

KLIMATICKÉ ZMENY A ICH VPLYV NA ŠTATISTICKÚ ŠTRUKTÚRU DIAGNOSTICKÝCH PARAMETROV STABILITY ATMOSFÉRY PRE POTREBY DOWNSCALINGU

R. Drinka, I. Bašták Ď., M. Gera

Faculty of Mathematics, Physics and Informatics, Comenius University, Bratislava, Slovakia
drinka@fmph.uniba.sk, bastak@fmph.uniba.sk, mgera@fmph.uniba.sk

Abstract

For precipitation genesis and the occurrence of severe storms, the atmosphere stability is of a great importance. The question is how will the climate changes influence the stability of the atmosphere in the future. Some results of statistical analysis of the atmospheric stability parameters in the future are presented here. The stability parameters *Lifted index*, *Showalter index*, *Total Totals index*, widely used in storm prediction, together with *condensation level* were used to determine changes in atmospheric stability. The daily outputs (the temperature and specific humidity in different levels) from CGCM2 A2 and ERA40 were used. The time interval 2011-2040 was analyzed in comparison to period 1961-1990. Because of a gap on the surface temperature data only the summer period was discussed. The results of a computation of statistical characteristics for Europe and Slovakia in summer are present. The difference of mean, standard deviation and other statistical characteristics between 2011-2040 and 1961-1990 are used as a rate of change in stability. As a result the increase in stability for the whole Europe is obtained during summer. There is no significant change expected for variability of the stability parameters in Central Europe, and also for the mean and standard deviation of condensation level. There is, however, expected the situations with stability greater than median to be more frequent.

Keywords: climate change scenarios, daily data, atmospheric stability, condensation level

Úvod

V súvislosti s klimatickou zmenou je zaujímavá otázka výskytu nebezpečných javov spojených s konvekciou v budúcnosti. Konvekcia v atmosfére je jav malých horizontálnych rozmerov, zároveň jej ničivé prejavy trvajú krátku dobu, preto je pri klimatologických štúdiách väčšinou opomenutá. Napriek tomu silný vietor, krúpy, intenzívne zrážky, atď. spôsobujú nemalé škody v hospodárstve a na majetku. Preto každá klimatologická informácia o možnom výskyte týchto javov v budúcnosti je prospešná pre dlhodobé plánovanie v hospodárstve.

Pri predpovedi intenzívnych konvektívnych javov sa v súčasnosti využívajú jednoduché diagnostické parametre stability atmosféry, ktoré napriek svojej jednoduchosti, vypovedajú o schopnosti atmosféry podporovať výstupné pohyby a tiež o očakávanej intenzite búrkových javov. Ich výpočet vychádza z aktuálnych nameraných údajov (teplota vzduchu v rôznych hladinách, merná vlhkosť v rôznych hladinách, ...). Tieto parametre však môžu poskytovať aj klimatologickú informáciu, ak sú k dispozícii ich dlhodobé časové rady.

Numerické modelovanie klímy sa dostalo na úroveň, keď výstupom z modelu sú denné hodnoty meteorologických prvkov v rôznych hladinách, čo umožňuje pre každý deň počítať parametre stability atmosféry. Po ich štatistickom spracovaní, podobnom ako pri „klasických“ klimatologických prvkoch, získame informáciu, ako sa do budúcnosti zmenia podmienky pre výskyt nebezpečných javov spojených s výstupnými pohybmi vzduchu.

Naším cieľom je štatistické spracovanie diagnostických parametrov stability atmosféry (priemery, variabilita, rozdelenie hustoty pravdepodobnosti, ...) v referenčnom období rokov 1961-

1990 a v rokoch 2011-2040 použitím údajov z kanadského globálneho cirkulačného modelu CGCM2 A2 pre oblasť Európy s dôrazom na strednú Európu a oblasť Slovenska.

Údaje

Zdrojom údajov pre analýzu indexov stability atmosféry bola pre nás atmosférická časť klimatického modelu kanadského centra pre modelovanie klímy (CCCM 2000), konkrétne druhá verzia Coupled Global Circulation Model (CGCM2). Model vychádza z IPCC SRES scenára A2. Ide o trojrozmerný model atmosférickej cirkulácie prepojený s jednoduchým modelom oceánu a termodynamickým modelom morského ľadu. Horizontálne rozlíšenie modelu je T32/L10 t. j. ide o spektrálny model s 32 vlnami v zonálnom smere (vzdialenosť gridových bodov je približne 3,75°). Voľne dostupné sú údaje od roku 1961 do 2100. Pre naše účely bolo vybraté obdobie 1961-1990 ako referenčné a obdobie 2011-2040 ako oblasť záujmu. Na verifikáciu výstupov z modelu sme použili údaje z projektu ERA40. V tomto projekte bola vytvorená databáza relevantných meteorologických údajov v pravidelnej sieti (2,5° x 2,5°). Tieto tzv. reanalýzy sú vytvorené na základe pozorovaní a predpovedných polí z asimilačného procesu v období 1958-2001.

Metodika

Keďže výstupy z CGCM2 A2 a ERA40 majú rôzne horizontálne priestorové rozlíšenie, v prvom kroku boli údaje z CGCM2 pomocou metódy kvadratických spline-ov interpolované na rozlíšenie 2,5°. V časových radoch CGCM2 sa nevyskytujú prestupné roky, preto boli prestupné dni (29.2.) odstránené aj z reanalýz ERA40. V tomto momente sme mohli pristúpiť k výpočtu časových radov parametrov stability atmosféry.

Výška kondenzačnej hladiny (VKH)

Síce sa výška kondenzačnej hladiny nepoužíva ako parameter stability atmosféry, na výpočet indexov jej hodnotu musíme poznať. Z hľadiska tvorby zrážok je zaujímavé poznať zmeny vo výške kondenzačnej hladiny, preto sme tento ukazovateľ podrobili rovnakej analýze ako ostatné. Vstupnými hodnotami pre jej určenie je teplota v 2m (ST), rosný bod v 2m (Td) a staničný atmosférický tlak (P). Údaje z ERA40 obsahujú rosný bod ako výstup, CGCM2 však nie, preto je nutné hodnotu Td dopočítať z prízemnej vlhkosti. Použili sme na to poloempirický vzorec:

$$Td [K] = \frac{5420K}{\ln \left(2,53 \cdot 10^8 \text{ kPa} \cdot \frac{0,622}{W * P} \right)}, \quad (1)$$

kde P je tlak v kPa a W je zmiešavací pomer zmesi vzduchu pri zemi v kg/kg (málo odlišný od mernej vlhkosti SQ).

Dôležitým predpokladom pri výpočte VKH je konštantnosť rosného bodu s výškou. Aj zo vzťahu (1) sa môžeme presvedčiť, že veľká zmena v tlaku (t.j. veľká zmena výšky) spôsobí len malú zmenu v rosnom bode. Za tohto predpokladu uvažujeme časticu vzduchu s teplotou ST, ktorá suchoadiabaticky vystupuje (podľa gradientu SAG=0,098°C/hPa) až do výšky, v ktorej teplota častice dosiahne rosný bod a vodná para obsiahnutá vo vzduchu skondenzuje (vzťah (2)). Túto výšku nazývame výška kondenzačnej hladiny (VKH) a meriame ju v Pa.

$$VKH [Pa] = P - \frac{ST - Td}{SAG} \quad (2)$$

Poznámka: Hodnota staničného tlaku P bola určená z barometrickej formuly pri danej teplote a tlaku v hladine 1000 hPa, ktoré sú k dispozícii ako výstupy z modelu.

