

**SCENÁRE VÝVOJA TEPLoty VZDUCHU A ÚHRNOV ZRÁŽOK
POĎEA MODELU CGCM 3.1 PRE ZÁHORSKÚ NÍŽINU VS. REALITA**

Justína Vitková, Jana Skalová, Miroslava Jarabíková

V tomto príspevku sme sa rozhodli vyhodnotiť reálne namerané hodnoty teploty vzduchu a úhrnu zrážok a namodelované dáta získané pomocou klimatického modelu CGCM 3.1 podľa scenárov SRES A2 a SRES B1. Výsledky sú zo Záhorskej nížiny, ktorá sa nachádza v západnej časti Slovenska. Trend vývoja teploty vzduchu počas sledovaného obdobia 1996 – 2014 je oproti prognózovaným dátam vyšší. V dlhšom časovom období rokov 1961 – 2100 je takmer totožný so scenárom SRES A2. Úhrn zrážok má v sledovanom období 1996 – 2014 rastúci trend, podobne ako scenár SRES B1, ale ročné úhrny zrážok sú nižšie ako predpokladali scenáre. Z dlhodobejšieho pohľadu je trend ročných úhrnov zrážok vyrovnaný a nižší ako predpokladali scenáre. Spätne overovanie namodelovaných scenárov jednotlivých prvkov klimatického systému nám napovie jednak o vhodnosti daného modelu pre naše podmienky, ale slúži aj na verifikáciu modelovania dát v budúcnosti.

KEJČOVÉ SLOVÁ: klimatická zmena, matematické modelovanie, klimatické scenáre, model CGCM 3.1

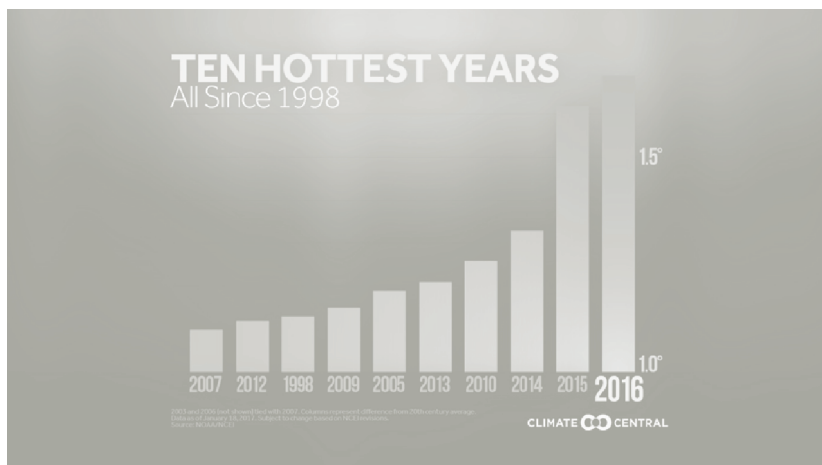
SCENARIOS OF AIR TEMPERATURE AND PRECIPITATION TOTALS USING A CGCM 3.1 MODEL AT ZAHORSKA LOWLAND VS. REALITY. In this paper, we decided to evaluate the real measurements of air temperature and precipitation total and simulated data obtained using the climate model CGCM 3.1 by emission scenarios SRES A2 and SRES B1. The results are from Zahorska lowland, which is located in the western part of Slovakia. Trend of air temperature during the period 1996 – 2014 is higher compared to the simulated data. The trend in longer scale of the years 1961 – 2100 is almost identical with the SRES A2 scenario. The precipitation total has in the period 1996 – 2014 increasing trend, similar to the SRES B1 scenario, but the annual precipitation total is lower than the assumed scenario. The trend balanced in longer scale of the years 1961 – 2100 and it is lower than scenario prognoses. Reversing verification of simulated data is important because of applicability in our conditions and also to verifying the simulated data in the future.

