

Egyetemi doktori (PhD) értekezés tézisei

A GLOBÁLSUGÁRZÁS VÁLTOZÁSAI EURÓPÁBAN

PhD thesis

CHANGES IN GLOBAL RADIATION OVER EUROPE

Bartók Blanka

Témavezetők: Prof. Dr. Mika János
Dr. habil. Tar Károly



DEBRECENI EGYETEM
Földtudományok Doktori Iskola

Debrecen, 2013

1. Célkitűzés, módszerek

1.1 A témaválasztás indoklása

A felszínre érkező napsugárzás térbeni és időbeni alakulása nemcsak az élettelen földi szférák működését vezérli, de a földi élet fennmaradásának és fejlődésének is keretet szab. Emellett a társadalmom fejlődése környezeti adottságokra épül, és azokkal szoros kapcsolatrendszerben alakul, így a globálsugárzás alakulása környezeti és társadalmi szempontból is jelentőséggel bír.

A légkör összetételében tapasztalt változások, mint például az üvegáthatású gázok koncentrációjának növekedése, minden bizonnyal módosítja a sugárzásátviteli komponensek mennyiségét és vertikális eloszlását, amely továbbá a napsugarak felszínre érkezését, illetve időbeni és térbeni eloszlását határozza meg. Értekezésünkben ehhez kapcsolódva, a felszínre érő teljes napsugárzás, az úgynevezett globálsugárzás és az e mennyiséget meghatározó légköri összetevők időbeli változásait vizsgáljuk.

1.2. Célkitűzések

A disszertáció fő célkitűzései, hogy (i) megállapítsa az elmúlt évtizedekben, Európa területének nagy részén megfigyelhető globálsugárzás tendenciákat, illetve (ii) további statisztikai vizsgálatokkal és sugárzás-átviteli modellezés segítségével körülhatárolja a globálsugárzás változásában tapasztalt területi különbségek okait, végül (iii) a felhőzettel kapcsolatos összefüggések alapján becslést adjon a globálsugárzás várható változásaira, felhasználva a globális klímamodellekben előrejelített tendenciákat.

Részletezve, értekezésünkben elsőként meghatározzuk a globálsugárzás trendjeit Európában az 1975 és 2006 közötti monoton melegedő 32 évben. Ez képezi az (i) feladat első közelítésben történő részbeni megoldását.

A második egységben négyféle diszkussziós szempont szerint vizsgáljuk a globálsugárzás változásainak területi mintázatait, nevezetesen (iia) a globálsugárzás trendjeinek esetleges nemlinearitása; (iib) a felhőzet, mint fő hatótényező időbeli változásaival való szembesítés, mint elsősleges magyarázat-keresés; továbbá (iic) a lehetséges adathibák vizsgálata, közöttük a sugárzási és a felhőzetadatok egymástól független homogenizálása; végül (iid) a vízgőz és az aeroszol koncentráció megfigyelt változásainak hatáselemzése.

Gondolatmenetünk harmadik, záró szakasza, a homogenizálás után fennmaradt felhőzeti és globálsugárzás változások vizsgálata (iii) a felhőzet-sugárzás empirikus kapcsolatok, valamint a globális klímamodellek előrejelzéseinek optimális kombinációja révén.

1.3 Adatok és módszerek

Az értekezésemben felhasznált adatok (i) a felszínen mért és műholdas mérésekből származtatott globálsugárzás és (ii) felhőzet értékek, valamint (iii) vízgőz és aeroszol mennyiségekre vonatkozó megfigyelések.

A globálsugárzás adatok havi összegei a Sugárzási Világ Adatközpont (World Radiation Data Center, WRDC) adatbázisában 66 európai állomásra álltak rendelkezésre az 1975-2006 évekből. A globálsugárzás felszíni adatainak trendbeni állandóságát az 1983 és 2005 közötti, műholdakról becsült értékekkel is összevettük. A METEOSAT geosztacionális műholdjainak felszínre származtatott globálsugárzás (SIS) produktumai az EUMETSAT által gondozott Alkalmazott Műholdas Klímamonitoring Program (The Satellite Application Facility on Climate Monitoring, CMSAF) adatbázisból származnak, $0,03 \times 0,03$ földrajzi fok felbontásban.

A felhőmennyiség (borultság) adatai a Meteorológiai Világszervezet (WMO) szinoptikus megfigyeléseiből származtatott havi átlagokat tartalmazták, melyek a Globális Szárazföldi Felhőklimatológia (Cloud Climatology for Land Stations Worldwide) adatbázisban érhetőek el. Ezek az adatok Európában 50 olyan állomásra álltak rendelkezésre a fenti 32 éves időszakban, ahol párhuzamosan a globálsugárzás trendjeit is elemezhetjük. A felszínről megfigyelt felhőzeti adatok mellett megkíséreltük a CMSAF kvázi-poláris műhold-mérésekből származó, $0,25 \times 0,25$ földrajzi fok felbontású felhőzetbecslést is felhasználni a diskusszióban.