Lifted index (LI)

Pri výpočte tohto indexu vychádzame z teploty vzduchu v hladine 850 hPa (T_{850}) a teploty vzduchu v 2m (ST). Hodnota LI (vzťah (3)) je určená rozdielom medzi teplotou v 850 hPa hladine a teplotou, ktorú by mala častica v hladine 850 hPa po suchoadiabatickom výstupe z povrchu.

$$LI = T_{850} - (ST - SAG(P - VKH) - NAG(VKH - 85000)), \quad (3)$$

kde NAG je nasýteno-adiabatický gradient a bola použitá hodnota $0,06^\circ\text{C/hPa}$. V prípade, že kondenzačná hladina siahala vyššie ako 850 hPa, tak sme uvažovali, že častica celý čas vystupovala suchoadiabaticky, ak bola VKH nižšie ako na povrchu, uvažovali sme vlhkoadiabatický výstup. Typické hodnoty LI sú v medziach:

- $LI > 0$ búrky nepravdepodobné, stabilná atmosféra
- $0 > LI > -2$ búrky možné, potrebný „spúšťač“
- $-3 > LI > -5$ búrky pravdepodobné
- $-5 > LI$ silné búrky, veľmi nestabilná atmosféra
-

Showalterov index (SHI)

Parameter SHI je zaujímavý v tom, že doň vstupujú teploty z vyšších hladín a nie z povrchu. Preto zlá reprezentácia povrchu v modeloch kvôli slabému rozlíšeniu nespôsobuje problémy pri interpretácii. Vypočítame ho vzťahom (4) ako rozdiel teploty nameranej v hladine 500 hPa a teploty častice, ktorá adiabaticky vystúpi do hladiny 500 hPa z 850 hPa.

$$SHI = T_{500} - (T_{850} - SAG(85000 - VKH) - NAG(VKH - 50000)), \quad (4)$$

v prípade, že VKH je menšie ako 85000, použije sa len NAG, ak je vyššie, použije sa len SAG.

V praxi sú pre predpoveď stanovené hranice takto:

- $SHI > 4$ búrky nepravdepodobné, stabilná atmosféra
- $4 > SHI > 1$ búrky možné, je potrebný „spúšťač“
- $1 > SHI > -2$ rastie riziko búrok
- $-2 > SHI > -3$ riziko búrok
- $-3 > SHI > -5$ vysoké riziko búrok
- $-5 > SHI > -10$ extrémne nestabilná atmosféra
- $-10 > SHI$ ničivé búrky, tornáda, veľmi nestabilná atmosféra

Total totals index (TTI)

Posledným zo skúmaných parametrov je TTI, ktorý vypočítame z teploty v hladine 850 hPa (T_{850}), rosného bodu v hladine 850 hPa (Td_{850}) a teploty vzduchu v hladine 500 hPa (vzťah (5)). Opäť vidíme, že výpočet nevyžaduje údaje z povrchu, čo je pre nás výhodné. Toto je však (podobne ako v prípade SHI) aj nedostatkom, pretože vlastnosti atmosféry pri zemi zohrávajú kľúčovú úlohu pri konvekcii (najmä pri jej „naštartovaní“) a tieto indexy ich nepopisujú.

$$TTI = (T_{850} + Td_{850}) - 2 * T_{500}, \quad (5)$$

Typické hodnoty sú:

- $TTI < 43$ búrky nepravdepodobné, stabilná atmosféra
- $43 < TTI < 44$ možnosť výskytu izolovaných búrok
- $45 < TTI < 46$ možnosť výskytu búrkových meso-štruktúr
- $47 < TTI < 48$ možnosť výskytu búrkových meso-štruktúr s ničivými prejavmi
- $49 < TTI < 50$ silné búrky, možnosť tornád
- $51 < TTI < 52$ početné silné búrky a tornáda
- $53 < TTI$ extrémne silné búrkové prejavy, veľmi nestabilná atmosféra

Štatistické spracovanie bolo urobené na oblastiach:

- od -12.5° z.d. po 40° z.d. , 40° z.š. - 65° z.š. - reprezentuje Európu,
- od 17.5° z.d. po 22.5° z.d. , 47.5° z.š. - 50° z.š. – šesť gridových bodov reprezentuje Slovensko.

Spracovanie bolo vykonané pre jednotlivé mesiace, ročné obdobia, teplý a chladný polrok a rok. Zároveň štatistickým spracovaním rozumieme získanie nasledovných charakteristík:

$$\begin{aligned}\bar{x} &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i && \text{priemer} \\ s &= \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} && \text{štandardná odchýlka} \\ b_1 &= \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{s^3} && \text{šikmosť} \\ b_2 &= \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{s^4} - 3 && \text{špicatosť}\end{aligned} \quad (6)$$

kde x_i je prvok štatistického súboru a n je jeho rozsah. Priemer a štandardná odchýlka sú v klimatológii často používané štatistické charakteristiky a ich interpretácia je jasná. Šikmosť špicatosť sú charakteristiky opisujúce tvar rozdelenia početnosti daného prvku. Kladnou šikmosťou ($b_1 > 0$) rozumieme vychýlenie rozdelenia k nižším hodnotám (hodnoty nižšie ako medián majú vyššiu početnosť), naopak záporná šikmosť ($b_1 < 0$) znamená vyššiu pravdepodobnosť výskytu vyšších hodnôt. Kladná špicatosť ($b_2 > 0$) zasa indikuje rozdelenie početnosti s ostrejšim píkom ako je normálne rozdelenie, pri zápornej špicatosti je pík širší a nižší ako normálne rozdelenie.

Výsledky

Indexy používané na charakterizovanie stability atmosféry vychádzajú väčšinou iba z údajov o teplote a vlhkosti v rôznych hladinách. Preto boli pre kontrolu na údajoch z modelu CGCM2 A2 aj ERA40 vykonané štatistické spracovania podobne ako neskôr na samotných indexoch. Toto spracovanie odhalilo, že pri rozdelení početnosti teploty pri zemi v obdobiach, kedy priemerná denná teplota môže klesať pod 0°C , sa práve v okolí 0°C vyskytujú neprirodzene veľké početnosti. Na obr. 1. vidíme rozdelenie početnosti priemernej dennej teploty v 2m na jar pre CGCM2 aj ERA40. Môžeme si všimnúť, že túto vlastnosť ERA40 nemá, pritom model CGCM2 má pri početnostiach v okolí 0°C vysoký úzky pík, tak v období 1961-1990, ako aj v rokoch 2011-2040. Tento prudký nárast v početnostiach nulových teplôt sa dá pozorovať aj pre chladný polrok, zimu, jeseň a všetky mesiace, v ktorých priemerná denná teplota môže klesať pod 0°C (obrázky neuvádzame). Pri skúmaní tejto chyby sa ukázalo, že podobnú vlastnosť má aj iný výstup z CGCM2 A2 a tým je teplota povrchu. To nás vedie k názoru, že v modeli sú nesprávne parametrizované fázové zmeny vody v pôde, ktoré umelo zvyšujú počty dní s priemernou teplotou v okolí 0°C . Na iných výstupoch ako na teplote v 2m a teplote povrchu z CGCM2 A2, ani vo vyšších hladinách (kde môže byť teplota nižšia ako 0°C väčšiu časť roka) sa tento problém nevyskytol.

