

KLIMATICKÉ ZMENY A ICH VPLYV NA ŠTATISTICKÚ ŠTRUKTÚRU PRÍZEMNÝCH KLIMATICKÝCH POLÍ PRE POTREBY DOWNSCALINGU

M. Gera, I. Bašták, Ď., R. Drinka

Faculty of Mathematics, Physics and Informatics, mgera@fmph.uniba.sk

ABSTRACT

Surface analyses of the selected meteorological variables (temperature, specific humidity and wind speed) for different territory are analysed in this article. The source of data are reanalyses from ERA 40 project and the second version of the CCCMa Coupled Global Climate Model CGCM2 (Canadian climatic model) with IPCC SRES "A2" scenario. Statistical structure of investigates daily fields are performed (quantile characteristics, probability distribution, mean and standard deviation...). This approach allows us to evaluate the properties of Canadian climatic model and rightness of its climatologic predictions. In the first step the properties comparison is done for climatic model and reanalyses in the referenced period 1961-1990. For evaluation of ERA 40 data, comparison of measured data and the climatologic data from stations Hurbanovo and Liptovský Hrádok are performed. On the second step, future period 2011-2040 is taken for scenario probability analyses. The conclusions for weather change (climatic change) are discussed.

KEY WORDS: climatologic scenario, downscaling, probability distribution, statistical characteristics

1. ÚVOD

V súčasnosti k najpoužívanejším vstupom pre dlhodobý vývoj cirkulačných pomerov patria klimatické modely. Prepojené modely všeobecnej cirkulácie a oceánsko-atmosférické modely vo svojich výstupoch poskytujú časové rady s rôznym priestorovým a časovým rozlíšením, patria medzi ne, globálne cirkulačné modely (GCM) a lokálne (regionálne) modely (LAM). Okrem tohto dynamického prístupu, ktorý využíva základne rovnice popisujúce prúdenie tekutiny v atmosfére, sa stretávame aj so štatistickým prístupom, ktorý sa zameriava na štatistickú štruktúru a variabilitu údajov. Tieto údaje sú z pohľadu priestorového rozlíšenia značne zhladené. Parametrizácia fyzikálnych procesov, ktorá je pri takomto rozlíšení nevyhnutná, musí reprezentovať rozsiahle oblasti s rozmermi až 300x300 km. Stupeň interakcie medzi horizontálnym a vertikálnym rozlíšením klimatických modelov a interakcia fyzikálnych parametrizácií s rôznymi rozlíšeniami výrazne sťažujú konvergenciu riešenia modelu a tým aj stanovenie optimálneho priestorového a časového kroku modelu. Pri následnom spracovaní týchto výstupov, či už použitím dynamického alebo štatistického prístupu, musíme tieto poznatky zohľadniť a tým sa vyhnúť nesprávnej interpretácii, prípadne nevhodného použitia týchto údajov.

Cieľom tohto príspevku je analýza výstupov denných údajov klimatického modelu z kanadskeho centra pre modelovanie klímy a jej analýzy. Obsahovo sa zameriavame na porovnanie a konzistentnosť výstupov tohto modelu s reálne nameranými hodnotami vo vybranom referenčnom období a analýze výstupov vo vzdialenej budúcnosti.

Zameranie sa len na vyhodnotenie priemerov, prípadne extrémnych hodnôt neposkytuje prehľad o premenlivosti klímy. Preto sme sa zamerali na analýzu početností vybraných meteorologických prvkov a analýzu štatistického zabezpečenia vo vybraných časových obdobiach, pomocou štatistických charakteristík (použitie momentov, percentilov, atď.).

Tieto vedomosti, ako sme naznačili, sú potrebné pri ďalšej interpretácii a spracovaní. V našom prípade sa zameriavame na možnosti „downscalingu“ týchto údajov. Konštrukcia a výpočet regionálne interpretovaných klimatických scenárov a regionálnych klimatických modelov v spätosti s globálnymi klimatickými modelmi, má určité obmedzenia, vyplývajúce z matematických a fyzikálnych možností modelovania klimatických procesov. V príspevku ďalej analyzujeme, nakoľko je tento model schopný vyjadriť súčasnú klímu v jej časovej a priestorovej variabilite.

Atmosférická časť klimatického modelu CCCM 2000 (Kanadské centrum pre modelovanie klímy a analýzy, IPCC SRES "A2" scenár), ktorý je najnovším trojrozmerným modelom atmosférickej cirkulácie prepojeným s jednoduchým modelom oceánu a termodynamickým modelom morského ľadu, má horizontálne rozlíšenie T32/L10, t.j. ide o spektrálny model s 32 vlnami v zonálnom smere. V meridionálnom smere pri použití Gaussovho gridu je rozlíšenie približne $3,75^\circ$. Vo vertikálnom smere má 10 hladín. Oceánická časť modelu používa vyššie horizontálne rozlíšenie s dvojnásobne hustejšou gridovou sieťou ($1,875^\circ$ podľa zemepisnej dĺžky a $1,856^\circ$ podľa zemepisnej šírky) a s 29 vertikálnymi hladinami. Tento model poskytuje okrem veľkého počtu výstupov základných klimatických prvkov aj modelové hodnoty teploty, údaje o vetre, mernej vlhkosti v rôznych hladinách, ktoré sú v tomto príspevku analyzované (vybrali sme údaje v blízkosti povrchu).

Pre verifikáciu klimatického modelu sme použili výstupy z projektu ERA-40. Jeho hlavným cieľom je vytvorenie podrobných globálnych analýz popisujúcich stav atmosféry, pevniny a oceánu od r. 1958 do 2001 na základe dostupných údajov z pozorovaní, analýz a výskumných správ. V ERA-40 archíve sú uložené všetky základné údaje pre účely reanalýzy atmosférickej cirkulácie. Tieto údaje zahŕňajú:

- pozorovania,
- analýzy a predpovedné polia z asimilačného modelu atmosféry s úplným rozlíšením,
- analýzy a predpovedné polia z atmosférického modelu, vypočítané pre štandardné tlakové hladiny,
- analýzy a predpovedné polia, získané z atmosférického modelu pre izentropické plochy a povrch potenciálnej vorticity $PV=\pm 2$,
- analýzy a predpovedné polia z atmosférického modelu v pravidelnej sieti $2.5^\circ \times 2.5^\circ$,
- analýzy a predpovedné polia z prepojeného oceánicko-vlnového modelu v pravidelnej sieti $1.5^\circ \times 1.5^\circ$,
- mesačné priemery, rozptyly a kovariancie,
- časové rady,
- vybrané diagnostické a odvodené údaje.

Ďalšie, doplnujúce údaje sú generované ako súčasť vyhodnocovacej fázy projektu. Atmosférický model, ktorý používa ERA-40, má nasledujúce vlastnosti:

- 60 hladín vo vertikálnom smere,
- T159, sféricko-harmonické zobrazenie základných dynamických polí,
- redukovanú Gaussovu mriežku s približne homogénnym 125 km krokom na povrchu.

Polia sú archivované v štandardnej 2.5° mriežke rovnako ako aj v ich základnom modelovom tvare (T159 sférická harmonická alebo zodpovedajúca redukovaná Gaussova mriežka). Údaje sú bežne archivované ako kompletne súbory polí pre daný čas analýzy a môžu byť uložené aj v tvare časových radov.

Pri interpretácii modelových výstupov pre malú oblasť (downscaling) sme sa sústredili na nasledujúce fakty:

- rozlíšenie modelu (výstupy nereprezentujú reálne sa vyskytujúcu klímu v danom bode),
- krok časových simulácií,
- neporovnateľnosť modelových a meraných charakteristík, parametrizácia fyzikálnych procesov menšieho rozsahu ako je krok výpočtovej siete modelu (pre klímu malých oblastí).

2. METODIKA

Štatisticky sme spracovali nasledujúce meteorologické prvky pri zemskom povrchu:

- teplota vzduchu **T**,
- rýchlosť vetra a zložky rýchlosti vetra **U, V**,
- merná vlhkosť **Q**

V prvej fáze sme upravili oba súbory dát tak, aby sa mohli porovnať. Dáta pochádzajúce z modelu CCCM2000 a z ERA40 majú rozdielne horizontálne rozlíšenie (CCCM2000 $\approx 3.5^\circ$, ERA40 = 2.5°). Dáta z modelu CCCM2000 sme preto interpolovali pomocou kvadratických splajnov do rovnej siete ako dáta z projektu ERA40.

V časovom rade z modelu CCCM2000 sa prestupné roky nenachádzajú, preto sme v časovom rade z projektu ERA 40 odstránili dáta z 29. februára v prístupných rokoch.

V súbore z ERA40 nebolo k dispozícii pole mernej vlhkosti na zemskom povrchu **Q_2m**, chýbajúce pole sme dopočítali pomocou poľa rosného bodu pri zemi **Td_2m**.

Štatisticky sme spracovali dve 30-ročné obdobia: 1961-1990 a 2011-2040 (v druhom období sa spracúvali len dáta z modelu CCCM2000) na dvoch vybraných oblastiach:

- od -12.5° z.d. po 40° z.d., 40° z.š. - 65° z.š. - reprezentuje Európu a
- od 17.5° z.d. po 22.5° z.d., 47.5° z.š. - 50° z.š. - reprezentuje Slovensko

a v dvoch gridových bodoch:

- 17.5° z.d., 47.5° z.š. – reprezentuje stanicu Hurbanovo
- 20.0° z.d., 50.0° z.š. – reprezentuje stanicu Liptovský Hrádok.

Spracovanie sme urobili pre jednotlivé mesiace, ročné obdobia, polroky, celý rok a niektoré dni.

Na štatistické ohodnotenie spracovaných polí sme použili základné opisné charakteristiky: priemer \bar{x} , maximum x_{\max} , minimum x_{\min} , štandardná odchýlka s , šikmosť b_1 a špicatosť b_2 :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad x_{\max} = \max_{i=1,n}(x_i) \quad x_{\min} = \min_{i=1,n}(x_i)$$
$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{s^3} \quad b_2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{s^4} - 3$$

kde x_i sú prvky štatistického súboru a n je rozsah štatistického súboru.

Aby sme získali lepšiu predstavu o štatistickej štruktúre jednotlivých súborov, zostrojili sme histogram početností (predstavujú hustotu pravdepodobnosti prvku) a graf percentilov (predstavuje distribučnú funkciu prvku).

Charakteristiky a grafy sme spracovali sumárne pre vybrané oblasti a jednotlivo pre každý gridový bod v rámci vybranej oblasti (vhodné pre mapové výstupy).

3. VÝSLEDKY

Štatistická analýza údajov teploty, mernej vlhkosti a rýchlosti vetra je analyzovaná v období 1961-1990 a následne porovnávaná so scenármi v období 2011-2040. Okrem údajov z projektu ERA40 a CCCM 2000 (scenár A2, v príspevku na niektorých miestach použijem aj označenie CGCM2) sme pre porovnanie zahrnuli aj namerané údaje zo staníc Hurbanovo a Liptovský Hrádok. Tento prístup nám umožnil verifikovať platnosť údajov z ERA 40, z dôvodu downscalingu modelových údajov. Vieme, že údaje z ERA 40 (CCCM2000) reprezentujú plochu približne $180 \times 180 \text{ km}^2$ ($230 \times 230 \text{ km}^2$). Z tohto dôvodu sme analyzovali rôzne veľké oblasti a vplyv týchto oblastí na štatistickú štruktúru vybraných prvkov.

3.1 Kvantilové charakteristiky

Výskyt vybraných hodnôt prvků, frekvenciu jeho možného výskytu, nám môžu charakterizovať vybrané kvantily. Na obrázkoch 1a-3e sú znázornené očakávané zmeny medzi obdobiami 2011-2040 a 1961-1990 pre horný a dolný decil (výskyt raz za 10 rokov) v mesiacoch január a júl, výsledky pre ďalšie percentily nie sú prezentované v tomto príspevku.

Z obrázkov 1a-1d, ktoré popisujú teplotné zmeny pre vybrané mesiace je zrejme, že najväčšie zmeny sú pozorované nad oblasťou Poľska (obr. 1a). Tieto zmeny sa tiahnú od Škandinávie až po severné oblasti Slovenska. V tomto prípade očakávame výrazný pokles výskytu teplôt pod -11°C na severnom Slovensku (lokalita Liptovský Hrádok), kým v období 1961-1990 táto teplota približne prináležala dolnému decilu v mesiaci január, tak v období 2011-2040 je očakávaná hodnota dolného decilu pri teplote okolo $-5,9^{\circ}\text{C}$. Celkovo je tento trend pozorovaný v celom zimnom a jarnom období. Pre horný decil nepozorujeme až taký nárast (zima) a gradient zmien v zimnom období už nemá severo-južný, ale zonálny smer. Tieto zmeny zrejme úzko súvisia aj so zmenou mernej vlhkosti (obr. 2.a), kde je pozorovaný v dolnom decile výrazný nárast až o $4,5 \times 10^{-4}$ merných jednotiek. V letnom období je celkovo pozorovaný posun k vyšším hodnotám pre teplotu aj mernú vlhkosť v hornom aj dolnom kvantile. Letné vyššie hodnoty mernej vlhkosti súvisia so schopnosťou atmosféry poňať väčšie množstvo vodných pár pri vyššej teplote.

Pri rýchlosti vetra musíme byť pri interpretácii opatrnejší. Hlavnou príčinou je rozdielna orografia modelov navzájom a hlavne rozdiel voči skutočnej orografii. Vo všeobecnosti pre mesiac január môžeme konštatovať, že mierne zvýšenie rýchlostí je pozorované v oblasti severného Slovenska v celej oblasti percentilov. Mierny nárast rýchlostí na ostatnom území pre mesiac január je pozorovaný len pre oblasť údajov okolo mediánu, čo v našom prípade je nárast priemernej rýchlosti o $0,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, pri priemerných rýchlostiach 2 až $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Celkovo môžeme povedať, že k podstatnému zvýšeniu (viac ako $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) priemerných rýchlostí v celej oblasti percentilov na celom území Slovenska dôjde iba v mesiacoch marec (obr. 3.e) a apríl. Tento fakt je spojený s jarným obdobím, kedy sa očakáva zvýšený kontrast v meridionálnom smere.