KEY WORDS: climate change, mathematical modelling, climate scenario, CGCM 3.1 Model

Úvod

Klimatická zmena je v posledných desaťročiach hourcou témou tak laickej ako aj odbornej verejnosti. Nie všetky extrémny počasia priamo spôsobuje klimatická zmena. Kolísanie klimatických charakteristík je prirodzený proces. Zmeny v klíme nastávajú v dôsledku vnútornej zmeny klimatického systému, ale aj vplyvom vonkajších faktorov, medzi ktoré patria prírodné faktory (slnečné žiarenie, oblačnosť, zrážky) a faktory spôsobené ľudskou činnosťou (zvyšovanie koncentrácie skleníkových plynov) v atmosfére. Priemerná globálna ako aj regionálna teplota vzduchu narástla v posledných

desaťročiach viac ako kedykoľvek predtým v histórii pozorovaní (Damborská et al., 2015). Fakt, že posledné tri najteplejšie roky na Zemi od začiatku pozorovaní v roku 1880 boli roky 2014, 2015 a 2016 a desať najteplejších rokov bolo od roku 1998 (NASA, 2017) (obr. 1) už vykazuje vysokú mieru pravdepodobnosti klimatickej zmeny. Aj na Slovensku patria posledné roky k najteplejším. V roku 2015 bolo o asi 2,0 až 2,4 °C teplejšie ako dlhodobý priemer rokov 1951 – 1980 (viac na východe SR). Rok 2015 bol tak 2. až 3. Najteplejší rok od roku 1881 (od začiatku systematických meraní v SR) po roku 2014 a 2000 (Lapin, 2016). Či už sa jedná o prirodzené zmeny v klimatickom systéme,



Obr. 1. Desať najteplejších rokov na Zemi v histórii pozorování (Zdroj: <http://www.climatecentral.org/gallery/graphics/2016-was-the-hottest-year-on-record>).

Fig. 1. Ten hottest years in the Earth during the history of instrumental measurement.

alebo sú častejšie výskyty extrémov počasia ovplyvnené aj antropogénnou činnosťou, musíme sa na ne pripraviť. Adaptácia na zmeny, ktoré klimatická zmena prináša, je dlhodobý proces. Jedným z opatrení je aj vytváranie možných scenárov, ako by sa mohli klimatické prvky v budúcnosti vyvíjať. Už v 70tych rokoch 20. storočia vznikali prvé modely, ktoré sa snažili o simuláciu klimatických procesov. S pokrokom výpočtovej techniky máme dnes k dispozícii viacero modelov, ktoré relatívne veľmi presne simulujú atmosférické procesy. Za najvhodnejšie modely na simuláciu klimatického systému sa považujú prepojené atmosféricko-oceánske modely, pričom výsledky klimatických modelov sú základom takmer pre všetky scenáre. Tie majú ale svoje nedostatky, preto sa pri vypracovaní klimatických scenárov na regionálnej úrovni odporúča aj na Slovensku používať kombináciu viacerých metód (Melo, 2005). Od roku 2007 sa na prípravu scenárov klimatickej zmeny pre Slovensko používajú štyri modely všeobecnej cirkulácie atmosféry, pričom dva z nich sú globálne (kanadský CGCM3.1 a nemecký ECHAM) a dva regionálne (holandský KNMI a nemecký MPI) (Lapin et al., 2011). Cieľom nášho príspevku bolo urobiť analýzu scenárov vývoja teploty vzduchu a úhrnu zrážok a reálne nameraných údajov. Namodelované dáta boli pripravené klimatickým modelom CGCM 3.1. podľa dvoch emisných scenárov SRES A2 (pesimistický) a SRES B1 (optimistický). Reálne namerané údaje boli z meteorologickej stanice SHMÚ Kuchyňa – Nový Dvor, ktorá sa nachádza v západnej časti Slovenska. Zamerali sme sa na obdobie rokov 1996 – 2014, ale tiež na dlhšie časové obdobie rokov 1961 – 2100.

