megtorpanása európai és a hazai tendenciákban is megmutatkozik. A magyarországi települések állomásain mért globálsugárzás adatok éves összegeinek grafikonja hasonló jellegű trendeket mutat, mint a nemzetközi és európai éves globálsugárzások éves adatainak változása (NAGY 2005, 2015).

Hazánkban 1936-ig visszamenőleg tudományos vizsgálat céljából korrigálták a mért globálsugárzás adatokat, később pedig 14 településen működő állomás átlaga alapján értékelték Magyarország napsugárzás klímáját (NAGY 2005, 2015). Debreceni meteorológiai obszervatórium napfénytartam mérési adatai 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). A budapesti mérési adatokban 1955-1982 között megtorpanás, nagyon enyhe emelkedés tapasztalható, amely emelkedés 1971-2004 között is megmaradt, menete felgyorsult (NAGY 2015). A budapesti és európai globálsugárzás adatokban is észlelhető az 1990-es évek után az éves globálsugárzás értékek emelkedése (1. ábra) (NAGY 2005).

A napfény lecsökkenésének hatása napfogyatkozások során is vizsgálható hatékonyan. Kimutatták, hogy már néhány százalékos takarás is kimutatható környezeti hatást generál. A beépítettségtől és növényzettől függően változó módon reagál a környezet a napfénycsökkenésre (FINTA *et al.*, 2015).

A napfénycsökkenés inverzének tekinthető a fényszennyezés jelensége, amely kiváltó oka szintén a megnövekedett légköri aeroszol mennyiség. Ez részben a napfény korlátozásával analóg módon a kozmikus fényt is korlátozza, egyben a mesterséges éjszakai világítást is szőrja. A fényszennyezés települési és környezeti rendszer szintű hatásaival a közelmúltban több kutatás is részletesen foglalkozott (POZSGAI *et al.* 2019, 2021).

1.5. A LÉGIKÖZLEKEDÉS HATÁSA A GLOBAL DIMMINGEN BELÜL

A légi közlekedés mesterséges felhőképzésének hatása a környezeti rendszerekben a global dimming jelenséggel teljesen analóg módon jelentkezik, épp ezért kezelik annak részeként. A kondenzcsíkok sugárzasmódosító hatással bírnak, órákon át megmaradnak, akár tartós cirrus felhőzetté is alakulhatnak. Ez

a hatás a besugárzást csökkenti (valamint a Nap fényét visszaveri), a kisugárzást pedig gátolja. (COHEN & STANHILL 2016; LIM et al. 2017; MIMS et al. 1997; WEIHS et al. 2015). Egy 2005-ös adatokat elemző kutatás szerint a légiközlekedés felhőképzése a természetes felhőképződést jelentősen csökkenti azáltal, hogy kondenzcsíkok keletkezése nyomán kivonja a párát a légkörből (BURKHARDT & KÄRCHER 2011; 2018). Egyes kutatások eredményei szerint a kondenzcsíkok besugárzásra gyakorolt hatása jelentősebb, mint a légiközlekedés szerepe a szén-dioxid kibocsátásban (LIM et al. 2017).

A kondenzcsíkok sugárzást befolyásoló hatását feltételezi TRAVIS et al. (2002) vizsgálata. A kutatás során az amerikai 2001-es World Trade Center terrortámadás nyomán bevezetett három napos repülési tilalom időszakából az USA területén átfogó meteorológiai adatgyűjtést végeztek, mivel e 3 napban nem jelentek meg kondenzcsíkok az égen. A vizsgálat szerint 4000 állomás adatai alapján átlagosan 1,8 °C-kal növekedett a különbség napi hőmérséklet maximum és minimum értéke (DTR) között a légi forgalommal terhelt napokhoz képest. Sőt, ez az eltérés a kondenzcsíkokkal leginkább terhelt amerikai területeken (pl. Los Angeles környéke) kétszeres értéket is elért (TRAVIS et al. 2002). A vizsgálat helyességét azonban érte kritika is (HONG et al. 2008). 1987-ben az USA középnyugati területén végzett vizsgálat kimutatta, hogy a maximális felszíni hőmérséklet 2-4 °C-kal alacsonyabb volt kondenzcsíkos területeken, mint azoknál, ahol nem volt jelen ez az antropogén felhő (MIMS et al. 1997).

A napenergia termelésre gyakorolt hatásra vonatkozóan Ausztriában végeztek kutatásokat. A kutatás eredményei arra mutattak rá, hogy a Nap előtt mozgó kondenzcsíkok pillanatnyi redukáló hatása a globálsugárzás értékben a 68-72%-ot is elérte. Fél órás átlagot tekintve 8-16% közötti mérséklődés keletkezett egy órás átlagban 8,3% csökkenést okoztak a globálsugárzásban. A villamos energiatermelésben a névleges tárolási képességhez viszonyítva 2,5%-os csökkenés történt (WEIHS et al. 2013; 2015).

Németországi vizsgálatok, valamint kondenzcsíkokra vonatkozó szimulációs számítások is egybevágó eredményt hoztak arra vonatkozóan, hogy a kondenzcsíkok fotovillamos napenergia termelésben elfoglalt redukáló hatása 10%-ot is elérheti (GRUBER et al. 2018). Svájcban 1996-ban végzett vizsgálat során a Nap elé kerülő kondenzcsíkból alakult cirrus felhőzet a globálsugárzás értékét 3,2-4,5%-kal csökkentette. Ezzel azonos jellegű felhőzet Alaszkában, Fairbanks felett, valamint Dél-Texasban a légköri átlátszóságot szintén jelentősen lecsökkentette (MIMS et al. 1997).

2. VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

A global dimming jelenség hazai, valamint településekre vonatkozó local dimming megjelenését meteorológiai adatok elemzése alapján keressük. A

vizsgálatot *NAGY (2005, 2015)* 1936-2014 között vizsgált, korrigált globálsugárzás adatsoraira és módszertanára alapozva végeztük el, további információkat az *ELTE FORESEE DOBOR et al. (2014)* és a CarpatClim adatbázisból nyertünk. *NAGY (2005)* a globálsugárzás vizsgálatához a normál értékek használatát javasolja: bizonyos makroszintű helyzetekben, derült idő esetén a felszínre érkező globálsugárzás nagyságának időbeni stabilitása céljából. A normál értékekre illesztett harmadfokú polinom a tendenciát követhetővé teszi.

A 79 év éves globálsugárzás értékeinek átlagával elosztottuk minden évben az éves globálsugárzás értékét. A polinom függvényt a [1936;2014] intervallumon értelmezzük. A korábban ismertetett nemzetközi vizsgálatok arra utalnak, hogy a global dimming jelensége az 1950-es évektől észlelhető és egészen az 1990-es évekig megmutatkozik. Ennek megfelelően az adatsorra az [1936;1952] intervallumban egy lineáris függvényt illesztettük. A függvény azt a tendenciát jelzi, hogy a global dimming jelenség észlelése előtti éveket alapul véve milyen tendenciát vett volna fel a globálsugárzás változása az 1952-es évtől, ha a trend megmarad. Arra vonatkozóan, hogy a tendencia a jövőben hogyan alakulhat, egy lineáris függvényt felvettük a közelmúlt [2004-2014] intervallum adataira is. Feltételezésünk szerint az 1952 előtti és 2004 utáni időszak függvényeinek hozzávetőleges találkozási pontja a global dimming megszűnését jelöli ki. Lineáris trenddel vizsgáltuk a [1985;2014] szakaszt is, amely a global dimming kezdődő mérséklődésétől a legutolsó adatig ad meg tendenciát.

A local dimming vizsgálatához, vagyis arra vonatkozólag, hogy van-e különbség a global dimming értékei között a feltételezhetően nagyobb légköri aeroszolt kibocsátó és inkább agrár vagy könnyűipar jellegű városok között, az egyes települések környezetére vonatkozó globálsugárzás adatokat vettük figyelembe az *ELTE FORESEE DOBOR et al. (2014)* adatbázist alapul véve. Az adatbázis segítségével 1951 és 2014 közötti adatokat nyertünk. Az iparosítással nagyobb aeroszolkibocsátást feltételeztünk az 1951-1990 közötti, nehézipart preferáló időszakra. Ez az időszak egybeesik a global dimming feltételezett időszakával. Kiválasztottunk néhány várost, amelyek bányászathoz, erőműhöz, kohászathoz kapcsolódva jelentős aeroszol kibocsátók lehetnek, egyben a 90-es évek után ez az iparág visszafejlődött vagy környezetbarát irányban átalakult (Budapest, Ózd, Komló, Dunaújváros, Inota, Miskolc, Tatabánya) (*GYENIZSE-SZABÓ 2008, LAKI 2015*), illetve nem tipikus ipari városokat, ahol mérsékeltbb aeroszol kibocsátás feltételezhető (Szeged, Debrecen, Szombathely, Sopron).

Mivel a települések környezetére vonatkozóan 1936-tól nem, csupán 1951-től állt rendelkezésre adatsor, ezért a település típusoknál nem tudunk global dimming előtti feltételezett globálsugárzás trendet megállapítani, így a normált értékek eltérésének kimutatását tűztük ki célul. Mivel a különféle településeken mért besugárzás értékek a Nap beesési szöge és a helyi éghajlat miatt eltérőek, ezért a *NAGY (2005)* szerinti normálás elvégzése után az értékeket igyekeztünk a városok két csoportja szerint átlagolni.

Hipotézisünk az volt, hogy az iparosabb városok esetén a global dimming időszakában a normált értékek alacsonyabbak, mint a nehézipar nélküli városokban, majd a nehézipar megszűnte után ezek az értékek magasabbak lesznek. A mérési adatsorokhoz a trendet követő harmadfokú polinom függvényeket képeztünk, majd iparvárosok és ipar nélküli városok illesztett függvényeinek értékkülönbségét vettük, így megkaptuk az eltérések nagyságát éves viszonylatokban.

2.2. LÉGIKÖZLEKEDÉS HATÁSÁNAK VIZSGÁLATA

A légiközlekedés szerepét a napsugárzás energiájának korlátozásában a kondenzcsíkok hatásának empirikus vizsgálatával kívántuk kimutatni. Magyarország ideális vizsgálati helyszín, mivel korábbi vizsgálatok és modellek rámutattak Közép-Európa jelentős érintettségére (*MINNIS 2015*).

Hipotézisünk alapját *TRAVIS et al. (2002)* vizsgálati és eredményei adták, amelyet *WEIHS et al. (2013, 2015)* későbbi célirányos eljárásával fejlesztettünk tovább. Két naperómű adatait vizsgáljuk 2018. február 1-től kezdődően egy éven át, tehát 2019. január 31-ig. Összehasonlító elemzést alkalmaztunk teljesen azonos napállással, (napelem és légköri) hőmérsékleti viszonyokkal, légköri paraméterekkel rendelkező kondenzcsíkos és ahhoz közeli teljesen derült napok elektromos termelési értékei között.