Z pohľadu energetickej využiteľnosti nášho územia, napr. pre možnosti budovania veterných parkov sa tento fakt na prvý pohľad javí nepriaznivo, hoci zmeny sú rádovo malé (pripomeňme, že jeden bod ale reprezentuje cca. 200km^2). Musíme ale zdôrazniť, že až dynamická analýza poľa vetra pri zohľadnení orografických podmienok poskytnú uspokojivejšie overenie týchto tvrdení.

3.2 Ročný chod priemeru a štandardnej odchýlky

Ďalšie výstupy, ktoré sme analyzovali, je premenlivosť priemeru a štandardnej odchýlky pre vybrané prvky za jednotlivé obdobia (obr. 4a-8b). Podľa očakávania aj v 30. ročných radoch je viditeľná premenlivosť týchto prvkov v závislosti na vybratom období.

Pre teplotu je ročná amplitúda pre oblasť Európa 18°C , pre oblasť Slovensko je približne 22°C . Tento výsledok je ľahko odôvodniteľný vplyvom kontinentality, aj napriek tomu, že na Slovensku je členitý terén a vieme, že vyššie polohy majú menší index kontinentality. Poloha maxima na Slovensku variuje v mesiacoch júl a august. Pre minimum je zaujímavý rozdiel medzi modelom a reanalýzou. Model dáva minimum na mesiac február, pričom skutočne minimum je pozorované v januári. Ináč je pozorovaná dobrá zhoda medzi modelom a reanalýzou s tendenciou oteplenia o cca $1,5^{\circ}\text{C}$ v období 2011-2040.

Pre štandardnú odchýlku teploty je pozorovaná zvýšená variabilita v chladnom polroku, pre Európu s maximom v januári a minimom v júni, pre oblasť Slovenska je situácia komplikovanejšia. Maximum premenlivosti teploty v realite je pozorovaná v januári, model tuto variabilitu pre obe sledované mesiace posúva do mesiacov apríl, február a marec, pričom variabilita v období 2011-2040 je menšia ako v normálovom období 1961-1990. Prvý fakt sa dá vysvetliť len ako chyba modelu, druhý fakt je vysvetliteľný aj z výsledkov, ktoré sme analyzovali pri percentilových závislostiach. Táto chyba môže byť vysvetlená aj chybou, ktorá je pozorovaná pri teplote okolo 0°C . Kanadský model zrejme nezvláda fázový prechod pri topení a zamŕzaní vody (zrejme chyba v parametrizácii modelu, ktorý má potom vplyv na všetky ostatné prvky, najmä však na mernú vlhkosť a pod.). Na obr. 6c je pre ukážku vybratý takýto prípad, početnosti v blízkosti nuly sú výrazne nadhodnotené a tým je distribučná krivka

výrazne deformovaná. Podobne daný problém, je dobre viditeľný aj pri výbere jedného bodu, ktorý sme stotožnili s Hurbanovom (obr. 6d). Kvôli názornosti sú spracované navyše aj priamo merané údaje na stanici Hurbanovo. Celkovo ak odhliadneme od tejto chyby, z výsledkov je zrejme, že rozloženie početnosti pre teplotu má normálne rozdelenie. Pripomeňme, že posun maxim a mínim je v tomto prípade ovplyvnený rozdielnou orografiou. Tvar distribučnej krivky početnosti by ale nemal byť ovplyvnený touto orografiou, a tu vidíme priestor na zlepšenie a vývoj modelu, u ktorého sa tieto deformácie prejavujú výrazným spôsobom.

ERA 40 údaje a merania sú v dobrej zhode pre tento prvok.

Výsledky pre mernú vlhkosť neprezentujeme v grafickej forme. Pre mernú vlhkosť získane početnosti boli fitované Weibullovým rozdelením. Toto rozdelenie ma význam pri teórii extrémnych hodnôt, kde sa pracuje so štatistikou extrémnych výchylok od mediánu. Preto je vhodné pre spracovávanie údajov o vetre a mernej vlhkosti. Rozdelenie je určené dvomi, prípadne tromi parametrami, rozmerovým parametrom (a), koeficientom určujúci tvar rozdelenia (b) a prípadne pozičný parameter (po). V prípade, že poznáme strednú hodnotu $E(x)$, potom rozmerový parameter (a) môžeme určiť $a=((E(x)-po)/\Gamma(1+1/b))$, v prípade, že poznáme najpravdepodobnejšiu hodnotu (c), potom, $a=((c-po)/(1-1/b)^{1/b})$, kde Γ je gamma funkcia.

Pre vietor v 10m výške nad povrchom (obr. 7a-8b) je zrejmy fakt nadhodnotenia priemerných rýchlostí, ale ako sme už spomínali, tento nedostatok sa dá odstrániť jedine zrejme dynamickou adaptáciou pomocou LAM. Pre oblasť Európa je pozorované maximum rýchlostí v zimných mesiacoch, čo súvisí s intenzívnym zonálnym prenosom, minimum je v letných mesiacoch. Pre územie Slovenska je situácia menej prehľadná, opäť tu hrá úlohu vplyv orografie. Rozdelenie početností ma tvar Weibullovej distribučnej funkcie.

3.3 Distribučné krivky

Sústredíme sa na zmeny rozložení početnosti pre jednotlivé prvky v sledovaných 30 ročných obdobiach. Zameriame sa na zmenu tvaru rozloženia rozdelení. Tieto zmeny najjednoduchšie zistíme pomocou základných charakteristík ako je štandardná odchýlka, šikmosť či špicatosť. V Tab.1 pre názornosť uvádzame tieto základne štatistické parametre pre teplotu v 2m nad povrchom pre jednotlivé ročné obdobia. Z tejto tabuľky je opäť zrejma chyba pri teplote okolo nuly, ktorá kazí tvar normálneho rozdelenia. Za predpokladu, že chyba sa prejavuje rovnako v oboch 30 ročných obdobiach, môžeme povedať, že v zimnom období sa rozdelenie zúži (nárast špicatosti).

Tab. 1 Základne teplotné (2m) štatistické charakteristiky pre ročné obdobia na území Slovenska. Porovnanie klimatického modelu (CGCM2) v obdobiach 1961-1990 a 2011-2040 a údajov z ERA40 za obdobie 1961-1990

teplota (2m),Slovensko	priemer	minimum	maximum	štand. od.	šikmosť	špicatosť
Zima_cgcm2 1961-1990	-1.74217117	-34.5738373	10.2317	4.658325	-1.988412372	5.303425428
Zima_cgcm2 2011-2040	-0.35625672	-32.4540215	10.6715	3.924283	-1.935997448	7.246247259
Zima_era40 1961-1990	-1.35023749	-22.574234	13.2461	4.795831	-0.632795917	0.667296786
Jar_cgcm2 1961-1990	3.80991673	-29.6874237	19.3091	6.870225	-0.55508502	0.770468256
Jar_cgcm2 2011-2040	5.64078283	-24.9077892	18.9765	6.148170	-0.416091433	0.34537107
Jar_era40 1961-1990	8.34877396	-15.0577087	24.1899	6.115553	-0.269760129	-0.161771855
Leto_cgcm2 1961-1990	16.5136452	4.62174034	25.9594	2.837252	-0.201839938	0.070869179
Leto_cgcm2 2011-2040	17.766531	6.59760332	26.8804	2.851315	-0.183769647	0.177153543
Leto_era40 1961-1990	17.9906635	4.71566772	28.1981	3.435112	-0.054028275	-0.313990233
Jeseň_cgcm2 1961-1990	8.55746269	-2.85448861	22.1031	5.291502	0.015591035	-1.022959184
Jeseň_cgcm2 2011-2040	9.66910076	-6.9768548	23.4155	5.639148	0.01092988	-1.012341284
Jeseň_era40 1961-1990	9.64863491	-12.1908264	24.2766	5.665686	-0.221588643	-0.418503314

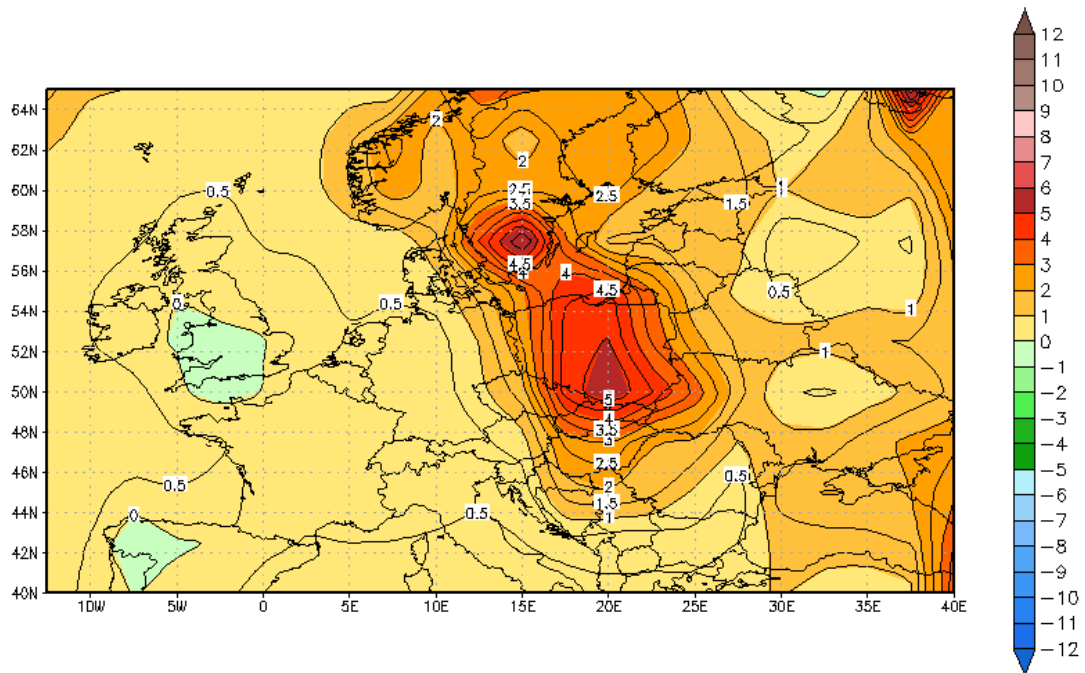
Predpokladá sa, že dôjde k väčšiemu nárastu minimálnych teplôt ako nárastu maximálnych teplôt. Zároveň je vidno posun priemeru o cca.1.4°C. Na jar sa očakáva pokles špicatosti, čiže zväčšenie početnosti vzdialenejších od strednej hodnoty. V lete je mierny nárast špicatosti, čiže zúženie hodnôt okolo strednej hodnoty. Jeseň sa v týchto parametroch významne nemení. Jediná zmena, platná pre všetky obdobia je posun priemeru k vyšším hodnotám.

Pre teplotu sme urobili analýzy pre jednotlivé mesiace zvlášť, pre ročné obdobia, polroky a celý rok. V Tab.2 uvádzame charakteristiky pre mernú vlhkosť a pre názornosť dane distribučné krivky sú aj na obrázkoch 9a-9d. Zaujímavé sa ukazujú rozdiely medzi obdobia, zima, leto a jar, jeseň. Kým rozdelenia v lete a zime skôr pripomínajú normálne rozdelenia, v obdobiach jar a jeseň je rozloženie blízko ku klasicky používanému Weibullovému rozdeleniu. Ďalej je zaujímavé nadhodnotenie vlhkosti v lete a podhodnotenie početností v jeseni voči reanalýze (veľký rozdiel v špicatosti). Z obrázkov ďalej vyplýva, že jedine v lete dôjde k signifikantnému zvýšeniu mernej vlhkosti.

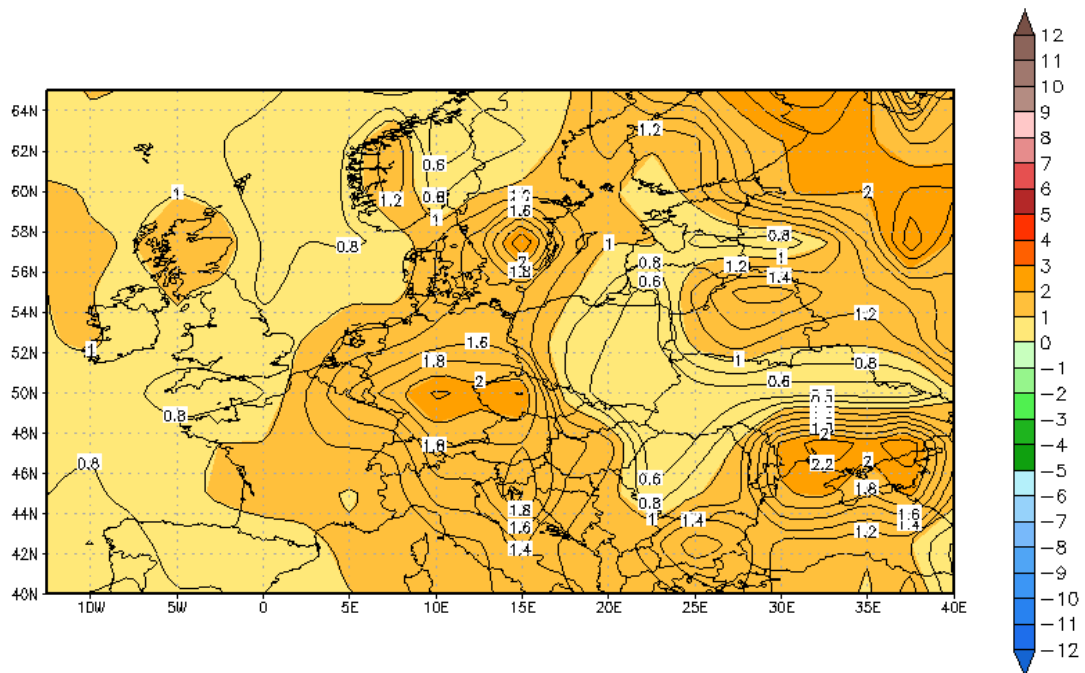
Tab. 2 Základne štatistické charakteristiky mernej vlhkosti pre ročné obdobia na území Slovenska. Porovnanie klimatického modelu (CGCM2) v obdobiach 1961-1990 a 2011-2040 a údajov z ERA40 za obdobie 1961-1990

merná vlhkosť, Slov	priemer	minimum	maximum	štatnd. od.	šikmosť	špicatosť
Zima_cgcm2 1961-1990	0.0036	0.0000017	0.0081496	0.00108166	-0.176998353	1.134706
Zima_cgcm2 2011-2040	0.0039	0.0000274	0.0089386	0.00118321	0.239661599	0.75
Zima_era40 1961-1990	0.0032	0.0005324	0.0075073	0.00109087	0.157918649	-0.132970
Jar_cgcm2 1961-1990	0.0056	0.0000209	0.0143570	0.00246779	0.369289572	-0.500545
Jar_cgcm2 2011-2040	0.0061	0.0000124	0.0141071	0.00251197	0.310399536	-0.656726
Jar_era40 1961-1990	0.0054	0.0008002	0.0129081	0.00199499	0.496216971	-0.209666
Leto_cgcm2 1961-1990	0.0116	0.0032377	0.0214118	0.00215174	0.14554474	0.190759
Leto_cgcm2 2011-2040	0.0125	0.0042982	0.0213917	0.00226053	0.10907851	0.013928
Leto_era40 1961-1990	0.0096	0.0041072	0.0154661	0.00188414	0.221268293	-0.405276
Jesen_cgcm2 1961-1990	0.0073	0.0005939	0.01728	0.00263248	0.248860518	-0.459651
Jesen_cgcm2 2011-2040	0.0078	0.0008673	0.0188063	0.00292745	0.271042678	-0.494720
Jesen_era40 1961-1990	0.0064	0.001368	0.0136365	0.00216794	0.31601601	-0.523766

