

## ANALÝZA ŠTATISTICKEJ ŠTRUKTÚRY VÝSTUPOV KLIMATOLOGICKÝCH MODELOV

E. Gerová, I. Bašták Ď., M. Gera

*Univerzita Komenského, Fakulta matematiky, fyziky a informatiky, katedra Astronómie,  
fyziky Zeme a meteorológie, Bratislava, Slovensko, e-mail: sk.geva@gmail.com*

### **Abstract:**

The data from new version of Coupled Global Climate Model 3 - CGCM3 (Canadian climatic model) are available now. CGCM3 structure has updated atmospheric component in comparison with CGCM2. For this reason new objectives have appeared. Comparison of both CGCM3 and CGCM2 is desired to specify the accuracy of our current concepts of climatic changes. Surface analyses and chosen vertical levels of the selected meteorological variables (temperature, specific humidity and wind field) for different territory are analysed in this contribution. The source of data are reanalyses from ERA 40 project and the second and third version of the CGCM2-3 with IPCC SRES "A2" scenario.

Statistical structure of investigates fields are analysed (quantile characteristics, probability distribution, mean and standard deviation...). For wind field analyses the backward and forward trajectories, which pass the point in the Slovak territory, were constructed. This approach allows us to evaluate and compare the properties of Canadian climatic model and quality of its climatologic predictions. In the first step the properties comparison is done for climatic model and reanalyses in the referenced period 1961-1990. On the second step, future period is taken for scenario probability analyses. The conclusions for climatic change are discussed.

**Keywords:** Climatologic model, Statistical analyses, Reanalyses

### **Úvod**

Kanadské predpovedné centrum vyvinulo a zlepšilo doteraz používaný klimatologický model CGCM2. Tento doteraz používaný trojrozmerný model atmosférickej cirkulácie je prepojený s modelom oceánskej cirkulácie a termodynamickým modelom morského ľadu. Horizontálne rozlíšenie tohto modelu je T32/L10, t.j. ide o spektrálny model s 32 vlnami v zonálnom smere (tomu zodpovedá vzdialenosť gridových bodov približne 3,75°). V meridionálnom smere pri použití Gaussovho gridu je rozlíšenie tiež približne 3,75°. Vo vertikálnom smere má 10 hladín. Oceánická časť modelu používa vyššie horizontálne rozlíšenie s dvojnásobne hustejšou gridovou mriežkou a s 29 vertikálnymi hladinami. Uvedený model okrem iného poskytuje modelové hodnoty teploty vzduchu, rýchlosti a smeru vetra v rôznych výškach.

CGCM2 vzhľadom na zistené nedostatky bol nahradený novou vylepšenou verziou CGCM3. Tento nový model sa od svojho predchodcu líši hlavne v nasledujúcich vlastnostiach:

- horizontálne rozlíšenie sa zlepšilo, pričom zachytáva až 47 vln v zonálnom smere (T47)
- podobne aj vertikálny rozmer sa zlepšil, model pracuje s 32 vertikálnymi hladinami, najnižšia hladina sa nachádza približne 50 m nad povrchom a posledná hladina sa nachádza v stratopauze vo výške 50 km
- v oblasti parametrizácií procesov najväčšie zmeny nastali v modelovaní hraničnej a prízemnej vrstvy a jej interakcie s povrchom (model pracuje s tromi hladinami v pôde, definuje prítomnosť snehovej pokrývky

a zahŕňa prítomnosť vegetácie, kvapalná a tuhá zložka vody je považovaná za prognostické premenné, drsnosť povrchu, vertikálne toky hybnosti a entalpie a albedo povrchu sú funkciami vegetačného a pôdneho typu).

- zmeny nastali aj v radiačnej schéme (toky slnečnej energie sú modelované pre oblasť viditeľného a infračerveného spektra), oblačnosť je definovaná pomocou premennej „relatívna vlhkosť“ a optické vlastnosti oblačnosti sú parametrizované na základe obsahu pevnej a kvapalnej fázy v oblaku
- ďalšie zmeny nastali v schémach popisujúcich transport vodnej pary

Vzhľadom na návaznosť mnohých odvetví a oblastí vedy na výstupy z klimatických modelov v tomto príspevku sme sa rozhodli porovnať aspoň čiastočne kvalitu výstupov CGCM3 a CGCM2 navzájom a verifikovať ich s výstupmi z modelu realizovaného v rámci projektu ERA 40.

Atmosférický model, ktorý používa ERA-40 poskytuje analýzy atmosféry, pevniny a oceánu od r. 1958 do 2001 na základe dostupných údajov z pozorovaní, analýz a výskumných správ. Tento model je počítaný pre 60 vertikálnych hladín. V horizontálnom smere pracuje s urezanými vlnovými číslami väčšími ako 159 (T159). Sféricko-harmonické zobrazenie základných dynamických polí je posadené na redukovanej Gaussovej mriežke s rozlíšením okolo 2,5°.

### **Materiál a metódy**

V príspevku sme sa zamerali na štatistickú analýzu vybraných prvkov. Analyzovali sme teplotu vzduchu, vlhkosť vzduchu, rýchlosť a smer vetra v 850 hPa a 500 hPa hladine. Táto skutočnosť nám

umožnila analyzovať zmeny prevládajúceho prúdenia, zmeny v poli teploty a vlhkosti medzi referenčným obdobím 1961-1990 a vybraným obdobím v ďalekej budúcnosti 2046-2065. Ďalej prítomnosť reanalýz z obdobia 1961-1990 umožnila verifikovať kvalitu modelov CGCM3 a CGCM2 so scenárom A2. Vstupom pre štatistickú analýzu boli denné údaje vybraných klimatických prvkov, ktoré boli skúmané v oblasti Európy.

Hladiny 850 a 500 hPa boli vybraté kvôli nasledujúcim vlastnostiam. 850 hPa je hladina, ktorá v našich šírkach môže pomocou vybraných prvkov v tejto hladine, dobre reprezentovať typ vzduchovej hmoty, 500 hPa je zase hladinou, ktorú môžeme stotožniť s hladinou non-divergencie. V tejto hladine očakávame dobré vlastnosti pre popis advekčných charakteristík prúdenia vzduchu.

Skúmané meteorologické prvky, zložky horizontálneho vetra, vlhkosti a teploty vzduchu boli spracované pre rôzne časové obdobia v roku. V článku sú prezentované priemerné hodnoty veličín za obdobie rok, studený a teplý polrok. Výstupy predstavujú 30-ročné priemery uvedených veličín, ktoré sú navzájom porovnávané. Výsledky, získané v predchádzajúcich prácach [1,2,3], svedčia o tom, že klimatické modely sa dopúšťajú chýb, ktoré je potrebné zohľadniť pri interpretácii dosiahnutých výsledkov. Pre čo najlepšie pochopenie uvedených závislostí a chýb, je vhodné porovnať reanalýzy s výstupmi klimatického modelu v období, kedy ešte máme k dispozícii reálne namerané údaje. 30-ročné referenčné obdobie 1961-1990 je východiskovým normálom v tomto príspevku.