Az épképet az erőművek közelében webkamerás megfigyelés alapján értékeljük az Időkép Kft. weboldalán (*idokep.hu*) szabadon hozzáférhető épképanyagok alapján. A feltételezeten vizsgálatra alkalmas napok (*MIMS et al. 1997*) égboltképét a webkamera képeken ellenőriztük és amennyiben a nap alkalmasnak tűnt, megjelöltük. A jelölt napokon belül a kondenzcsíkok jelenléti idejét, sűrűségét határoztuk meg.

Különválasztottuk azokat a napokat, amikor a kondenzcsíkok csak időlegesen maradnak meg, vagy amikor természetes felhőzettel keveredik, illetve vizsgálatunk szempontjából lényeges, állandó, hosszan tartó kondenzcsíkos napokat (*3. ábra*). Ezt követően referencianapokat állapítottunk meg: olyan, felhőmentes, zavartalan napsütéses napokat választottunk ki, amelyek a kondenzcsíkos napoktól 1-2 nap távolságra vannak, a hőmérsékleti és légköri paraméterek szinte azonosak.

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.

A termelési adatok adatbázisa alapján a kondenzcsíkok pillanatnyi teljesítményben (15 perces átlag) és az adott napon megtermelt energiában elfoglalt redukáló mértéke határozható meg. A kapott értékekből

következtetéseket vontunk le és az átlagos redukáló hatás mértékét megbecsültük a termelésben.

*3. ábra: Vizsgálatunk szempontjából alkalmas nap 2018. október 31-én délelőtt.
Figure 3. Suitable day for examination in the morning of 31st October, 2018.*



Forrás: saját felvétel.

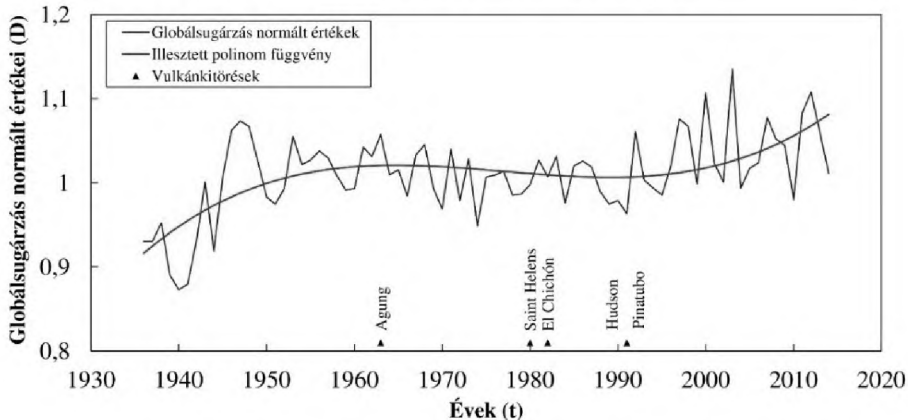
3. EREDMÉNYEK

3.1. A GLOBAL DIMMING HAZAI ÉS TELEPÜLÉS SZINTŰ MEGJELENÉSE

Az adatok feldolgozása nyomán a (4. ábrán) látható tendenciát jelölő függvényt kaptuk. Az ábrán jelöltük az 1936 utáni jelentősebb vulkánkitörések időpontjait is (MARSHAK 2008). Az egyes vulkánkitöréseket követően az éves adatokban csökkenés tapasztalható. Az 1960-as évek közepén a lokális visszaesés az adatokban egy vulkánkitörést követően történt. Az 1980-1991 közötti csökkenő értékű adatsor és itt csökkenést mutató trend függvény 4 nagy vulkánkitörést is magába foglal.

4. ábra: Éves globálisugárzás adatok normált értékeinek alakulása 1936-2014 között, a vulkánkitörések időpontjait jelölve.

Figure 4. Tendency of annual normal data of global irradiance during 1936-2014, years of major volcanic eruptions are signed.



Saját szerkesztés. Forrás: NAGY (2005, 2015), OMSZ, MARSHAK (2008)

A magyarországi globálisugárzás adatokban a global dimming nemzetközi trendjéhez hasonló enyhe mérséklődés megmutatkozik. A tendenciát jelző polinom függvény alapján a globálisugárzás emelkedő tendenciája az 1950-es évek közepétől megtorpan, az 1970-es évektől nagyon enyhén csökkenő. A tendencia alapján a global brightening jelensége hazánkban az 1990-es évek első felétől indult el, de főleg a 2000-es évektől jellemző. Az éves globálisugárzás adatokban az 1960-as évek közepétől az 1990-es évek elejéig viszonylag kis szórás jellemző, az említett időszak előtt és után pedig jóval erősebb szóródás jellemző. Az 1950-es éveknél korábbi adatok tendenciáját jelző lineáris függvény értékeitől a 79 év tendenciáját mutató polinom függvény értékei még 2014-ben is elmaradnak.

A vizsgált időszakot több rövidebb szakaszra is felosztottuk, a szakaszokat és a változás százalékos arányát jelzi az 1. táblázat. Hazánkban a global dimming okozta globálisugárzás csökkenés átlaga hozzávetőlegesen 1,2% évtizedenként. A kifényesedés gyorsuló ütemű, erre utal, hogy az adatsor utolsó 10 évében már 2,3%-os az emelkedés trendje. A különféle trendek kimutatására alkalmas függvények vizsgálatai alapján azt lehet becsülni, hogy az 1936-1951 közötti - tehát a global dimming előtti - időszak trendje szerinti feltételezett globálisugárzás értékeket a 2030-as évek közepe felé érheti el a jelenlegi emelkedő szakasz.