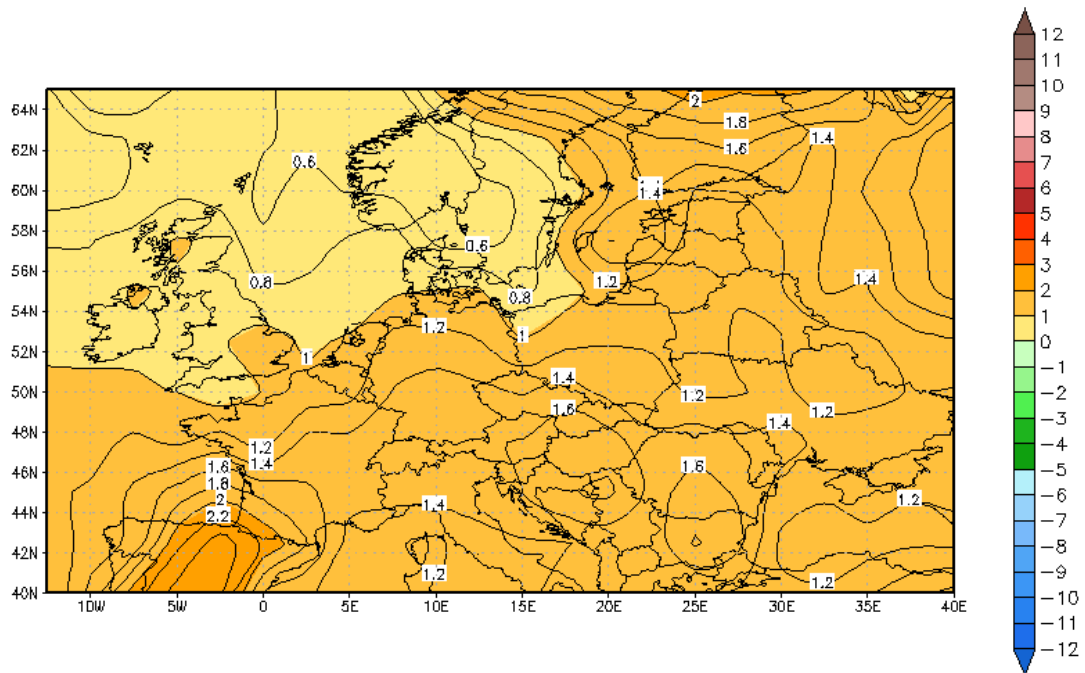
Výsledky pre rýchlosť vetra sú uvedené na obr. 10a-10d. Problém s orografiou je opäť výrazne viditeľný. Model výrazne nadhodnocuje vyššie rýchlosti, zatiaľ čo hodnoty okolo najčastejšie sa vyskytujúcej rýchlosti sú potláčané, pri porovnaní s reanalýzami. Ďalší zaujímavý fakt je, že sa zmeny v početnostiach v sledovaných 30 ročných obdobiach sú minimálne.



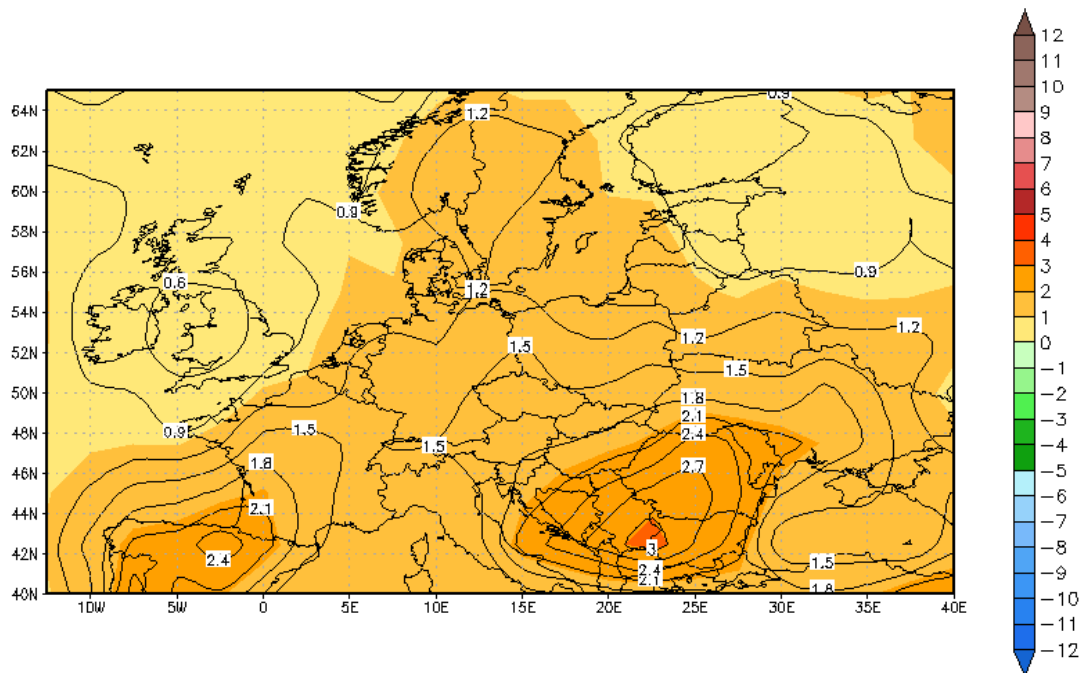
Obr.1a Odchýlka teploty pre dolný decil pre denné údaje v mesiaci január. Rozdiel hodnôt je pre 30 ročné obdobia 2011-2040 a 1961-1990 z modelu CGCM2



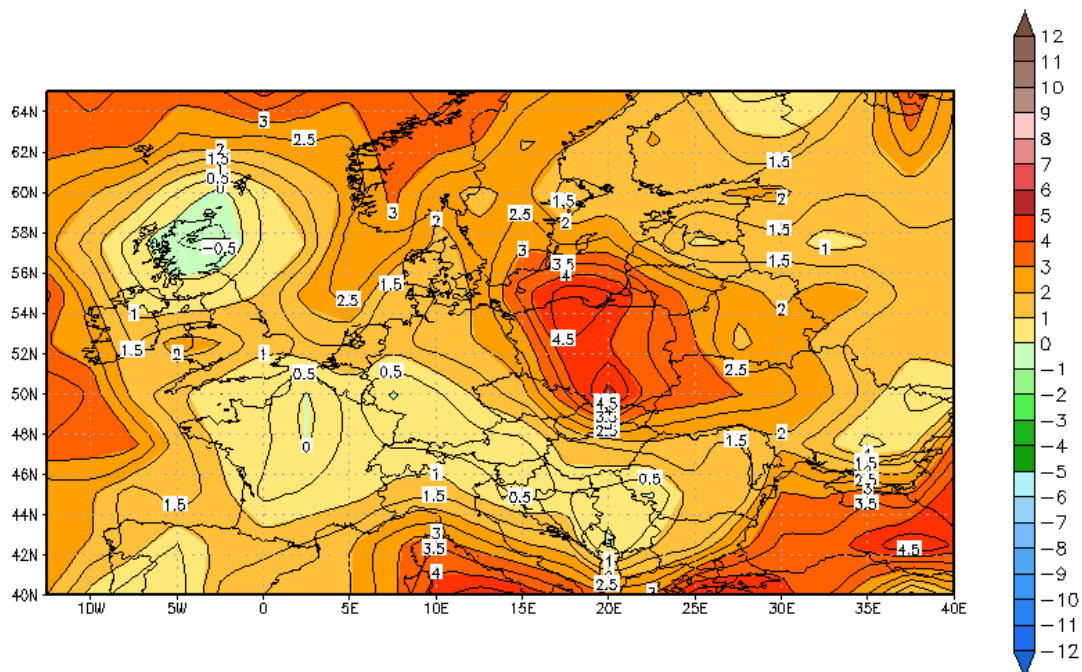
Obr.1b Odchýlka teploty pre horný decil pre denné údaje v mesiaci január. Rozdiel hodnôt je pre 30 ročné obdobia 2011-2040 a 1961-1990 z modelu CGCM2



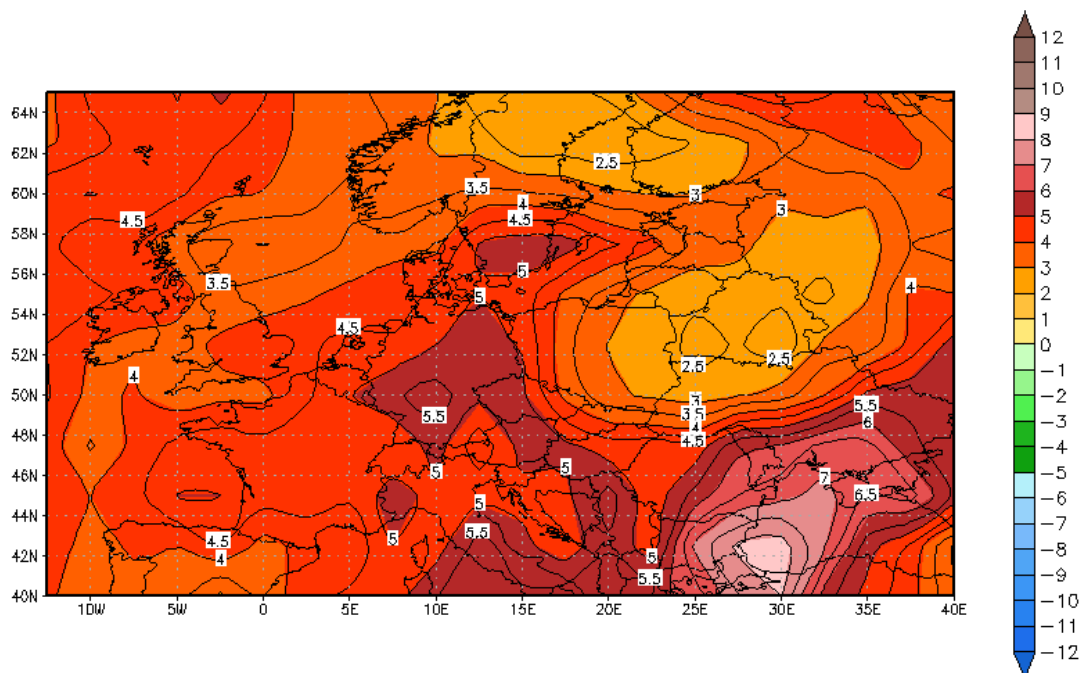
Obr.1c Odchýlka teploty pre dolný decil pre denné údaje v mesiaci júl. Rozdiel hodnôt je pre 30 ročné obdobia 2011-2040 a 1961-1990 z modelu CGCM2



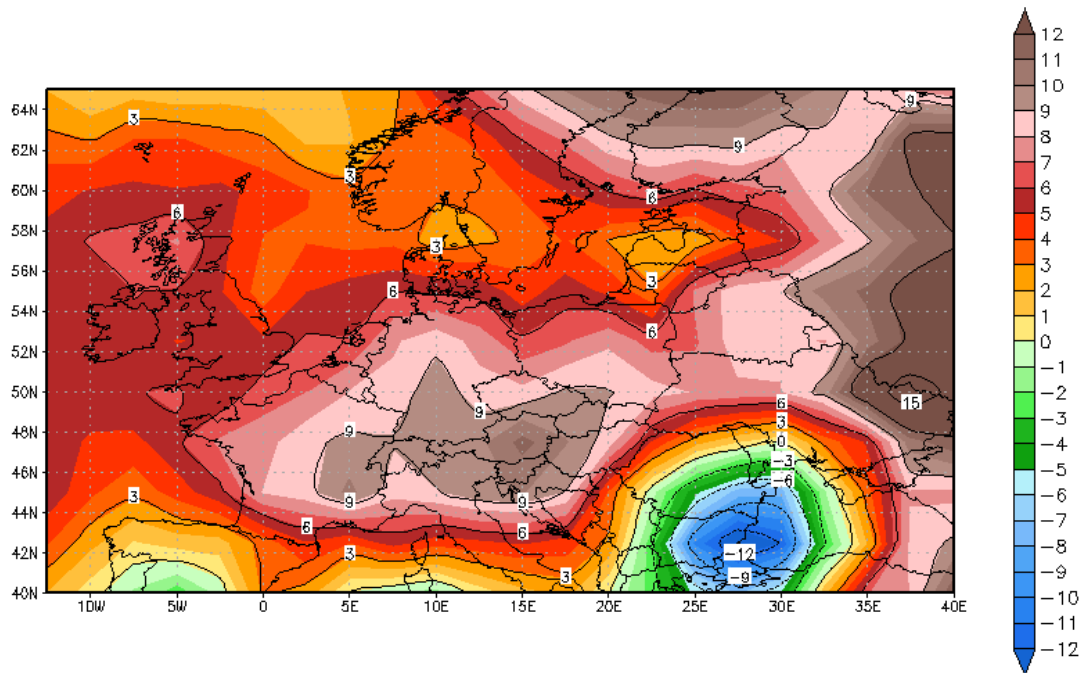
Obr.1d Odchýlka teploty pre horný decil pre denné údaje v mesiaci júl. Rozdiel hodnôt je pre 30 ročné obdobia 2011-2040 a 1961-1990 z modelu CGCM2