Z tohto dôvodu akákoľvek interpretácia štatistických charakteristík vychádzajúcich z takýchto údajov môže byť sporná. Preto sa pri spracovaní obmedzíme iba na obdobie leta a letných mesiacov (jún, júl, august), kedy sa chybná parametrizácia v modeli na údajoch zaručene neprejaví. Toto je zároveň v zhode s tým ako sú navrhnuté empirické hranice pre určenie stability atmosféry (uvedené v časti *Metodika*). Pre jednotlivé indexy sú limity pre výskyt konvektívnych javov rôznej intenzity určené pozorovaním, najmä pre teplú časť roka, čiže pre chladný polrok nemáme škálu podľa, ktorej by sme exaktne posudzovali podmienky pre konvekciu. A ak si uvedomíme, že nebezpečné prejavy

počasie súvisiace s konvekciou sa sústreďujú najmä do najteplejšej časti roka, má obmedzenie sa na letné mesiace svoje opodstatnenie.

Sústredíme sa najprv na oblasť Slovenska. Tú sme pri našom spracovaní charakterizovali 6 gridovými bodmi. Na obrázkoch 2 až 5 máme rozdelenia početností jednotlivých parametrov stability atmosféry pre leto. Môžeme si všimnúť, že v referenčnom období 1961-1990 sa pre všetky indexy stredné hodnoty z modelu CGCM2 a ERA40 líšia o istú hodnotu. Túto systematickú chybu medzi „nameranými“ údajmi (ERA40) a údajmi z modelu CGCM2 dokážeme odstrániť úpravou priemeru (posunutie rozdelenia početností v smere osi x) a štandardnej odchýlky (rozšírenie resp. zúženie rozdelenia početností) kvocientovou, alebo diferenčnou metódou. Pri porovnaní štatistických charakteristík výstupov CGCM2 v období 2011-2040 oproti 1961-1990, však zmienenu opravu robiť nemusíme, ak predpokladáme, že systematická chyba klimatického modelu k nameraným údajom sa s časom nemení. Oproti obdobiu 1961-1990 vidíme pre indexy LI, SHI a TTI posun rozdelenia početností v období 2011-2040 smerom k stabilnejším hodnotám, zatiaľčo pre výšku kondenzačnej hladiny posun rozdelenia nepozorujeme. Z toho môžeme pre leto do budúcnosti usúdiť v priemere stabilnejšiu atmosféru (Tab. 1.) s malými úhrnmi zrážok. Na obr. 4 vidíme nárast početností, kedy je VKH vysoko, čo potvrdzuje hypotézu o zvýšení stability atmosféry na Slovensku v lete pre obdobie 2011-2040. Ak si však všimneme absolútne extrémne pre indexy SHI, TTI a čiastočne aj LI vidíme, že hodnota, ako aj početnosť výskytu týchto extrémov zostáva bez výraznej zmeny (Tab.1.), čo nás vedie k názoru, že prípady extrémne stabilnej resp. extrémne nestabilnej atmosféry budú mať podobný výskyt ako v referenčnom období 1961-1990.

LI	1961-1990	2011-2040
priemer	-4,12995	-3,52642
štandardná odchýlka	2,349468	2,397916
minimum	-12,4199	-12,3245
maximum	8,692094	8,567543

Tab. 1. Štatistické charakteristiky odvodené od indexu LI pre leto na Slovensku

Ak sa zameriame na priestorové zmeny v stabilite atmosféry v lete, podľa obr. 6. vidíme do budúcnosti nárast hodnoty indexu LI (zvýšenie stability) pre celú sledovanú oblasť Európy, pritom nad kontinentom je tento nárast menší ako nad morom (Stredozemné more, ...). Najmenší nárast pozorujeme na Balkáne a najväčší nad západným Čiernym morom. Na tej istej mape si zároveň môžeme všimnúť, že atmosféra je (aj bude) vo všeobecnosti stabilnejšia nad oceánom, ako nad pevninou. Zaujímavé sú hodnoty LI nad vnútrozemskými moriami, kde je atmosféra omnoho stabilnejšia ako nad okolitým kontinentom, preto práve tam pozorujeme najväčší gradient LI. Pre úplnosť si všimnime obr. 7. so štandardnou odchýlkou od priemeru LI v referenčnom období počas júla. Juh strednej Európy a sever Stredomoria majú najnižšiu variabilitu indexu LI v Európe a ukazuje sa, že smerom k 2011-2040 vo variabilite nenastanú žiadne podstatné zmeny (ako príklad uvádzame mesiac august – obr. 9). Pre strednú Európu môžeme podľa obr. 8. tiež usúdiť, že šikmost' rozdelenia LI sa bude mierne znižovať. To, inými slovami, znamená, že sa bude znižovať počet prípadov s menším LI (nestabilita) a rásť počet stabilnejších prípadov. Za pravdu nám dáva aj obr. 10, kde vidíme pokles v šikmosti rozdelenia SHI, ktorý tiež nasvedčuje ubúdaniu počtu prípadov s nestabilnou atmosférou a väčšie množstvo prípadov viac stabilnej atmosféry. Na základe tejto mapy, aj obr. 8., môžeme tvrdiť, že tento efekt bude výraznejší pre východnú ako pre západnú časť Slovenska.

Aby sme neopomenuli aj ostatné indexy, uvádzame obr. 11., na ktorom sa potvrdzuje fakt, že atmosféra nad kontinentom je menej stabilná (biela čiara). Všimnime si tiež, predpokladaný pokles TTI (nárast stability) pre väčšiu časť sledovaného územia. Uvádzame ho, pretože na rozdiel od LI nevychádza z prízemnej teploty, a teda zlá reprezentácia povrchu v modeli pri malom rozlíšení sa na ňom neprejavuje. Napriek tomu je v zhode s LI, v ktorom sa zlá reprezentácia povrchu prejaviť môže.

Ako sme uviedli vyššie, na Slovensku nie je predpoklad pre zmenu výšky kondenzačnej hladiny do budúcnosti. Môžeme si to overiť aj na obr.12, kde výraznejšiu zmenu (pokles) pozorujeme