Kvôli porovnateľnosti modelových výstupov, vzhľadom na rozličnosť geometrií medzi klimatologickými modelmi a ERA 40 údajmi, boli údaje z klimatolo-

gických modelov CGCM3 a CGCM2 interpolované metódou kubických splajnov do siete reanalýzy. Hustota siete je pravidelná v zonálnom a meridionálnom smere vzhľadom na stupne a jej hustota je  $2,5^{\circ} \times 2,5^{\circ}$ . V našej doméne sme teda pracovali v horizontálnej rovine s maticou  $22 \times 11$  bodov.

Po interpolácii údajov sme porovnali vektorové pole vetra a skalárne pole teploty a vlhkosti. Interpretácia výsledkov, hlavne pri poli vetra je náročná. Preto sme vybrali bod v blízkosti Slovenska, konkrétne bod so súradnicami  $48^{\circ}$ s.z.š a  $17^{\circ}$ v.z.d., cez ktorý sme nechali prechádzať spätné a dopredné trajektórie v priemernom poli prúdenia vzduchu. Tento postup nám umožnil získať prehľad o oblastiach, cez ktoré častica vzduchu prechádza ako sa transformuje apod.. Zamerali sme sa na teplotné polia a jeho zmeny v referenčnom a modelovom období. Tento prístup nám napr. umožnil pochopiť transformačné procesy v dôsledku zmeny teploty pri prechode danej častici vzduchu cez rôzne územia.

### Výsledky a diskusia

V tomto príspevku sme sa snažili vyhodnotiť kvalitu výstupov nového modelu CGCM3. Boli sme zvedavý či došlo k odstráneniu chýb, ktoré sa objavili v CGCM2 a boli popísané hlavne v prácach [1-3] (v poli vlhkosti sa vyskytovali nereálne hodnoty, problémy so zmenou fázy pri  $0^{\circ}\text{C}$ , nadhodnotenie výšky poľa geopotenciálu v 500 hPa hladine v európskej a americkej časti kontinentu a pod.).

Z množstva spracovaného materiálu sme sa zamerali na vyhodnotenie poľa teploty. Z obrázkov (1a) a (1b) je zrejмый fakt, že zmeny v modeli CGCM3 zásadne zmenili tvar polí a veľkosť hodnôt. Kým CGCM2 v referenčnom, alebo kontrolnom období nadhodnocuje teplotu v 850 hPa hladine (výchyľky sú rádovo do  $+2^{\circ}\text{C}$ ) v severných oblastiach a naopak podhod-

nocuje v južných oblastiach, tak CGCM3 v celej skúmanej doméne podhodnocuje modelovanú teplotu (výchyľky až  $-4^{\circ}\text{C}$ ). Samozrejme dá sa povedať, že v prípade systematického nadhodnotenia alebo podhodnotenia výstupov sme schopní korigovať tento druh chyby. Napríklad odstránením „biasu“. Tu si ale musíme uvedomiť previazanosť teploty na iné meteorologické prvky, napríklad na mernú vlhkosť a zmeny, ktoré by sme aplikovali na pole teploty by v konečnom dôsledku mohli vyvolať inkonzistenciu s polom vlhkosti. Preto vysloviť tvrdenie na základe výstupov (1a) a (1b), že došlo k zlepšeniu, alebo k zhoršeniu predpovedí polí teploty nie je možné. V rovnakej situácii ostaneme aj po analýze obrázkov (2a) a (2b) kde sa venujeme analýze štandardných odchýlok. Výsledky neozrejmuju ani analýzy vyšších štatistických momentov (nie sú prezentované). Preto sme sa rozhodli analyzovať pravdepodobnostné rozloženie teplotných údajov na našej doméne. Výsledkom sú obrázky (3a až 3d), ktoré zachytávajú percentilové charakteristiky. Pre názornosť sme vybrali 25% a 75% percentile v období celého roka na hladine 850 hPa. Na obrázkoch (3a) a (3b) sú údaje z modelu CGCM2. Odchýľky v 25 % a 75 % percentiloch v skúmanej oblasti sú približne rovnaké a symetrické ( $-2^{\circ}\text{C}$   $+2,5^{\circ}\text{C}$ ). Z toho sa dá očakávať, že rozdelenie výskytu modelových hodnôt bude mať rovnakú charakteristiku v celom intervale percentilov, t.j. modelové rozdelenie hodnôt je posunuté v celej oblasti distribučnej krivky rovnako. Tieto tvrdenia ale platia iba pre celú oblasť. Ak by sme analyzovali vybrané body, zistili by sme nesymetriu v tvare distribučnej funkcie a v tomto prípade by sme nemohli hovoriť o jednoduchosť posunutí distribučných funkcií modelu voči skutočným údajom. Pre 25% percentil sa pohybujú hodnoty na hladine 850 hPa v rozmedzí  $-7^{\circ}\text{C}$  až  $+2^{\circ}\text{C}$ , pre 75 % v rozmedzí  $+4^{\circ}\text{C}$  až  $12^{\circ}\text{C}$ .

Pre CGCM3, obrázky (3c) a (3d), je situácia podobná, len intervaly hodnôt sú iné. Odchýlky v 25% a 75% percentiloch v skúmanej oblasti sú približne rovnaké a symetrické ( $-3,5^{\circ}\text{C}$   $+0,5^{\circ}\text{C}$ ). Pre 25% percentil sa pohybujú hodnoty na hladine 850 hPa v rozmedzí  $-10^{\circ}\text{C}$  až  $+2^{\circ}\text{C}$ , pre 75% v rozmedzí  $+2^{\circ}\text{C}$  až  $12^{\circ}\text{C}$ .

Z týchto zistení môžeme skonštatovať, že starší model skôr nadhodnocuje teploty vzduchu (situácia ma súvis s modelovanou polohou polárneho frontu) a nový model skôr podhodnocuje teplotu v ročnom priemere v období 1961-1990.