1. táblázat: Globálsugárzás változás trendje időszakonként Magyarország területén.

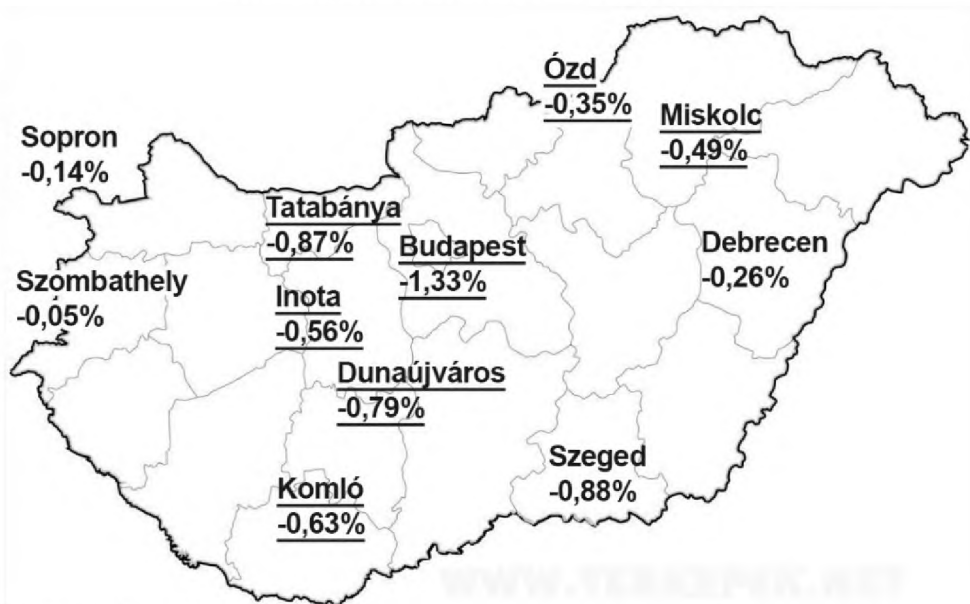
Table 1. Trend of global radiation change in time periods in the area of Hungary.

IDŐSZAK	GLOBALSUGÁRZÁS TREND A JELZETT IDŐSZAKBAN. [% / ÉVTIZED]
1936-1952	+3,5
1961-1991	-1,2
1985-2014	+1,3
2004-2014	+2,3

Forrás: Saját szerkesztés.

5. ábra: Az 1961-1991 közötti globálsugárzás csökkenés trendje a jelölt városokban. Aláhúzással jelöltük a feltételezhetően jelentősebb aeroszol kibocsátó iparosabb településeket.

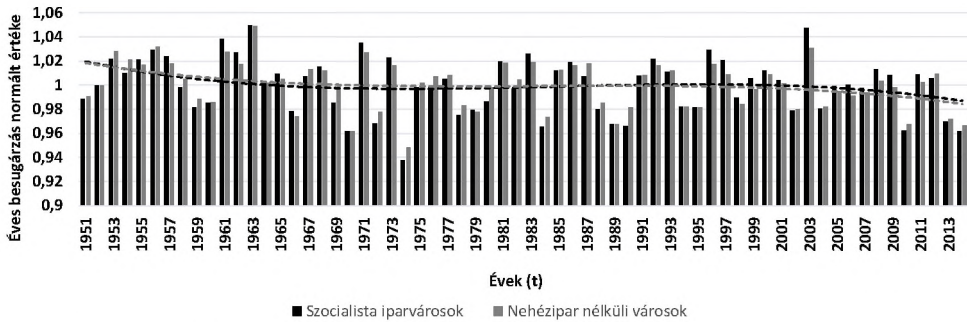
Figure 5. Trend of global radiation decrease between 1961-1991 in the signed cities. We marked with underline the cities with possible increased aerosol emittance due to industrial background.



Forrás: Saját szerkesztés.

6. ábra: Éves besugárzás normálértékei iparvárosokban és iparnélküli városokban és ezek trendje.

Figure 6. Annual normal value of irradiation in the industrial and non-industrial cities and their trends.

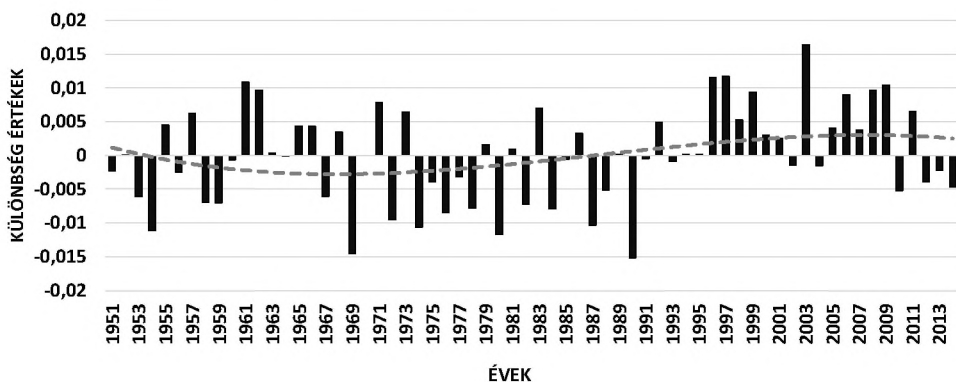


Saját szerkesztés. Adatforrás: ELTE Foresee.