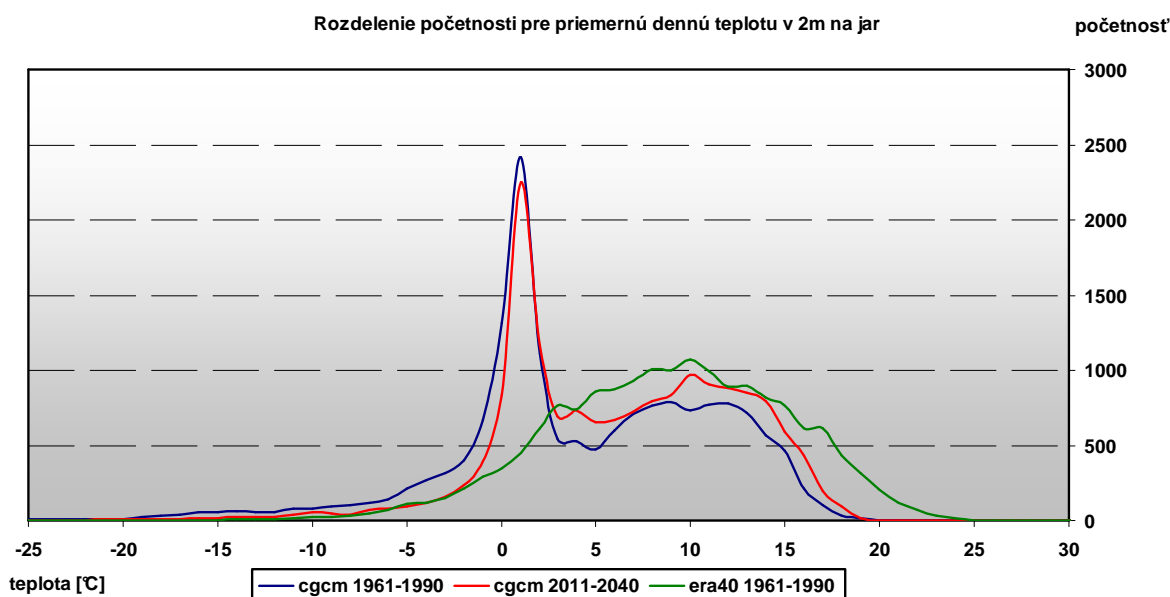
len nad Španielskom a Balkánom (pokles o 16 hPa, čo je približne 100-160 m). Vo variabilite VKH podľa obr. 13. neočakávame výrazné zmeny v strednej Európe. V oblasti Stredomoria je však predpoklad na rast variability výšky kondenzačnej hladiny.

Záver

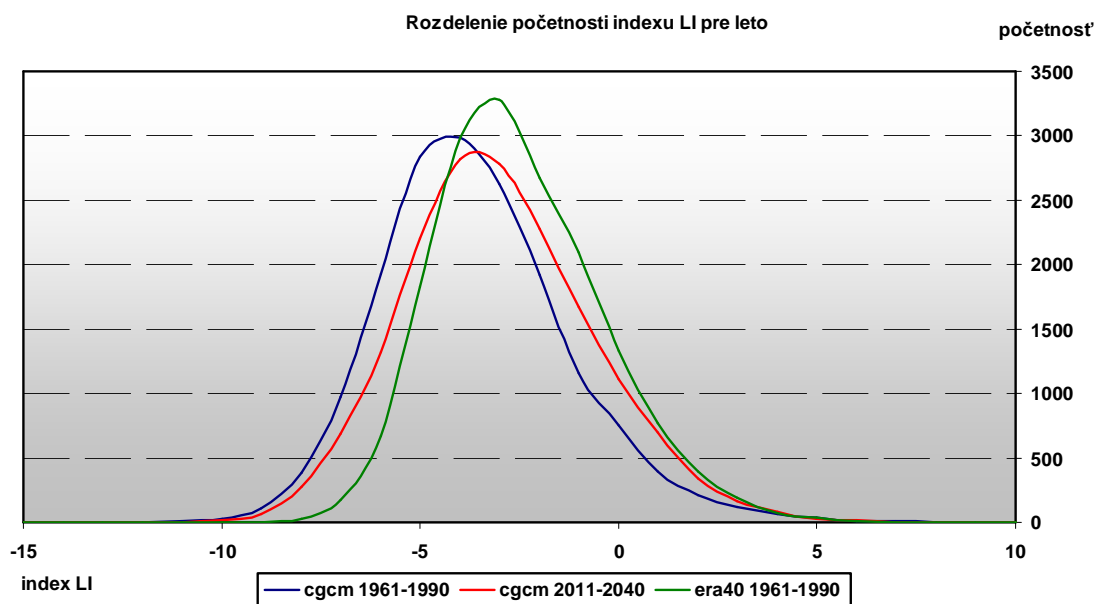
V príspevku nám išlo o zhodnotenie vplyvu klimatických zmien na stabilitu atmosféry a na podmienky konvekcie v Strednej Európe na základe výstupov z klimatického modelu CGCM2. Ako referenčné obdobie bol zvolený interval 1961-1990, skúmaným obdobím boli roky 2011-1040. Na dosiahnutie cieľa sme využili parametre stability atmosféry (Lifted index, Showalterov index, Total Toatals index a výška kondenzačnej hladiny), používané v meteorologickej praxi na predpoveď nebezpečných búrkových javov, ktoré vychádzajú z údajov o teplote a mernej vlhkosti v rôznych hladinách. Pri analýze sme narazili na problém s teplotou vzduchu v 2m, ktorá vykazuje nereálne vysoké početnosti výskytu teplôt v okolí 0°C (obr. 1.). Usudzujeme, že v modeli pôsobí nesprávna parametrizácia fázových zmien vody v pôde. Aj z tohto dôvodu sme sa pri ďalšom spracovaní sústredili výlučne na leto.

Do budúcnosti sa na základe analýzy dá pre Slovensko predpokladať, že atmosféra bude pre leto v priemere stabilnejšia podľa indexov LI, SHI a TTI, pri takmer nezmenenej výške kondenzačnej hladiny. Súčasne nie je predpoklad pre zmenu variability indexov stability atmosféry pre Strednú Európu ani pre variabilitu výšky kondenzačnej hladiny. Pre indexy stability, na základe rozdelenia početností, nepozorujeme výraznú zmenu v absolútnych extrémoch, ani v početnostiach prípadov s veľmi stabilnou resp. s veľmi nestabilnou atmosférou. Preukázala sa však zmena v šikmosti rozdelenia smerom k viac stabilným prípadom (naklonenie rozdelenia početnosti smerom k stabilite). To znamená nárast počtu prípadov viac stabilných oproti počtu prípadov nestabilnejších ako medián. Pre východné Slovensko, ako sme ukázali, je tento jav výraznejší ako pre západ krajiny.

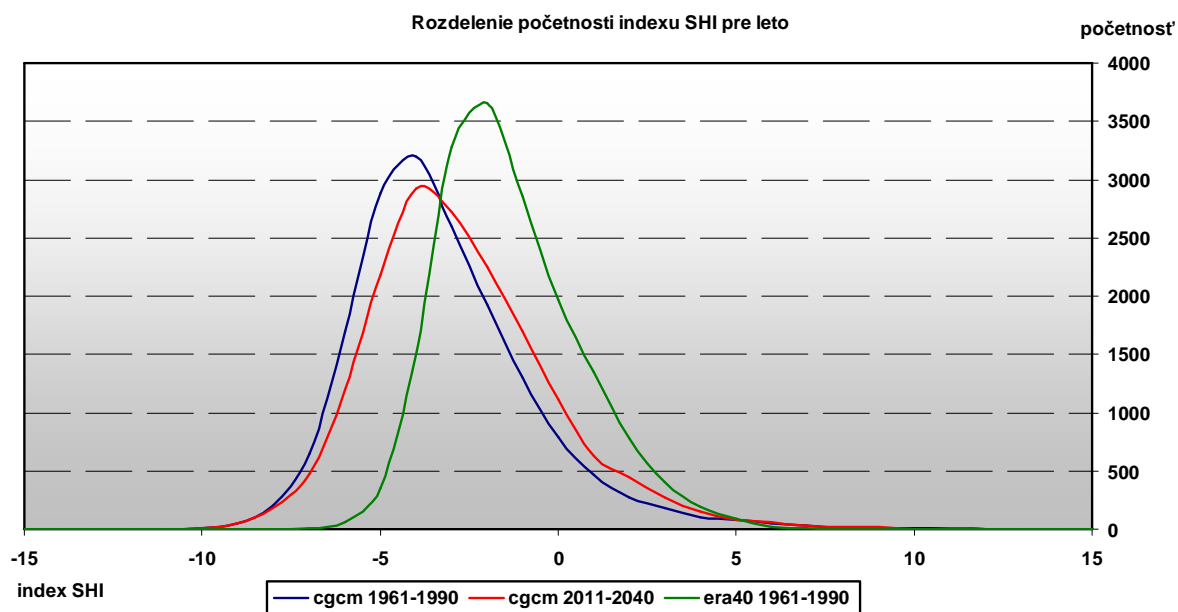
Informácia o stabilite atmosféry je dôležitým aspektom pre správne predpovedanie zrážkových úhrnov v budúcnosti. Veľkorozmerové podmienky pre výstupné pohyby zohrávajú a budú zohrávať dôležitú úlohu pri tvorbe zrážok. Veríme, že pri regionálnej interpretácii výstupov z klimatického modelu a pri downscalingu zrážok budú získané informácie naplno využité.



