

PREDPOKLADANÉ DLHODOBÉ ZMENY GLOBÁLNEHO ŽIARENIA DO ROKU 2100 NA VYBRANÝCH STANICIACH SLOVENSKA

Ján Hrvol'

Summary:

Supposed long-term changes of global radiation at chosen stations of Slovakia to the time frame 2100

The work deals with the long-term change of the mean annual global radiation intensity at chosen lower situated stations on the territory of Slovakia to the time frame 2100. The assessment was made on the base of global radiation data of the GCM CCCM outputs in 4 grid points by means of weighted arithmetical average method for the period 1900-2100. The period 1951-2000 was used to the comparison and evaluation of dispersion characteristics of global radiation model annual values for the 2001-2100 time series. Global radiation measurements data of Bratislava, Koliba station for the period 1961-2000 were used for the working out of the annual course long-term change to the time frame 2100.

Key words: long-term change, global radiation, General Circulation Model

Úvod

Zmeny optických vlastností atmosféry podmienené najmä rastom koncentrácie radiačne aktívnych plynov v atmosfére vedú v dôsledku rastúceho skleníkového efektu k zväčšovaniu celkovej bilancie žiarenia a v konečnom dôsledku tiež k zmene radiačných charakteristík globálneho žiarenia (G) – dominantnej zložky celkovej bilancie žiarenia [1]. Globálne žiarenie je okrem faktorov, ktoré sa uplatňujú pravidelne, ako sú výška Slnka nad horizontom, poloha daného miesta, modifikované oblačnosťou, ktorej množstvo je zreteľne ovplyvňované procesmi všeobecnej cirkulácie ovzdušia. Spracovanie globálneho žiarenia na meteorologickom observatóriu v Mlyňanoch za obdobie 1970-2002 poukázalo na mierne rastúcu tendenciu ročných súm globálneho žiarenia [5]. Ako sa budú meniť ročné sumy globálneho žiarenia do roku 2100 na vybraných staniciach Slovenska, môžeme vypočítať na základe modelových výstupov modelov všeobecnej cirkulácie atmosféry – GCM.

Materiál a metodika

V práci využívame údaje z klimatického modelu GCM CCCM 2000 podľa emisného scenára IS92a vytvoreného v Kanadskom stredisku pre modelovanie a analýzy klímy vo Victorii. Ide o prepojený model 2. generácie

CCC GCM II, v ktorom atmosférická časť modelu má horizontálne rozlíšenie $3,7^\circ \times 3,7^\circ$. Pri modelovom výstupe CCCM 2000 sú k dispozícii údaje zo šiestich uzlových bodov v stredoeurópskej oblasti. Prvý uzlový bod sa nachádza v Slovinsku na východ od Ľubľany ($46,39^\circ$ N; $15,00^\circ$ E; 597 m n. m.), druhý bod je v južnom Maďarsku ($46,39^\circ$ N; $18,75^\circ$ E; 616 m n. m.), tretí bod v rumunských Karpatoch ($46,39^\circ$ N; $22,50^\circ$ E; 554 m n. m.), štvrtý bod je na východ od Prahy ($50,10^\circ$ N; $15,00^\circ$ E; 442 m n. m.), piaty v Sliezske západne od Katovic ($50,10^\circ$ N; $18,75^\circ$ E; 531 m n. m.) a šiesty v juhovýchodnom Poľsku ($50,10^\circ$ N; $22,50^\circ$ E; 566 m n. m.) [4]. Z údajov priemernej mesačnej hustoty toku globálneho žiarenia v týchto bodoch sme pre vybrané nižšie položené stanice na Slovensku, ich zoznam je v tab. 1, stanovili priemerné ročné hustoty toku globálneho žiarenia. Tieto hodnoty boli vypočítané ako vážený aritmetický priemer G z údajov štyroch najbližších uzlových bodov. Ako váhy slúžili prevrátené hodnoty vzdialeností uzlových bodov a vybranej stanice. Pri porovnaní hodnôt priemernej mesačnej hustoty toku G v jednotlivých mesiacoch roka vypočítaných z uzlových bodov a nameraných za rovnaké kontrolné obdobie zistíme, že hodnoty v uzlových bodoch sú systematicky zvýšené, resp. znížené. Výstupy GCMs je preto potrebné

upraviť a to tak ich dlhodobý priemer, ako aj variabilitu podľa dlhodobého priemeru a variability kontrolného radu. Metóda úpravy je uvedená v [3]. Všetky hodnoty z radu modelových výstupov sa vynásobia pomerom priemerov nameraného a modelového radu, potom sa vypočítajú odchýlky od dlhodobého

priemeru nového radu, ktoré sa vynásobia pomerom variačných koeficientov kontrolného a modelového radu. K takto upraveným odchýlkam sa pripočíta priemer nového radu, čím získame druhý, nový rad s rovnakým priemerom a variačným koeficientom ako má kontrolný rad.