Aby sme vylúčili vplyvy ročného priemerovania, analyzovali sme studený a teplý polrok zvlášť. Výsledky sú na obrázkoch (4a až 4d). Tu už môžeme konštatovať rozdielne vlastnosti CGCM2 a CGCM3. Model CGCM3 okrem podhodnocovania údajov, ktoré sa prejavilo aj v predošlých analýzách, zachytáva výraznejšie meridionálny gradient teploty medzi vyššími a nižšími zemepisnými šírkami v studenom polroku a zase v teplom polroku CGCM3 sa prejavuje slabším meridionálnym gradientom teploty ako pri modeli CGCM2. Na obrázkoch (5a) a (5b) sme zachytili zmeny teploty, ktoré predpovedá CGCM3 medzi obdobiami 1961-1990 a 2046-2065, ďalej vektorové pole znázorňuje zmenu prevládajúceho smeru vetra medzi týmito obdobiami a trajektórie zachytávajú zmenu prúdenia vzduchu. Na obrázkoch je spracované obdobie rok. Celkovo v oboch spracovaných hladinách 850 hPa a 500 hPa dochádza k otepleniu a to v priemere o  $+2^{\circ}\text{C}$ , respektíve  $+3^{\circ}\text{C}$ . Z pohľadu poľa vetra, tak veľké zmeny sa v priemernom ročnom prúdení neočakávajú. V tomto výsledky korešponujú

s výsledkami pre CGCM2 uvedené v práci [4].

Na obrázkoch (6a), (6b) a (6c) je zachytené pole mernej vlhkosti a jej odchýlky od skutočných hodnôt v hladine 850 hPa. Obrázok (6a) zobrazuje priemerné pole mernej vlhkosti CGCM2 za obdobie rok v tridsať ročnom období 1961-1990. Obrázok (6b) to isté len výstup je z modelu CGCM3. Obrázok (6c) zachytáva zmeny mernej vlhkosti, ktoré predpovedá model CGCM3 medzi obdobiami 1961-1990 a 2046-2065. Z výstupov je zrejme, že prvok merná vlhkosť je výrazne zlepšená vo verzii modelu CGCM3. Z hľadiska dlhodobých zmien sa očakáva, podľa verzii CGCM3, nárast mernej vlhkosti v hladine 850 hPa čo korešponduje očakávaniam rastu teploty v tejto hladine.

## Záver

Celkovo môžeme na základe výsledkov skonštatovať otepľujúci trend v hladinách 850 hPa a 500 hPa. Vo výškových hladinách musíme byť opatrnejší pri interpretácii teplotného poľa vzhľadom na relatívnu geopotenciálnu výšku týchto hladín. Prúdenie v 850 hPa a v 500 hPa hladine nezaznamenáva výraznejšie zmeny, takže sa neočakáva podstatnejšia prestavba cirkulačného systému. Tieto výsledky ukazujú, že nad územím Európy CGCM3 a CGCM2 sa len málo líšia v oblasti poľa vetra. Teplotné charakteristiky sú podobné ale posunuté, CGCM3 skôr podhodnocuje teplotu, zatiaľ čo CGCM2 nadhodnocuje, ale aj podhodnocuje teplotne údaje v oblasti Európy. Najmarkantnejší rozdiel je pri mernej vlhkosti, kde CGCM3 dosiahol výrazne zlepšenie a z analýz početností vyplýva, že odstránil kumulovanie početností pri  $0^{\circ}\text{C}$ .

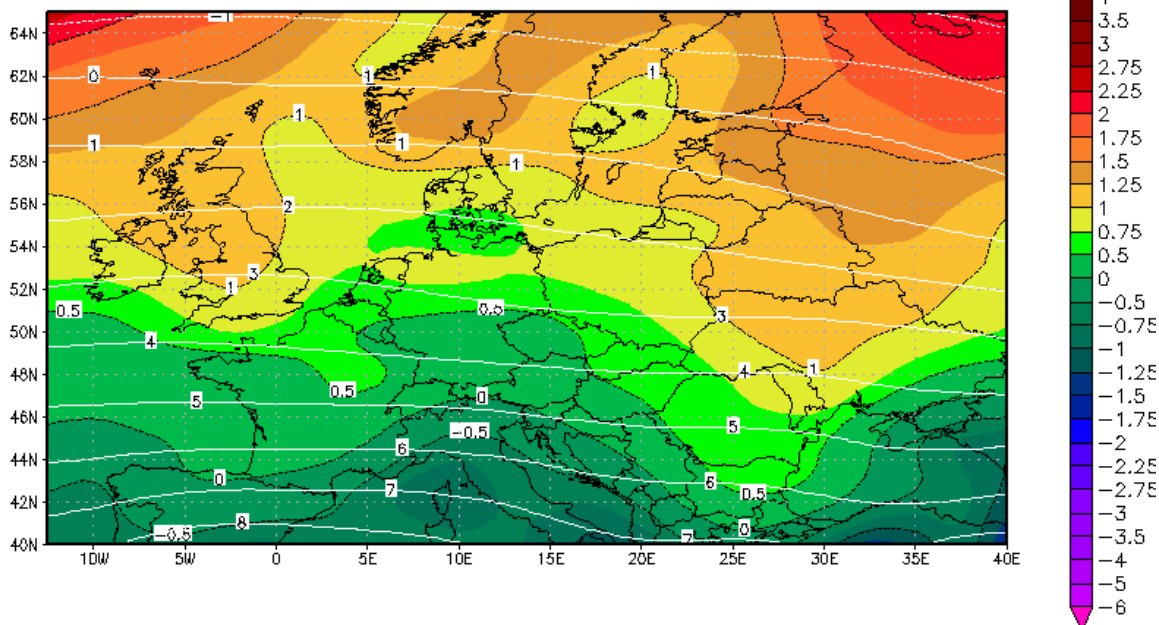
## Použitá literatúra

- 1) R. Drinka, I. Bašták Ď., M. Gera, Klimatické zmeny a ich vplyv na štatistickú štruktúru diagnostických parametrov stability atmosféry pre potreby downscalingu, medziná-

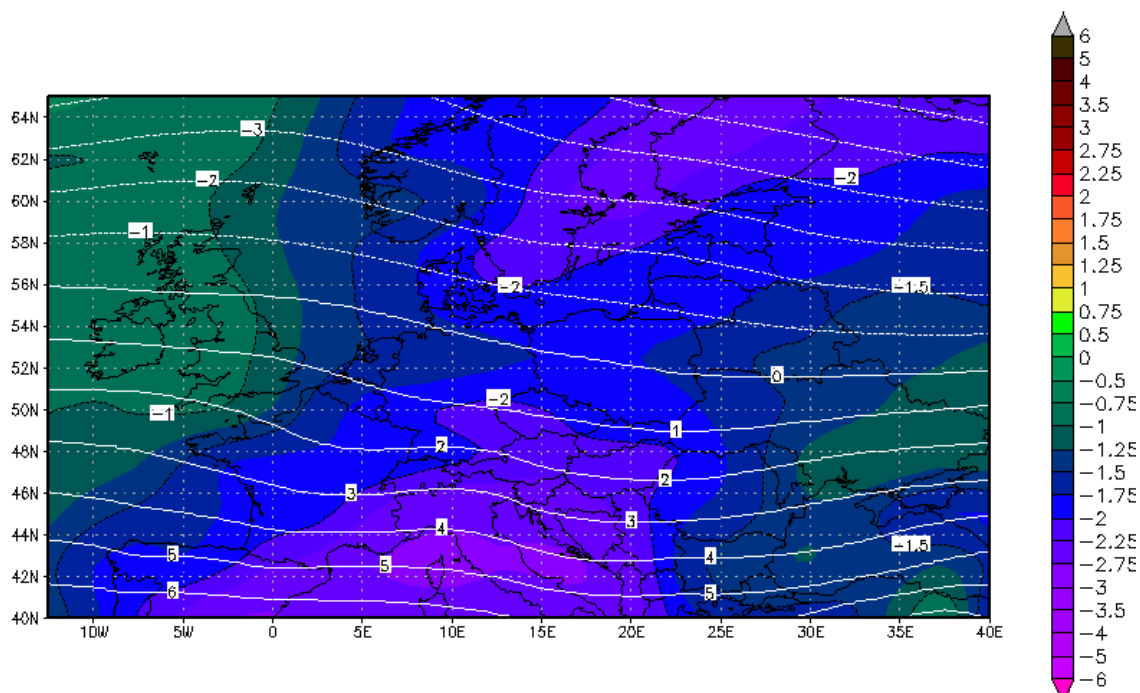
rodná vedecká konferencia, bioklimatológia a voda v krajine, bioklimatologické pracovné dni 2006, recenzovaný zborník, ISBN 80-89186-12-2