Az aeroszol vizsgálatában a NASA keretében működő Ózon Megfigyelő Program (Ozone Monitoring Instrument, OMI) 500 nm-ren meghatározott aeroszol optikai mélység (AOT_{500}) adatbázisát használtuk fel. A Nimbus 7 és Earth Probe műholdak közeli infravörös sávjában mért értékekből származó havi adatok 1×1 földrajzi fok felbontásban érhetőek el az 1980-2001-es időszakra.

A légköri vízgőz sugárzásmódosító hatásának számszerűsítésére közvetett és közvetlen úton került sor az Európai Középtávú Meteorológiai Előrejelző Központ (ECMWF) ERA-INTERIM reanalízis kihullható vízgőz mennyiség és felhőmentes rövidhullámú sugárzási adatmezői felhasználásával. Az adatok térbeni felbontása $0,25 \times 0,25$ földrajzi fok.

A globálsugárzás, felhőzet és vízgőz változását az empirikus vizsgálatok mellett a NASA által kifejlesztett GISS-ER globális klímamodell, a Max Planck Institute for Meteorology által fejlesztett ECHAM5 klímamodell, és a japán Meteorological Research Institute által fejlesztett MRI klímamodell esetében is kiértékeljük.

A fenti adatok elemzésében két statisztikai és egy determinisztikus modellt alkalmaztunk. A legfőbb statisztikai eszköz az egyváltozós lineáris regressziószámítás volt. A kapcsolatok függő változója minden esetben a felszíni globálsugárzás, független változója pedig az idő (trendanalízis), illetve a felhőzet (kapcsolatkeresés) voltak. A kapcsolatok szignifikanciáját

95%-os szinten mindkét vizsgálatnál a regressziós együttható nem zérus voltára irányuló t-próbával végeztük. A sztochasztikus kapcsolatok esetében a lineáris regressziós modell jóságát a hibatagok normalitásával és autokorrelációs tesztjével vizsgáltuk. A lineáris mellett, esetenként másod- és harmadfokú polinomokat alkalmaztunk. Ezek magyarázó képességét F-próbával hasonlítottuk a lineáris közelítések jóságához.

A globálsugárzás átlagos térbeli eloszlását klaszteranalízissel írtuk le, azaz K-közép módszerrel kerestük a globálsugárzás éghajlati átlagaiban egymáshoz hasonló, egyszersmind a többi térségtől eltérő értékeket mutató részterületeket.

A vízgőz és az aeroszol sugárzasmódosító hatásának abszolút értékeit a Mezokálajú Légköri Sugárzási Kód (Mesoscale Atmospheric Global Irradiance Code, MAGIC) alapján határoztuk meg, kiválasztva és felhasználva a derült napok napi bontású, megfigyelt globálsugárzás adatait is. A modellt felhőmentes esetben első alkalommal a KINEE/MPI/Aerocom aeroszol és ERA-INTERIM vízgőz adatokkal futattuk le. Ezt követően rendre elhagytuk a fenti két paraméter egyikét annak érdekében, hogy felső becslésként számszerűsíthessük a megmaradó változó hatását a globálsugárzás időbeli változására.

2. Eredmények

Tézis 1

Rendelkezünk a globálsugárzás megfigyelt értékeiből számított megváltozás irányával és mértékével az 1975 és 2006 közötti, monoton melegedő időszakban 66 európai állomáson. Az így megállapított, lineáris együtthatók az állomások nagyobb hányadában pozitívak, azaz a melegedési tendenciával együtt a globálsugárzás növekedésére utalóak, különösen a szignifikáns együtthatók esetében, ahol az állomások 35%-a mutat növekedést, 11%-a pedig csökkenést. Ha csak a szignifikáns együtthatókat mutató állomásokat vesszük, akkor az éves átlagos relatív változás 1,23%/évtized ($1,74 \pm 0,30 \text{ W/m}^2/\text{évtized}$), ha a nem szignifikáns változásokat is bevonjuk, akkor csak 0,7 %/évtized ($1,00 \pm 0,29 \text{ W/m}^2/\text{évtized}$).

Tézis 2

A szignifikáns kapcsolatot mutató állomások térbeli elrendeződése – az évszaktól is függő – térbeli csoportokba rendeződik. A globálsugárzás átlagértékei szerinti klaszteranalízis eredménye – amely nagyjából zonális képet mutat, négy elkülönülő osztállyal – egyszersmind jól elkülöníti ezeket az együtthatókat is. A legnagyobb százalékban szignifikáns változást mutató állomások (több, mint 60%) két csoportja a kontinens középső és délkeleti, valamint déli sávjában található, első esetében pozitív, a második esetében viszont negatív változásokkal a globálsugárzásban. A középső és északkeleti

sáv mintegy 33%-ban mutat pozitív változásokat, míg az északi részen található állomások esetében, kisebb részarányban, de jelentős globálsugárzás csökkenés tapasztalható. A kontinens központi részén a globálsugárzás évtizedenkénti változása $+4,35 \pm 0,31$ (délkelet), illetve $+1,98 \pm 0,27$ (északkelet) Wm^{-2} , míg a déli és északi sávokban negatív változásokat tapasztalunk, rendre $-3,61 \pm 0,37$ és $-2,37 \pm 0,22$ Wm^{-2} értékekkel. E sugárzásbeli változások, a sokéves átlagérték relatív hányadában, rendre 3;0 1,6; -2,0 és -2,7 %/évtized.