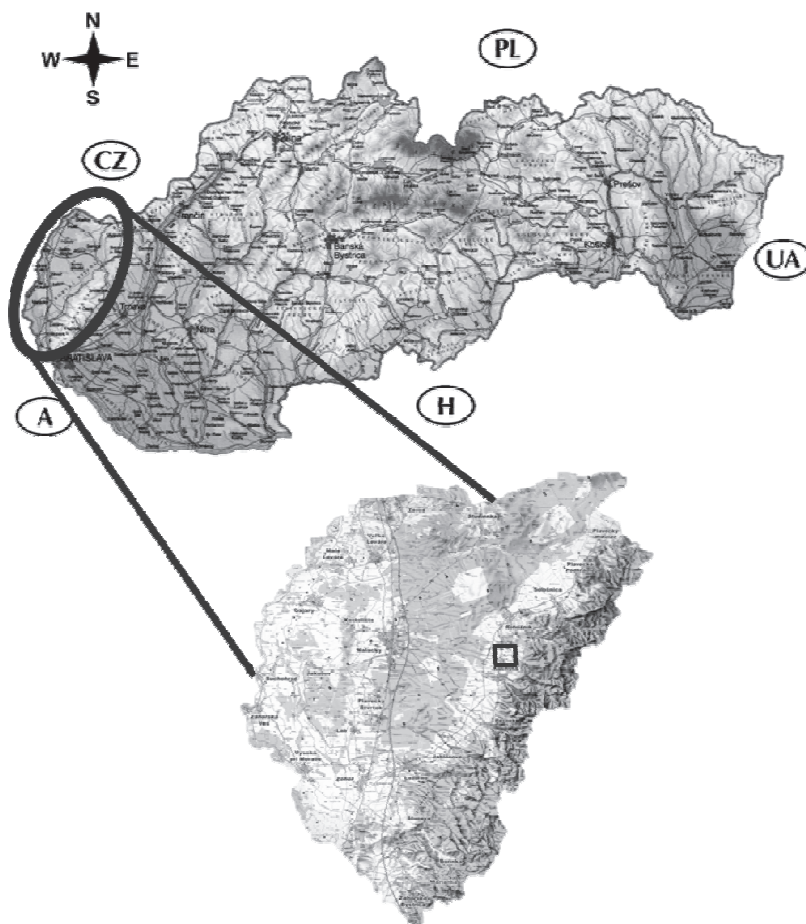
Materiál a metódy

Zmena klímy je v podmienkach Slovenska sledovaná už

niekoľko rokov. Viacerí odborníci sa snažia vykresliť dopad či už na odtokový režim (Szolgay et al., 2007), hladinu podzemnej vody (Pásztorová et al., 2012) alebo zásoby vody v pôde (Stehlová, Štekaerová, 2006). Na Záhorskej nížine bolo urobených viacero štúdií dopadu klimatickej zmeny, preto je aj tento príspevok zameraný na toto územie. Skúmaná lokalita sa nachádza v západnej časti Slovenska (obr. 2).

Pripravené scenáre vývoja teploty vzduchu a úhrnu zrážok boli namodelované klimatickým modelom CGCM 3.1. (Scinocca et al., 2008) podľa metodiky vyvinutej na Oddelení klimatológie a meteorológie Univerzity Komenského v Bratislave (Lapin, Melo, 2004; Lapin et al., 2006). Emisné scenáre sú založené na širokom rozsahu budúcich predpokladov dotýkajúcich sa ekonomických, demografických a politických faktorov. V súlade s predchádzajúcimi štúdiami a odporúčaním Medzivládneho panelu OSN pre klimatickú zmenu (IPCC) sú pre naše územie vhodné pesimistický emisný scenár SRES A2 a optimistický SRES B1 (The Special Report on Emission Scenarios, 2000). Prvý emisný scenár SRES A2 predpokladá stredne vysokú emisiu skleníkových plynov a SRES B1 stredne nízku emisiu skleníkových plynov. Do roku 2040 sú všetky scenáre SRES blízke, teda v pomerne úzkom intervale emisie skleníkových plynov (Lapin et al., 2011).

