

Výskyt extrémnych úhrnov zrážok a ich súvis s cirkuláciou atmosféry

Bc. Jaroslava Slavková

Oddelenie meteorológie a klimatológie, FMFI UK, Bratislava

Abstract

Extreme weather is natural part of weather system in any time and any space. We cannot rule out them. But we can study their occurrence and causes. Through knowledge we can better prepare for consequences of extremes. In this article we study extreme precipitations during 01.01.1955 -30.06.2015. We also examine influence of The North Atlantic Oscillation on rainfall in Europe.

Daily precipitation data from more than 10 000 stations in Europe and Mediterranean are used in our study. From this data we obtain spatial distribution of monthly average rainfall on studied territory. Based on our analysis, the highest precipitation amount in Europe are found on south Norway.

As extreme value of precipitation we consider every event, with precipitation higher than 90 percentile of statistics distribution of precipitation for certain season and certain area. Highest values of extreme precipitation in Europe are found on windward side of south Norway. High values of 90 percentile are found also in Italy, Slovenia, Croatia and Portugal.

Extreme rainfall occurrence is directly linked with specific features of atmospheric circulation. The North Atlantic Oscillation (NAO) has a large impact on distribution of precipitation in Europe. Because of disturbing influence of convective precipitation in summer, we focus mainly on cold half-year. Correlation between extreme precipitation and NAO is significant only on very small areas all over the Europe. But correlation coefficient between average amounts of precipitation and NAO index clearly show positive correlation on north and negative on south Europe and Mediterranean. Positive correlation means that positive NAO index causes rainy conditions above certain area. By analogy, negative correlation shows rainy conditions regarding to negative values of NAO index.

Global warming has influence on many aspects of atmospheric circulation and in accordance, there is influence of global warming on distribution of extreme rainfall. According to trend of rising global temperature, there are predictions that extreme precipitations will be more intense and occur more frequent.

Annotation

In this article we analyze spatial distribution of average and extreme precipitation in Europe determined by data from 1955-2015. Precipitation is directly linked with specific features of atmospheric circulation. We determine correlation between precipitation (average and extreme) and North Atlantic Oscillation index.

Key words: extreme weather, extreme precipitation, North Atlantic Oscillation index

Anotácia

V tomto príspevku sa zaoberáme priestorovým rozložením priemerných, ako aj extrémnych úhrnov zrážok v Európe, stanovených na základe údajov z obdobia 1955-2015. Úhrny zrážok sú priamo späté so špecifickými podmienkami cirkulácie. V tomto príspevku sme sa zamerali konkrétne na severoatlantickú osciláciu a jej vplyv na priemerné, prípadne extrémne úhrny zrážok.

Kľúčové slová: extrémne počasie, extrémne úhrny zrážok, severoatlantická oscilácia

Úvod

Vytrvalé intenzívne zrážky v roku 2002 spôsobili v Česku záplavy s 500 až 1000 ročnou návratovou hodnotou. 17 ľudí prišlo pri týchto záplavách o život. Materiálne škody spôsobené záplavami sa odhadujú na 73,3 miliárd českých korún (Povodeň v Česku (2002)).

V roku 2007 zažilo Spojené kráľovstvo od mája po júl najdaždivejšie obdobie od roku 1776, kedy sa začala písať história meteorologických pozorovaní zrážok na tomto území. V niektorých oblastiach vtedy za jeden deň napršalo viac mm zrážok, než v iných rokoch za mesiac. Záplavy spôsobené extrémnymi zrážkami stáli Spojené kráľovstvo 13 ľudských životov a približne 6 miliárd britských libier (2007 United Kingdom floods).

Po intenzívnych zrážkach a výraznej cyklóne s centrom nad Srbskom a Bosnou a Hercegovinou v roku 2014 zasiahli záplavy viaceré štáty juhovýchodnej Európy. Najviac postihnuté boli Srbsko, Bosna a Hercegovina a Chorvátsko, kde bol od 13. do 15. mája zaznamenaný maximálny trojdňový úhrn v histórii pozorovania zrážok na tomto území. V dôsledku záplav zahynulo spolu vo všetkých zasiahnutých krajinách 83 ľudí, zaplavili sa cesty, boli zbúrané domy, mosty a spôsobené pomerne veľké straty v poľnohospodárstve a živočíšnej výrobe. Celkovo tieto záplavy zapríčinili materiálne škody v hodnote viac než 1 miliárd eur (Poplave na Balkanu 2014).

Závažné záplavy sa v poslednom období vyskytujú v rôznych oblastiach Európy a značne zasahujú do socioekonomickej sféry a životného prostredia. Výskyt extrémnych udalostí je stálym a v niektorých prípadoch dokonca prajným faktorom klimatického systému Zeme. Výskytu takýchto udalostí nedokážeme zabrániť, môžeme sa však snažiť lepšie pochopiť cirkulačné podmienky v atmosfére súvisiace s určitými extrémami ako aj zmeny vo výskytoch extrémov, ktoré sledujeme v poslednom období. S lepším poznaním týchto procesov sa môžeme včas pripraviť na možné extrémy

a lepšie sa prispôbiť následkom extrémov. Vzhľadom na devastujúce dôsledky extrémnych udalostí, si táto téma vyžaduje neustálu pozornosť vo vedeckých sférach.

Cieľom tohto príspevku je analýza výskytu a rozloženia extrémnych zrážok v Európe počas obdobia 1950 – 2015. Výskyt extrémnych úhrnov zrážok môžeme analyzovať vzhľadom na cirkulačné pomery, ktoré sú s nimi späté. Severoatlantická oscilácia (NAO) predstavuje jeden z najvýznamnejších cirkulačných faktorov určujúcich rozloženie zrážok v Európe. Je založená na existencii tlakového gradientu v oblasti severnej časti Atlantického oceánu medzi Azorskou tlakovou výšou a Islandskou tlakovou nížou. Zmena intenzity tlakového gradientu spôsobuje prírodnú klimatickú variabilitu v okolí severného Atlantického oceánu. Výskyt mohutnejšej tlakovej výše než jej normál v oblasti Azorských ostrovov a zároveň hlbšej tlakovej níže vzhľadom na priemer na Islande považujeme za pozitívnu fázu NAO. Analogicky s tým, pri slabšom tlakovom gradiente medzi uvedenými oblasťami pozorujeme negatívnu fázu NAO. V príspevku sme sa zamerali aj na určenie a posúdenie korelácie medzi extrémnymi resp. priemernými úhrnmi zrážok a indexom NAO.