Tézis 3

A tapasztalt trendek mozaikos jellegét négyféle eljárással is megkíséreltük kiküszöbölni, illetve megmagyarázni. Ezek közül az első lépés, a nem lineáris (polinomiális) kapcsolatok keresése nem vezetett eredményre, mert a másod- és harmadfokú polinomok illesztése egyetlen régióban sem adott szignifikánsan jobb illeszkedést a lineárisnál.

Tézis 4

Az együttthatók mozaikossága leginkább a felhőzet hasonlóan nem egységes időbeli alakulásával magyarázható. A globálsugárzás és a felhőzet havonkénti értékei között a korreláció az állomások 80 (június) – 100 (február) százalékában szignifikáns. E korrelációs együtttható a 12 hónap értékeinek átlagában 0,61 volt. Az évközi változékonyság időskáláján ugyanakkor az állomások csak 60%-ánál jelenik meg a fizikai kapcsolatnak megfelelő, ellentétes előjelű kapcsolat a globálsugárzás és felhőzet sokéves változásában.

Tézis 5

Az adathibák vizsgálatánál a globálsugárzás felszíni megfigyeléseit összevetettük egy rövidebb, 1983-2005 között rendelkezésre álló műholdas becslés adatmezőivel, amelyekből elsőként pontszerű becsléseket származtattunk. A megfigyelések az év túlnyomó részében jól egyeztek, eltérések elsősorban a november-decemberi hónapokban tapasztalhatóak, melyek a műholdas adatszámítás pontatlanságaira (pl. a hótakaró nyomon követésének hiánya) utalnak. A felszínről megfigyelt felhőzet hasonló összevetése a műholdas becslésekkel még egyértelműbben igazolta a műholdas adatok szisztematikus hibáját, vagyis ebben az esetben a műholdas mérésekből származtatott adatok erősen torzítják a kis értékeket „felfelé”, a nagyokat pedig „lefelé”.

Tézis 6

Az adatellenőrzés következő lépése a MASH homogenizálási eljárás alkalmazása volt. Az egymástól függetlenül, a fizikailag irreális töréspontoktól megszűrt, vagyis homogenizált globálsugárzás és felhőzet

adatsorok között több esetben és magasabb szignifikanciájú kapcsolatot nyertünk az egyes állomásokon és hónapokban, mint a homogenizálatlan adatok esetében. Mindkét mennyiség egymástól független homogenizálása a nyers adatok közötti 0,61 értékű korrelációját átlagosan 0,70-re javította. A nyers és a homogenizált globálsugárzás adatsorok között az egyes hónapokban 0,94-0,98 közötti, szoros korreláció tapasztalható. A vizuális felhőzet inhomogenitásai nagyobbak voltak, bár a nyers és a korrigált adatok korrelációja itt is 0,89-0,94 között alakult.

A homogenizálás, mint korrekció ugyanakkor nem befolyásolta számottevően a felhőzet és globálsugárzás közötti kapcsolat regressziós együtthatóit, így azok területi eltéréseit sem.

Tézis 7

A globálsugárzás változásában tapasztal területi különbségek vizsgálata érdekében egy sugárzásátviteli modell és az ERA-INTERIM objektív reanalízis adatmezők kombinálásával számszerűsítettük a kihullható vízgőzmennyiség és az aeroszol koncentrációk lassú változásainak hatását a sugárzási mérlegre az 1983-2005 közötti időszakban. E számításokból kitűnt, hogy a kihullható vízgőzmennyiség évtizedes tendenciáinak hatása a felhőmentes globálsugárzásra az állomások átlagában $\pm 0,2 \text{ Wm}^{-2}$ között ingadozik az év egyes hónapjaiban, ami legalább egy nagyságrenddel kisebb a globálsugárzás fentebb ismert trendjeinél. Az aeroszol koncentráció változásainak hatása – ugyancsak derült légkörben, felső becslésként – az állomások átlagában évtizedenként $+1,0$ és $-1,5 \text{ Wm}^{-2}$ között alakul az egyes hónapokban.