- 2) Ď. I. Bašták, R. Drinka, M. Gera, Klimatické zmeny a ich vplyv na štatistickú štruktúru výškových klimatických polí pre potreby downscalingu, medzinárodná vedecká konferencia, bioklimatológia a voda v krajine, bioklimatologické pracovné dni 2006, recenzovaný zborník, ISBN 80-89186-12-2
- 3) M. Gera, I. Bašták, Ď., R. Drinka, Klimatické zmeny a ich vplyv na štatistickú štruktúru prízemných klimatických polí pre potreby downscalingu, medzinárodná vedecká konferencia, bioklimatológia a voda v krajine, bioklimatologické pracovné dni 2006, recenzovaný zborník, ISBN 80-89186-12-2
- 4) Gera, M., Damborská, I., Dominant streaming changes and their influence on climate in Slovakia. Sborník referátů z mezinárodní vědecké konference Bioklimatologie současnosti a budoucnosti, Křtiny 12. – 14.9. 2005, ISBN 80-86690-31-08, pp. 10

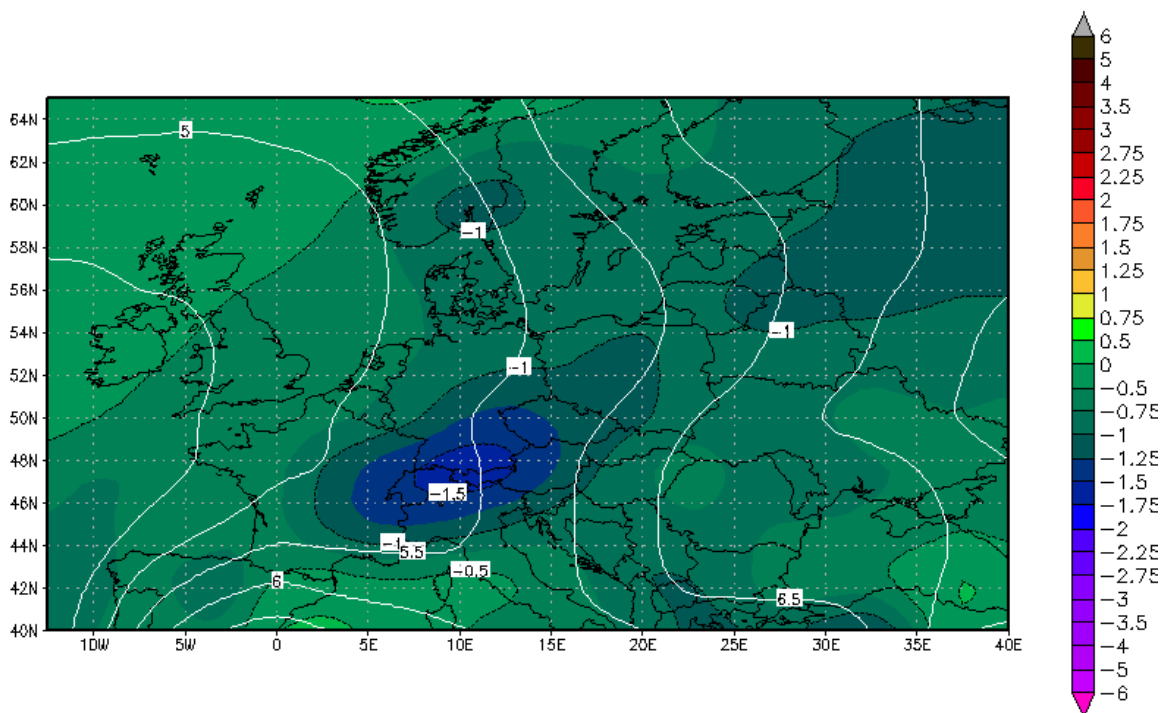
#### Tabuľková a grafická príloha



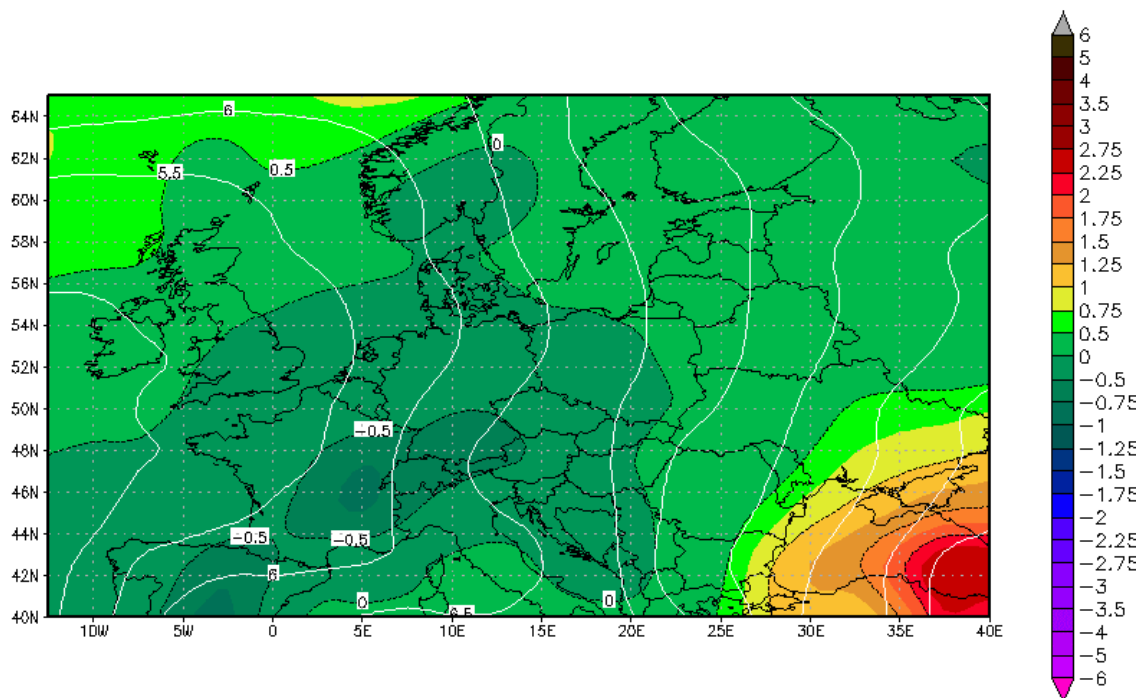
**Obr.1a:** Pole hodnôt priemerných ročných odchýlok teploty vzduchu v hladine 850 hPa počítaných z odchýlok CGCM2 a reálnych údajov v referenčnom období 1961-1990. Izočiary (biela) predstavujú pole teploty vzduchu CGCM2 v hladine 850 hPa.