Metodika a údaje

Denné úhrny zrážok, ktoré sme použili pri analýze sú výsledkom projektu European Climate Assessment & Dataset (ECA&D) (<http://eca.knmi.nl/>). Súbor týchto údajov pozostáva zo sérií denných pozorovaní z viac než 10 000 staníc v Európe a nad Stredozemným morom. Všetky údaje boli dôkladne overené a sú priebežne aktualizované. Aktualizácia spočíva v pridávaní nových hodnôt z pozorovaní, ale aj zdokonaľovaní a upresňovaní údajov siahajúcich hlbšie do minulosti (ECA&D, 2013). Časová škála použitých údajov zahŕňa obdobie 1.1.1950 až 30.06.2015. Použili sme E-OBS gridded dataset rozmiestnenie ECA&D údajov do geografickej siete. Údaje sú homogenizované a preinterpolované do pravidelných štvorcov určených rovnobežkami a poludníkmi s rozlíšením 0,25 x 0,25 stupňa zemepisnej šírky a dĺžky (Haylock et al., 2008). Geografická sieť údajov sa rozprestiera v oblasti 25N - 75N x 40W - 75E, avšak v tomto príspevku sme sa zamerali hlavne na územie Európy. Rozloženie denných úhrnov zrážok v tejto analýze je určené na základe denných údajov pre sledované obdobie. Následne je z rozdelenia zrážok určená prahová hodnota, pod ktorou sa nachádza 90% úhrnov zrážok nad daným územím vrátane nulových hodnôt úhrnov. Všetky hodnoty nachádzajúce sa vpravo od 90 percentilu rozloženia hustoty pravdepodobnosti denných úhrnov považujeme za extrémne úhrny zrážok.

Vzhľadom na významný vplyv severoatlantickej oscilácie na počasie v Európe, uvádzame aj analýzu vplyvu NAO na zrážky v Európe. Pomocou denných hodnôt indexu NAO, je určená korelácia medzi priemernými mesačnými úhrnmi zrážok, prípadne extrémnymi mesačnými zrážkami a NAO. Denné hodnoty indexu NAO, ktoré sú v práci použité, boli prevzaté z internetovej stránky Národnej meteorologickej služby, centra pre predpoveď klímy v Marylande (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov>). Hodnoty NAO indexu sú určené pozorovaním rozdielu tlaku medzi nestacionárnymi tlakovými centrami určujúcimi NAO. Na to, aby sa správne stanovili tlakové útvary potrebné pre výpočet indexu

NAO sa aplikuje štatistická metóda RPCA (metóda hlavných komponentov) na strednú štandardizovanú mesačnú výšku 500 mb izobarickej hladiny v Atlantickom oceáne, štandardizovanú v oblasti 20°N – 90°N pre obdobie 1950-2010. Denné hodnoty NAO sú normalizované vzhľadom na štandardnú odchýlku mesačného NAO indexu interpolovaného na daný deň. Mesačný NAO index je normalizovaný na základe mesačného priemeru NAO indexu a štandardnej odchýlky pre obdobie 1981- 2010.

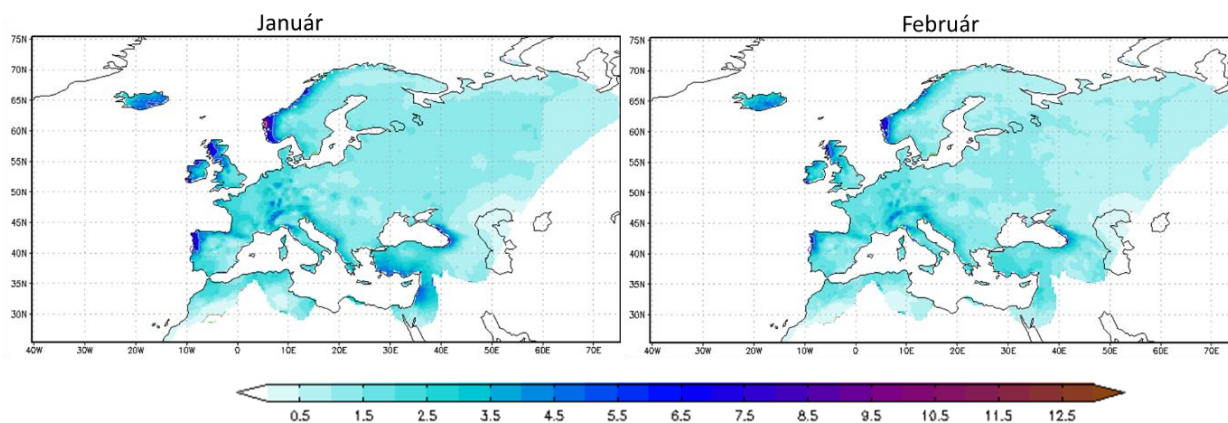
Na dopočítanie údajov, ako aj na ich grafické zobrazenie sú použité programy Grads (The Grid Analysis and Display System) a CDO (Climate Data Operators, Max Planck Institute v Nemecku).