Tab. 1 Zoznam použitých staníc

No.	Stanica	Zemepis. šírka	Zemepis. dĺžka	Nadm. výška [m]
1	Bardejov	49° 17'	21° 16'	305
2	Boľkovce (okr. Lučenec)	48° 20'	19° 44'	214
3	Bratislava-Koliba	48° 10'	17° 07'	286
4	Čadca	49° 26'	18° 46'	423
5	Košice-letisko	48° 40'	21° 13'	230
6	Michalovce	48° 45'	21° 57'	112
7	Myjava	48° 46'	17° 35'	375
8	Nitra	48° 19'	18° 07'	173
9	Piešťany	48° 37'	17° 50'	165
10	Poprad	49° 04'	20° 15'	695
11	Rožňava	48° 39'	20° 32'	289

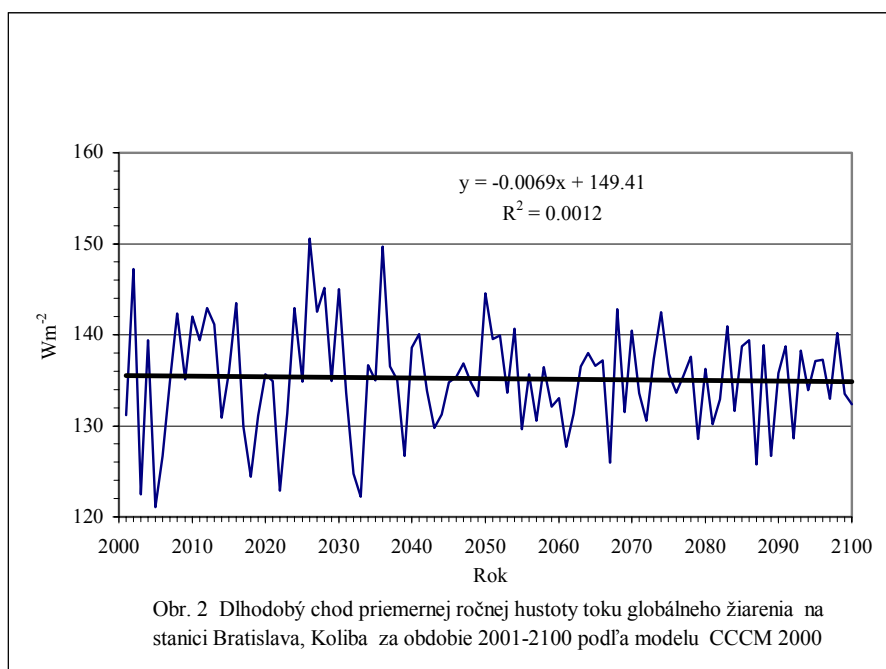
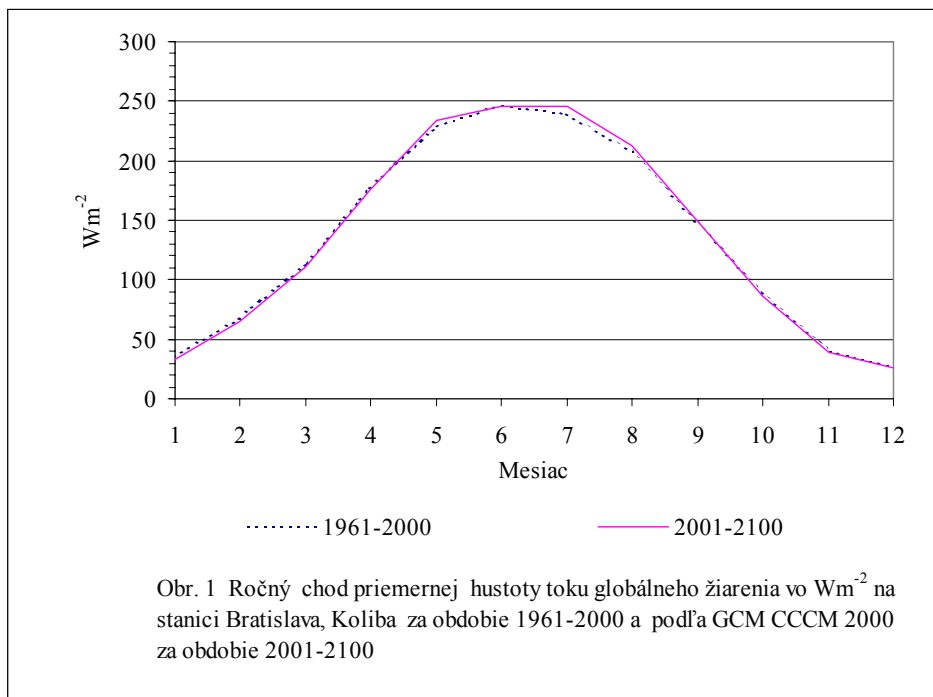
Výsledky a diskusia