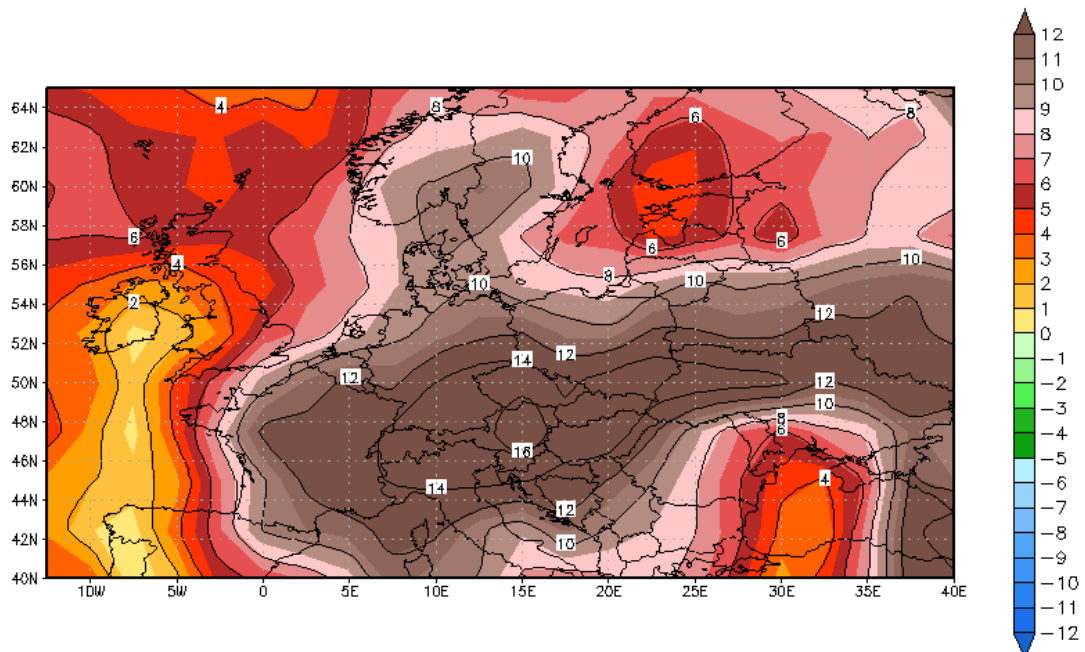
Obr.2a Odchýlka mernej vlhkosti kg.kg^{-1} ($\times 10^4$) pre dolný decil pre denné údaje v mesiaci január. Rozdiel hodnôt je pre 30 ročné obdobia 2011-2040 a 1961-1990 z modelu CGCM2



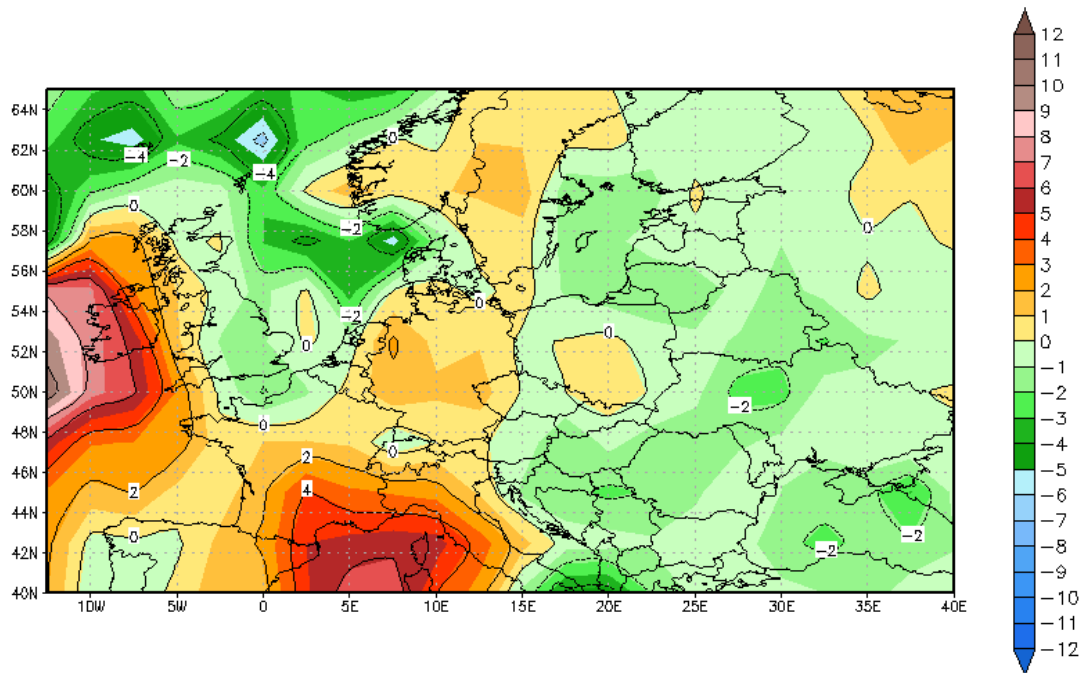
Obr.2b Odchýlka mernej vlhkosti kg.kg^{-1} ($\times 10^4$) pre horný decil pre denné údaje v mesiaci január. Rozdiel hodnôt je pre 30 ročné obdobia 2011-2040 a 1961-1990 z modelu CGCM2



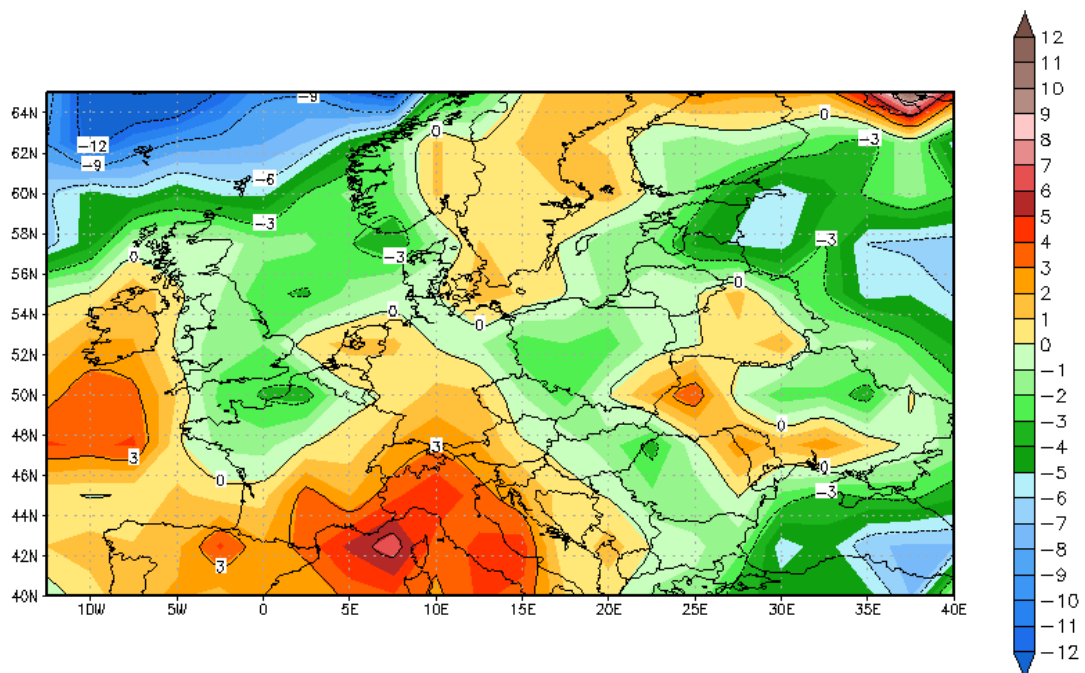
Obr.2d Odchýlka mernej vlhkosti $\text{kg.kg}^{-1} (\times 10^4)$ pre dolný decil pre denné údaje v mesiaci júl. Rozdiel hodnôt je pre 30 ročné obdobia 2011-2040 a 1961-1990 z modelu CGCM2



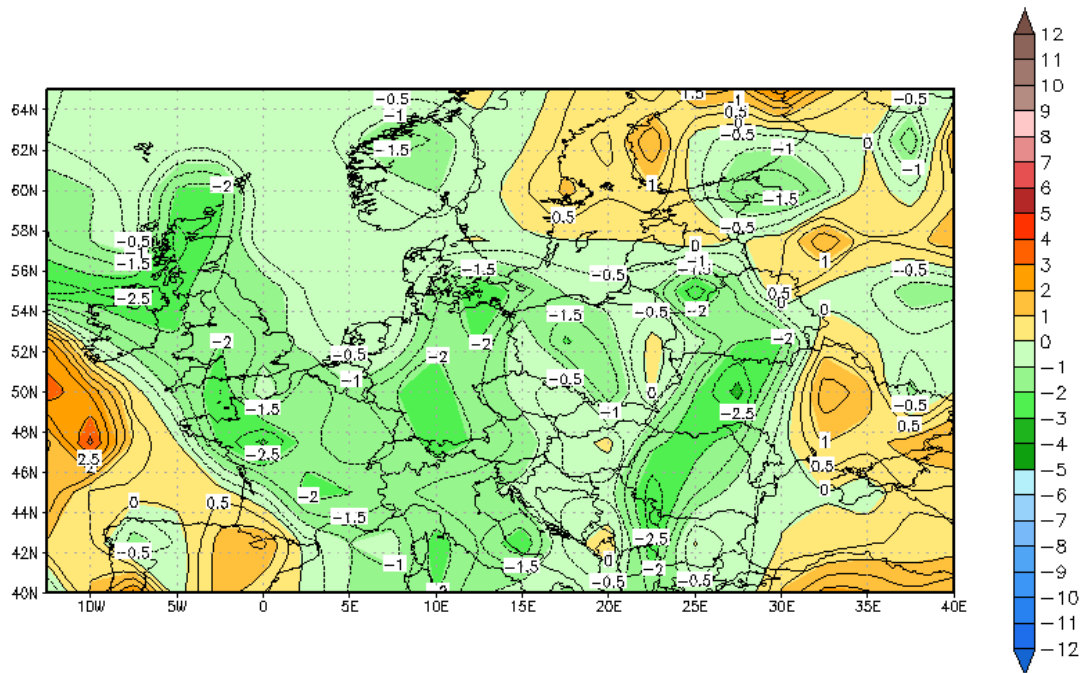
Obr.2d Odchýlka mernej vlhkosti $\text{kg.kg}^{-1} (\times 10^4)$ pre horný decil pre denné údaje v mesiaci júl. Rozdiel hodnôt je pre 30 ročné obdobia 2011-2040 a 1961-1990 z modelu CGCM2



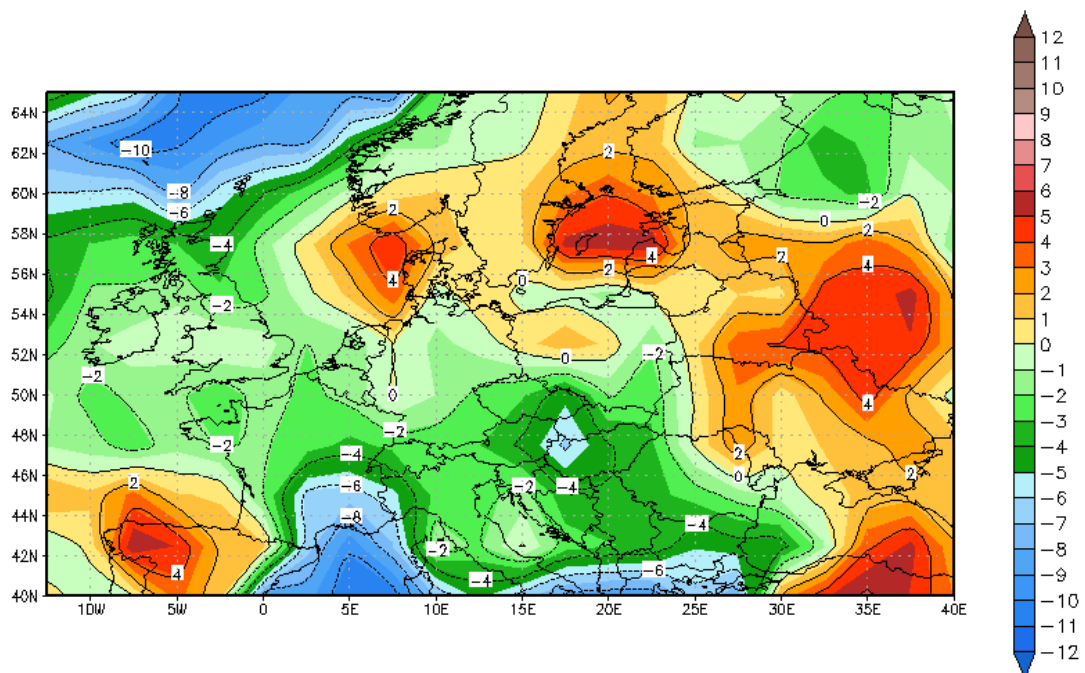
Obr.3a Odchýlka rýchlosti vetra $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ($\times 10^1$) pre dolný decil pre denné údaje v mesiaci január. Rozdiel hodnôt je pre 30 ročné obdobia 2011-2040 a 1961-1990 z modelu CGCM2