Výsledky a diskusia

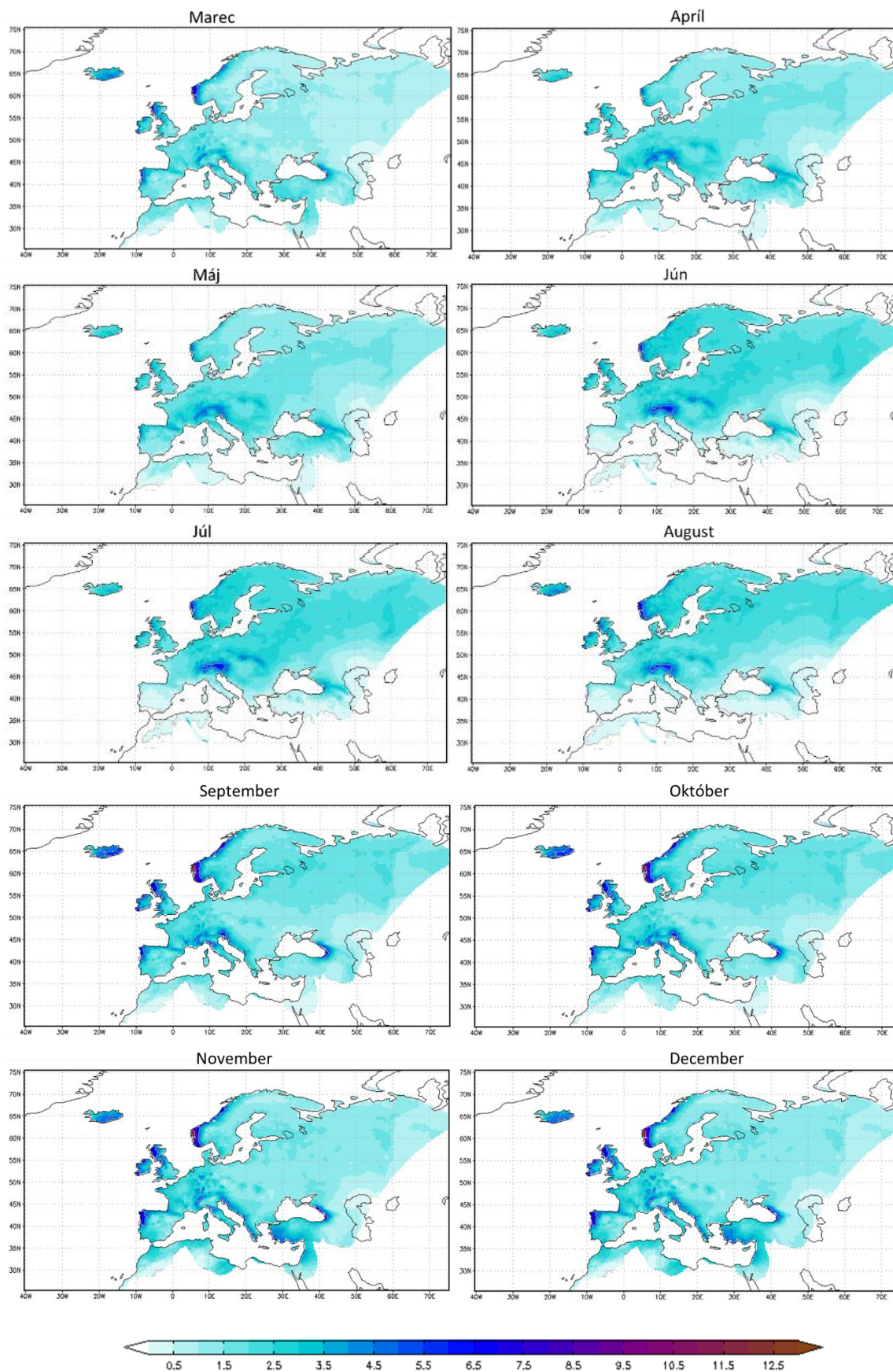
Priemerné denné úhrny zrážok pre daný mesiac (Obr. 1.) sú vypočítané ako stredná hodnota úhrnov všetkých dní v danom mesiaci počas skúmaného obdobia (približne 2000 hodnôt).

Počas zimných mesiacov môžeme sledovať v Európe výraznejšie kontrasty v územnom rozmiestnení zrážok. Bez ohľadu na všeobecnú cirkuláciu atmosféry sa v lete vyskytujú silné konvektívne zrážky nad rôznymi územiaми (v kontinentálnej, ale aj pobrežnej časti, na rovinách, v kopcovitom teréne atď.). Konvektívne zrážky značne ovplyvňujú celkový úhrn zrážok počas letných mesiacov a môžu mať rušivý charakter pri skúmaní vplyvu všeobecných cirkulačných pomerov na veľkoplošné zrážky. Kvôli tomu sme sa pri tejto analýze sústredili najmä na zimné mesiace.

Počas mesiacov teplého polroka sa polárny front nachádza severnejšie vzhľadom na mesiace chladného polroka. V súlade s tým môžeme s príchodom teplejších mesiacov vidieť posun oblastí so zrážkami z oblastí južnej Európy do vyšších zemepisných šírok. Vzhľadom na teplejšie podmienky počas jesene a zimy je na pobreží Atlantického oceánu zreteľne vidieť severoatlantický režim zrážok s maximom úhrnu počas jesene a zimy. Vyššie úhrny zrážok sa vyskytujú aj na náveterných stranách pohorí v celej Európe. Celkovo najvyššie úhrny zrážok podľa našej analýzy sa vyskytujú na juhu Nórska. V tejto oblasti vyššie úhrny zrážok pretrvávajú počas celého roka.



Obr. 1. Rozloženie priemerných denných úhrnov zrážok nad Európou pre daný mesiac počas obdobia 1.1.1950 - 30.06.2015 (v milimetroch)-pokračovanie