Tézis 8

Az aeroszol sugárzási hatásának vizsgálata alapján megállapítottuk, hogy az aeroszol okozta sugárzási hatás trendszerű változása felhőmentes esetben $+0,61 \text{ W/m}^2/\text{évtized}$, ami összemérhető a felhőzetváltozások okozta sugárzási hatás nagyságához ($+1,6 \text{ W/m}^2/\text{évtized}$). A területi megoszlását vizsgálva megállapítható, hogy az aeroszol változások a globálsugárzáshoz hasonlóan mozaikos jelelűek. Természetesen, valós felhőzeti viszonyok között az aeroszol koncentráció időbeli változásainak hatása kisebb, különösen az északi, borultabb területeken, de e hatás összemérhető volta a felhőzet trendszerű változásaival valós viszonyokra is megállapítható.

Tézis 9

A globális klímamodellek globálsugárzás becsléseit szembesítve azzal a megoldással, hogy a modellek szerint várható felhőzetváltozást szorozzuk a globálsugárzás és a felhőzet közötti, múltbeli regressziós együtthatóval, azt tapasztaltuk, hogy az utóbbi kombináció koherens, kisebb bizonytalanságú (kisebb szórású) eredményeket ad, mint maguknak a

modelleknek a globálsugárzás prognózisa. Mindez alátámasztja az empirikus kapcsolatvizsgálat ilyen jellegű, prognosztikai célú felhasználását is.

Tézis 10

A felhőzetváltozások mennyiségi prognózisa segítségével előrejeleztük, hogy milyen előjelű és nagyságrendű változások várhatók az európai globálsugárzás adatsorokban az 2050-2075 időszakra, ha a felhőzetben a globális klímamodellek prognózisa szerinti változás lép fel. Az eredmény Európa középső részein, így a Kárpát-medencében is, valószínűleg jelentős sugárzásnövekedés, míg az északi és déli területeken kisebb változás, illetve sugárzás csökkenés.

3. Összegzés

A disszertációban a globálsugárzás sokéves változásának vizsgálata során sikerült az irodalomban leírt tendenciák jellegét igazolni Európában egy szélesebb adatbázis felhasználásával. Ugyanakkor a részletes vizsgálat eredményeképpen a globálsugárzás változásának jelentős területi sajátosságaira derült fény. A mozaikszerű térbeli elrendeződés vizsgálata érdekében az adatok minőségi ellenőrzése, valamint a sugárzási folyamatokat jelentősen befolyásoló légköri paraméterek sugárzás módosító hatásának számszerűsítésére került sor. Megállapítható, hogy a globálsugárzás jövőbeni alakulását a felhőzet, valamint nagyságrendben megegyező mértékben az aeroszol koncentráció vezérli. A különböző globális klímamodellek előrejelzéseinek jelenleg tapasztalt nagy szórása az empirikus kapcsolatok beépítésével javítható.

4. Felhasználhatóság

Számítási eredményeink közvetlenül felhasználhatóak a napenergia aktív és passzív felhasználására alapozott stratégiák kialakításában éppúgy, mint a mezőgazdaság lehetőségeit taglaló előrejelzésekben.

Az empirikus és modellezési eljárásaink nyilvánvalóan más térségekre is alkalmazhatók, hiszen azokban semmilyen, csak Európában létező információt nem kellett felhasználnunk. A későbbiekben javasoljuk a sugárzásmérő állomások számának növelését elsősorban az észak- és északkelet-európai térségekben, ahol a legnagyobbak a változások, és ahol leginkább igaz, hogy a besugárzás lehet a zöldség fő korlátozó tényezője.

Ajánljuk továbbá az eredményeinket a Közép- és Dél-Európában élők figyelmébe, ahol a levegőminőségi mutatókhoz is szorosan kapcsolódó globálsugárzás változás burkoltan (gyakran figyelmen kívül hagyott módon) hozzájárul a már így is száraz természeti környezet vízvesztéséhez illetve a nyári humán komfort további romlásához.

1. Objectives and methodology

1.1 Justification of the topic

The spatial and temporal distribution of surface solar radiation can be considered not only the main factor of the environmental physical processes, but also as the main aspect of the subsistence and evaluation of life as well. In the same time all of our society's recourses are exploiting from our environment, thus the variation in global radiation is highly related to the development of the society. In this way the characteristics and variations of solar radiation related processes in the Earth system has social and economical impacts as well. However we can affirm that the observed changes in the composition of the atmosphere strongly connected to climate change are influencing the all component of the atmosphere including the global radiation flux.

1.2 Objectives

The main objectives of the thesis are the following: (i) to determine the detected multiannual variations of global radiation over Europe, (ii) to investigate the reasons of the mosaic patterns characterizing the spatial distribution of the trends in global radiation using statistical and radiation transfer model approaches, and finally (iii) to elaborate climate projections regarding global radiation based on empirical relations between global radiation and cloudiness including also the tendencies given by the global climate models also.

As the first step of our study the linear trends in global radiation are determined over Europe for the monotone warming period of 1975-2006. The first object of the thesis has been fulfilled this way.