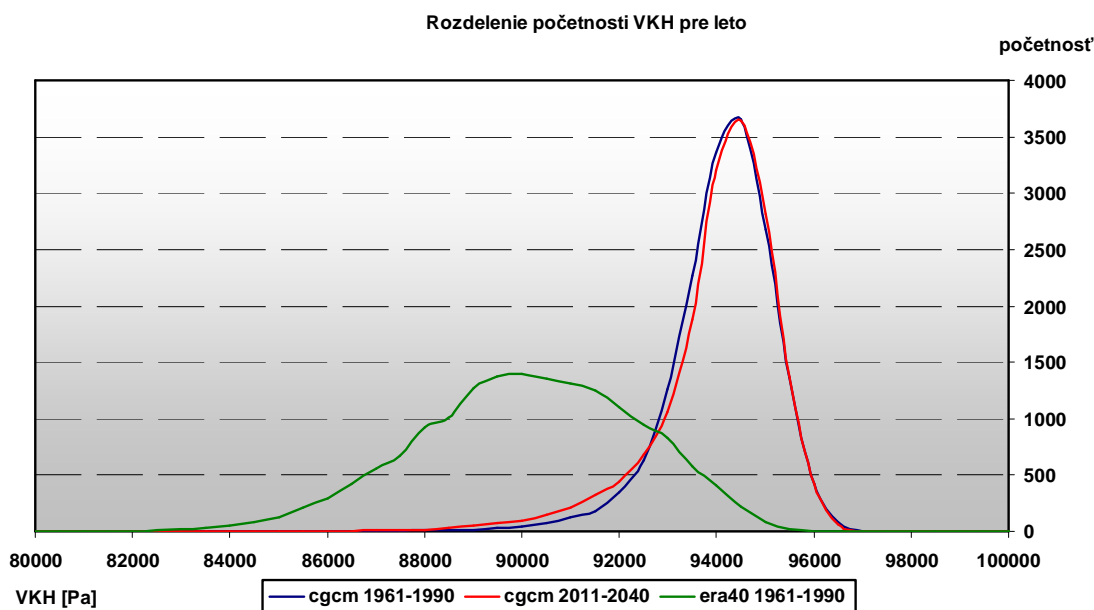
Obr. 1. Rozdelenie početnosti priemernej dennej teploty v 2m pre jar na Slovensku (modrá - priemerná denná teplota v 2m podľa CGCM2 A2 v období 1961-1990, červená – priemerná denná teplota v 2m podľa CGCM2 A2 v období 2011-2040, priemerová denná teplota v 2m podľa ERA40 v období 1961-1990).



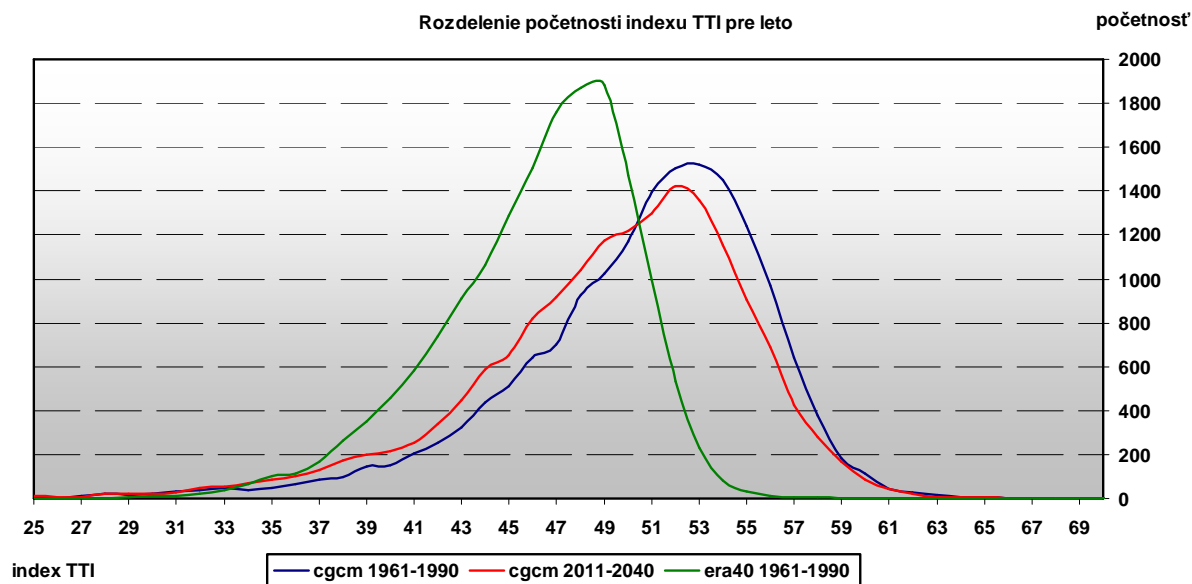
Obr. 2. Rozdelenie početnosti indexu LI pre leto (jún, júl, august) na Slovensku (modrá – index LI podľa CGCM2 A2 v období 1961-1990, červená – index LI podľa CGCM2 A2 v období 2011-2040, index LI podľa ERA40 v období 1961-1990).