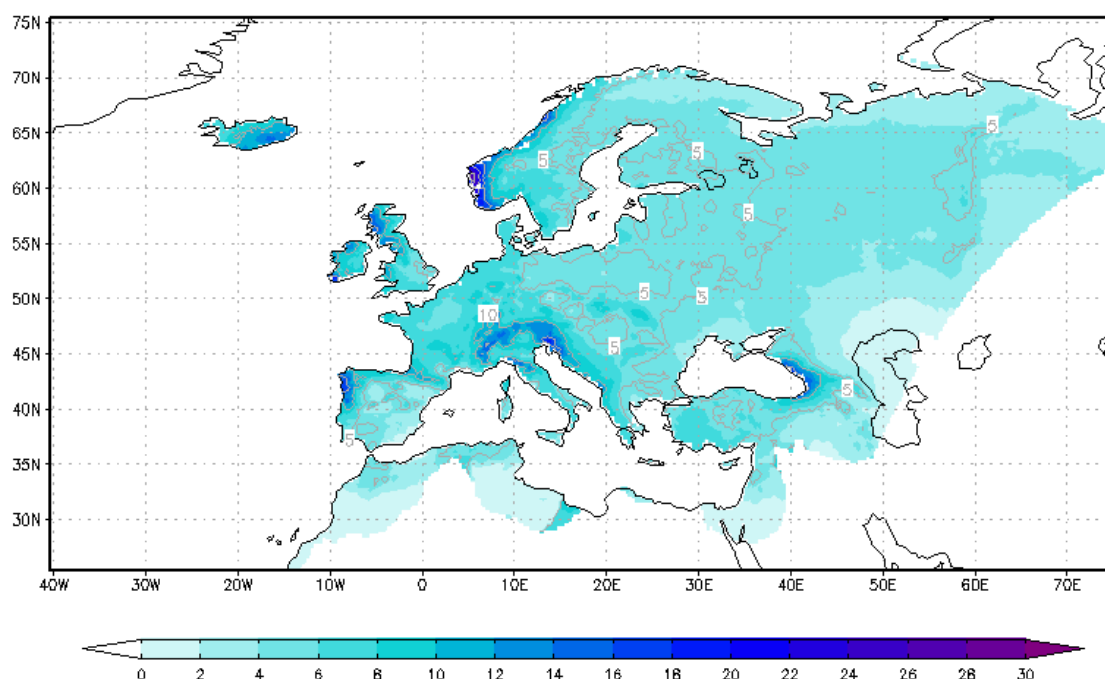


Obr. 1. Rozloženie priemerných denných úhrnov zrážok nad Európou pre daný mesiac počas obdobia 1.1.1950 - 30.06.2015 (v milimetroch)

Hodnoty denných úhrnov zrážok, ktoré sú vyššie než 90% úhrnov (vrátane nulových hodnôt úhrnu zrážok) nad daným územím sme považovali za extrémny. Rovnaké množstvo zrážok teda v rôznych častiach Európy môže aj nemusí byť považované za extrémne zrážky (Obr. 2.). Najvyššiu dennú prahovú hodnotu zo všetkých údajov v Európe, pozorujeme na juhu Nórska ($5,4^{\circ}$ E; $60,9^{\circ}$ N). Vysoké prahové hodnoty sú zaznamenané aj pozdĺž jadranského mora v Talianska a Chorvátsku, v Slovinsku, ako aj v severnej časti Portugalska. Naopak najnižšiu prahovú hodnotu v Európe pozorujeme na juhovýchode Španielska ($2,6^{\circ}$ W; $36,9^{\circ}$ N). Nízke prahové hodnoty sa vyskytujú aj v okolí Kaspického mora.

Aj napriek častým konvektívnym zrážkam počas leta, maximálne prahové hodnoty v Európe sú dosiahnuté práve v chladnom polroku. Najvyššia hodnota 90 percentilu z údajov pre jednotlivé mesiace sa vyskytuje počas októbra na juhu Nórska ($5,37^{\circ}$ E; $60,87^{\circ}$ N). Nízke prahové hodnoty, blížiac sa k nule, boli určené pre Pyrenejský polostrov v letných mesiacoch ako aj pozdĺž Kaspického mora v Rusku a Kazachstane, kde ale nízke hodnoty pretrvávajú aj počas zimných mesiacov.

McCarthy analýzou dlhodobých pozorovaní zistil, že maximálny úhrn jednoduchých zrážok škandinávskych krajín sa zvyšoval počas posledných dvoch dekád 20. storočia. Denné úhrny zrážok v zime sa počas posledných dekád zvýšili aj v Spojenom kráľovstve. V rôznych častiach Európy bol v poslednom období zaznamenaný nárast silných lejakov (McCarthy, 2011). V centrálnej časti Európy bol spozorovaný znížený počet za sebou idúcich dní so zrážkami, avšak zvýšený výskyt extrémnych zrážok, hlavne v lete a v zime (Casanueva Vicente et al., 2014). Nárast počtu silných zrážok, ale aj zvýšený počet prípadov výskytu obdobia s deficitom zrážok počas rôznych ročných období bol spozorovaný v období 1981 – 2008 aj na Slovensku (Pecho et. al., 2009). Aj napriek veľkej prírodnej rôznorodosti zrážok a nepresnosti simulačných modelov pre zrážky, vykazujú modely zahŕňajúce vplyvy antropogénnej klimatickej zmeny odlišné výsledky od modelov, ktoré tento vplyv nezahŕňujú. Analýzou denných maximálnych zrážok sa zistilo, že globálne sa nad pevninou zvyšujú extrémne zrážky. S nárastom priemernej teploty na hladine mora o 1°C narastá maximálny denný úhrn zrážok v priemere o 7% (Bindoff et al., 2013). Extrémne úhrny zrážok sú obmedzené množstvom vodnej pary v atmosfére, ktorá je k dispozícii (aj keď nárast vodnej pary je strmší, než nárast intenzívnych zrážok), zatiaľ čo priemerné zrážky sú hlavne obmedzené množstvom energie v troposfére. Vďaka tomu pozorujeme väčšie zmeny extrémnych úhrnov zrážok než priemerných (Mascioli, n.d.).



Obr. 2. 90 percentil denných úhrnov zrážok nad daným územím v Európe počas obdobia 1.1.1950 - 30.06.2015 (v milimetroch)

Korelačný koeficient pre extrémne zrážky s indexom NAO, napr. pre január sme určili na základe korelácie stredných mesačných hodnôt indexu NAO, vypočítaných z dní, kedy sa vyskytli extrémne zrážky, pre každý január zvlášť, počas obdobia 1950 - 2015, s mesačnými priemermi extrémnych zrážok pre všetky januáre v tomto období. Koreláciu pre ďalšie mesiace sme vypočítali rovnakým spôsobom. Touto metódou sme sa vyhli problémom s náhodnosťou výberu údajov, avšak na úkor relatívne malého počtu hodnôt, na základe ktorých určujeme koreláciu. Vzhľadom na fakt, že extrémna udalosť sa pre určitý mesiac na určitej stanici nevyskytla v každom roku, počet hodnôt, na základe ktorých sme počítali korelačný koeficient, je pre väčšinu staníc ešte nižší než 66 hodnôt, čo predstavuje počet rokov pozorovaného obdobia. Keby sme však koreláciu počítali na základe všetkých dní v určitom mesiaci pre dané obdobie (približne 2000 hodnôt), niektoré extrémne zrážky počas dní idúcich za sebou by mohli medzi sebou súvisieť.