In the second part of the thesis the interpretation of the patterns detected in the trends of global radiation is given in four discussion sections. Firstly the non-linearity of trends in global radiation is investigated, and then the variations in cloudiness considered as the main factor in global radiation changes are compared to the results of the first part. As the following step the data quality is checked including independent data homogenization processes in the case of both global radiation and cloudiness data. The fourth part of discussion deals with trend analyses of the water vapour and aerosol content induced radiation effects.

The last part of the study is related to the third objective of the thesis, namely to elaborate future projections of global radiation. In this part the statistical relationships between homogenized global radiation and cloudiness data are combined with global climate model outputs in order to establish coherent future global radiation projections available for different regions of Europe.

1.3 Data and methods

Solar radiation transfer related processes requiring various type of data. For this reason in the thesis different databases have been analysed. Surface-based and satellite derived global radiation data, and visual and satellite derived cloudiness data have been processed as well. Observations regarding water vapour and aerosol content have been used the same time.

The monthly and daily data of ground-based global radiation data are available from the World Radiation Data Center (WRDC) representing the European continent by 66 stations for the period of 1975-2006. The quality control of these data was elaborated for the period of 1983-2005 by comparing them to satellite derived global radiation data coming from the EUMETSAT The Satellite Application Facility on Climate Monitoring (CMSAF) including MVIRI/METEOSAT SIS dataset products with a spatial resolution of 0,03x0,03 degrees.

The synoptic visual cloudiness data is available from the CDIAC international database, namely from the Cloud Climatology for Land Stations Worldwide. In this study the monthly averaged total cloudiness data have been used. In the case of stochastic analyses 50 stations represents the continent having available data for global radiation as well for the period of 1975-2006. Satellite derived cloud fraction dataset products from the CMSAF polar orbiting AVHRR measurements have been used in data quality control also.

The aerosol measurements available from the NASA EOS-AURA OMI (Ozone Monitoring Instrument) project including aerosol optical thickness data at 500 nm (AOT_{500}) data. This data are derived from the near UV spectral band measurements of Nimbus 7 and Earth Probe satellites with a spatial resolution of 1x1 degrees. The monthly data represents the period of 1980-2001.

The quantification of radiative effect induced by atmospheric water vapor content is elaborated using direct and indirect methods. In this calculations the vertical integrated water vapor and downward clear sky short way radiation data are applied using the ERA-INTERIM reanalysis hosted by European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF).

In order to elaborate analyses regarding global radiation multiannual changes two statistical methods and a deterministic model were applied. The main statistical method consists in simple linear regression model including the b (slope) coefficient estimation. This model is applied in linear trend analyses where the global radiation is denoted as dependent variable and the time considering the independent variable. In each case of trend analyses the hypothesis test of β (equal to 0) was elaborated at 95% significance level. Linear regression model is also used in stochastic analyses estimating the statistical relationship between global radiation and cloudiness. In this case the fitting of the regression model was tested by the normality and

autocorrelation of the residuum. Second and third order polynomial regressions have also been applied in order to check the non-linearity of the global radiation trends. In this case the results from linear and non-linear approaches were compared by F-test at 95% probability level.

Regional patterns in global radiation multiannual variability have been analyzed in clusters determined by K-mean method.

The quantification of the radiation effect in the case of water vapor and aerosols have been elaborated using the Mesoscale Atmospheric Global Irradiance Code (MAGIC). In the first run the global radiation values have been determined in clear sky condition including KINEE/MPI/Aerocom aerosol and ERA-INTERIM integrated water vapor climatologies. The analyzed parameter was ignored in order to quantify its radiative effect in the next run.

2. Results

Thesis 1

The sign and magnitude of multiannual changes in global radiation have been determined for 66 European stations for the period of 1975-2006 showing continuous warming tendencies. Linear trends of ground-based WRDC global radiation data show overall positive changes parallel with increase in temperature over Europe. This increase in global radiation is more accentuated if the statistically significant cases are taken into account only. 35% of the stations show significant positive changes and 11% of the stations indicate negative trends. There is a difference in the magnitude of the global radiation change in the case of significant cases, and if we consider all changes including stations with non significant trends as well. In the first case the relative decadal annual change in global radiation is 1.23% ($1.74 \pm 0.30 \text{ W/m}^2$), in the second case these changes are smaller, 0.7% ($1.00 \pm 0.29 \text{ W/m}^2$).

Thesis 2

It has been argued that the spatial distribution of the trends detected in global radiation has a variation over the seasons and can be grouped in regions also. Based on multiannual global radiation averages 4 solar regions have been delimited in Europe using k-mean method. These regions show strong zonality, and are denoting different magnitude in global radiation changes as well. Groups with highest relative number of stations show significant trends (more than 60%) is located in the centre/southeastern part and the southern part of the continent, first one shows a positive, second one a negative significant change in solar radiation. 33% of the stations in the center/northeastern part of the continent show positive changes in global radiation, while a decrease in global radiation is detected in the northern part of the continent. Taking into account the magnitudes of the changes, the

positive decadal changes of the central part of the continent are $+4.35 \pm 0.31 \text{ Wm}^{-2}$ (southeastern) and 1.98 ± 0.27 (northeastern) Wm^{-2} . Negative changes are detected in the southern and northern part of the continent, with values of -3.61 ± 0.37 and $-2.37 \pm 0.22 \text{ Wm}^{-2}$ /decade respectively.