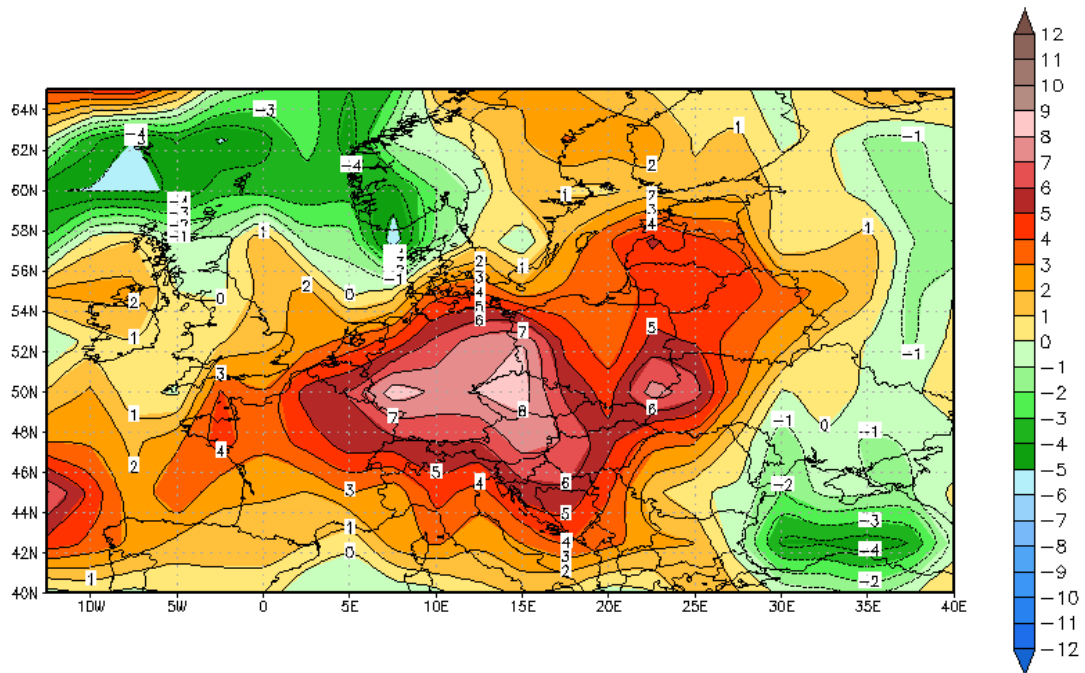
Obr.3b Odchýlka rýchlosti vetra $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ($\times 10^1$) pre horný decil pre denné údaje v mesiaci január. Rozdiel hodnôt je pre 30 ročné obdobia 2011-2040 a 1961-1990 z modelu CGCM2



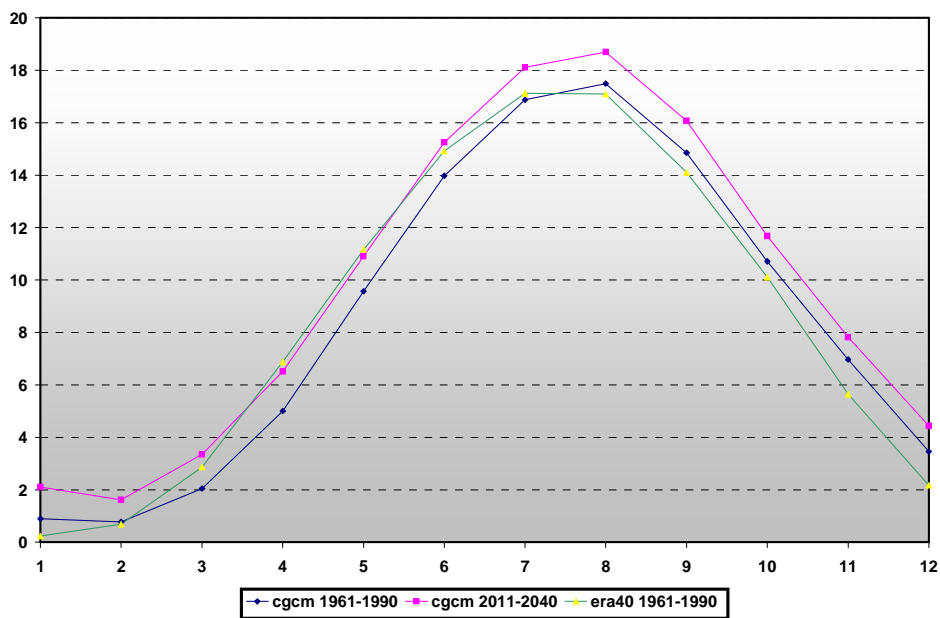
Obr.3c Odchýlka rýchlosti vetra $\text{m.s}^{-1} (\times 10^1)$ pre dolný decil pre denné údaje v mesiaci júl. Rozdiel hodnôt je pre 30 ročné obdobia 2011-2040 a 1961-1990 z modelu CGCM2



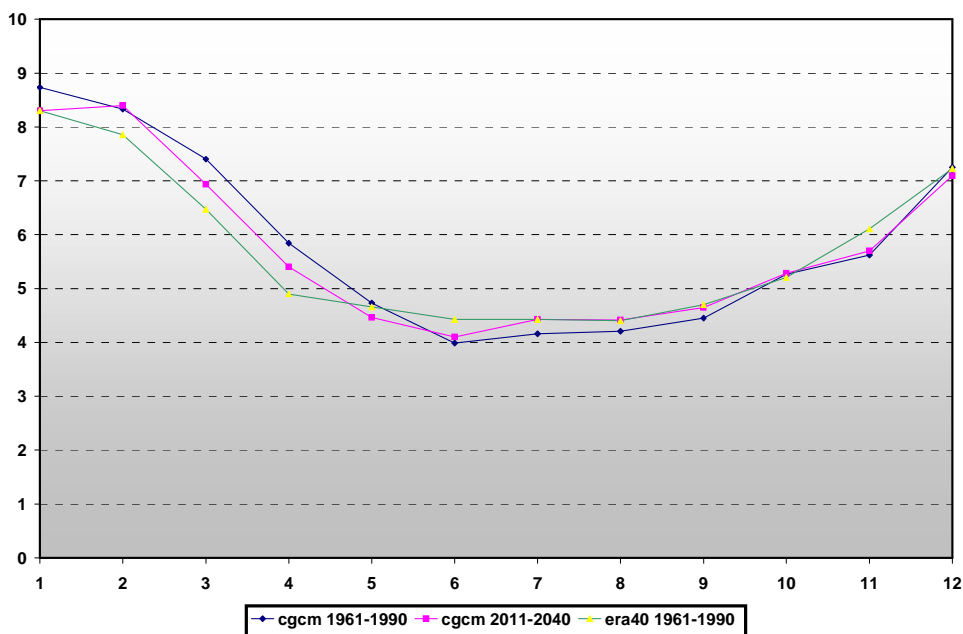
Obr.3d Odchýlka rýchlosti vetra $\text{m.s}^{-1} (\times 10^1)$ pre horný decil pre denné údaje v mesiaci júl. Rozdiel hodnôt je pre 30 ročné obdobia 2011-2040 a 1961-1990 z modelu CGCM2



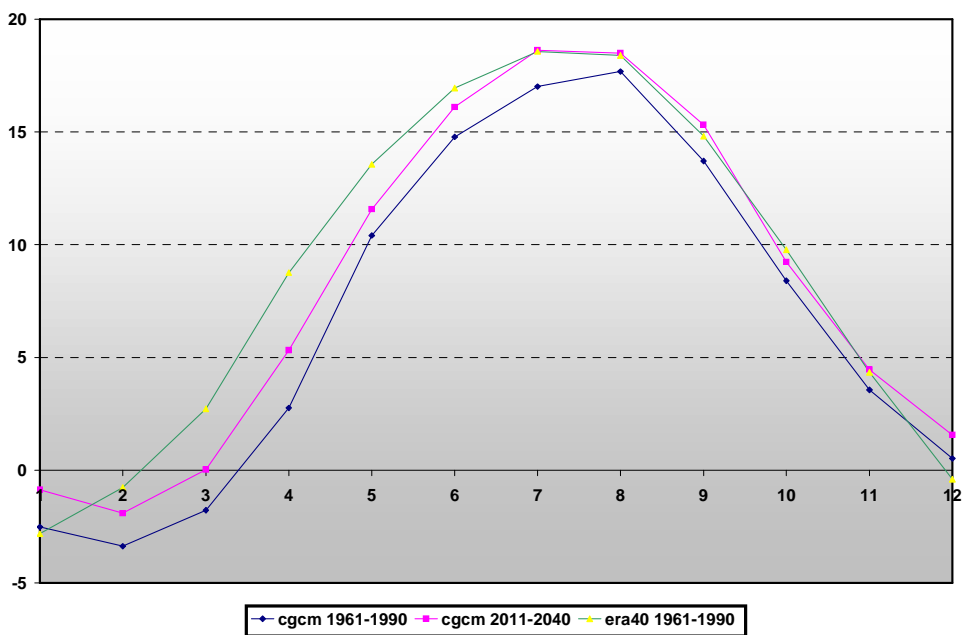
Obr.3e Odchýlka rýchlosti vetra $\text{m.s}^{-1} (\times 10^1)$ pre 30. percentil pre denné údaje v mesiaci marec. Rozdiel hodnôt je pre 30 ročné obdobia 2011-2040 a 1961-1990 z modelu CGCM2



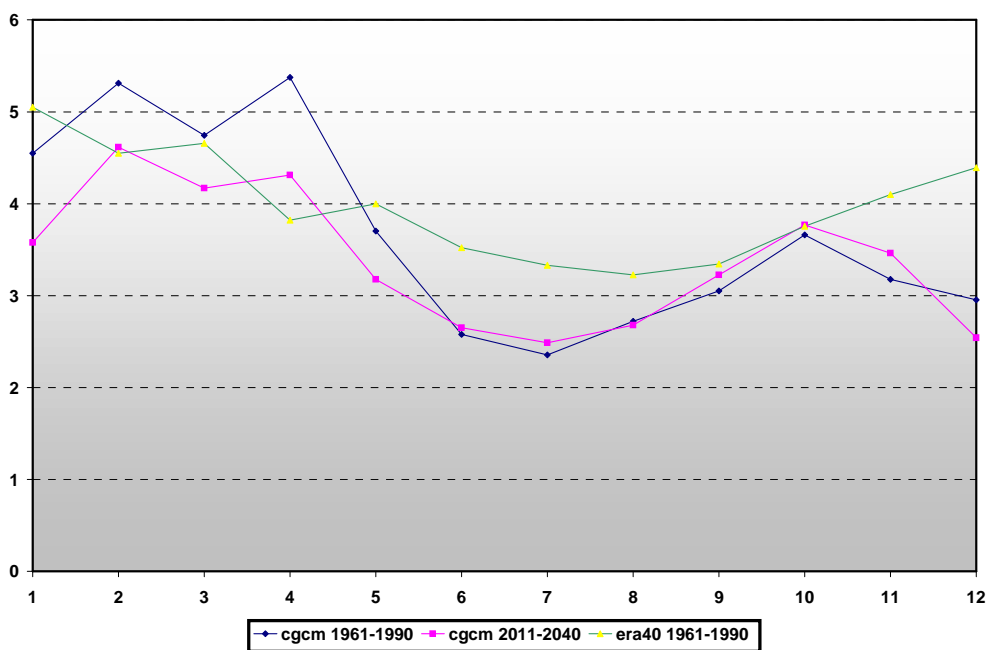
Obr.4a Ročný chod priemernej teploty (v 2m nad povrchom) na oblasti Európa, pre ERA a modelové údaje v období 1961-1990 a modelové údaje v období 2011-2040



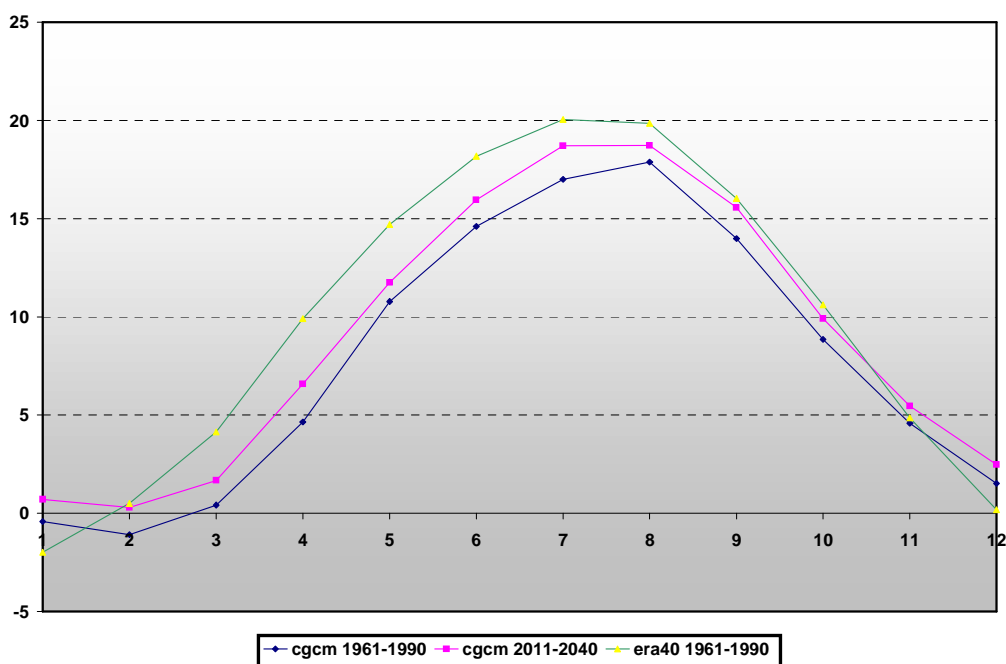
Obr.4b Ročný chod štandardnej odchýlky pre teplotu (v 2m nad povrchom) na oblasti Európa, pre ERA a modelové údaje v období 1961-1990 a modelové údaje v období 2011-2040