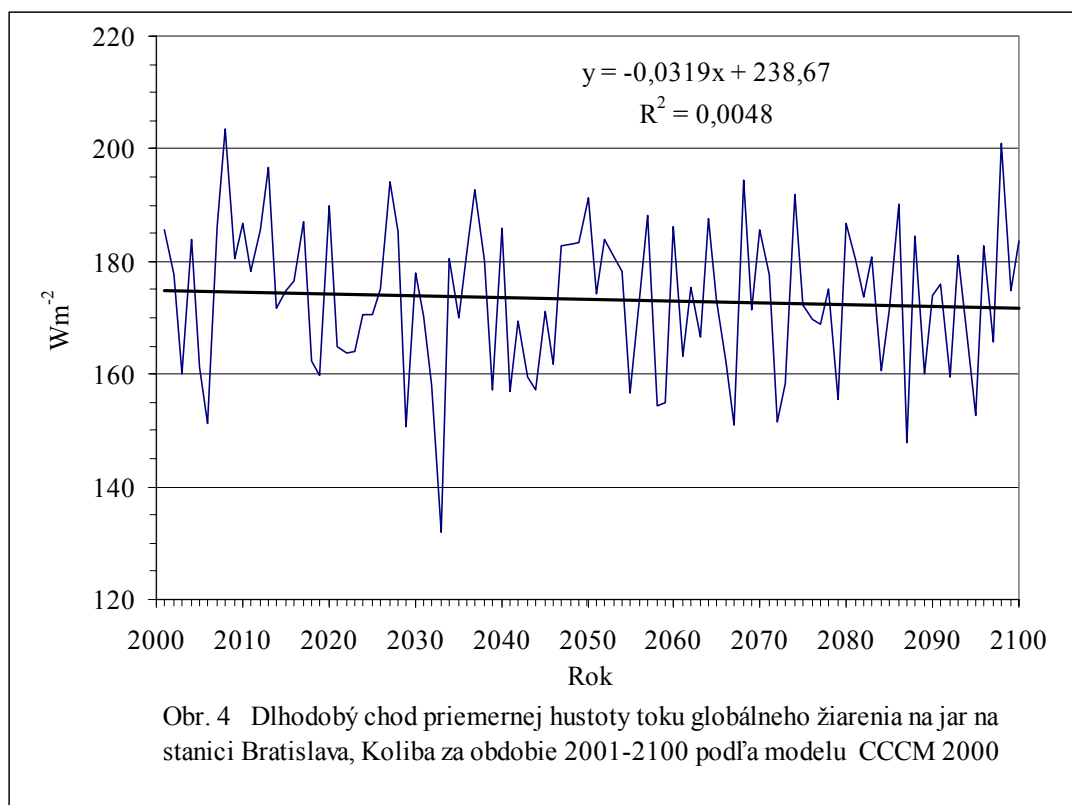
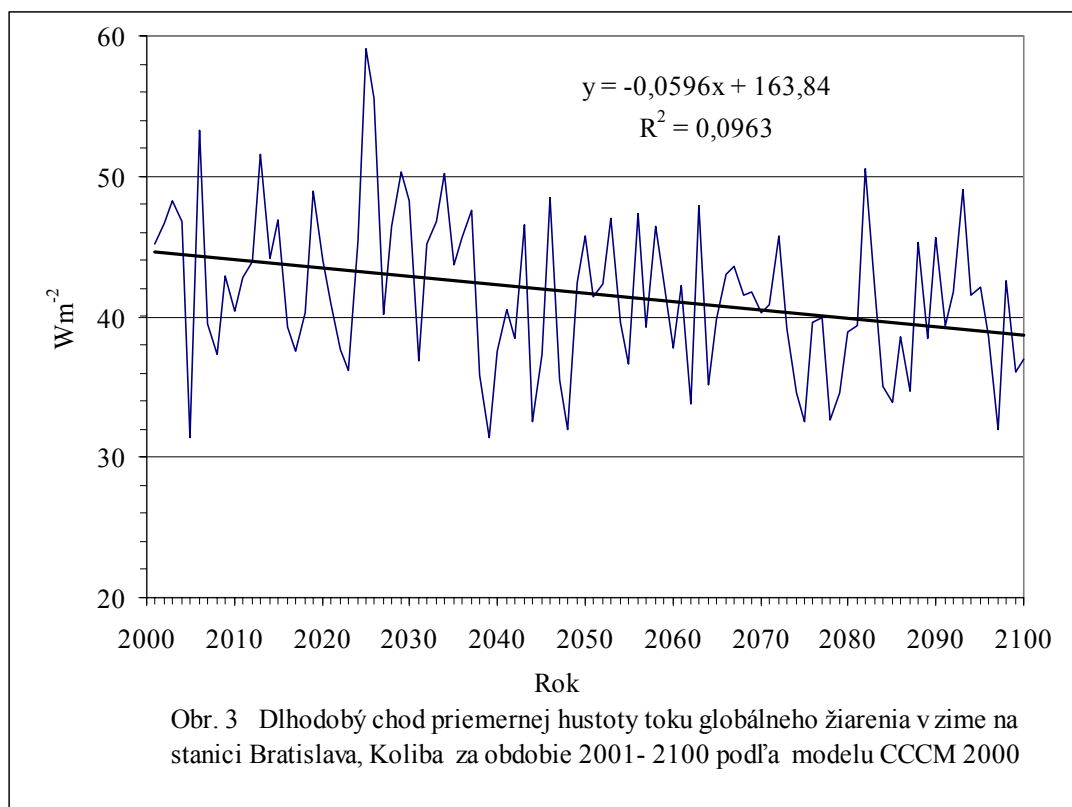
K porovnaniu modelových výstupov priemernej hustoty toku globálneho žiarenia G s nameranými hodnotami sme využili merania na stanici Bratislava, Koliba za obdobie 1961-2000. Ročný chod priemernej hustoty toku globálneho žiarenia na tejto stanici za obdobie 1961-2000, ako aj modifikované údaje modelového výstupu CCCM 2000 za obdobie 2001-2100 prináša obr. 1. Z priebehu oboch kriviek zistujeme pomerne dobrú zhodu v ročnom chode globálneho žiarenia za obidve obdobia. Maximum priemernej mesačnej hustoty toku globálneho žiarenia pripadlo za obidve obdobia na jún a minimum na december, t.j. mesiace s najväčšou a najmenšou poludňajšou výškou Slnka. V dlhodobom chode priemernej ročnej hustoty toku globálneho žiarenia – obr. 2 lineárny trend nevykazoval väčšiu zmenu. Koeficient korelácie nie je štatisticky významný [6]. Maximálna priemerná ročná hustota toku G dosiahne v roku 2026 $150,9 \text{ Wm}^{-2}$ a minimálna v roku 2005 $121,2 \text{ Wm}^{-2}$. Variačné rozpätie priemernej ročnej hustoty toku G tak bude $29,7 \text{ Wm}^{-2}$. Väčšie zmeny vykazujú trendy priemernej hustoty toku G v ročných obdobiach, a to najmä v zime – obr.