Namerané teploty vzduchu a úhrnov zrážok boli z meteorologickej stanice SHMÚ Kuchyňa – Nový Dvor (obr. 2), ktorá sa nachádza v juho-východnej časti Záhorskej nížiny na úpätí Malých Karpát. Táto stanica bola vybraná kvôli dostatočnému množstvu nameraných údajov (od roku 1961). Krátky výpadok, kedy stanica nemá vlastné údaje je z rokov 1994 – 1997, ktoré boli doplnené z meteorologickej stanice v Malackách. Tá sa nachádza v centrálnej časti Záhorskej nížiny.



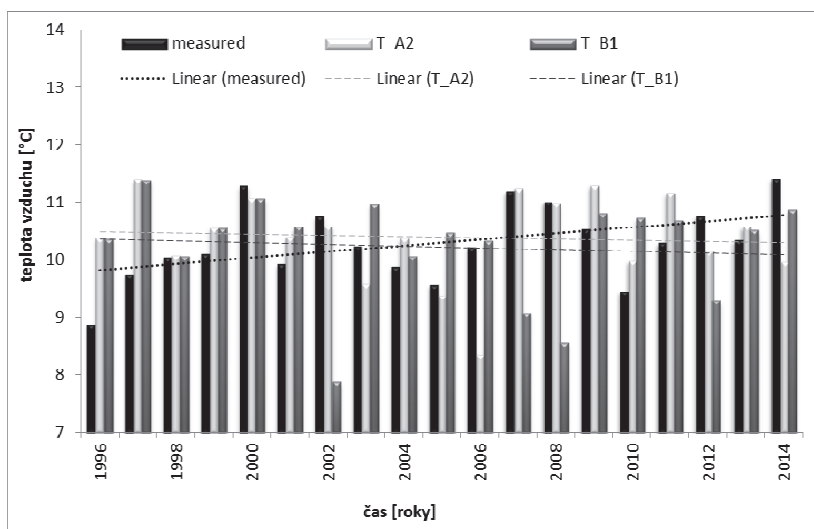
Obr. 2. Skúmané územie Záhorskej nížiny s lokalizáciou meteorologickej stanice Kuchyňa – Nový Dvor.

Fig. 2. Studied area of Záhorska lowland and localization of Kuchyňa – Novy Dvor meteorological station.

Výsledky a diskusia

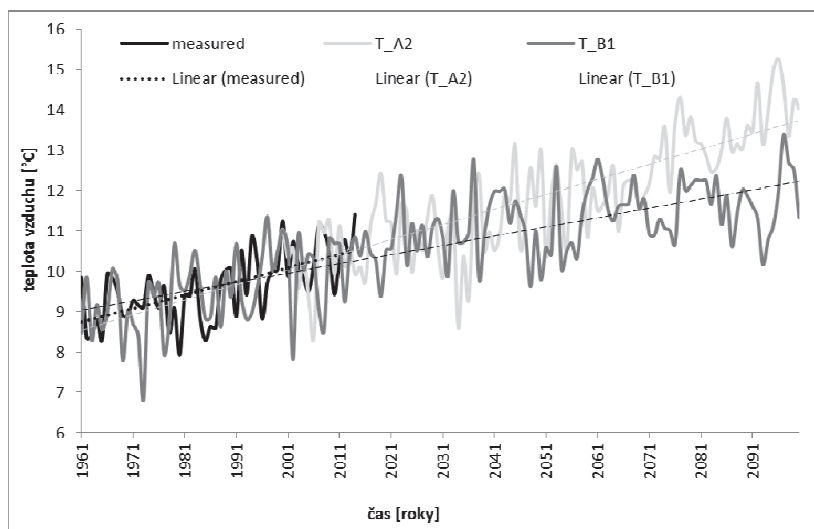
V tejto práci sme sa zamerali na analýzu nameraných a namodelovaných dát priemernej ročnej teploty vzduchu a ročných úhrnov zrážok. Namodelované scenáre vývoja týchto meteorologických parametrov boli pripravené v roku 2009, pričom referenčným radom boli údaje z obdobia 1961 – 1990. Zamerali sme sa na analýzu rokov 1996 – 2014, pretože scenáre emisie skleníkových plynov sa odlišujú až po roku 2000. Do roku 2000 (v iných modeloch aj inak, napríklad do roku 1990) ide o merané hodnoty emisií, takže sú rovnaké pre všetky scenáre daného modelu. Je dôležité podotknúť, že scenáre vývoja klimatických prvkov neslúžia ako predpoveď počasia na 100 rokov, ale sú konštrukciou klimatických pomerov v rôznych 30-ročných obdobiach, teda dlhodobých priemerov, trendu, variability a extrémov. Preto nie je vhodné porovnávať medzi sebou jednotlivé namerané a namodelované roky. Napriek tomu sme to pri niektorých grafoch vyskúšali.