A szocialista iparvárosok és nehézipar nélküli városok adataira illeszthető trend értékét az 5. ábra, az egyes évek adatait iparos és nem iparos csoportok szerint a 6. ábra mutatja. Mindkét településtípus esetén ábrázoltuk az illesztett polinom függvényeket. A két településfajta normált adatainak különbségét a (7. ábrán) mutatjuk be, ahol a különbségértékekre illesztett polinom függvényt is feltüntettük.

7. ábra: Az iparvárosok és nem iparos városok besugárzás normálértékeinek különbsége és ezek trendje.

Figure 7. Difference of normal value of irradiation of the industrial and non-industrial cities and its trend.



Saját szerkesztés. Adatforrás: ELTE Foresee.

Megfigyelhetjük, hogy az iparvárosok esetén 60-70-80-as években jobban visszaesett az éves besugárzás értéke, mint az ipar nélküli városok esetén, majd

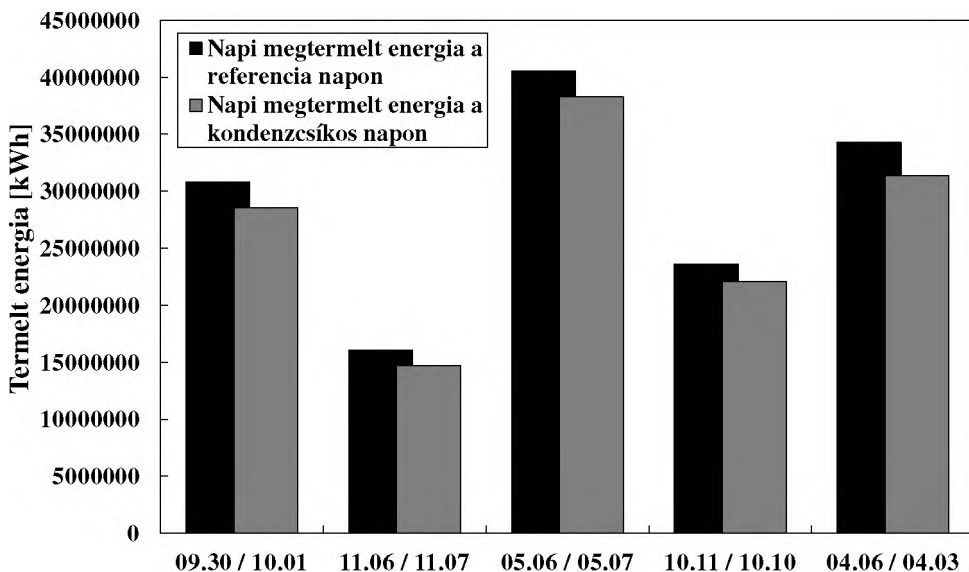
90-es években markánsabb fényesedés történt, amely nagyobb mértékű volt, mint az ipar nélküli városok esetén. Az iparvárosoknál az enyhén több sötétedés már az 50-es években megjelenik, azonban főként a 60-as évek közepétől a 90-es évek elejéig jellemző. A függvények adatai alapján az iparvárosok esetén a sötétedés és világosodás különbsége kb. 0,5-0,6 %-kal nagyobb, mint az ipar nélküli városok esetén, vagyis a nem iparvárosok (kevesebb aeroszol kibocsátók) esetén a besugárzás éves értékei valamelyest kiegyenlítettebben alakultak.

3.2. A KONDEZNCÍKOK HATÁSÁNAK MEGJELENÉSE

A vizsgált időszakban webkameraképek elemzése nyomán 47 nap kondenzcsíkos felhőzettel terhelt napot állapítottunk meg. Ezekhez pedig 34 db referencianapot állapítottunk meg. Van olyan referencianap, amely két kondenzcsíkos naphoz is felhasználható.

A 8. ábrán négy kiválasztott nap-páron megtermelt energiák összegét tüntettük fel. A kiválasztott négy kondenzcsíkos napon a nappali időszak nagy hányadában jelen volt a kondenzcsíkos felhőzet, tehát annak hatása jelentős mértékben jelentkezett a napi energiatermelésben.

8. ábra: Napi megtermelt napenergia a jelölt dátumokon.
Figure 8. Daily solar energy production in the marked dates.

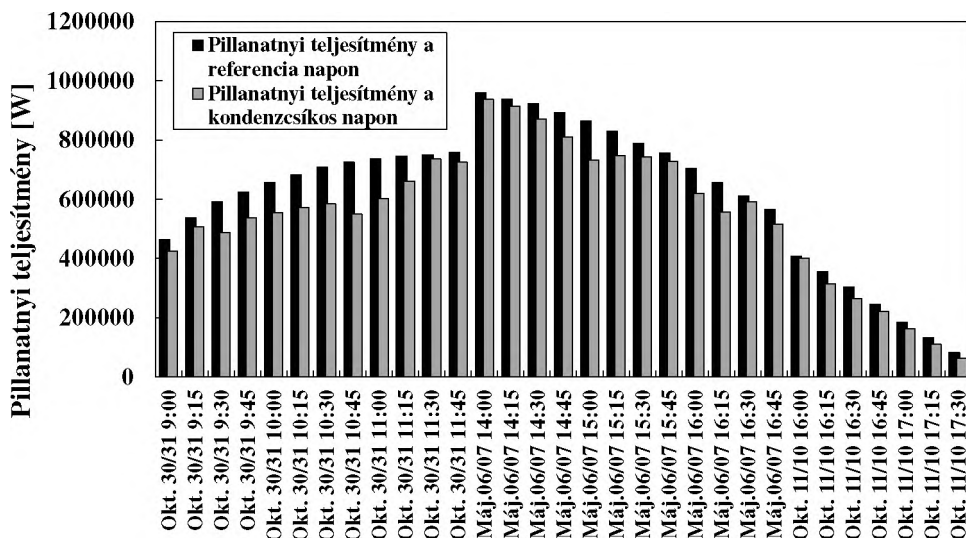


Saját szerkesztés. Forrás: ipari adatok.