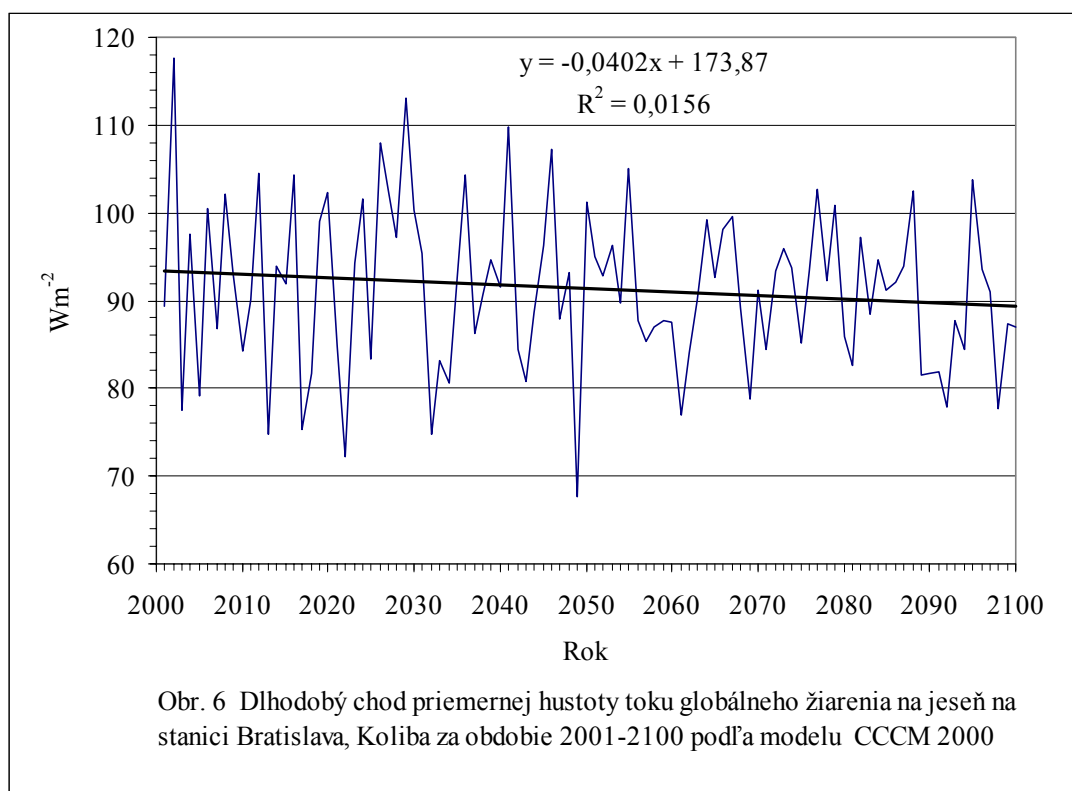
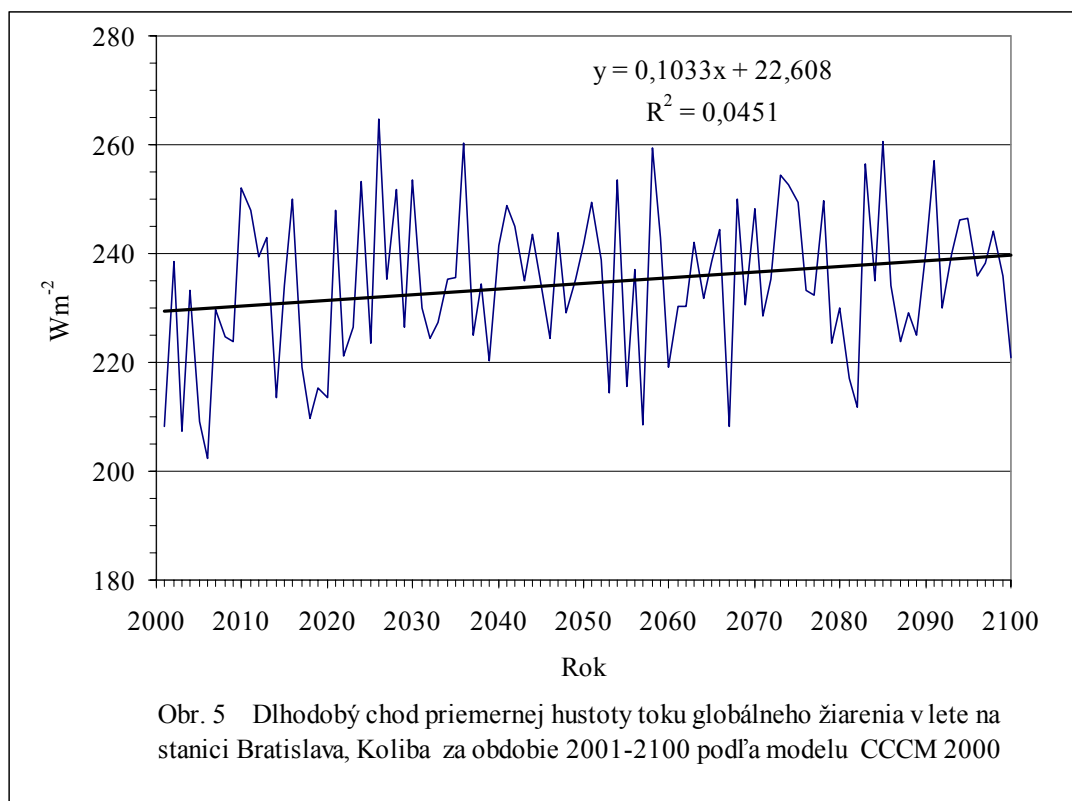
3 a v lete – obr. 5. Zmena priemernej hustoty toku na regresnej priamke dosahuje v zime $-6,0 \text{ Wm}^{-2}$ (smernica je záporná) a v lete $10,4 \text{ Wm}^{-2}$ – dominuje vzostup. Na jar – obr. 4, ako aj na jeseň – obr. 6 je tendencia priemernej hustoty toku G klesajúca. Lineárna korelácia na jar nie je však tak štatisticky významná (pravdepodobnosť je menšia ako 0,95). Za 100 rokov sa hodnoty na trendovej priamke na jar zmenšia o $3,2 \text{ Wm}^{-2}$ a na jeseň o $4,0 \text{ Wm}^{-2}$. Vybrané štatistické charakteristiky mesačných, sezónnych a ročných priemerov hustoty toku G za obdobie 2001-2100, ako sú priemer, smerodajná odchýlka, maximum, minimum s rokmi výskytu, variačné rozpätie, variačný koeficient, medián, dolný a horný kvartil udáva pre stanicu Bratislava, Koliba tab. 2. Vzhľadom na skutočnosť, že na území Slovenska je málo staníc s dlhším radom meraní globálneho žiarenia, ktorý by bol vhodný ako kontrolný rad, využili sme pre stanovenie dlhodobých zmien ročných priemerov hustoty toku G do roku 2100 modelové výpočty G za obdobie 1951-2000 [2]. Výpočet bol urobený okrem stanice Poprad pre stanice s menšou nadmorskou výškou, ako bola nadmorská výška územia, na ktorú sa vzťahovali uzlové body. V tab. 3