Priemerná ročná teplota vzduchu na Záhorskej nížine sa podľa nameraných údajov v meteorologickej stanici Kuchyňa – Nový Dvor v období rokov 1996 – 2014 pohybovala okolo 10,3 °C. Namerané hodnoty mali rastúci trend oproti obom scenárom SRES A2 aj SRES B1, ktoré predpokladali pokles v tomto období (obr. 3). Namerané hodnoty sa viac približujú k dátam scenára SRES A2, kedy roky 2007 a 2008 boli veľmi presné. Scenáre nezachytili extrémne teplý rok 2014, ale ďalší extrémne teplý rok 2000 bol namodelovaný takmer totožne. Keďže teplota vzduchu aj úhrn zrážok boli modelované aj spätne (od roku 1961), môžeme urobiť krátku analýzu aj na obdobie rokov 1961 – 2014. Ale vzhľadom k tomu, že oba scenáre majú do roku 2000 rovnaký priebeh, rozhodli sme sa bližšie popísať dlhšie časové obdobie, a to 1961 – 2100, aj s analýzou trendu (obr. 4). Trend vývoja teploty vzduchu je, podľa nameraných údajov od roku 1961, rastúci. Obdobne to vykresľujú aj oba scenáre, ale zdá sa, že realita sa viac približuje k pesimistickému scenáru SRES A2.



Obr. 3. Priemerné ročné teploty vzduchu na Záhorskej nížine namerané v meteorologickej stanici Kuchyňa – Nový Dvor (measured) a namodelované podľa scenára SRES A2 (T_{A2}) a SRES B1 (T_{B1}).

Fig. 3. Average annual air temperature measured at Zahorska lowland in meteorological station Kuchyňa – Novy Dvor (measured) and simulated by scenario SRES A2 (T_{A2}) and SRES B1 (T_{B1}).



Obr. 4. Priemerné ročné teploty vzduchu na Záhorskej nížine namerané v meteorologickej stanici Kuchyňa – Nový Dvor (measured) počas rokov 1961 – 2014 a namodelované podľa scenára SRES A2 (T_{A2}) a SRES B1 (T_{B1}) počas rokov 1961 – 2100.

Fig. 4. Average annual air temperature measured at Zahorska lowland in meteorological station Kuchyňa – Novy Dvor (measured) in 1961 – 2014 and simulated by scenario SRES A2 (T_{A2}) and SRES B1 (T_{B1}) in 1961 – 2100.

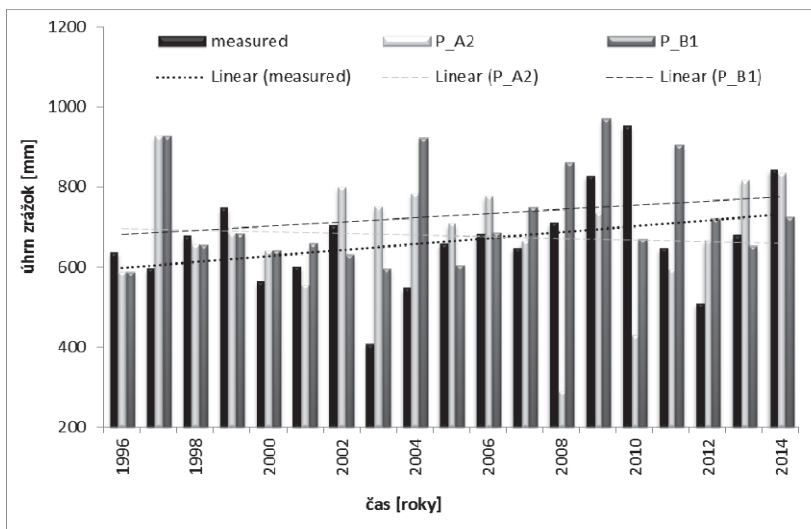
Ročný úhrn zrážok sa počas rokov 1996 – 2014 na Záhorskej nížine pohyboval okolo 665 mm. Podľa nameraných údajov má rastúci trend (obr. 5). Toto isté obdobie však scenáre vykresľovali odlišne. Kým scenár