The magnitudes of relative changes in global radiation (compared to the multiannual averages) are 3.0; 1.64; -2.05 and -2.73%/decade, respectively.

Thesis 3

The mosaic-like spatial distribution of global radiation trends is argued in four discussions. The first one deals with the non-linearity of the trends. However the nonlinear approaches, namely the second and third order polynomial estimations do not give better fittings than the linear one in none of the regions.

Thesis 4

The mosaic-like distribution of global radiation changes can be explained mainly by the similar mosaic-like multiannual variation of cloudiness. In June the 80% of the stations show significant correlation between monthly global radiation and cloudiness data at 95% probability, in the case of February this value is 100%. In the case of the annual data the correlation coefficient is 0.61, also significant at 95% probability. In the same time the simultaneous annual variability of global radiation and cloudiness with opposite sign is indicated only in the 60% of the cases.

Thesis 5

The quality control of ground-base data is elaborated firstly by comparing them with point-wise extracted values of satellite-derived global radiation products for the period of 1983-2005. The two databases show good fitting in monthly data, the differences found in November and December have been originated from systematic errors of satellite retrieving (eg. the presence of snow surfaces). The verification of visual cloudiness data with satellite derived cloud fraction products yields similar results, the satellite derived data containing systematic errors in this case as well has large biases in the cases of lower and upper values.

Thesis 6

The second approach of data quality control consists in the MASH homogenization process. Both the global radiation and cloudiness data has been independently homogenized. As the consequence of the method eliminating the physically irrelevant break points from the datasets, the homogenised dataset indicate more and stronger significant relationships between global radiation and cloudiness data. Thus the correlation coefficient of 0.61 relating rough annual data is enhanced to 0.70 in the case of

homogenized ones. The differences between rough and homogenised data quantified also by correlation coefficients show good agreements. In the case of global radiation data these values vary between 0.94 -0.98 in monthly data, the correlations between monthly rough and homogenized cloudiness data indicate more inhomogeneities in rough data, but are still high enough, 0.89-0.94. Considering strong correlation between homogenized global radiation and cloudiness data the regression coefficient do not explain considerably the spatial distribution of trends with different signs.

Thesis 7

In order to elaborate further analyzes of the spatial patterns presented in global radiation trends the radiative effect induced by water vapour and aerosols have been quantified for the period of 1983-2005 combining radiative transfer model outputs with ERA INTERIM reanalyses data fields. It can be argued that the radiative effect of water vapour on clear sky global radiation exhibits $\pm 0,18 \text{ Wm}^{-2}$ being smaller by an order of magnitude from the changes detected in global radiation. The radiative effect induced by aerosols also in the case of clear sky global radiation is varying between +1.0 and -1.5 Wm^{-2} over Europe.

Thesis 8

The multiannual variation of aerosol radiation effect in clear sky situation is considered to have the same order of magnitude ($-0.13 \text{ W/m}^2/\text{decade}$) as the radiation effect induced by the cloudiness (-1.2 W/m^2 with 1% cloudiness changes). Regarding the spatial distribution of aerosol radiation trends can affirm that this shows a similar mosaic-like pattern as in the case of global radiation trends. Certainly, the multiannual changes of aerosol concentrations has less effect on radiation in all sky situations, mainly in the northern part of the continent showing remarkable cloud amounts. However these changes can be estimated based on cloudiness trends because of the correspondence in magnitudes in the case of the two radiation effect (namely of the clouds and of the aerosols).

Thesis 9

Regarding the future projection of global radiation changes the downward shortwave radiation outputs of global climate models have been compared with estimations elaborated by combining modeled cloudiness changes with the regression coefficient empirically determined between global radiation and cloudiness. The new approach is able to estimate global radiation changes in more coherent way as the global climate models do with own built-in parameterizations.

Thesis 10

Projections of global radiation (including sign and magnitude) for the period of 2050-2075 are elaborated for different regions of Europe, taking into account the cloudiness changes estimated by the global climate models. The results show an overall increase in global radiation in the center part of Europe including Carpatian Basin. In the northern and southern parts of the continent these changes are more balanced, even with slight negative signs.

3. Summary

In the thesis the multiannual variations in global radiation over Europe acknowledged in the literature have been justified based on a larger database. Detailed analyses of global radiation trends from a considerably local aspect in their spatial distribution patterns have been elaborated. In order to explain the spatial patterns detected in global radiation trends data quality control and the quantification of radiation effect in the case of all radiation related atmospheric parameters have been elaborated.

It can be argued that the multiannual variation of global radiation is controlled mainly by the changes of cloudiness and by the changes of aerosol concentration, the latter one denoting same magnitude of radiative effect as cloudiness.