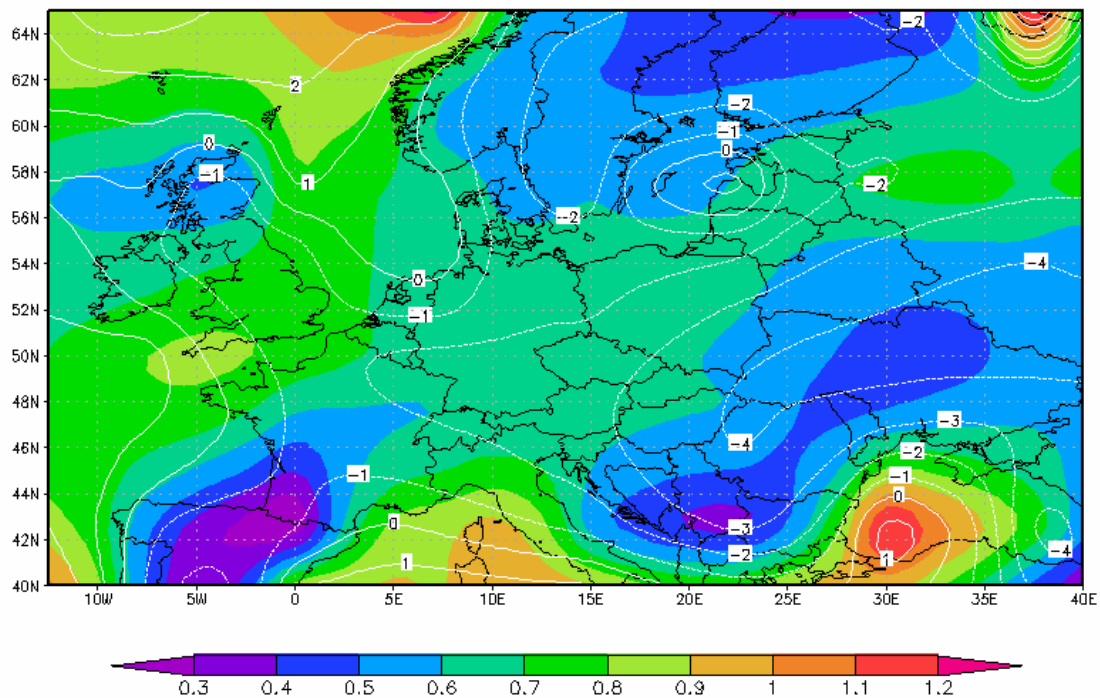
Obr. 3. Rozdelenie početnosti indexu SHI pre leto (jún, júl, august) na Slovensku (modrá – index SHI podľa CGCM2 A2 v období 1961-1990, červená – index SHI podľa CGCM2 A2 v období 2011-2040, index SHI podľa ERA40 v období 1961-1990).



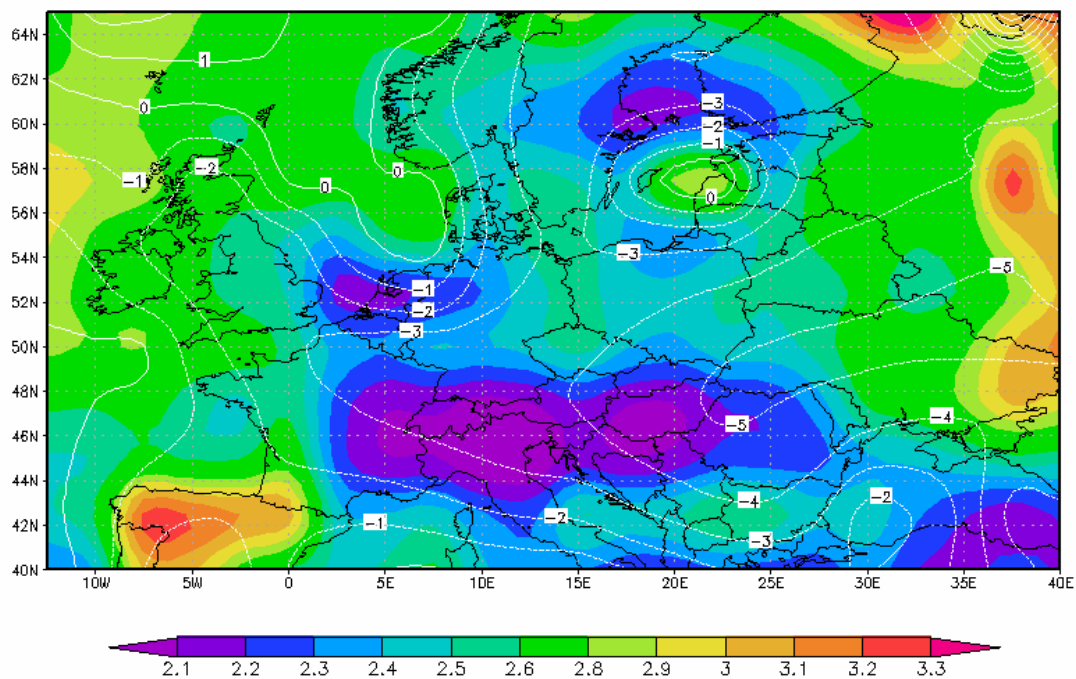
Obr. 4. Rozdelenie početnosti pre výšku kondenzačnej hladiny v lete (jún, júl, august) na Slovensku (modrá – výška kondenzačnej hladiny podľa CGCM2 A2 v období 1961-1990, červená – index LI podľa CGCM2 A2 v období 2011-2040, index LI podľa ERA40 v období 1961-1990).



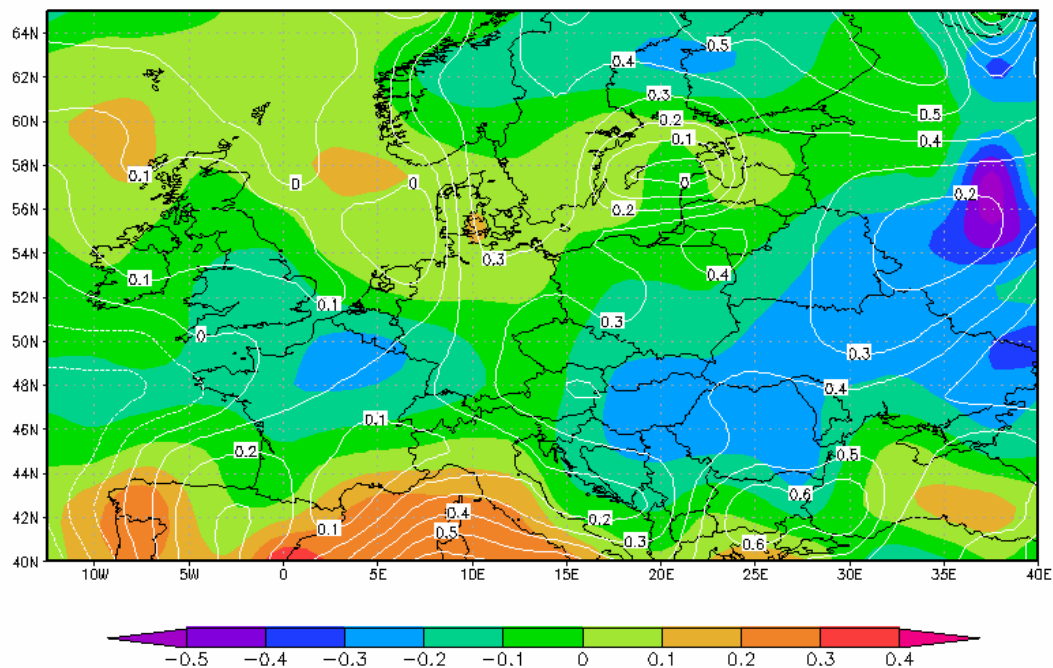
Obr. 5. Rozdelenie početnosti indexu TTI pre leto (jún, júl, august) na Slovensku (modrá – index TTI podľa CGCM2 A2 v období 1961-1990, červená – index TTI podľa CGCM2 A2 v období 2011-2040, index TTI podľa ERA40 v období 1961-1990).