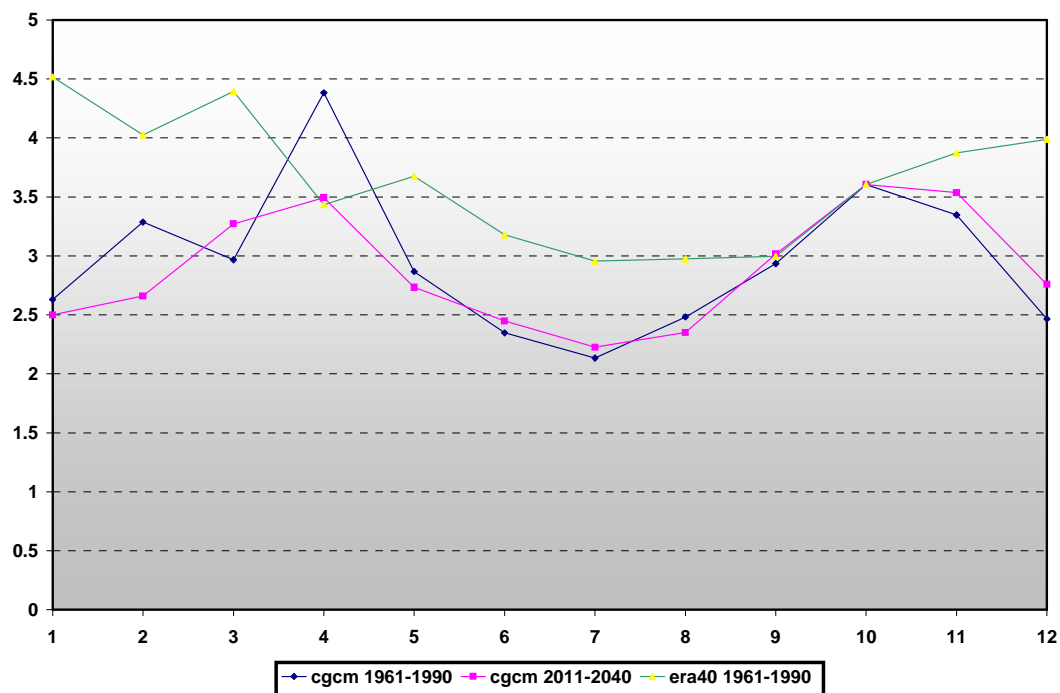
Obr.5a Ročný chod priemernej teploty (v 2m nad povrchom) na oblasti Slovensko, pre ERA a modelové údaje v období 1961-1990 a modelové údaje v období 2011-2040



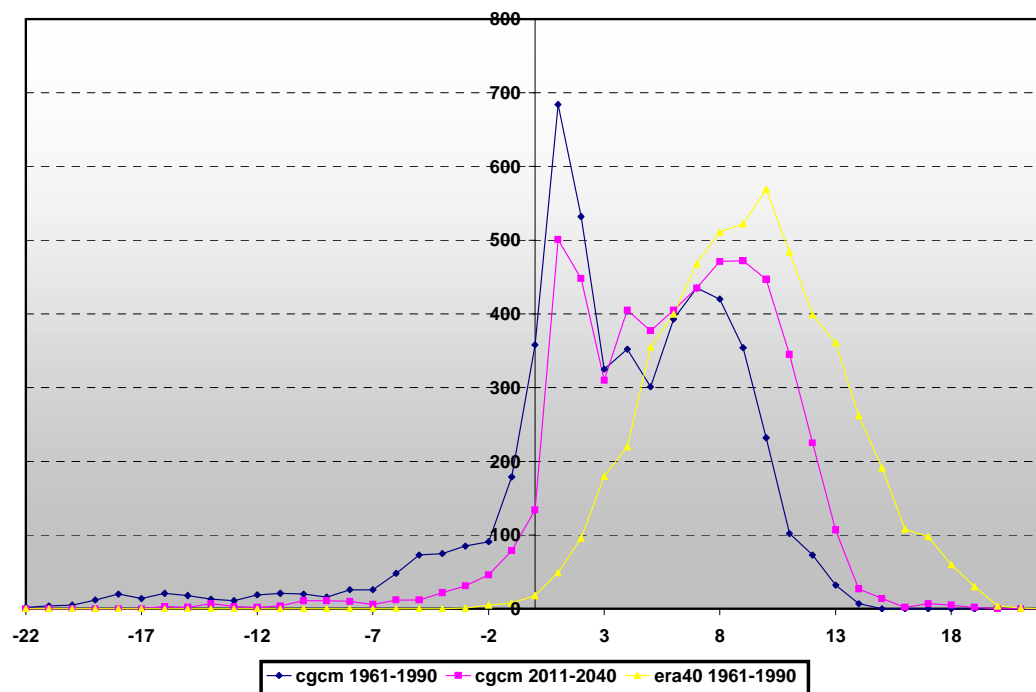
Obr.5b Ročný chod štandardnej odchýlky pre teplotu (v 2m nad povrchom) na oblasti Slovensko, pre ERA a modelové údaje v období 1961-1990 a modelové údaje v období 2011-2040



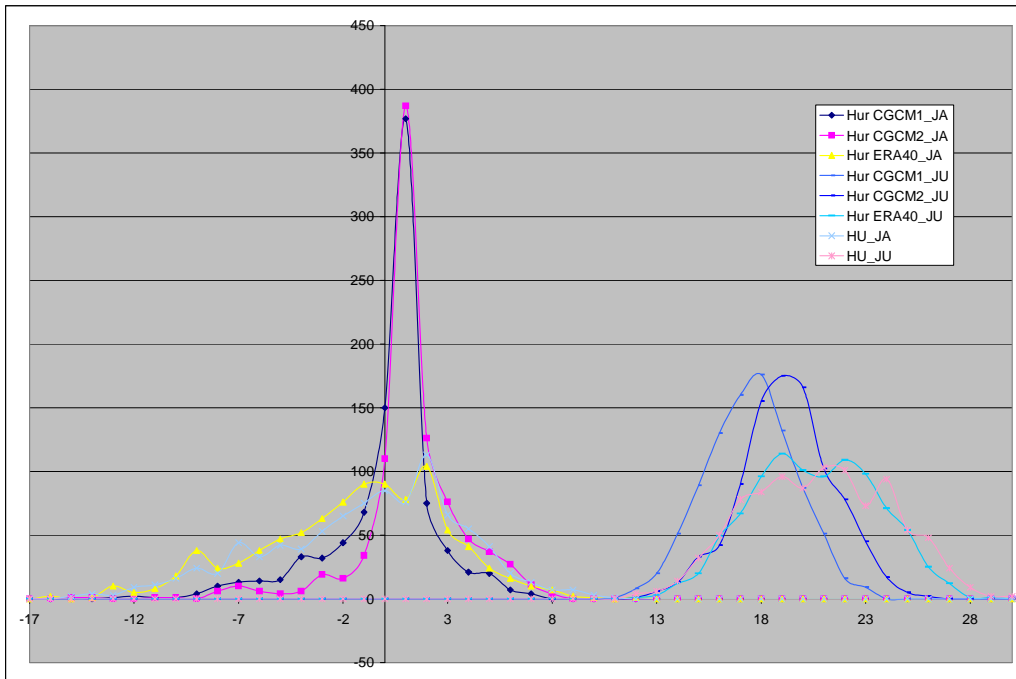
Obr.6a Ročný chod priemernej teploty (v 2m nad povrchom) pre Hurbanovo, pre ERA a modelové údaje v období 1961-1990 a modelové údaje v období 2011-2040



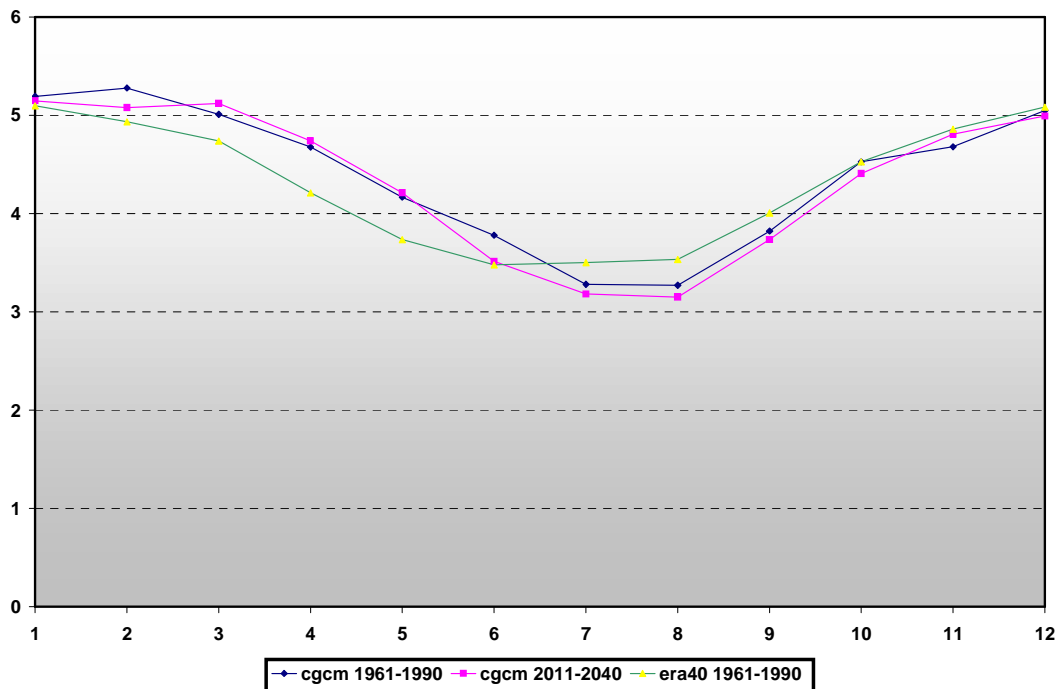
Obr.6b Ročný chod štandardnej odchýlky pre teplotu (v 2m nad povrchom) pre Hurbanovo, pre ERA a modelové údaje v období 1961-1990 a modelové údaje v období 2011-2040



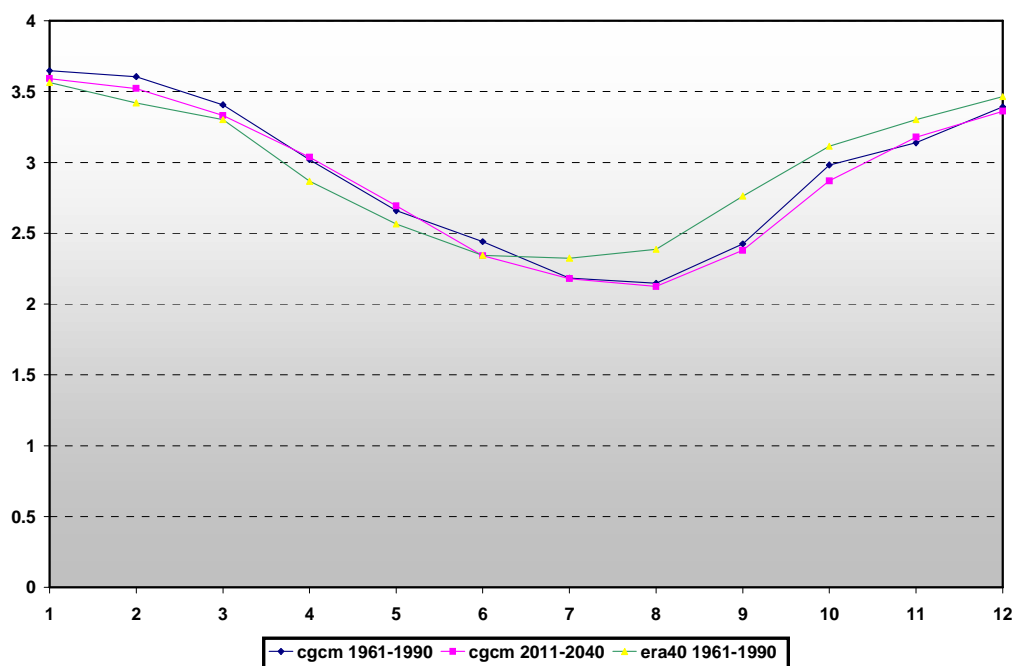
Obr.6c Rozdelenie početnosti pre teplotu (v 2m nad povrchom) pre oblasť Slovensko pre mesiac apríl, pre ERA a modelové údaje v období 1961-1990 a modelové údaje v období 2011-2040



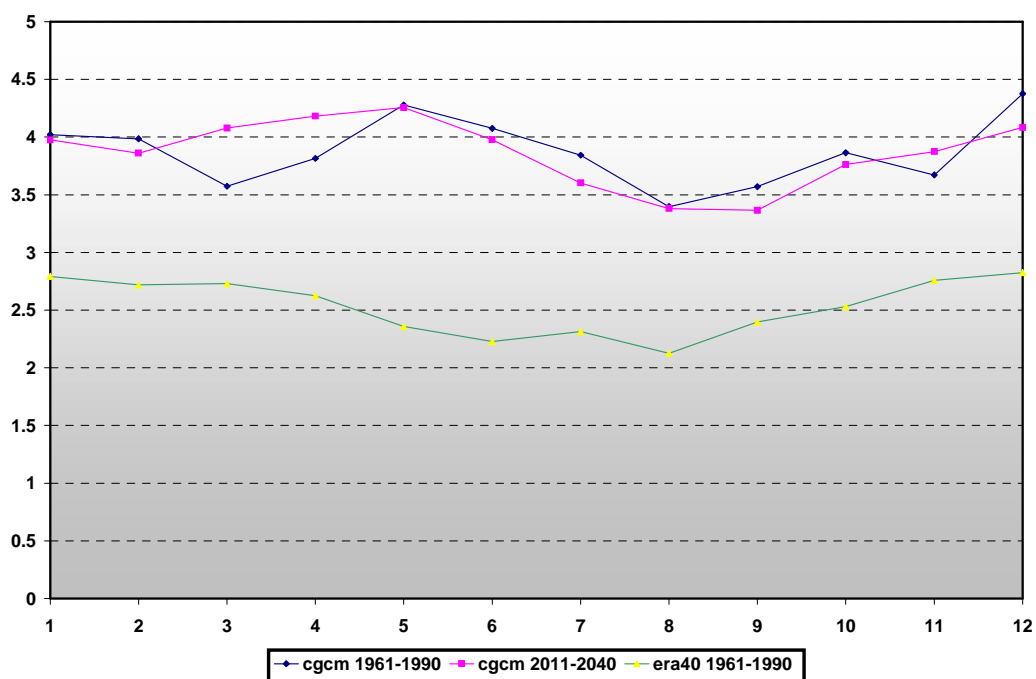
Obr.6d Rozdelenie početnosti pre teplotu (v 2m nad povrhom) pre Hurbanovo pre mesiac január (JA) a júl (JU), pre ERA, staničné (HU) a modelové (CGCM1) údaje v období 1961-1990 a modelové údaje (CGCM2) v období 2011-2040