A 8. ábrán bemutatott kondenzcsíkos napok megtermelt energiájában (ábra szerint balról jobbra haladva) 7,3-8,5-5,5-6,4% csökkenés tapasztalható a mellettük elhelyezett referencia napok megtermelt energiáihoz képest. A további napok értékeit tekintve átlagosan kb. 6% energia visszaesés tapasztalható a napi megtermelt értékekben.

9. ábra: Pillanatnyi napenergia termelés teljesítménye 3 különböző napon a jelzett pillanatokban.

Figure 9. Momentary solar energy production capacity of 3 different day-pairs at the signed times.



Saját szerkesztés. Forrás: ipari adatok.

A 9. ábrán három kiválasztott nap-pár jelölt időpontjaiban a napenergia termelés pillanatnyi teljesítmény értékeit tüntettük fel. Ezekon az adatokon 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. Az ábrán bemutatott adathalmazban a pillanatnyi teljesítmény csökkenése 2,7%-40,2% közötti érték a referencianapok azonos időpontjában mért értékekhez képest. A kondenzcsíkos napok teljes egy éves időtartamra vonatkozóan mért pillanatnyi teljesítmény-adatai alapján azt tudjuk mondani, hogy a pillanatnyi teljesítményben a kondenzcsíkok átlagosan kb. 11% csökkenést okoznak.

4. MEGVITATÁS

A hazánkra vonatkozó globálsugárzás adatok alapján az 1950-es évektől az 1990-es évekig megjelenő global dimming-nek nevezett csökkenés Magyarországon is észlelhető. A nemzetközi vizsgálatok (*WILD et al. 2005*) 4-6%-os csökkenést mutattak ki 3 évtized alatt az 1950-es évektől. Az 1990-es évektől tapasztalható global brightening jelenségre a kutatások (*WILD 2009*) 1,2%-os emelkedést mutattak ki.

Vizsgálataink a globálsugárzás értékében Magyarországon 3,6%-os csökkenést mutattak ki 3 évtized alatt (*1. táblázat*), amely valamelyest mérsékeltebb a nemzetközi adatokhoz viszonyítva. Hazánkban a kifényesedés jelenség hatására a globálsugárzás 1,2%-os évtizedenkénti emelkedése az 1990-es évektől jól egybevág a nemzetközi kutatások eredményeivel. Abban az esetben, ha az 1936-1952 közötti trendet a globálsugárzás természetes változásának tekintjük, akkor a hazánkban az 1990-es évektől jelentkező global brightening jelenség trendje ezt a 2030-as években utoléri. A nemzetközi globálsugárzás adatok változása és a vulkánkitörések aeroszol szolgáltatása (*MISCHELENKO et al. 2007*) közötti vélt összefüggés a hazai adatok alapján is sejthető (*4. ábra*).

A global dimming jelenséghez, főleg hazánkban, a szocialista iparosítás aeroszol kibocsátása, valamint az 1960-as évek után a légiközlekedés és a közúti közlekedés elterjedése is hozzájárulhatott. Az ipar szerepére utalhat, hogy a korábbi iparosabb városok esetén a vizsgált időszak átlagától a sötétebb időszak és a világosabb időszak közötti különbség markánsabban eltér. Az iparvárosokban csökkenés oka lehet részben a megemelkedett aeroszol kibocsátás, azonban szimplán az urbanizáció nyomán az árnyékhatás megnövekedése is, mivel sok esetben a mérőállomásokat utolérte az urbanizáció. Ugyanis a legtöbb meteorológiai mérőállomást az 1900-as években az akkori városoktól viszonylag távol, de még azok területén helyezték el. Így valószínű nemcsak a légszennyezés és aeroszol kibocsátás, hanem a nagyobb árnyékhatás is megmutatkozik a global dimming összetevőjeként, amely 90-es évekbeli mérséklődését az adatkorrekciók vagy a meteorológiai állomás áthelyezése is okozhatta. Bár erre külföldi szerzők nem térnek ki, de az urbanizációra több utalás is van (*TANAKA et al. 2016*). Arra vonatkozóan, hogy hazánkban ilyen jellegű összetevő állhat-e az adatsorok között, további kutatást igényel.

A légiközlekedés hatása a napenergia termelésben megmutatkozik. A pillanatnyi teljesítményben az éppen Nap előtt tartózkodó kondenzcsíkos felhőzet hatása megnyilvánul, átlagosan 11% teljesítmény-csökkenést tapasztalunk ez *GRUBER et al. (2018)* vizsgálataihoz hasonló érték. Amennyiben ez a felhőzet állandó és hosszú időn át megmarad, akkor az adott napon megtermelt energia hatásfokát is szignifikánsan csökkentheti. A feldolgozott adatok alapján a napi termelésben átlagosan 6% visszaesés történik. A

rendelkezésünkre álló adatok alapján azt tudjuk mondani, hogy egy évre kivetítve hozzávetőlegesen 1-1,3% visszaesést jelent az éves napenergia termelésben. Természetesen ez az érték egy durva becslés, hiszen a borús napok számát nem vettük figyelembe. Mivel a borús napokon csekély az energiatermelés, a kondenzcsíkok hatása pedig a derült napok jelentősebb energiatermelését mérséklik, ezért várható, hogy hatásuk az éves napenergia termelésben nagyobb arányt képviselhet. Az éves termelést főként a derült és derült, de kondenzcsíkos napok határozzák meg és kevesebb súllyal kerülhet bele a borús napok megtermelt energiája.