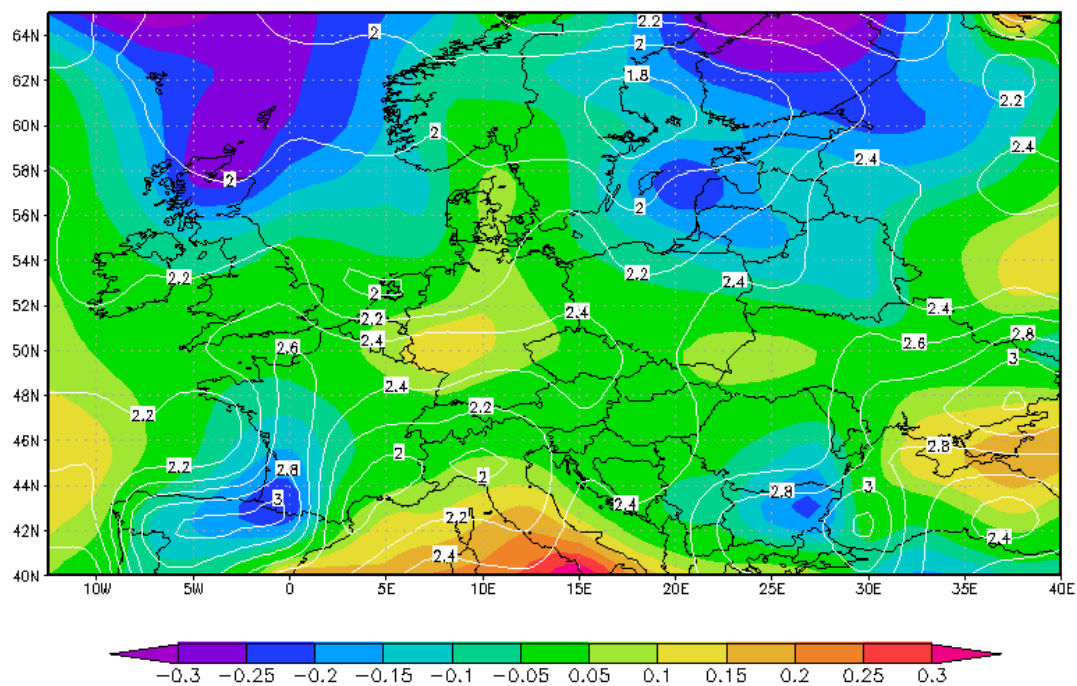
Obr. 6. Rozdiel 30-ročných priemerov indexu LI v období 2011-2040 oproti 1961-1990 počas leta (jún, júl, august) z údajov CGCM2. Bielou farbou je vyznačený priemer LI v lete za obdobie 2011-2040.



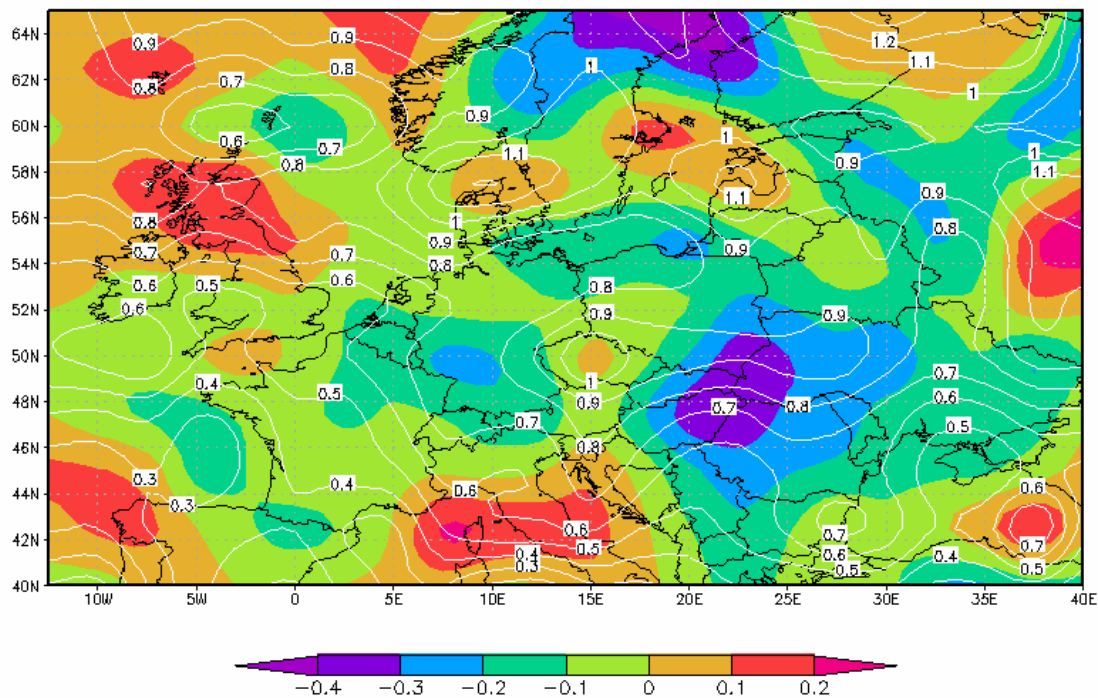
Obr. 7. Štandardná odchýlka indexu LI za 30 rokov v období 1961-1990 počas júla z údajov CGCM2. Bielou farbou je vyznačená priemerná hodnota LI v júli za obdobie 1961-1990.



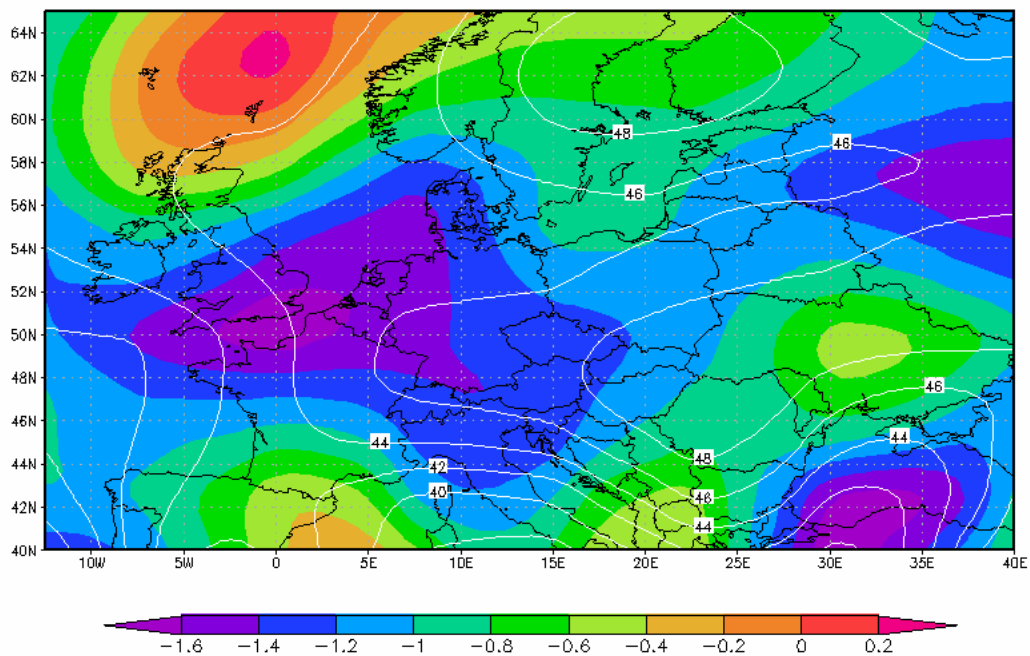
Obr. 8. Rozdiel v šikmosti rozdelenia indexu LI za 30 rokov v období 2011-2040 oproti 1961-1990 počas leta (jún, júl, august) z údajov CGCM2. Bielou farbou je vyznačená šikmosť rozdelenia LI v auguste za obdobie 2011-2040.