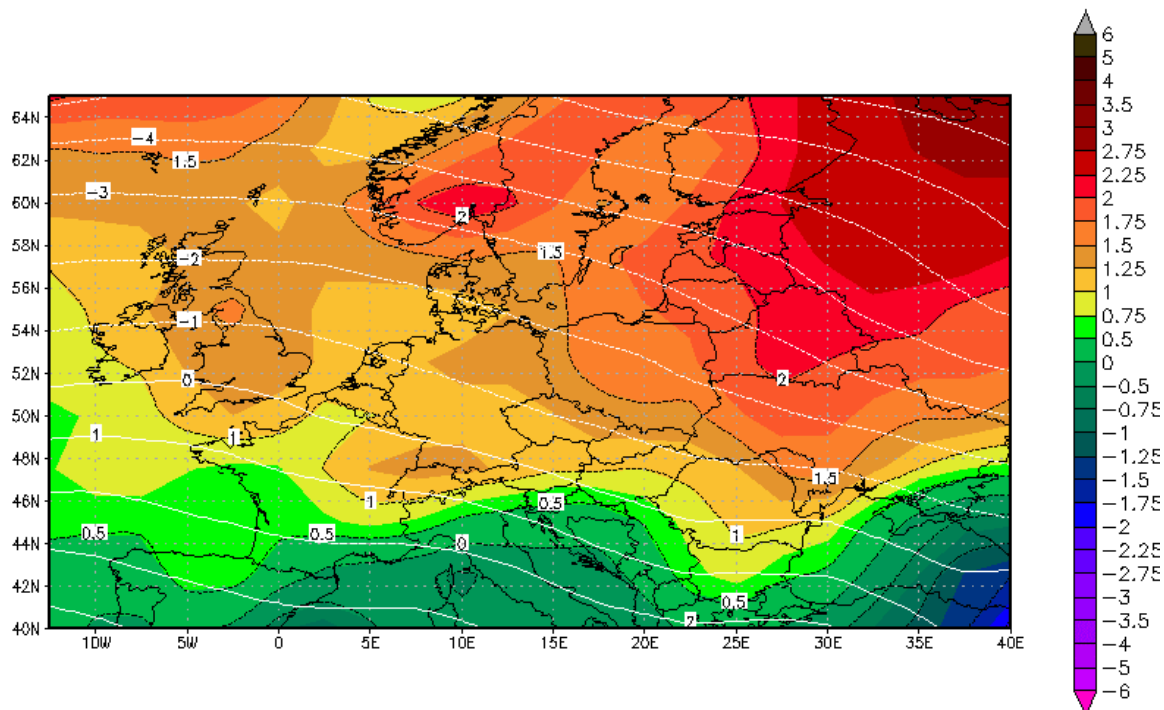
**Obr.1b:** Pole hodnôt priemerných ročných odchýlok teploty vzduchu v hladine 850 hPa počítaných z odchýlok CGCM3 a reálnych údajov v referenčnom období 1961-1990. Izočiary (biela) predstavujú pole teploty vzduchu CGCM3 v hladine 850 hPa.



**Obr.2a:** Pole hodnôt rozdielu štandardných ročných odchýlok teploty vzduchu v hladine 850 hPa počítaných z odchýlok CGCM2 a reálnych údajov v referenčnom období 1961-1990. Izočiary (biela) predstavujú pole štandardných odchýlok pre teplotu vzduchu CGCM2 v hladine 850 hPa.

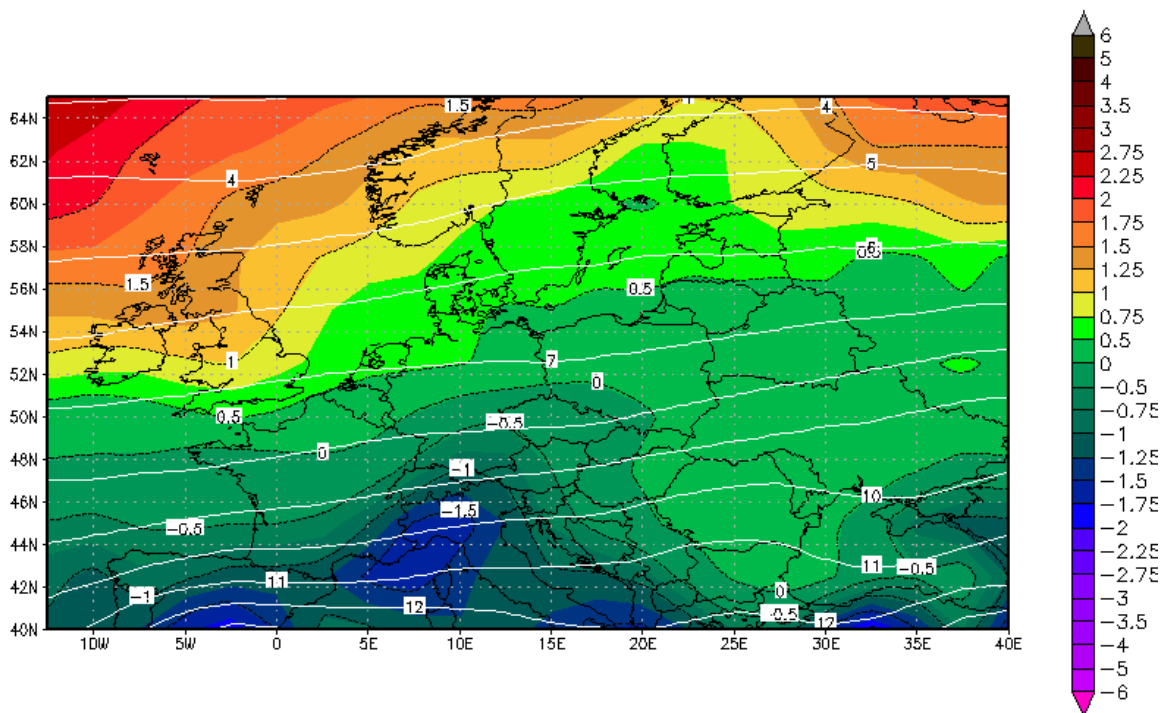


Obr.2b: Pole hodnôt rozdielu štandardných ročných odchýlok teploty vzduchu v hladine 850 hPa počítaných z odchýlok CGCM3 a reálnych údajov v referenčnom období 1961-1990. Izočiary (biela) predstavujú pole štandardných odchýlok pre teplotu vzduchu CGCM3 v hladine 850 hPa.