A vizsgált naperóművek – teljes kapacitás esetén - összesen 2500 háztartás ezáltal hozzávetőlegesen 10 ezer fő energiafogyasztásának fedezését tudja ellátni. Kondenzcsíkos napok esetén, maximális pillanatnyi termelés során a kondenzcsík áthaladásának pillanatában 287 ± 155 háztartás energiaellátásával azonos kiesés jöhet létre. A napi termelésre vonatkozó vizsgálatban egy nap alatt 158 ± 106 háztartás energiaellátásával kevesebb energia kerül a hálózatba, ez 250-1000 ember napi energiaigényét jelentheti, amely egy közepes méretű falunak felel meg. Vizsgálatunk adatai alapján éves viszonylatban kb. 25-33 háztartás éves energiafogyasztása esik ki a napenergia termelés során a kondenzcsíkok jelenléte miatt.

Nyilvánvaló, hogy a global dimming kockázati szempontból leginkább a klímát és mezőgazdaságot befolyásolja, pl. a globális felmelegedés hatásában mérséklő szereppel bírhat, további kutatások ebbe az irányba javasoltak. Vizsgálatra érdemes az is, hogy hazánkban a nemzetközi átlaghoz képes miért jelentkezett mérsékeltebben a global dimming hatása. Ehhez kötődve a hazai adatok megbízhatósága beleértve az 1950-es évek előtti trend megbízhatósága is értékelés tárgya lehetne. A vizsgálatunkban csak néhány hazai települést választottunk ki, az egyértelmű tendencia és különbségek kimutatására későbbiekben további települések bevonása is indokolt. Szintén érdemes lenne az urbanizáció jelenségével a világszinten mért adatokat összevetni, korrigálni.

ÖSSZEZÉS

A global dimming (globális homály vagy globális elsötétedés) nevű jelenség a földfelszínt elérő napfény (tartalma és energiája) mennyiségét csökkenti. Hazánkban a globálsugárzás értékeiben az 1960-es évek elejétől az 1990-es évek elejéig évtizedenként 1,2%-os csökkenés észlelhető. Az 1990-es évektől a kifényesedés folyamata hazánkban is észlelhető, az adatelemzés nyomán 2030-as években éri el a globálsugárzás a global dimming időszak előtti természetes tendencia értékét.

A települések vizsgálata során megállapítottuk, hogy a szocializmus idején az iparosabb városok felett a global dimming idején a besugárzás értékek kissé

alacsonyabbak voltak, majd az 1990-es években a global brightening idejétől magasabbak, mint a nem iparos városokban; ez összesen 0,5%-os eltérés.

A kondenzcsíkok a global dimming összetevői. A vizsgált naperőmű pillanatnyi teljesítményében a Nap előtt tartózkodó antropogén kondenzcsíkos felhőzet hatása nyomán átlagosan 11% csökkenést tapasztalunk. A napi összesen megtermelt energiát tekintve átlagosan 6% visszaesés történik egy kondenzcsíkos napon. Az egy éves vizsgálatban tapasztaltak alapján úgy becsüljük, hogy hazánkban 1-1,3% közötti a csökkenés átlaga az éves energiatermelésben, amely a kondenzcsíkok hatása nyomán előáll. A vizsgált területen ez 25-33 háztartás éves energiafogyasztását is elérheti.

IRODALOM

- 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.
- BRADLEY, R. S.** (2003): *Climate of the Last Millennium*. Holocene Working Group Workshop, Bjerkenes Centre for Climate Research, 5 p.
- BURKHARDT, U. – KÄRCHER, B.** (2011): Global radiative forcing from contrail cirrus. *Nature Climate Change* 1, pp. 54-58.
- COHEN, S. – STANHILL, G.** (2016): Widespread Surface Solar Radiation Changes and Their Effects. In: Letcher, T.M. (Ed.) *Climate Change*, Elsevier, pp. 491–511.
- COLE, S.** (2007): Global 'Sunscreen' Has Likely Thinned, Report NASA Scientists. Internet:
https://www.nasa.gov/centers/goddard/news/topstory/2007/aerosol_dimming.html (Letöltve: 2019. május 15.)
- DOBOR, L. – BARCZA, Z. – HLÁSNY, T. – HAVASI, Á. – HORVÁTH, F. – ITTÉS, 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
- DRAKE, B. L.** (2012): The influence of climatic change on the Late Bronze Age Collapse and the Greek Dark Ages. *Journal of Archaeological Science* 38, pp. 1862-1870.
- FINNÉ, M. – HOLMGREN, K. – SUNDQVIST, H. S. – WEIBERG, E. – LINDBLOM, M.** (2011): Climate in the eastern Mediterranean, and adjacent regions, during the past 6000 years - A review. *Journal of Archaeological Science* 38, pp. 3153-3173.
- FINTA ZS. – MITRE Z.** (2015): A kutatás alapú tanulás alkalmazása a 2015. március 20-i nap-fogyatkozás során végzett hőmérséklet mérésre. XIV. Természeti-, Műszaki- és Gazdaság-tudományok Alkalmazása Nemzetközi Konferencia előadások, pp. 57-64.