SRES A2 predpokladal pokles, scenár SRES B1 zase nárast úhrnu zrážok. Reálnejším sa ukázal scenár SRES B1, hoci predpokladal vyššie úhrny zrážok ako boli reálne namerané.

Extrémne vlhký rok 2010 ani extrémne suchý rok 2003 sa modelu nepodarilo zachytiť, ale práve scenár SRES B1 sa vyznačoval viacerými rokmi, kedy ročný úhrn zrážok mal prevýšiť 800 mm.

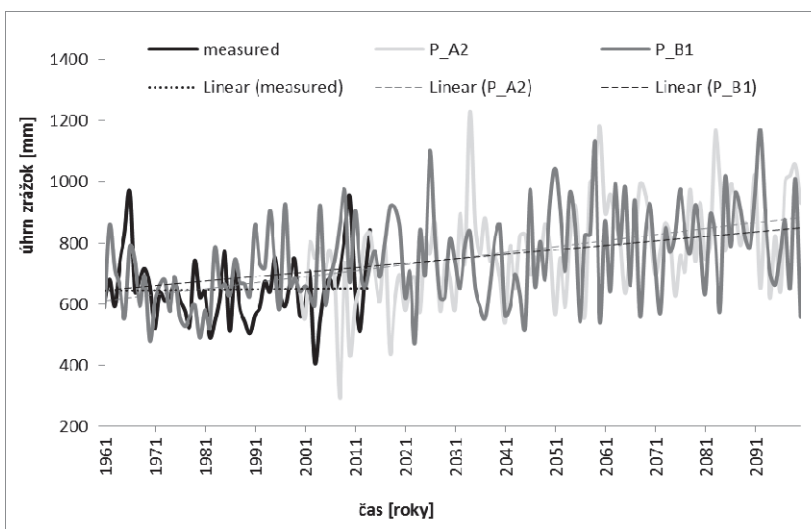
V dlhšom časovom období rokov 1961 – 2100 vidíme trend vývoja ročných úhrnov zrážok na obr. 6. Z obráz-

ka celkom jednoznačne vyplýva vyrovnaný trend, hoci oba scenáre predpokladali nárast. Treba zároveň dodať, že výrazne vlhké roky 1966 a 2010, kedy bol ročný úhrn zrážok viac ako 950 mm, ovplyvňujú tento trend. Obdobne aj najsuchší rok 2003, kedy padlo len 407 mm zrážok za rok.



Obr. 5. Ročný úhrn zrážok na Záhorskej nížine nameraný v meteorologickej stanici Kuchyňa – Nový Dvor (measured) a namodelovaný podľa scenára SRES A2 (P_A2) a SRES B1 (P_B1).

Fig. 5. Annual precipitation total at Zahorska lowland measured in meteorological station Kuchyna – Novy Dvor (measured) and simulated by scenario SRES A2 (P_A2) and SRES B1 (P_B1).



Obr. 6. Ročný úhrn zrážok na Záhorskej nížine nameraný v meteorologickej stanici Kuchyňa – Nový Dvor (measured) počas rokov 1961 – 2014 a namodelovaný podľa scenára SRES A2 (P_A2) a SRES B1 (P_B1) počas rokov 1961 – 2100.

Fig. 6. Annual precipitation total at Zahorska lowland measured in meteorological station Kuchyna – Novy Dvor (measured) in 1961 – 2014 and simulated by scenario SRES A2 (P_A2) and SRES B1 (P_B1) in 1961 – 2100.