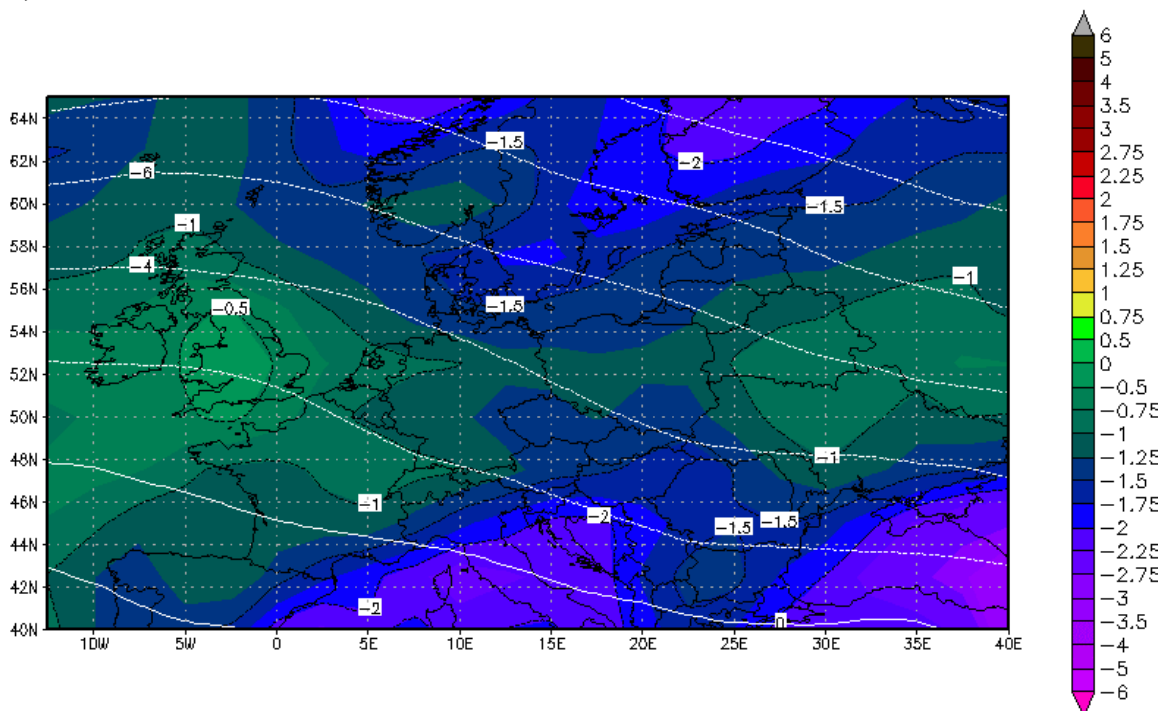


Obr.3a: 25 % percentil poľa odchýlok teploty (farebné pozadie) pre CGCM2 a ERA 40 a izočiary teploty CGCM2 v hladine 850 hPa pre 30 ročný priemer (1961-1990) za obdobie rok.





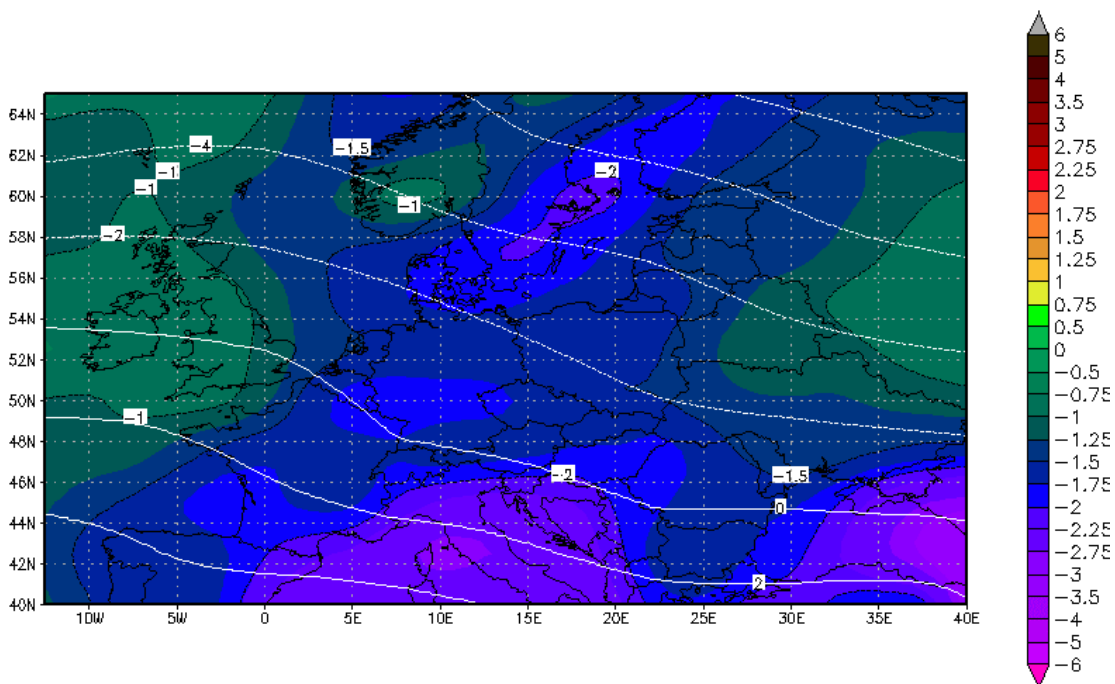
Obr.3b: 75 % percentil poľa odchýlok teploty (farebné pozadie) pre CGCM2 a ERA 40 a izočiary teploty CGCM2 v hladine 850 hPa pre 30 ročný priemer (1961-1990) za obdobie rok.