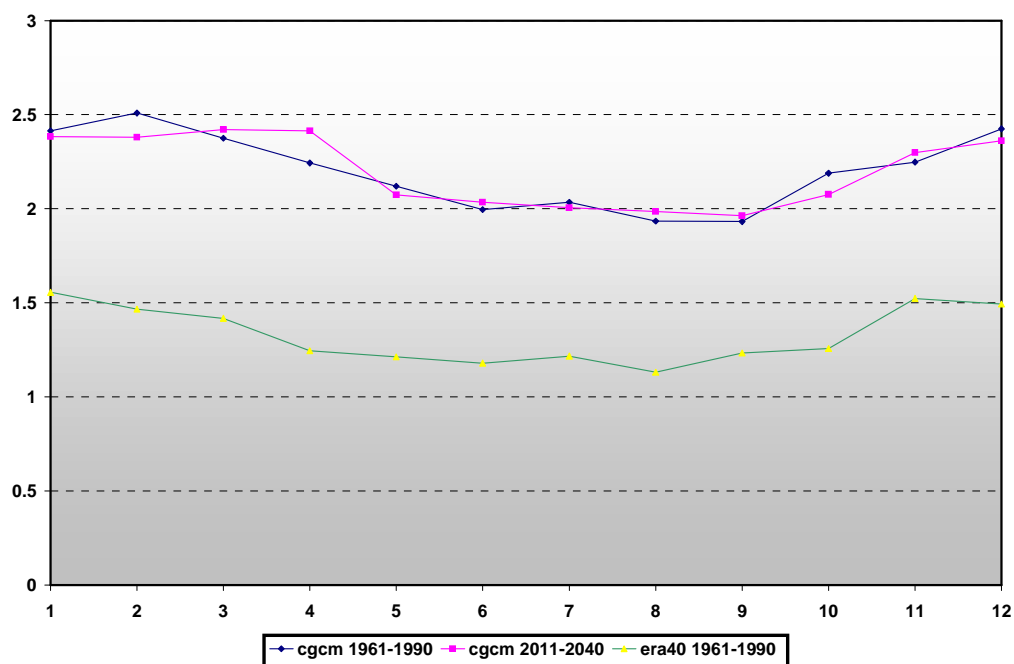
Obr.7a Ročný chod rýchlosti vetra m.s^{-1} (10m nad povrhom) na oblasti Európa, pre ERA a modelové údaje v období 1961-1990 a modelové údaje v období 2011-2040



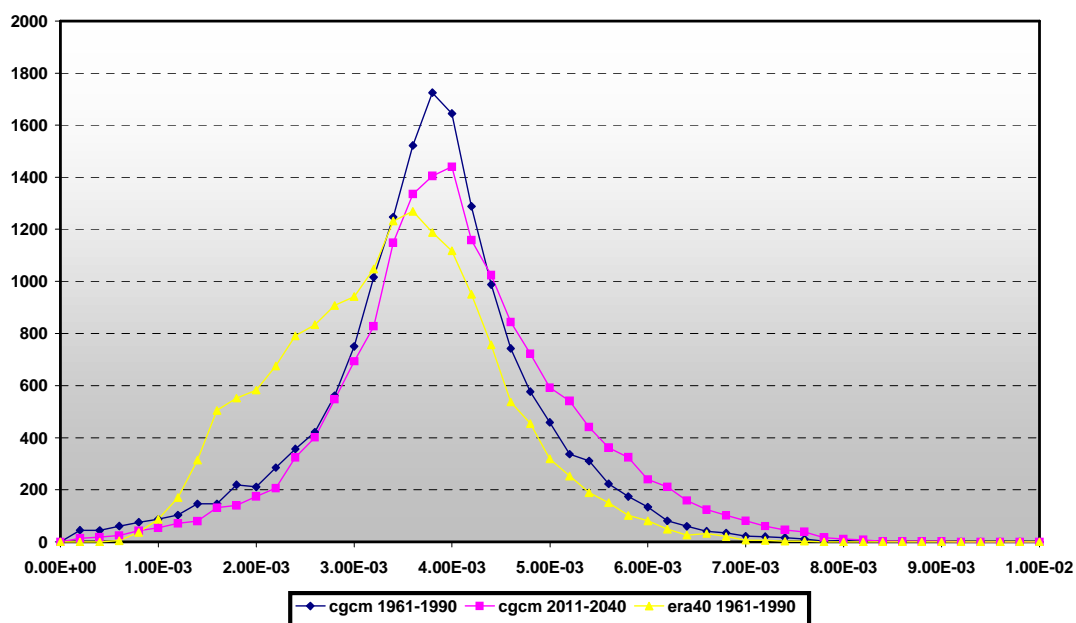
Obr.7b Ročný chod štandardnej odchýlky rýchlosti vetra $m.s^{-1}$ (10m nad povrchom) na oblasti Európa, pre ERA a modelové údaje v období 1961-1990 a modelové údaje v období 2011-2040



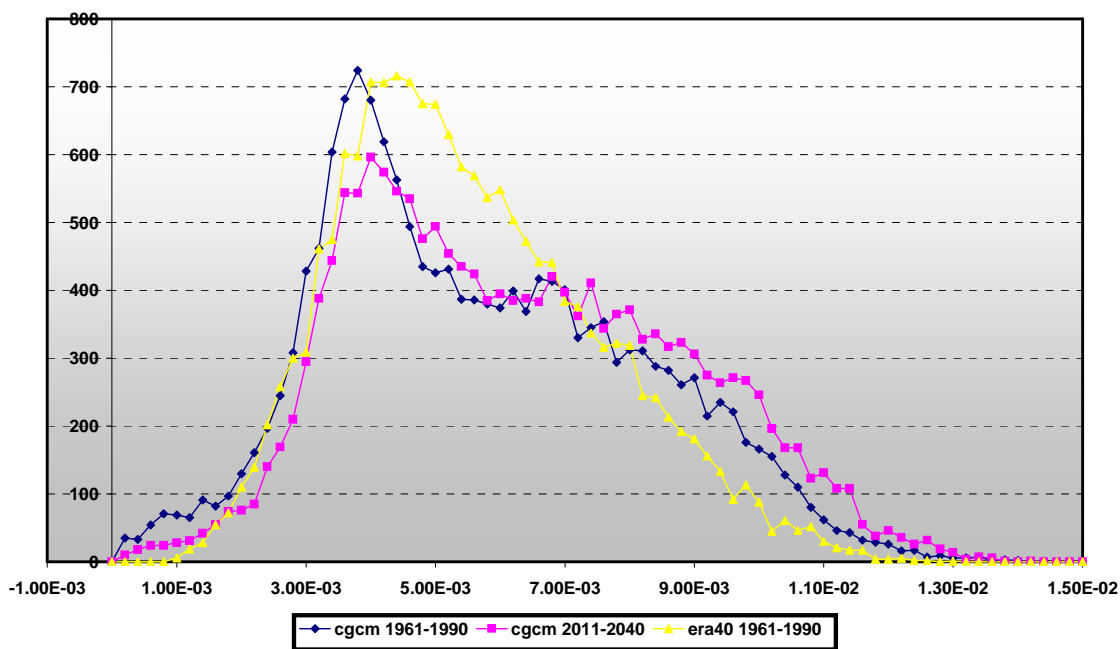
Obr.8a Ročný chod rýchlosti vetra $m.s^{-1}$ (10m nad povrchom) na oblasti Slovensko, pre ERA a modelové údaje v období 1961-1990 a modelové údaje v období 2011-2040



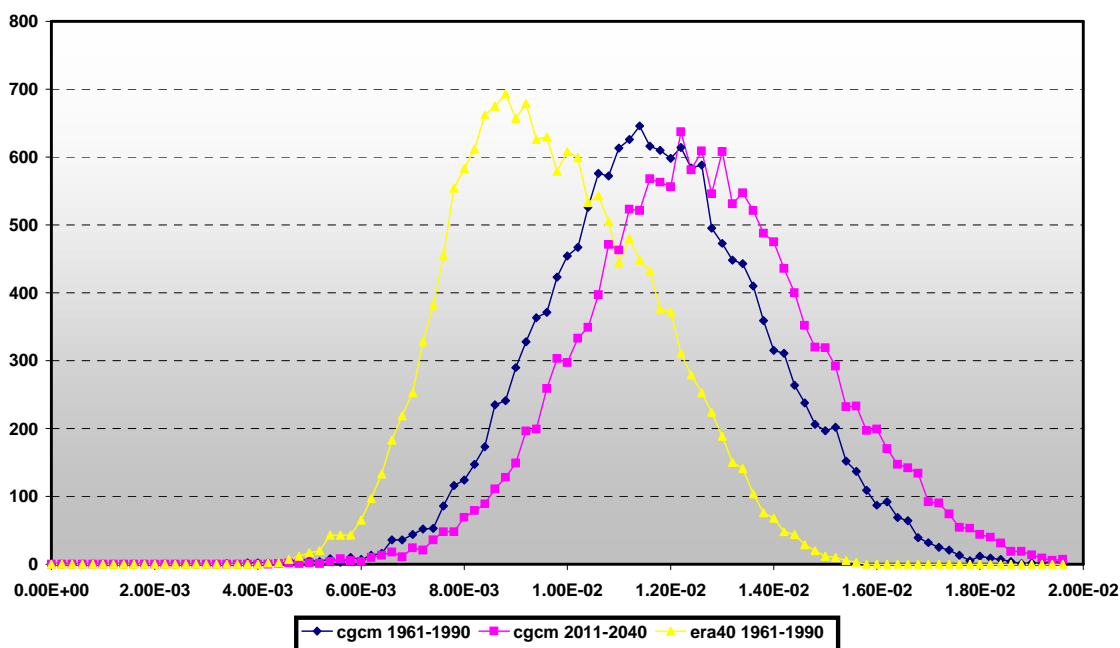
Obr.8b Ročný chod štandardnej odchýlky rýchlosti vetra $m.s^{-1}$ (10m nad povrchom) na oblasti Slovensko, pre ERA a modelové údaje v období 1961-1990 a modelové údaje v období 2011-2040



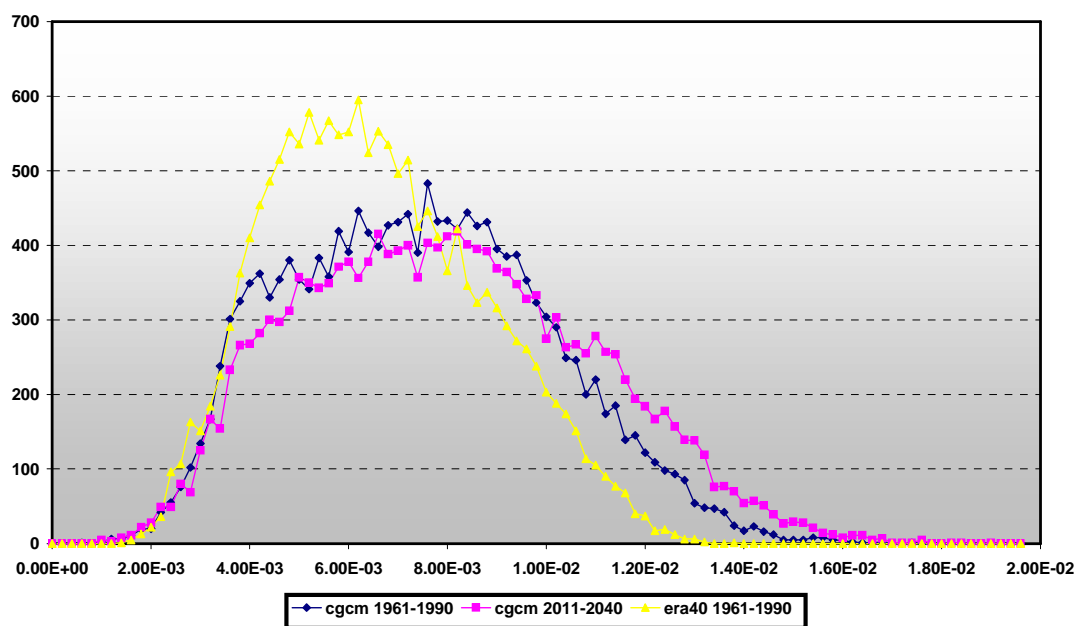
Obr.9a Rozdelenie početnosti pre mernú vlhkosť $kg.kg^{-1}$ pre oblasť Slovensko pre zimu, pre ERA a modelové údaje v období 1961-1990 a modelové údaje v období 2011-2040



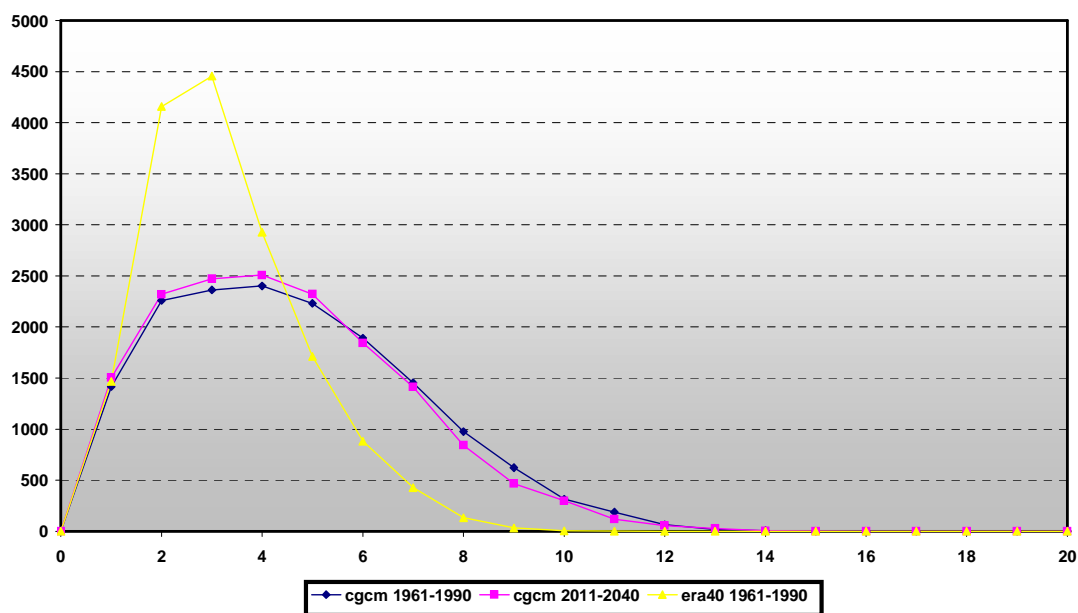
Obr.9b Rozdelenie početnosti pre mernú kg.kg^{-1} vlhkosť pre oblasť Slovensko pre jar, pre ERA a modelové údaje v období 1961-1990 a modelové údaje v období 2011-2040