Čím kladnejšia je korelácia, tým väčšie percento zrážok súvisí s pozitívnym NAO indexom. Naopak pri negatívnej korelácii, čím je hodnota korelácie zápornejšia, tým väčšie percento zrážok môžeme pripísať rozloženiu tlaku, ktoré zodpovedá negatívnemu NAO indexu. Priestorová nerovnomernosť korelácie, ktorú vykazujú výsledky (Obr. 3.), je v súlade s charakterom extrémnych

zrážok. Vďaka určeniu prahovej hodnoty extrémů vzhľadom na geografickú polohu, extrémů nemajú preferované geografické oblasti výskytu, hoci čiastočne sledujú tendencie z priemerných korelačných závislostí (obr.4.). Vplyvom lokálnej orografie môžeme vysvetliť vysoké rozdiely korelačného koeficientu v oblastiach relatívne blízko pri sebe.

V zimnom období je korelácia jednoznačne výraznejšia. Maximálne hodnoty absolútnej hodnoty korelačného koeficientu pre Európu v určitom mesiaci sa vo väčšine prípadov pohybujú v rozmedzí 0,44 až 0,67. Na juhu Španielska v júli pozorujeme korelačný koeficient -0,94. Vysoký stupeň korelácie v tejto oblasti je pravdepodobne spôsobený aj nízkym počtom extrémů, ktoré sa tu vyskytli. Za 66 rokov sme zaznamenali iba 15 extrémů, kým v niektorých iných bodoch siete sa vyskytlo aj viac ako 100 extrémnych udalostí. Zároveň musíme pri posudzovaní zohľadniť fakt, že daná hodnota korelácie sa vyskytla v júli, kedy do množstva úhrnov zrážok značne prispievajú aj konvektívne zrážky. Je zaujímavé si všimnúť, že aj územia pomerne vzdialené od Atlantického oceánu vykazujú vysoký stupeň korelácie. Napríklad pre oblasť v blízkosti hranice medzi Ruskom a Ukrajinou (51,87°N; 42,62°E) bol v novembri zistený korelačný koeficient -0,564 (obr. 3.).

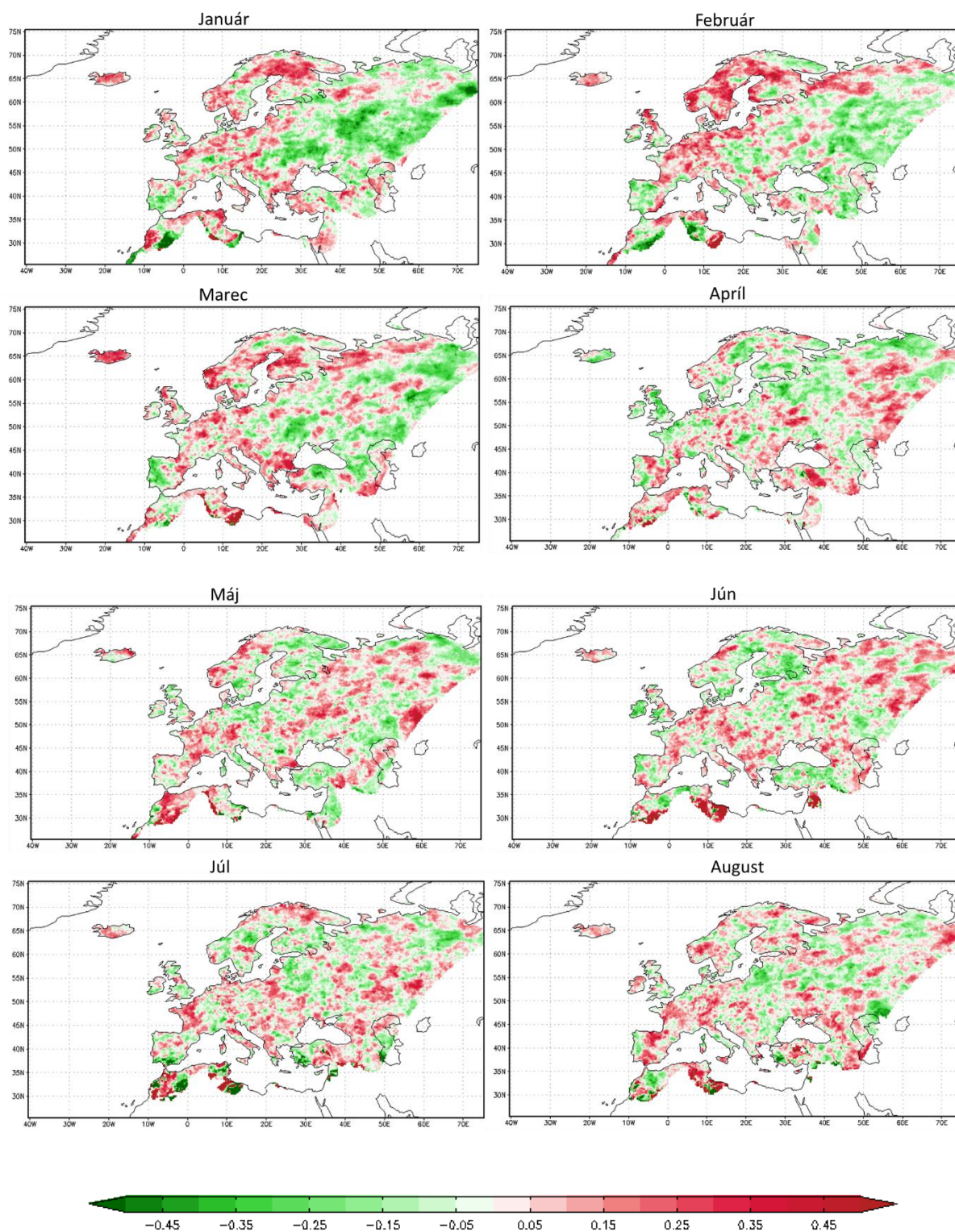
Významnosť koeficientov korelácie sme otestovali na základe Študentovho rozdelenia kritických hodnôt. Testovali sme hypotézu o nezávislosti parametra extrémnych zrážok s parametrom indexu NAO. Na potvrdenie alebo vyvrátenie hypotézy sme použili vzorec