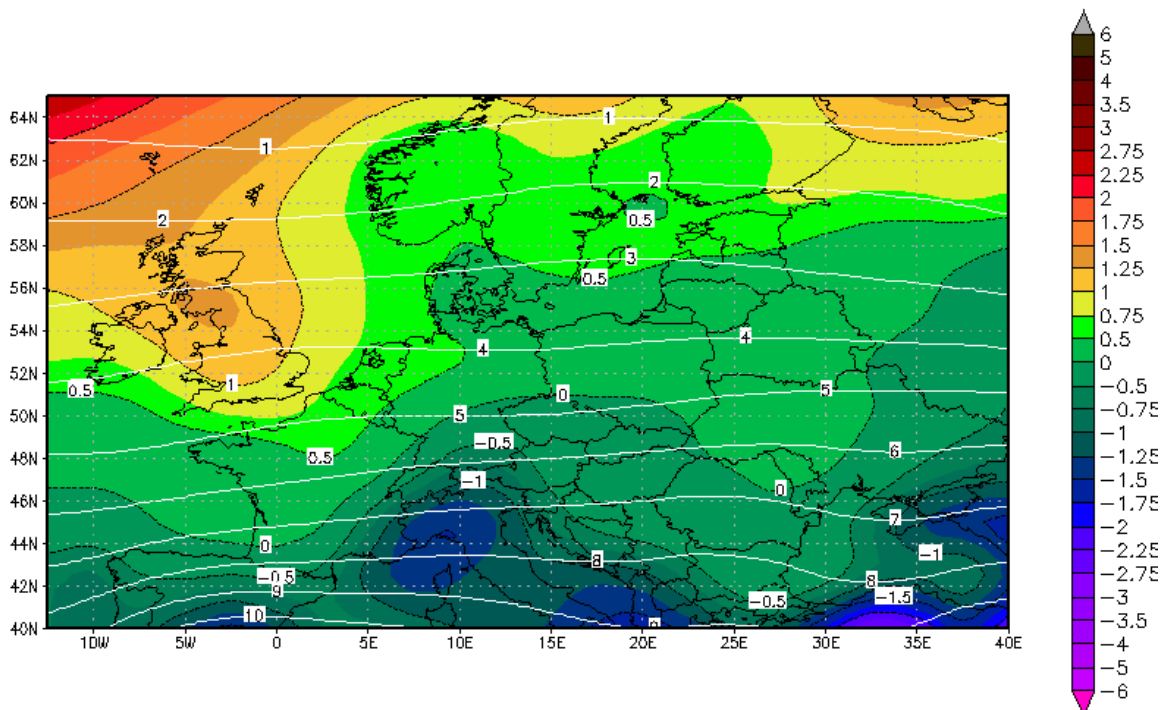
Obr.3c: 25 % percentil poľa odchýlok teploty (farebné pozadie) pre CGCM3 a ERA 40 a izočiary teploty CGCM3 v hladine 850 hPa pre 30 ročný priemer (1961-1990) za obdobie rok.



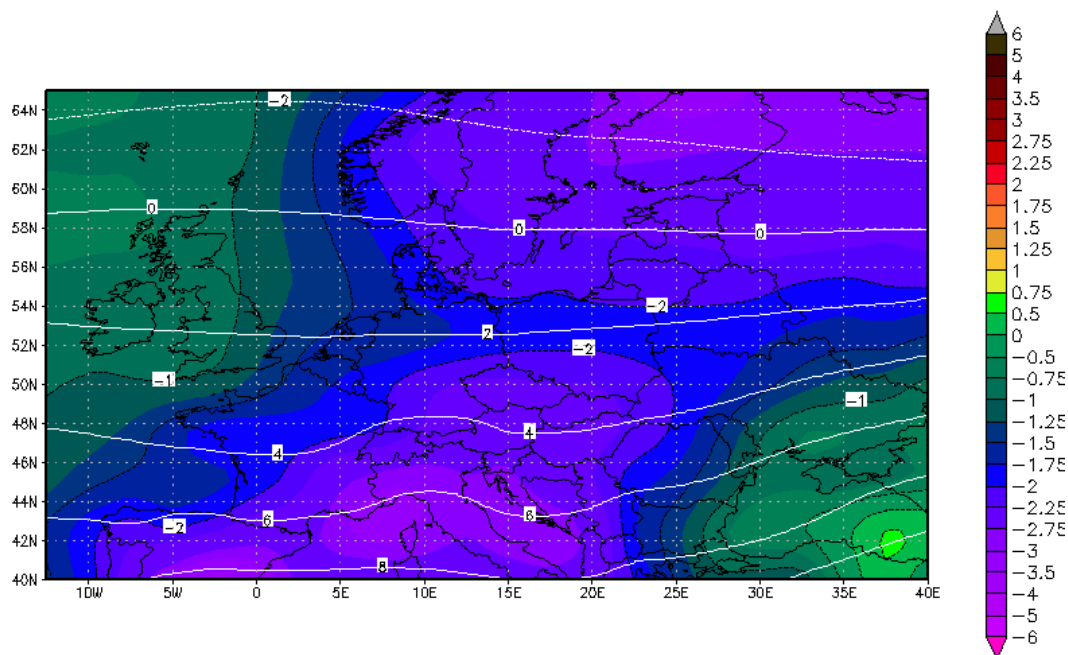




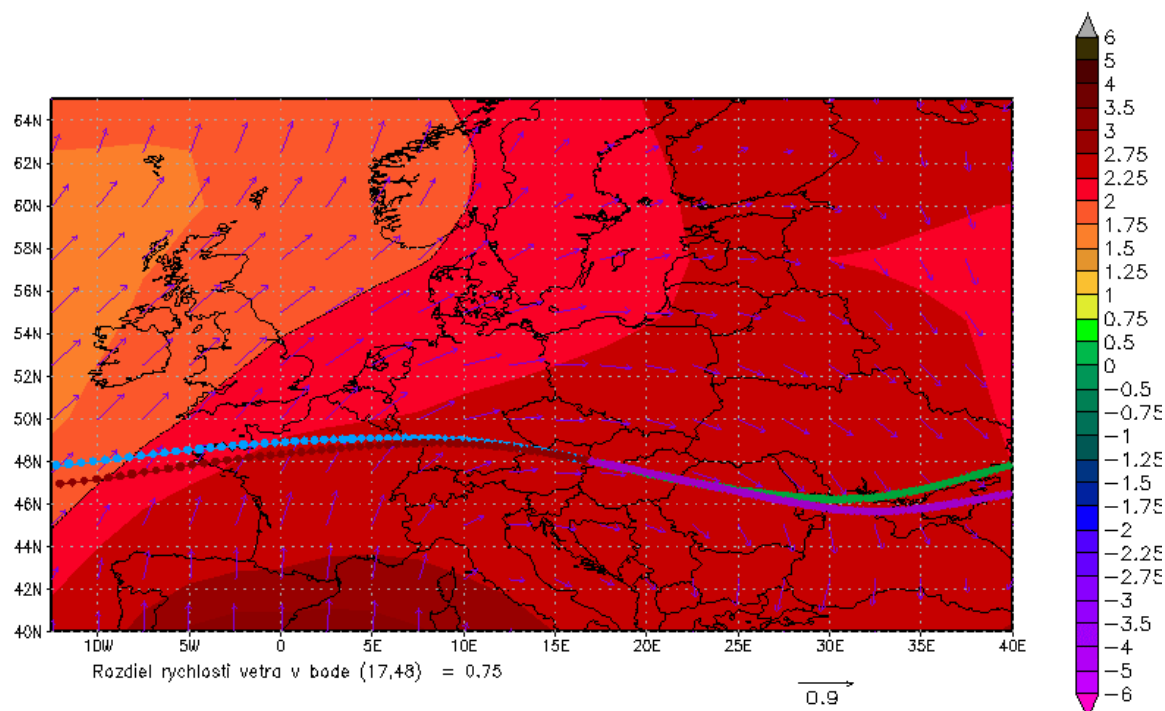
Obr.4b: Pole hodnôt priemerných polročných odchýlok teploty vzduchu v hladine 850 hPa počítaných z odchýlok CGCM3 a reálnych údajov v referenčnom období 1961-1990, studený polrok. Izočiary (biela) predstavujú pole teploty vzduchu CGCM3 v hladine 850 hPa.