Záver

V našej práci sa venujeme analýze nameraných údajov a namodelovaných dát vývoja teploty vzduchu a úhrnu zrážok na Záhorskej nížine. Scenáre vývoja meteorologických parametrov nie sú predpoveďou počasia na jednotlivé dni a mesiace do ďalekej budúcnosti. Sú konštrukciou klimatických pomerov v rôznych 30-ročných obdobiach. Preto sa na ne musíme dívať z hľadiska vývoja viacročného trendu. Nie je vhodné porovnávať jednotlivé roky, mesiace či dni, nakoľko tým nie je poskytnutý relevantný obraz. Naším cieľom bolo porovnať namodelované údaje podľa dvoch emisných scenárov s reálne nameranými údajmi počas 19-tich rokov. Výsledky preukázali, že teplota vzduchu sa na Záhorskej nížine od roku 1961 vyvíja podobne ako predpokladal pesimistický scenár SRES A2. Je možné sa domnievať, že použitý model a spomínaný scenár sú vhodné na toto územie a popisujú realitu. Ročný úhrn zrážok sa vyvíja inak, ako predpokladali scenáre. Je vyrovnaný, ale tento jav vzniká aj v dôsledku extrémnych úhrnov zrážok v rokoch 1966, 2010, či suchého roka 2003. V budúcnosti bude vhodné urobiť analýzu vývoja úhrnu zrážok na Záhorskej nížine pomocou iného modelu. Relevantnú analýzu je adekvátne urobiť až po 30 ročnom pozorovaní nameraných údajov. Viaceré klimatické modely sa jednoznačne zhodujú v tom, že teplota vzduchu bude v budúcnosti narastať. To sa potvrdzuje aj na Záhorskej nížine. Nie sú ale jednoznačné v tom, či zrážky budú v budúcnosti narastať alebo ubúdať. Faktom je, a to sa opäť potvrdzuje aj na Záhorskej nížine, že budú nerovnomerne rozdelené nielen počas jedného roka, ale aj počas niekoľkých rokov za sebou. Je preto nevyhnutné vykonávať opatrenia na zadržiavanie vody počas daždivých období a jej následnú distribúciu v suchších dňoch. Správny manažment nakladania s dažďovou vodou je jedným z najdôležitejších opatrení adaptácie na klimatickú zmenu.

PodĎakovanie

Tento príspevok bol vytvorený realizáciou projektu ITMS 26240120004 Centrum excelentnosti integrovanej protipovodňovej ochrany územia, na základe podpory operačného programu Výskum a vývoj financovaného z Európskeho fondu regionálneho rozvoja, a tiež s finančnou podporou z projektov Agentúry na podporu výskumu a vývoja APVV-0139-10, APVV-0512-12 a Veďeckej grantovej agentúry VEGA 2/0013/15.

Literatúra

Damborská, I., Gera, M., Melo, M., Lapin, M., Nejedlík, P.