$$t = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}}, \text{ kde}$$

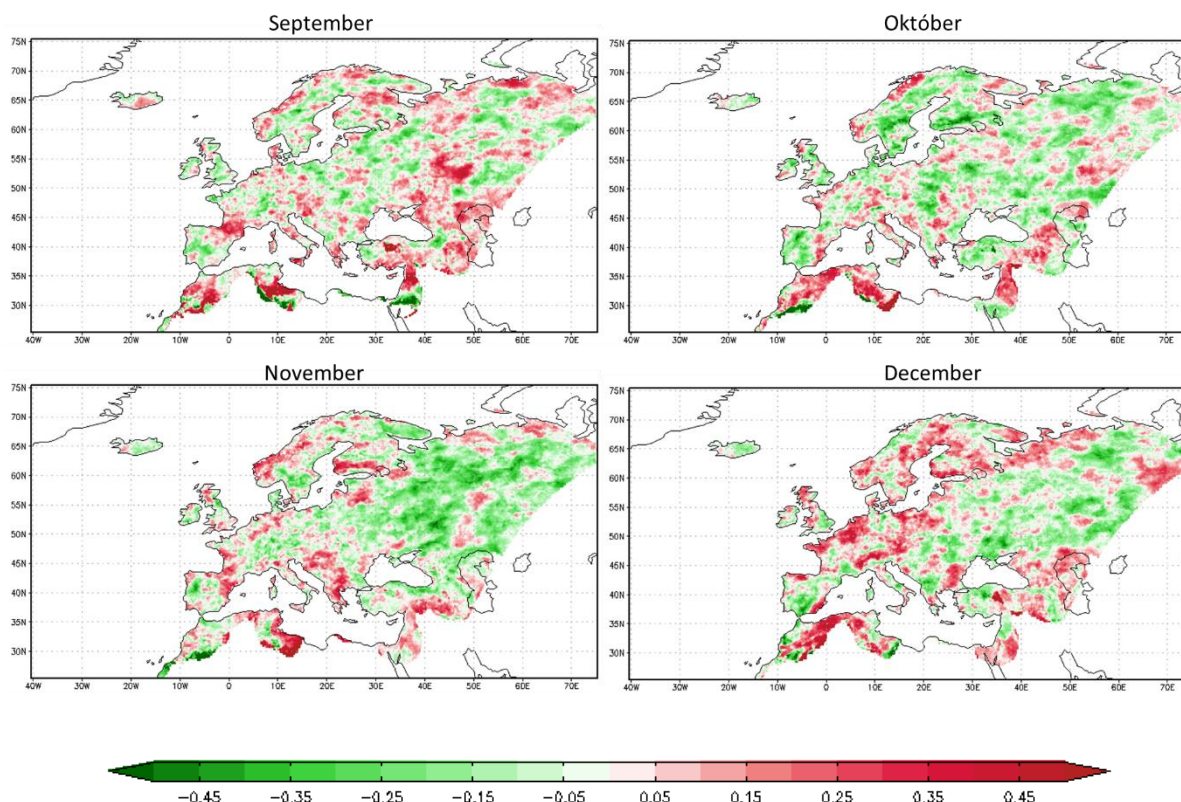
r = hodnota korelácie, ktorej významnosť chceme zistiť,

n = počet stupňov voľnosti.

V prípade ak $|t| > t_{\alpha}(n-2)$, kde t_{α} je tabuľková kritická hodnota Študentovho rozdelenia pre $n-2$ počet stupňov voľnosti na hladine významnosti α , hypotézu o nezávislosti testovacích parametrov zamietame. Koreláciu medzi extrémnymi zrážkami a indexom NAO v takom prípade môžeme považovať za štatisticky významnú. V našom prípade sme testovali koreláciu na hladine významnosti 0,10. Vzhľadom na rôznorodosť stupňov voľnosti v bodoch siete (na rôznych miestach sa za 66 rokov v danom mesiaci vyskytli rôzne počty extrémnych zrážok), pre každý bod siete musíme zvlášť počítať kritickú hodnotu nad ktorou je korelácia významná. Štatisticky významnú koreláciu s 90% zabezpečením sledujeme v Európe v malých nesúrodých oblastiach. Jednoznačne však v zime pozorujeme viac oblastí s významnou koreláciou. Rozsiahlejšie oblasti s významnou koreláciou sme spozorovali v januári a februári na Škandinávskom polostrove, v marci na Islande a v decembri v krajinách Beneluxu, v západnom Francúzsku a v oblasti Álp.



Obr. 3. Korelačný koeficientu medzi úhrnmi zrážok vyššími než 90 percentil a indexom NAO pre daný mesiac