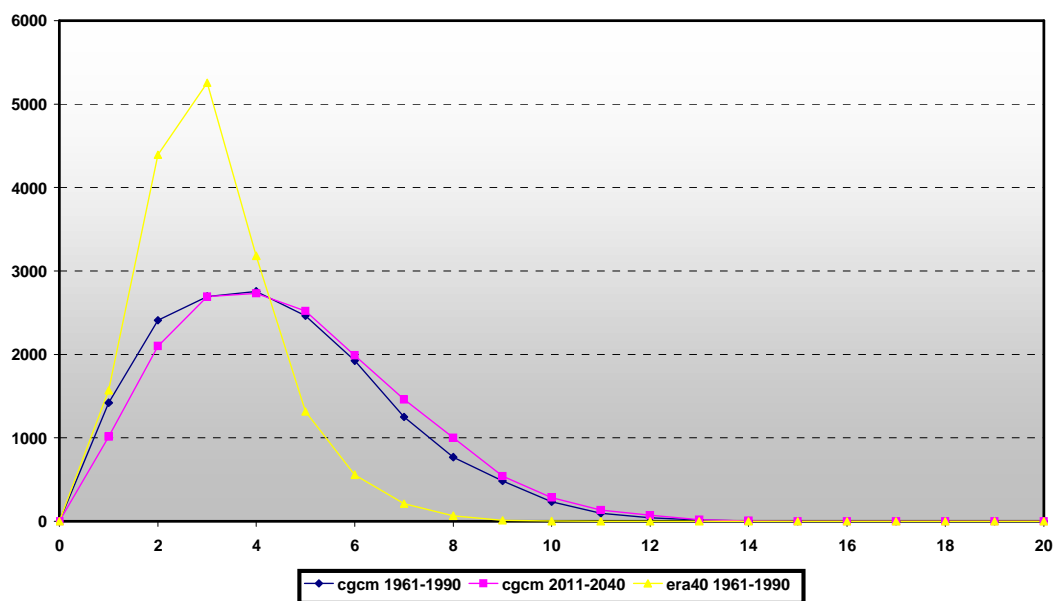
Obr.9c Rozdelenie početnosti pre mernú vlhkosť kg.kg^{-1} pre oblasť Slovensko pre leto, pre ERA a modelové údaje v období 1961-1990 a modelové údaje v období 2011-2040



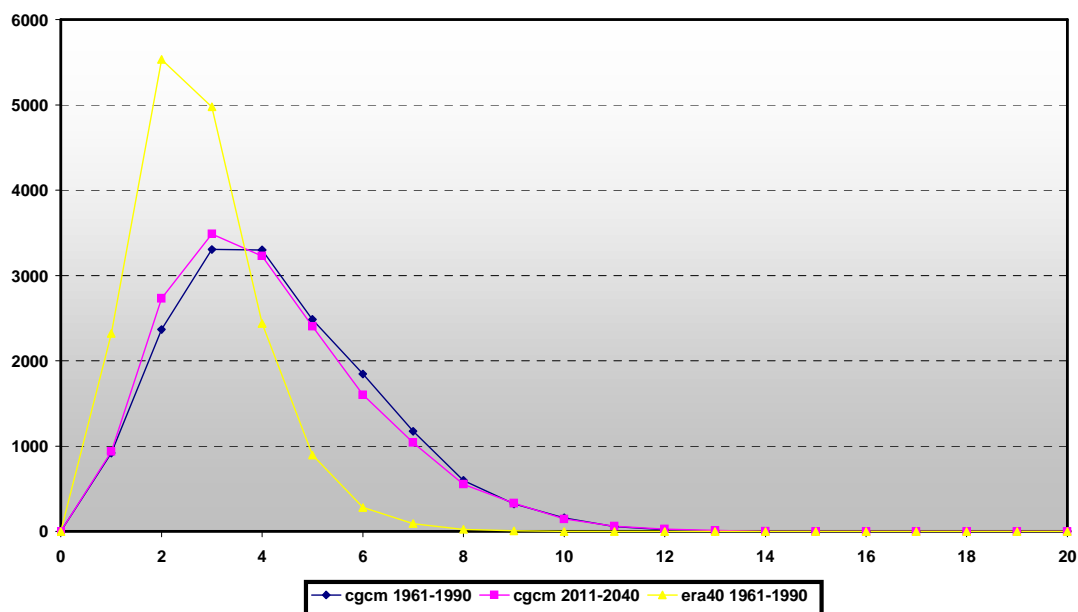
Obr.9d Rozdelenie početnosti pre mernú vlhkosť kg.kg^{-1} pre oblasť Slovensko pre jeseň, pre ERA a modelové údaje v období 1961-1990 a modelové údaje v období 2011-2040



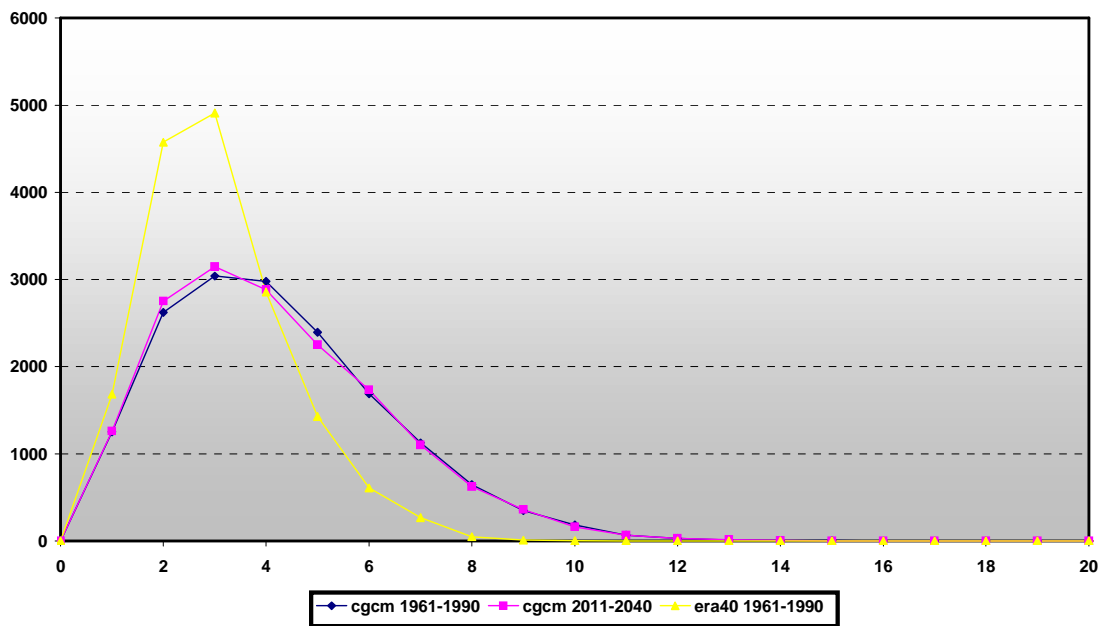
Obr.10a Rozdelenie početnosti pre rýchlosť vetra m.s^{-1} pre oblasť Slovensko pre zimu, pre ERA a modelové údaje v období 1961-1990 a modelové údaje v období 2011-2040



Obr.10b Rozdelenie početnosti pre rýchlosť vetra m.s⁻¹ pre oblasť Slovensko pre jar, pre ERA a modelové údaje v období 1961-1990 a modelové údaje v období 2011-2040



Obr.10c Rozdelenie početnosti pre rýchlosť vetra m.s⁻¹ pre oblasť Slovensko pre leto, pre ERA a modelové údaje v období 1961-1990 a modelové údaje v období 2011-2040



Obr.10d Rozdelenie početnosti pre rýchlosť vetra m.s^{-1} pre oblasť Slovensko pre jeseň, pre ERA a modelové údaje v období 1961-1990 a modelové údaje v období 2011-2040

4. ZÁVER

V príspevku sme analyzovali prízemné meteorologické prvky, teplotu, mernú vlhkosť a rýchlosť vetra pre rôzne veľké oblasti. Najväčšia analyzovaná oblasť zaberá oblasť Európy, ďalšia oblasť pokrýva územie Slovenska a nakoniec sme analyzovali štatistické vlastnosti v jednom vybranom bode.

Z časového hľadiska sme sa zamerali na analýzu denných, mesačných, ročných období, polrokov a obdobie celého roku. Okrem priemerov za dané vybrané obdobia sme pracovali s absolútnym maximom, minimom pre dané obdobie, ďalej so štandardnou odchýlkou, strmostou a špicatosťou získaných štatistických rozdelení.

Pre teplotu je ročná amplitúda pre oblasť Európa 18°C , pre oblasť Slovensko je približne 22°C . Poloha teplotného maxima variuje v mesiacoch júl a august. Pre minimum je zaujímavý rozdiel medzi modelom a reanalýzou. Model dáva minimum na mesiac február, pričom skutočne minimum je pozorované v januári. Ináč je pozorovaná dobrá zhoda medzi modelom a reanalýzou s tendenciou oteplenia o cca 1.5°C v období 2011-2040. Pre štandardnú odchýlku teploty je pozorovaná zvýšená variabilita v chladnom polroku, pre Európu s maximom v januári a minimom v júni. Pre oblasť Slovenska maximum premenlivosti teploty v realite je pozorovaná v januári, model tuto variabilitu pre obe sledované mesiace posúva do mesiacov apríl, február a marec, pričom variabilita v období 2011-2040 je menšia ako v normálovom období 1961-1990. V zimnom období sa rozdelenie zúži (nárast špicatosti). Predpokladá sa, že dôjde k väčšiemu nárastu minimálnych teplôt ako nárastu maximálnych teplôt. Na jar sa očakáva pokles špicatosti, čiže zväčšenie početnosti vzdialenejších od strednej hodnoty. V lete je mierny nárast špicatosti, čiže zúženie hodnôt okolo strednej hodnoty. Jeseň sa v týchto parametroch nemení. Jediná zmena, platná pre všetky obdobia je posun priemeru k vyšším hodnotám.

Pre mernú vlhkosť získane početnosti boli fitované Weibullovým rozdelením. Toto rozdelenie ma význam pri teórii extrémnych hodnôt, kde sa pracuje so štatistikou extrémnych výchylok od mediánu. Zaujímavé sa ukazujú rozdiely medzi obdobia, zima, leto a jar, jeseň. Kým rozdelenia v lete a zime skôr pripomínajú normálne rozdelenia, v obdobiach jar a jeseň je rozloženie blízko ku klasicky používanému Weibullovému rozdeleniu. Model nadhodnocuje vlhkosti v lete

a podhodnocuje početností v jeseni voči reanalýze. Zo získaných výsledkov vyplýva, že jedine v lete dôjde k signifikantnému zvýšeniu mernej vlhkosti v období 2011-2040.

Pre vietor v 10m výške nad povrchom je zrejmy fakt nadhodnotenia priemerných rýchlostí, tento nedostatok sa dá odstrániť jedine zrejme dynamickou adaptáciou pomocou LAM. Pre oblasť Európa je pozorované maximum rýchlostí v zimných mesiacoch, čo súvisí s intenzívnym zonálnym prenosom, minimum je v letných mesiacoch. Pre územie Slovenska je situácia menej prehľadná, opäť tu hrá úlohu vplyv orografie. Rozdelenie početností ma tvar Weibullovej distribučnej funkcie. Celkove môžeme povedať, že k podstatnému zvýšeniu (viac ako 0.5 m.s^{-1}) priemerných rýchlostí v celej oblasti percentilov na celom území Slovenska dôjde iba v mesiacoch marec a apríl, alebo v jarnom období, v ostatných obdobiach dôjde zväčša ku zníženiu rýchlostí (hodnoty vzhľadom na hustotu siete sú malé). Zmeny v početnostiach v sledovaných 30 ročných obdobiach sú pritom minimálne. Musíme ale zdôrazniť, že až dynamická analýza poľa vetra pri zohľadnení orografických podmienok poskytne uspokojivejšie overenie týchto tvrdení.

Kanadský model zrejme nezvláda fázový prechod pri topení a zamŕzaní vody (zrejme chyba v parametrizácii modelu, ktorý ma potom vplyv na všetky ostatné prvky, najmä však na mernú vlhkosť a pod.). Početnosti v blízkosti nuly sú výrazne nadhodnotené a tým je distribučná krivka výrazne deformovaná. Tento nedostatok výrazne znehodnocuje kvalitu informácie pre získanie zabezpečenia frekvencie výskytu prvkov pri povrchu (teplota, merná vlhkosť). Posun maxim a minim, ERA 40 a kanadský model, je ovplyvnený rozdielnou orografiou. Tvar distribučnej krivky početnosti by nemal byť ovplyvnený, a tu vidíme priestor na nutnosť ďalšieho vývoja modelu, ktorý odstráni spomínané deformácie.

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

LITERATURA:

- [1] Petrovič, Š. (ed.) a kol., 1969: Podnebí ČSSR. Souborná studie. Hydrometeorologický ústav, Praha, 357 s.
- [2] Gera M., Damborská I., Martini 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
- [3] M. Lapin, M. Melo, I. Damborská, M. Gera, 11.3.04, Scenáre úhrnov zrážok počas extrémnych zrážkových situácií na Slovensku, Zborník, pp.18, ISBN 80-86690-12-1