uvádzame získané štatistické charakteristiky ročných priemerov hustoty toku G pre stanice Bardejov, Boľkovce, Čadca, Košice, Michalovce a v tab. 4 pre stanice Myjava, Nitra, Piešťany, Poprad a Rožňava. Výsledky ukazujú, že najväčší ročný priemer dosiahne hustota toku G na všetkých spracovaných staniaciach v desaťročí 2021-2030. V

porovnaní s dlhodobým priemerom 1951-2000 dosiahne zväčšenie hustoty toku G v uvedenom desaťročí na väčšine staníc okolo 3 %, zmenšenie v desaťročí 2081-2090 nepresiahne 2 %. Nárast priemernej ročnej hustoty toku globálneho žiarenia G za obdobie 2001-2100 však neprevýši 1 % dlhodobého priemeru za obdobie 1951-2000 – tab. 5.







Tab. 2 Priemerná hustota toku globálneho žiarenia v jednotlivých mesiacoch roka, ročných obdobiach a za rok vypočítaná pre obdobie 2001-2100 podľa modelu GCM CCCM 2000 a jej vybrané štatistické charakteristiky na stanici Bratislava, Koliba [Wm^{-2}]

Štatis. charak.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Priemer	33,4	65,0	110,4	175,5	234,1	245,9	245,3	212,2	149,2
Smer. odchýl.	6,2	13,0	14,8	11,5	31,6	17,1	21,3	16,2	21,0
Maximum	48,4	103,1	146,1	222,1	286,4	281,6	293,4	248,8	194,9
Rok výskytu	2067	2025	2030	2098	2057	2050	2058	2058	2002
Minimum	17,6	41,3	76,1	151,7	139,1	192,3	200,6	178,2	97,4
Rok výskytu	2087	2042	2087	2094	2033	2080	2057	2057	2022
Var. rozpätie	30,8	61,8	70,0	70,4	147,3	89,3	92,8	70,6	97,5
Var. koef. [%]	18,5	20,0	13,4	6,6	13,5	7,0	8,7	7,6	14,1
Medián	33,7	64,0	109,3	174,6	244,1	247,5	246,5	213,1	149,0
Dolný kvartil	29,3	55,7	97,9	167,3	209,3	234	229,1	199,9	133,1
Horný kvartil	37,0	71,8	122,1	182,8	258,1	258,9	259	222,6	162,8
Obdobie	Priemer								
2001-2010	35,8	65,8	119,0	175,7	238,2	234,8	232,0	202,0	149,1
2011-2020	32,1	67,3	113,4	174,1	247,2	242,4	237,3	206,1	152,0
2021-2030	34,3	74,0	115,6	173,2	226,3	252,3	251,9	217,2	156,5
2031-2040	34,7	67,9	108,8	171,5	232,3	241,3	246,1	212,8	146,9
2041-2050	34,5	63,7	108,2	177,0	229,8	248,7	250,0	215,8	150,9
2051-2060	33,4	67,5	108,0	172,0	239,3	243,8	245,4	212,3	152,1
2061-2070	36,7	56,5	111,1	178,4	229,6	246,5	246,6	213,2	143,9
2071-2080	32,4	57,3	101,1	172,4	238,7	252,1	249,4	215,3	151,9
2081-2090	29,9	67,2	108,0	177,5	231,3	244,2	244,5	211,6	144,3
2091-2100	30,7	62,4	111,3	183,4	228,2	253,2	249,8	215,6	143,9
Štatis. charak.	10	11	12	Rok	Zima	Jar	Leto	Jeseň	
Priemer	86,3	38,6	26,5	135,2	41,6	173,4	234,5	91,3	
Smer. odchýl.	15,2	9,5	7,0	5,9	5,6	13,4	14,1	9,4	
Maximum	124,6	60,0	44,6	150,5	59,1	203,4	264,8	117,6	
Rok výskytu	2036	2014	2019	2026	2025	2008	2026	2002	
Minimum	54,3	11,0	12,5	121,1	31,4	132,0	202,3	67,7	
Rok výskytu	2021	2049	2047	2005	2039	2033	2006	2049	
Var. rozpätie	70,3	49,0	32,1	29,4	27,7	71,4	62,5	49,9	
Var. koef. [%]	17,6	24,6	26,6	4,4	13,4	7,7	6,0	10,2	
Medián	84,8	37,2	26,0	135,2	41,5	174,6	235,1	91,4	
Dolný kvartil	75,0	33,3	21,5	131,3	37,7	162,2	224,7	84,7	
Horný kvartil	96,0	45,0	30,7	139,0	45,7	183,7	244,6	97,3	
Obdobie	Priemer								
2001-2010	90,9	38,4	29,2	134,2	43,2	177,6	222,9	92,8	
2011-2020	85,3	38,0	30,6	135,5	44,0	178,2	228,6	91,8	
2021-2030	89,6	41,0	30,1	138,5	46,0	171,7	240,5	95,7	
2031-2040	83,3	38,1	22,9	133,9	42,1	170,9	233,4	89,4	
2041-2050	87,4	37,0	22,4	135,4	40,0	171,6	238,2	91,7	
2051-2060	82,8	39,4	25,6	135,1	42,0	173,1	233,8	91,4	
2061-2070	88,5	37,5	29,0	134,8	40,9	173,1	235,4	90,0	
2071-2080	89,3	37,0	24,5	135,1	37,9	170,8	238,9	92,8	
2081-2090	87,1	40,4	23,0	134,1	40,4	172,3	233,4	90,6	
2091-2100	79,1	38,8	27,4	135,3	40,0	174,3	239,5	87,2	