- (2015): Changes in the daily range of the air temperature in the mountainous part of Slovakia within the possible context of global warming. *Meteorologische Zeitschrift*, Vol. 25, No. 1, 17 – 35.
- Lapin, M. (2016): Prehľad zmien teploty vzduchu a úhrnov atmosférických zrážok na slovensku v uplynulom roku. Cit. [2017-03-13]. Dostupné online: <<http://www.milanlapin.estranky.sk/clanky/aktualne-zmeny-teploty-na-slovensku/>>.
- Lapin, M. et al. (2011): Popis modelov GCMs a RCMs, metóda štatistického downscalingu do meteorologických staníc pre doktorandov Katedra vodného hospodárstva krajiny, Stavebná fakulta Slovenskej Technickej Univerzity. Bratislava: Fakulta matematiky, fyziky a informatiky Univerzity Komenského, KAFZM. 2011. 5 s.
- Lapin, M., Melo, M. (2004): Methods of climate change scenarios projection in Slovakia and selected results. In *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, Vol. 52, 2004, No. 4, 224 – 238.
- Lapin, M., Melo, M., Damborská, I., Vojtek, M., Martini, M. (2006): Physically and statistically plausible downscaling of daily GCMs outputs and selected results. In *Acta Meteorologica Universitatis Comenianae*, Vol. 34, 2006, 35 – 57.
- Melo, M. (2005): Klimatická charakteristika teplejších a chladnejších letných období 1961 – 2003 v Hurbanove podľa kanadského prepojeného modelu GCM. In Rožňovský, J., Litschmann, T. (ed.): *Bioklimatologie súčasnosti a budúcnosti*, Křtiny, 12 – 14.9.2005, ISBN 80-86 690-31-08.
- NASA. 2017. 2016 Was the Hottest Year on Record. Cit. [2017-02-15]. Dostupné online: <<http://www.climatecentral.org/gallery/graphics/2016-was-the-hottest-year-on-record>>.
- Pásztorová, M., Skalová, J., Vitková, J., Juráková, M. (2012): Development of groundwater levels as a consequence of climate change. In *Slovak Journal of Civil Engineering*, Vol. XX., No. 1, 29 – 34. ISSN (Print) 1338-3973.
- Scinocca, J. F., McFarlane, N. A., Lazare, M., Li, J., Plummer, D. (2008): The CCCma third generation AGCM and its extension into the middle atmosphere. *Atmospheric Chemistry and Physics*, No. 8, 7055 – 7074.
- Stehlová, K., Štekauerová, V. (2006): Impact of Extreme Meteorological Phenomena on Soil Water Storage of Slovakia Typical Lowland Site. In *Agriculturae Conspectus Scientificus*, Vol. 71, No. 3, 95 – 112. ISSN: 1331-7768.
- Szolgay, J., Hlavčová, K., Lapin, M., Parajka, J., Kohnová, S. (2007): Vplyv zmeny klímy na odtokový režim na Slovensku. Vydal KEY Publishing, Ostrava, 2007, 160 s. ISBN 978-80-87071.
- The Special Report on Emission Scenarios: (2000): [2015-04-02] <<http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/emission/index.php?idp=0>>.

SCENARIOS OF AIR TEMPERATURE AND PRECIPITATION TOTALS USING A CGCM 3.1 MODEL AT ZAHORSKA LOWLAND VS. REALITY

We have made an analysis of the simulated data of air temperature and precipitation total and real measured data in Zahorska lowland. Simulated data were prepared by the global climate model CGCM 3.1 using two emission scenarios SRES A2 and SRES B1 created at the Division of Meteorology and Climatology, Comenius University in Bratislava. The real measured data were measured in meteorological station Kuchyna – Novy Dvor in west part of Slovakia.

The analysis was made for time period 1996 – 2014, but also for a longer time period of 1961 – 2100. The results showed that the air temperature at Zahorska lowland has been developing as a pessimistic scenario SRES A2 since 1961. It is possible to believe that the used model and pessimistic scenario are suitable for this territory and describe reality. The annual precipitation total is developing differently than prepared scenarios. It is balanced, but this phenomenon relates with extremely wet years 1966

and 2010 but also with extremely dry year 2003. It will be appropriate to make an analysis with different climate models in the future. The relevant analysis is adequate to make after 30 years observations of measured data.

A number of climate models are clearly agreed with increase of air temperature in the future. It is also confirmed at Zahorska lowland. But models do not match with development of precipitation total. Some of them expect increase and some of them decrease of this meteorological characteristic. The fact is, and it is once again confirmed at Zahorska lowland, that precipitation will unevenly distributed not only during one year, but also in several years in a row. It is therefore necessary to implement measures to water retention during the rainy seasons and its subsequent distribution during the drier days. The correct management with rain water is one of the most important measures of adaptation on climate change.

Ing. Justína Vitková, PhD.
Ústav hydrológie SAV
Dúbravská cesta 9
841 04 Bratislava
Tel.: +4212 3229 3519
E-mail: vitkova@uh.savba.sk

Doc. Ing. Jana Skalová, PhD.
Ing. Miroslava Jarabicová, PhD.
Katedra vodného hospodárstva krajiny, SvF, STU
Radlinského 11
810 05 Bratislava