- 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.
- 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.
- GYENIZSE P. – SZABÓ-KOVÁCS B.** (2008): A természeti környezet és a település kölcsönhatása Komló példáján. *Földrajzi Értesítő*, LVII. évf. 3-4. füzet, pp. 273-288.
- HARANGI SZ.** (2017): Vulkánkitörések klímaváltoztató hatása: a kicsi is számít. *Magyar Tudomány*, 2017/6, pp. 664-673.
- 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.
- JUSTYÁK J. – TAR K.** (1994): Debrecen éghajlata. *KLTE*, Debrecen, 154 p.
- KÄRCHER, B.** (2018): Formation and radiative forcing of contrail cirrus. *Nature Communications* 9: 1824, 17 p.
- LAKI I.** (2015): A magyarországi iparvárosok múltja és jelene. *Polgári Szemle*, 11. évfolyam, 1–3. szám, pp. 370-381.
- 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.
- 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).
- 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.
- MANN, M. E.** (2002) Little Ice Age. In: MUNN, T. (Ed.) *Encyclopedia of Global Environmental Change*. pp.: 504–509.
- MARSHAK, S.** (2008): *Earth – Portrait of a Planet*. W. W. Norton & Company, New York. Third Edition. 957 p.
- MEENA, R.K. – FAGODIYA, R. – MEENA, S.K. – KUMAR, R. – RAJU – BANA, R.S.** (2013): Global Dimming and Its Effect on Agriculture. *Popular Kheti*, Volume 1, Issue 3, pp. 69-72.
- MISHCHENKO, M. I. – CAIRNS, B. – KOPP, G. – SCHUELER, C. F. – FAFAUL, B. A. – HANSEN, J. E. – HOOKER, R. J. – ITCHKAWICH, T. – MARING, H. B. – TRAVIS, L. D.** (2007):

- Accurate monitoring of terrestrial aerosols and total solar irradiance: Introducing the Glory mission. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, 88, pp. 677-691.
- 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.
- MIMS, F. M. – TEX, S. – TRAVIS, D. J.** (1997): Aircraft Contrails Reduce Solar Irradiance. *Earth and Space Science*, vol. 78, no. 41, p. 448.
- MINNIS, P.** (2015): Clouds And Fog | Contrails. *Encyclopedia of Atmospheric Sciences (Second Edition)*, pp. 121-132.
- MISCHELENKO, M. I. – GEOGDZHAYEV, I. V. – ROSSOW, W. B. – CAIRNS, B. – CARLSON, B. E. – LACIS, A. A. – LIU, L. – TRAVIS, L. D.** (2007): Long-Term Satellite Record Reveals Likely Recent Aerosol Trend. *Science* vol. 315., p. 1543.
- 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.
- NAGY Z.** (2015): Napsugárzás mérések az Országos Meteorológiai Szolgálatnál. Országos Meteorológiai Szolgálat Légekörfizikai és Méréstechnikai Osztály, 22 p.
- POZSGAI A. – BARANYAI G. – LENNER T.** (2019): A fényszennyezés területi aspektusainak értelmezése hazai és globális viszonylatban In: Fazekas I. - Lázár I. (szerk.). *Tájak működése és arculata*. Debrecen: MTA DTB Földtudományi Szakbizottság, pp. 129-134.
- POZSGAI, A. – PUSZTAI-EREDICS, A. – BARANYAI, G. – LENNER, T.** (2021): The connection between public lighting modernisation and light pollution: The Dunaújváros pattern. *Acta Universitatis de Carolo Eszterházy nominatae. Sectio biologiae / Az Eszterházy Károly Egyetem tudományos közleményei. Tanulmányok a biológiai tudományok köréből (2732-0480)*: 46 pp. 125-132.
- PINKER, R. T. – ZHANG, B. – DUTTON, E. G.** (2005): Do Satellites Detect Trends in Surface Solar Radiation? *Science*, vol. 308., pp. 850-854.
- 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.
- RODERICK, M. L. – FARQUHAR, G. D.** (2002): The Cause of Decreased Pan Evaporation over the Past 50 Years. *Science*, vol. 298., pp. 1410-1411.

- 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.
- SONI, V. K. – PANDITHURAL, G. – PAI, D. S.** (2016): Is there a transition of solar radiation from dimming to brightening over India? *Atmospheric Research* 169. pp.: 209–224.
- 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.
- STANHILL, G. – ACHIMAN, O. – ROSA, R. – COHEN, S.** (2013): The cause of solar dimming and brightening at the Earth's surface during the last half century: Evidence from measurements of sunshine duration. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 119, 10902–10911.
- TANAKA, K. – OHMURA, A. – FOLINI, D. – WILD, M. – OHKAWARA, N.** (2016): Is global dimming and brightening in Japan limited to urban areas? *Atmospheric Chemistry Physics* 16, pp. 13969–14001.
- TRAVIS, D. J. – CARLETON, A. M. – LAURITSEN, R. G.** (2002): Contrails reduce daily temperature range. *Nature* 418, p. 601.
- WEIHS, P. – FEITZINGER, E. – BAUMGARTNER, D. – WAGNER, J. – RENNHOFFER, M. – LAUBE, W. – GADERMAIER, J.** (2013): Investigation of the effect of contrails on direct and diffuse irradiance. *AIP Conference Proceedings* 1531, pp. 536–539.
- WEIHS, P. – RENNHOFFER, 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.
- 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.
- WILD, M. – OHMURA, A. – MAKOWSKI, K.** (2007): Impact of global dimming and brightening on global warming. *Geophysical Research Letters*, vol. 34, L04702.
- WILD, M.** (2009): Global dimming and brightening: A review. *Journal of Geophysical Research*, vol. 114, D00D16.
- 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.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS



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

A kutatás 2018-2019 között az egri Eszterházy Károly Egyetemen zajlott.