Tab. 3 Štatistické charakteristiky ročných priemerov hustoty toku globálneho

žiarenia [Wm^{-2}] na staniaciach Bardejov, Boľkovce, Čadca, Košice a Michalovce
 za obdobie 2001-2100 podľa GCM CCCM 2000

Štatis. charak.	Bardejov	Boľkovce	Čadca	Košice	Michalovce
Priemer	129,3	144,7	125,7	139,4	145,0
Smer. odchýlka	5,0	4,3	4,3	4,6	4,9
Maximum	140,3	154,9	134,7	150,4	156,7
Rok výskytu	2027	2027	2074	2027	2027
Minimum	118,6	134,4	115,6	129,4	134,3
Rok výskytu	2092	2003	2033	2092	2092
Var. rozpätie	21,7	20,5	19,1	21,0	22,4
Var. koef. [%]	3,9	3,0	3,4	3,3	3,4
Medián	130,0	145,4	126,2	140,4	146,0
Dolný kvartil	126,3	141,8	122,6	136,1	141,4
Horný kvartil	132,8	147,5	128,7	142,3	148,2
Koef. šikmosti	-0,228	-0,251	-0,245	-0,193	-0,171
Koef. špicatosti	-0,535	-0,259	-0,464	-0,420	-0,449
Obdobie	Priemer				
2001-2010	128,0	143,6	125,0	138,2	143,6
2011-2020	129,6	145,1	126,1	139,8	145,4
2021-2030	134,1	148,7	129,1	143,8	149,7
2031-2040	129,2	143,8	125,5	138,9	144,6
2041-2050	130,7	145,5	127,1	140,4	146,1
2051-2060	128,0	143,3	125,0	138,0	143,5
2061-2070	128,7	144,6	124,8	139,1	144,7
2071-2080	130,3	145,3	126,3	140,2	145,9
2081-2090	126,5	142,6	123,5	137,0	142,4
2091-2100	128,4	144,6	124,6	139,0	144,5

Tab. 4 Štatistické charakteristiky ročných priemerov hustoty toku globálneho žiarenia [Wm^{-2}] na staniaciach Myjava, Nitra, Piešťany, Poprad a Rožňava za obdobie 2001-2100 podľa GCM CCCM 2000

Štatis. charak.	Myjava	Nitra	Piešťany	Poprad	Rožňava
Priemer	140,8	144,2	143,1	133,4	140,7
Smer. odchýlka	5,5	4,8	4,4	4,1	5,6
Maximum	153,9	155,5	153,5	142,4	153,9
Rok výskytu	2026	2026	2026	2027	2027
Minimum	124,0	129,7	129,8	124,0	127,9
Rok výskytu	2033	2033	2033	2033	2033
Var. rozpätie	29,9	25,8	23,7	18,4	26,0
Var. koef. [%]	3,9	3,3	3,1	3,1	4,0
Medián	140,8	144,3	143,3	134,1	141,8
Dolný kvartil	137,4	141,2	140,5	130,4	136,7
Horný kvartil	143,8	146,7	145,4	136,0	144,2
Koef. šikmosti	-0,186	-0,221	-0,199	-0,236	-0,216
Koef. špicatosti	0,191	0,261	0,206	-0,467	-0,391
Obdobie	Priemer				
2001-2010	140,0	143,3	142,3	132,4	139,2
2011-2020	141,4	144,7	143,6	133,7	141,2
2021-2030	144,3	147,4	146,0	137,2	146,0
2031-2040	139,0	142,4	141,6	133,0	140,0