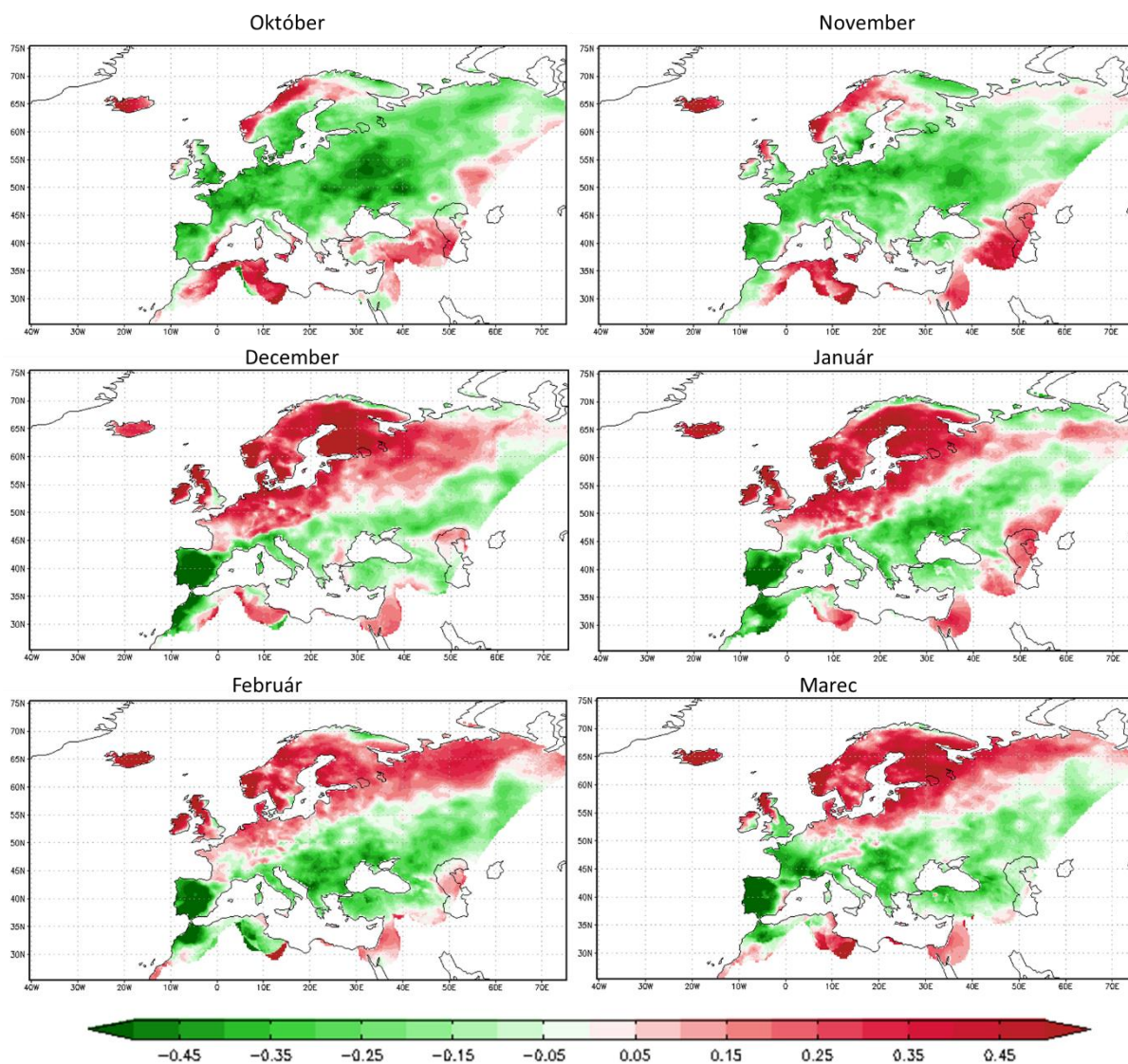


Obr. 3. Korelačný koeficientu medzi úhrnmi zrážok vyššími než 90 percentil a indexom NAO pre daný mesiac-pokračovanie

Pre porovnanie uvádzame aj znázornenie korelácie medzi priemernými mesačnými úhrnmi zrážok pre daný mesiac a priemerným mesačným indexom NAO (Obr.4). Vzhľadom na fakt, že počas teplejších mesiacov je NAO index ovplyvnený konvektívnymi zrážkami, uviedli sme iba koreláciu pre chladný polrok. Počas chladného polroku pozorujeme pomerne veľký vplyv NAO na úhrny zrážok nad takmer celou Európou. V decembri a januári je tento vplyv najvýraznejší s najsilnejšou koreláciou na Škandinávskom polostrove, v Nemecku, v krajinách Beneluxu, v Spojenom kráľovstve, na Islande a na Pyrenejskom polostrove. Počas týchto 2 mesiacov môžeme jasne určiť hranicu medzi pozitívnu a negatívnou koreláciou, ktorá sa ťahne pozdĺž Álp a Karpát. Tieto výsledky sa zhodujú aj s výsledkami Hurrela, ktorý spozoroval významnú koreláciu medzi NAO indexom a zrážkami hlavne pre územia, kde sa vyskytoval veľký rozdiel medzi vyparovaním a zrážkami. Najintenzívnejšia pozitívna korelácia medzi NAO a zrážkami podľa Hurrela bola zistená nad Škandinávskym polostrovom, kým najintenzívnejšia negatívna korelácia bola spozorovaná pre Azorské ostrovy, Pyrenejský polostrov a severozápadnú Afriku (Hurrell, 1995).

NAO index kolíše vzhľadom na rôzne časové škály: zo dňa na deň, z roka na rok, medzi dekádami. Avšak v minulosti sa vyskytli obdobia, kedy prevládala hlavne pozitívna prípadne negatívna hodnota indexu NAO. Od začiatku 20. storočia po 30. roky prevládal v zime hlavne pozitívny NAO index. Počas obdobia 1940-1970 bol príznačný pokles indexu NAO (Hurrell, 1995). V druhej polovici minulého storočia mala severoatlantická oscilácia sklon narastať od extrémne

negatívnej prevažne stálej fázy NAO v 60-tych rokoch po extrémne pozitívnu fázu koncom 80-tych a začiatkom 90-tych rokov. Napr. v zime 1990 dosiahol NAO index najvyššiu pozitívnu hodnotu od roku 1864. Okrem krátkotrvajúcich odchýlok v zime 1995-1996, nárast pozitívnej fázy oscilácie pokračuje až dodnes. Je možné, že tento nárast je spôsobený antropogénnymi klimatickými zmenami (Trenberth, 2007, s. 290 - 292).