The large interval of uncertainty in the case of global climate models regarding global radiation projections can be enhanced by incorporating empirical relationships.

4. Applicability

The outputs of the thesis can be applied directly in projecting and dimensioning photovoltaic, thermosolar or passive solar energy applications. In the same time the long-term changes in available surface radiation is considered as a main factor of the future projections in agrometeorology.

The methods applied in the thesis covering empirical and deterministic approaches are adaptable for other regions of the World not including specific information only for Europe. In order to enhance the quality of such analyses we consider the necessity of establishing a denser radiation measurement network mainly in the northern and east-northern part of Europe in the future, where the changes in global radiation are significant and also the global radiation availability could become a restricted factor in biomass production.

The results of the thesis are important for central and southern part of Europe where the increase of the amount of global radiation related to the aerosol content changes can lead to a strengthening of water supply problems or even to the further deteriorations of human comfort indexes.

A szerző legfontosabb publikációi

List of relevant publications

Impakt faktoros folyóiratban/ISI cotated articels

1. BARTÓK, B., (2010), Changes in solar energy availability for south-eastern Europe with respect to global warming, Physics and Chemistry of the Earth, Impakt factor (2012) 1,110; Vol. 35, 63–69
2. BENEDEK J., M. CRISTEA, B. BARTÓK, (2013), Regional development and establishment of renewable energy clusters in North-West Region of Romania, Environmental Engineering and Management Journal, Impakt factor (2012) 1,004; Vol.12, No. 2, 237–244

Külföldi referált folyóiratban/International cotated articles

1. BARTÓK, B., Z.–F. IMECS, (2012), Verification of Statistical Cloudiness Estimations for Europe, Aerul si Apa, Componentele ale Mediului, Cluj University Press, DOAJ ISSN/EISSN: 2067743X, 289-296

Országos, magyar/román nyelvű folyóiratban/ Hungarian/Romanian articles

1. BARTÓK, B., T. BARTHA, (2012), Napenergia-hasznosítás szerepe a Hargita megye szétszórt településeinek villamos energia ellátásában, Észak-Magyarországi Stratégiai Füzetek, 92–99
2. BARTÓK, B., Z.–F. IMECS, K. TAR, (2011), Modeling radiation conditions of Hernad-valley in GIS environment, Collegium Geographicum, Vol. 8, Abel Publishing House, Cluj-Napoca, 59–65
3. BARTÓK, B., Z.–F. IMECS, (2010), Schimbări ale radiației globale în contextul schimbărilor climatice în partea nord-vestică a României (A globálsugárzás változásának vizsgálata az éghajlatváltozássa egyidőben Románia északnyugati régiójában, román nyelven), Aerul si Apa, Componentele ale Mediului, 452–461
4. BARTÓK, B., Z.–F. IMECS, J. MIKA, (2009), A különböző felhőtípusok globálsugárzást módosító hatása Románia északnyugati térségében, Collegium Geographicum Vol. 6, Kolozsvár, Ábel Kiadó, 71–80
5. BARTÓK, B., (2005), A rendelkezésre álló napenergia változásának becslése az EU-hoz újonnan csatlakozott országok területén, Műszaki Információ, Energiaellátás, energiatakarékosság világszerte, 2006/2, Budapesti Műszaki Egyetem OMIKK, 45–51

Nemzetközi konferencia kiadványában (teljes tanulmány)/ International proceedings (full paper)

1. BARTÓK, B., (2010), Changes In Different Type Of Clouds In South-Eastern Europe In Association With Climate Change, in Global Environmental Change: Challenges to Science and Society in