2041-2050	141,1	144,4	143,3	134,4	141,9
2051-2060	140,2	143,5	142,5	132,2	138,9
2061-2070	140,4	144,1	142,8	132,9	140,3
2071-2080	141,4	144,7	143,6	134,0	141,5
2081-2090	139,3	142,9	141,9	131,2	137,7
2091-2100	140,5	144,2	142,9	132,8	140,2

Tab. 5 Priemerné ročné hustoty toku globálneho žiarenia G vypočítané podľa modelu GCM CCCM 2000 za obdobie 2001-2100 vo Wm^{-2} a ich rozdiel ΔG [%] vzhľadom na kontrolný rad za obdobie 1951-2000

	Stanica				
Priemer G	Bardejov	Bol'kovce	Čadca	Košice	Michalovce
2001-2100	129,3	144,7	125,7	139,4	145,0
1951-2000	128,8	143,8	125,1	138,7	144,4
ΔG [%]	0,4	0,6	0,5	0,5	0,4
	Stanica				
Priemer G	Myjava	Nitra	Piešťany	Poprad	Rožňava
2001-2100	140,8	144,2	143,1	133,4	140,7
1951-2000	139,6	143,0	142,0	132,7	139,8
ΔG [%]	0,9	0,8	0,8	0,5	0,6

Záver

Z analýzy vypočítaných ročných priemerov hustoty toku globálneho žiarenia pre 11 nižšie položených staníc (s nadmorskou výškou menšou ako 700 m, t. j. neprevyšujúcou značne nadmorskú výšku uzlových bodov) vyplýva, že desaťročie 2021-2030 sa bude vyznačovať najväčšími priemernými ročnými hodnotami globálneho žiarenia. Oproti dlhodobému priemeru za obdobie 1951-2000 budú priemerné hustoty toku G v tomto desaťročí zväčšené približne o 3-4 %.

Najmenšie priemerné ročné hustoty toku globálneho žiarenia pripadnú najčastejšie na

desaťročie 2081-2090. Pokles priemernej ročnej hustoty toku G v tomto desaťročí však neprevýši 2 % dlhodobého priemeru za obdobie 1951-2000.

Vzostupnú tendenciu hustoty toku G v rokoch 2001-2100, ako bolo stanovené z údajov stanice Bratislava, Koliba, možno z jednotlivých ročných období očakávať len v lete.

Nárast priemernej ročnej hustoty toku globálneho žiarenia za obdobie 2001-2100 neprevýši na spracovaných staniaciach 1 % hodnoty dlhodobého priemeru za obdobie 1951-2000.

Literatúra

- [1] Hrvol', J.: Model Computation of Changes of Total Radiation Balance of Active Earth Surface and Its Components by the Time Frame 2075 at Chosen Stations of Slovakia. Acta Meteorologica Universitatis Comenianae Volume XXVIII, Comenius University, Bratislava 1999, pp. 35-58.
- [2] Hrvol', J., Lapin, M., Tomlain, J.: Changes and Variability in Solar Radiation and Evapotranspiration in Slovakia in 1951-2000. Acta Meteorologica Universitatis Comenianae Volume XXX, Comenius University, Bratislava 2001, pp. 31-58.
- [3] Lapin, M., Damborská, I., Melo, M.: Modifikované GCMs scenáre časových radov teploty vzduchu a zrážok pre Slovensko. Zborník prác z medzinárodnej vedeckej konferencie Bioklimatologické pracovné dni 1999, Technická univerzita Zvolen, 1999, s. 207-214.
- [4] Melo, M.: Teplota vzduchu, atmosférické zrážky a merná vlhkosť vzduchu v Hurbanove podľa pôvodných emisných scenárov IS92a a nových emisných scenárov A2-SRES a B2-SRES. In: Šiška, B., Igaz, D. (eds.) : International Bioclimatological Workshop "Climate change - weather extremes - organisms and ecosystems" Viničky, 23.-26.8.2004. Zborník príspevkov. ISBN: 80-8069-402-8, 14 pp. na CD.

- [5] Ostrožlík, M.: Sezónne zmeny globálneho žiarenia v Mlyňanoch. Funkcia energetickej a vodnej bilancie v bioklimatických systémoch. Zborník príspevkov, SPU Nitra, 2003, ISBN 80-8069-244-0.
- [6] Rumšinskij, L. Z.: Elementy teorii verojatnostej. Izdatel'stvo Nauka, Moskva 1970, 256 s.