. Obr. 4. Korelačný koeficient medzi priemernými mesačnými úhrnmi zrážok a indexom NAO pre daný mesiac

Záver

Extrémne zrážky ovplyvňujú život človeka aj ekosystémov v značne vyššej miere než priemerné úhrny zrážok. Vzhľadom na ich redší výskyt máme pomerne málo údajov na analýzu extrémov. Zároveň sa stáva, že extrémne zrážky s malou mierou nie sú zachytené sieťou pozorovacích staníc. Pri výskume výskytu zrážok, či už v minulosti alebo do budúcnosti, nám však môžu pomôcť globálne cirkulačné modely.

Klimatická zmena v súčasnosti ovplyvňuje rôzne aspekty všeobecnej cirkulácie atmosféry a samým tým aj rozmiestnenie, intenzitu a periodicitu zrážok. Podľa Clausius-Clapeyronovej rovnice teplejšia atmosféra dokáže absorbovať viac vodnej pary. Zvýšením mernej vlhkosti sa v atmosfére vyskytne viac materiálu na tvorbu zrážok. Takáto situácia by mohla urýchliť kolobeh vody, teda vyparovanie by bolo rýchlejšie a všeobecne by sa malo vyskytovať viac zrážok. Avšak vďaka limitovaným zásobám vody v pôde, by mohlo dôjsť k narušeniu rovnováhy medzi vyparovaním a zrážkami, k vysušovaniu pôdy a k redukcii zrážok v určitých oblastiach. Pomocou globálnych cirkulačných modelov sa zistilo, že pri zdvojnásobení obsahu CO_2 v atmosfére sa zvyšuje množstvo zrážok na severe Európy a znižuje na juhu. Frekvencia extrémnych zrážok sa zvyšuje počas zimy a jari. Počas leta a jesene frekvencia extrémov v priemere zostáva rovnaká, avšak počas jesene v južných častiach Európy dochádza k zníženiu frekvencie o 25% (Déque, Marquet a Jones, 1998). Takéto rozloženie zrážok je v súlade s kladnou hodnotou indexom NAO, ktorej prevaha v poslednom období je podľa Trenbertha tiež spätá s antropogénnou klimatickou zmenou (Trenberth, 2007, s. 290 - 292).

Zdroje:

2007 UNITED KINGDOM FLOODS [online], posledná aktualizácia 12.9.2017, (citované: 10.5.2016), Wikipedia.

Dostupné na: <https://en.wikipedia.org/wiki/2007_United_Kingdom_floods>

BINDOFF, Nathaniel L., et al. Detection and attribution of climate change: from global to regional. In *Climate Change 2013: Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [online]. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. s. 461 - 475. Dostupné na: <https://scholar.google.sk/scholar?q=detection+and+attribution+of+climate+change+from+global+to+regional&hl=sk&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholart&sa=X&ved=0ahUKEwjmwKXEhNDMAhUMKywKHdt3BCIQgQMIGTAA>

CASANUEVA VICENTE, Ana, et al. Variability of extreme precipitation over Europe and its relationships with teleconnection patterns. In *Hydrology and Earth System Science*, [online]. 2014, vol.18, no.2, s. 709-725.

Dostupné na: <<http://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/4389>>

DÉQUÉ, M.; MARQUET, P.; JONES, R. G. Simulation of climate change over Europe using a global variable resolution general circulation model. In *Climate Dynamics* [online]. 1998, vol.14, no.3, s. 173-189.

Dostupné na: <<http://link.springer.com/article/10.1007/s003820050216>>

EUROPEAN CLIMATE ASSESSMENT & DATASET (ECA&D), 2013, *Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD)* [online].

Dostupné na: <<http://eca.knmi.nl/documents/atbd.pdf>>

HAYLOCK, M.R., et al.: A European daily high-resolution gridded dataset of surface temperature and precipitation. In *Journal of Geophysical Research (Atmospheres)* [online]. 2008, vol.113, D20119, doi:10.1029/2008JD10201.

Dostupné na: <http://www.ecad.eu/download/ensembles/Haylock_et_al_2008.pdf>

HURRELL, James, W. Trends in the North Atlantic Oscillation: Regional Temperatures and Precipitation. In *Science* [online]. 1995, vol.269, no.5224, s. 676-679.

Dostupné na: <<http://www.cgd.ucar.edu/staff/jhurrell/docs/hurrell.NAO.sci95.pdf>>

MASCIOLI, Nora, R. Extreme precipitation [online]. n.d.

Dostupné na: http://www.ldeo.columbia.edu/~amfiore/eescG9910_f14_ppts/mascioli.pdf

MCCARTHY, James J. Impacts, adaptation, and vulnerability. In: *Climate change 2001: contribution of Working Group II to the third assessment report of the Intergovernmental*

Panel on Climate Change [online]. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
Dostupné na: <<http://www.ipcc.ch/ipccreports/tar/wg2/index.php?idp=494#13132>>

PECHO Jozef, et al. Extreme values of precipitation and snow cover characteristics in Slovakia. In: *Pribullová, A., Bičárová, S. (Eds.) 2009: Sustainable Development and Bioclimate, Reviewed Conference Proceedings [online]*. Geophysical Institute of the SAS, 5th to 8th October 2009, Stará Lesná, 2009, ISBN: 978-80-900450-1-9. Dostupné online: <http://www.shmu.sk/File/ExtraFiles/KMIS/pub_cinnost/Pecho_et_al_2009_extreme_precipitation_sc.pdf>

POPLAVE NA BALKANU 2014 [online], posledná aktualizácia 31.7.2017, (citované: 10.5.2016), Wikipedia.

Dostupné na: <https://sr.wikipedia.org/sr/Поплаве_на_Балкану_2014.>

POVODEŇ V ČESKU (2002) [online], posledná aktualizácia 26.9.2017, (citované: 10.5.2016), Wikipedia.

Dostupné na: <[https://cs.wikipedia.org/wiki/Povode%C5%88_v_%C4%8Cesku_\(2002\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/Povode%C5%88_v_%C4%8Cesku_(2002))>

TRENBERTH, Kevin, E., et al. Observations: surface and atmospheric climate change. In: *IPCC, Climate change: Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [online]*. Cambridge: Cambridge University Press, 2007, s. 235 - 336. Dostupné na: <<https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter3.pdf>>