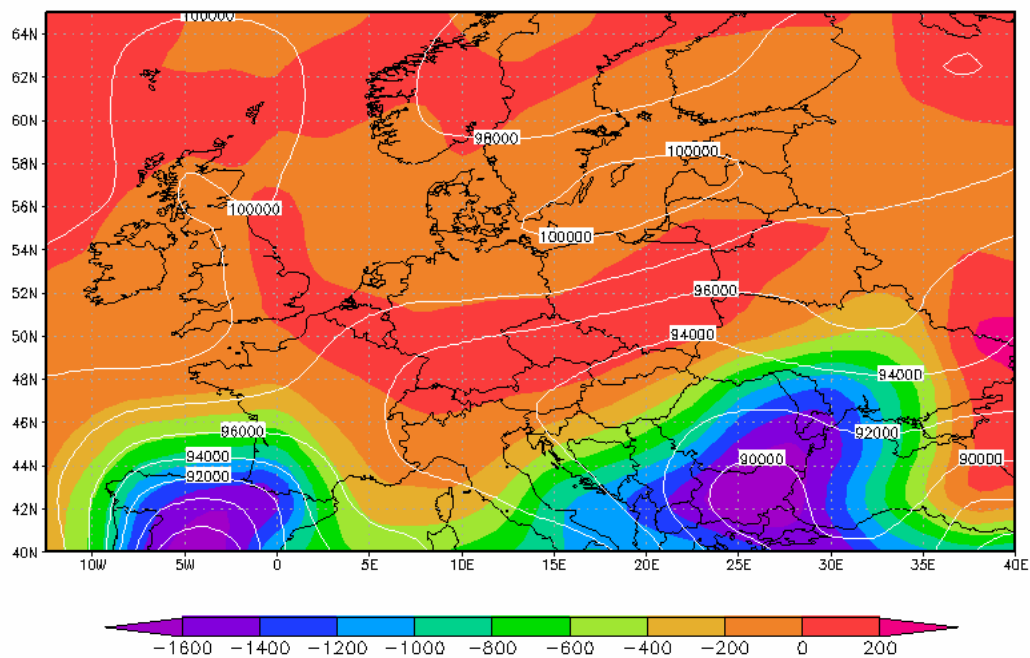
Obr. 9. Rozdiel v štandardnej odchýlke indexu LI za 30 rokov v období 2011-2040 oproti 1961-1990 počas augusta z údajov CGCM2. Bielou farbou je vyznačená štandardná odchýlka LI v auguste za obdobie 2011-2040.



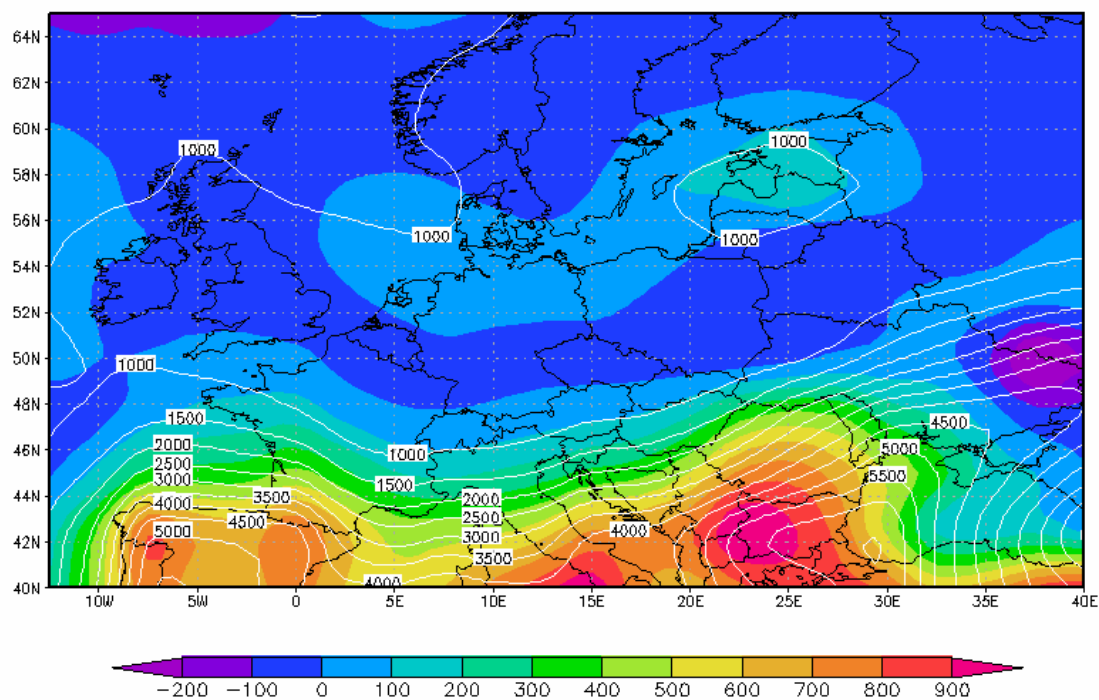
Obr. 10. Rozdiel v šikmosti rozdelenia indexu SHI za 30 rokov v období 2011-2040 oproti 1961-1990 počas leta z údajov CGCM2. Bielou farbou je vyznačená šikmost' SHI v lete za obdobie 2011-2040.



Obr. 11. Rozdiel priemerov indexu TTI za 30 rokov v období 2011-2040 oproti 1961-1990 počas leta (jún, júl, august) z údajov CGCM2. Bielou farbou je vyznačený priemer TTI v lete za obdobie 2011-2040.



Obr. 12. Zmena priemernej výšky kondenzačnej hladiny (Pa) za 30 rokov v období 2011-2040 oproti 1961-1990 počas leta (jún, júl, august) z údajov CGCM2. Bielou farbou je vyznačená priemerná výška kondenzačnej hladiny v lete za obdobie 2011-2040.



Obr. 13. Zmena štandardnej odchýlky výšky kondenzačnej hladiny (Pa) za 30 rokov v období 2011-2040 oproti 1961-1990 počas leta (jún, júl, august) z údajov CGCM2. Bielou farbou je vyznačená štandardná odchýlka výšky kondenzačnej hladiny v lete za obdobie 2011-2040.

Pod'akovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu vedy a techniky na základe Zmluvy č. APVT-20-018804

Literatúra

Petrovič, Š. (ed.) a kol., 1969: Podnebí ČSSR. Souborná studie. Hydrometeorologický ústav, Praha, 357 s.

Gera M., Damborská I., Martíni M, 11. november 2004: Analýza zmien prúdenia vzduchu v 500 hPa hladine s využitím výstupov ERA-40 a CCCM 2000, Zborník príspevkov, 7. Konferencia mladých meteorológov a klimatológov, organizátor: Slovenská meteorologická spoločnosť, Bratislava, rozsah 12str., ISBN 80-88907-79-7

M. Lapin, M. Melo, I. Damborská, M. Gera, 11.3.2004: Scenáre úhrnov zrážok počas extrémnych zrážkových situácií na Slovensku, Zborník, pp.18, ISBN 80-86690-12-1