- Southeastern Europe, Springer Science+Business Media B,V, Dordrecht, Netherlands, Editor: Vesselin Alexandrov Martin Felix Gajdusek C, Gregory Knight Antoaneta Yotova, 65–73
2. BARTÓK, B., (2008), Changes Of Global Radiation With Respect To Global Warming In The Mediterranean Region, in Natural Environment and Culture in the Mediterranean Region, Cambridge Scholars Publishing, Newcastle upon Tyne, UK, Editor: Recep Efe, Georges Cravins, Munir Ozturk and Ibrahim Atalay, 413–425
 3. BARTÓK, B., J. MIKA, Z.–F. IMECS, K. TAR, (2012), Spatial distribution of cloudiness averages and tendencies over europe, comparing visual and satellite observations, 12th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM Proceedings SGEM 2012, SGEM, 1314-2704, DOI: 10,5593/SGEM2012/S17,V4024, 2012, 419–426
 4. BARTÓK, B., L. FARA, M. A. GALBEAZA, A. DIACONU, (2012), Estimation of a BIPV system performance based on solar radiation forecast models, EUROSUN 2012, Croatian Solar Energy Association , Editor: B, Frankovic, J,-O, Dalenback, 978-953-6886-20-3, CD
 5. ANDREI, G. M., B. BARTÓK, L. FARA, (2011), Comparison Between Experimental And Simulated Results For Bipv System Efficiency, Book Of Abstracts And Proceedings Of BRETS, Bioenergy And Other Renewable Energy Technologies And Systems, Bucuresti, CD
 6. BARTÓK, B., Z.–F. IMECS, D. BARABÁS, (2011), A Görgényi-plató sugárzási viszonyainak vizsgálata térinformatikai módszerekkel, VII, Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia, Ábel Kiadó, 175–180
 7. BARTÓK, B., I. H. HOLOBACA, A. DREWS, (2008), Verification of satellite derived global radiation with ground-based measurements, Colaborari stiintifice si didactice in domeniul surselor de energii geotermale intre Universitatea din Oradea si Universitatea din Debrecen, Editura Universitatii Din Oradea, Oradea, 91–96
 8. BARTÓK, B., (2007), Spatial and temporal distribution of solar energy in the region of Hajdu, Hajdu-Bihar, 9th International Conference on Engineering of Modern Electric Systems, Editura Universităţii din Oradea, Oradea, 69-72
 9. BARTÓK, B., (2006), Solar energy estimations with respect to global warming in Romania, 6th International Conference On Renewable Source And Environmental Electro-Technologies, Editura Universităţii din Oradea, 85–90
 10. BARTÓK, B., J. MIKA, A. RIMÓCZINÉ PAÁL, V. SCHLANGER, (2005), A globálsugárzás várható változásainak becslése Európában, 4th International Conference on Application of Natural-, Technological and Economic Sciences, Berzsényi Dániel College, CD

11. MIKA, J., B. BARTÓK, G. BÁLINT, E. BORSOS, A. CSÍK, V. SCHLANGER, (2005), On variability and tendencies of precipitation and cloudiness in the Upper Danube catchment, 4th International Conference on Application of Natural, Technological and Economic Sciences, Berzsenyi Dániel College, CD

Nemzetközi konferencia kiadványban (kivonat)/

International proceedings (abstracts)

1. SANCHEZ–LORENZO, A., M. WILD, J. A. GUIJARRO, M. BRUNETTI, B. BARTÓK, S. MYSTAKIDIS, M. HAKUBA, G. MÜLLER, (2013), Reassessment and update of the trends in the surface solar radiation over Europe by means of homogenized series from the GEBA, Geophysical Research Abstracts, Vol. 15, European Geosciences Union, EGU2013-4541-1, Vienna
2. BARTÓK, B., Z. F. IMECS, J. MIKA, M. GULYÁS, A. CSÍK, (2005), Precipitation and cloud coverage tendencies in the upper Danube catchment respect to global warming, Geophysical Research Abstracts, Vol. 7,, European Geosciences Union, EGU05-A-01256, Vienna, Austria, 24–29 April 2005

Magyar konferencia kiadványában (teljes tanulmány)/

Hungarian/Romanian proceedings (full paper)

1. BARTÓK, B., Z.–F. IMECS, J. MIKA, K. TAR, (2012), A felhőzeti változások térbeli eloszlása Európában felszíni megfigyelések alapján, Magyar Földtudományi Szakemberek XI, Talakozója HUNGEO, Eszterházy Károly Főiskola Nyomdája, 267–275
2. BARTÓK, B., (2012), Napenergia potenciál területi különbségei Európában figyelembe véve a globálsugárzás rendszerű változásait, A környezettudatos települések felé, Meridián Alapítvány, Editor: Fazekas István, Szabó Valéria, 69–75

Tanulmánykötetben/ Monographies

1. BARTÓK, B., Z.–F. IMECS, (2007), A felszínre érkező napenergia területi és időbeni eloszlásának vizsgálata műholdas mérések alapján, „Kedvező széllel Kunhegyestől Debrecenig, Tiszteletkötet Dr. Tar Károly 60. születésnapjára”, Magyar Szélergia Társaság, Debrecen, 57–65

Kutatási pályázat zárójelentései/Project final reports

1. BARTÓK, B., (2012), A Hernáld-völgy globálsugárzás viszonyainak vizsgálata, A megújuló energiaforrások hasznosításának természeti, társadalmi és gazdasági lehetőségei a Hernáld-völgyben, Debreceni Egyetem Meteorológia Tanszék, Debrecen, Szerk.: Lázár István, 11–20

2. BARTÓK, B., I. H. HOLOBACA, A. DREWS, (2008), Verification of satellite derived global radiation with ground-based measurements, Colaborari stiintifice si didactice in domeniul surselor de energii geotermale intre Universitatea din Oradea si Universitatea din Debrecen, Editura Universitatii Din Oradea, Oradea, 91–96
3. MIKA, J., B. BARTÓK, G. BÁLINT, A. CSÍK, M. GULYÁS, V. SCHLANGER, (2006), Csapadéktendenciák az alpi-kárpáti térségben a globális melegedés időszakában (1974–2003), Vahava Zárókonferencia, Magyar Tudományos Akadémia