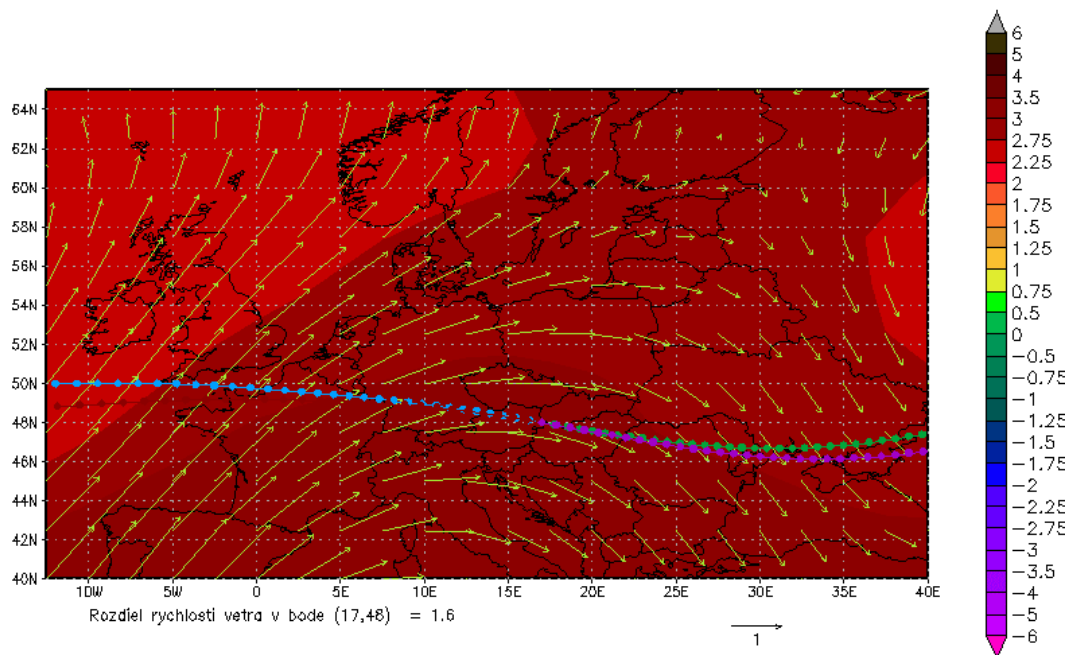
Obr.4c: Pole hodnôt priemerných polročných odchýlok teploty vzduchu v hladine 850 hPa počítaných z odchýlok CGCM2 a reálnych údajov v referenčnom období 1961-1990, teplý polrok. Izočiary (biela) predstavujú pole teploty vzduchu CGCM2 v hladine 850 hPa.



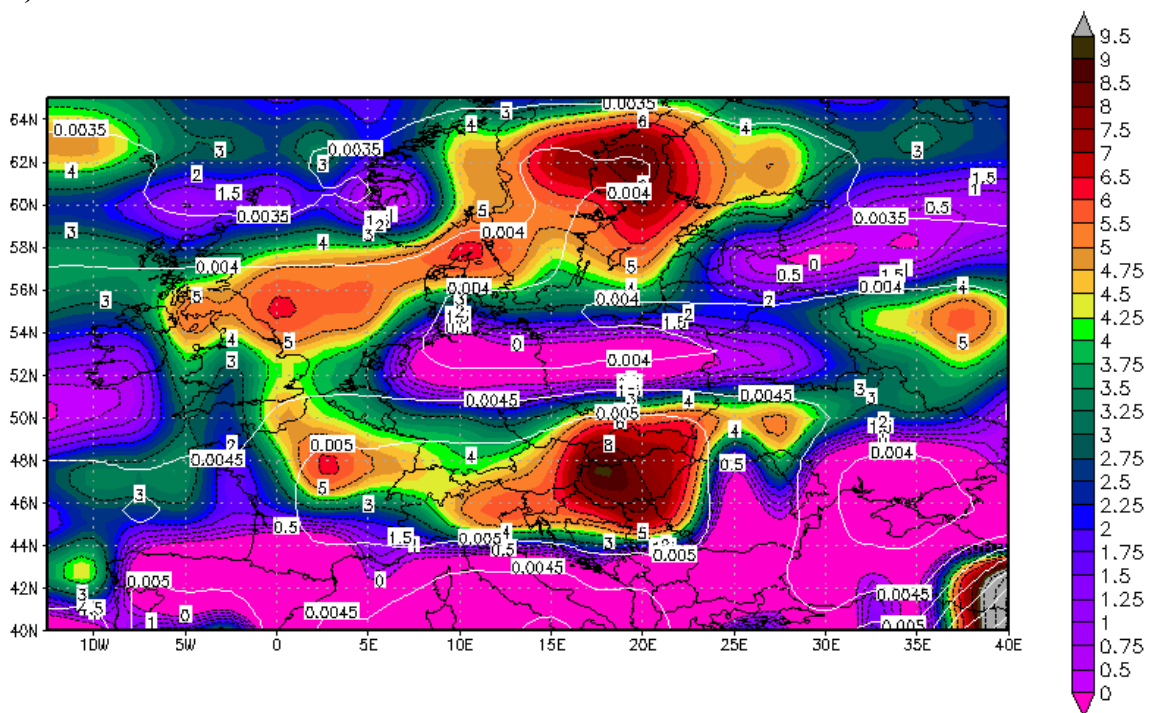
**Obr.4d: Pole hodnôt priemerných polročných odchýlok teploty vzduchu v hladine 850 hPa počítaných z odchýlok CGCM3 a reálnych údajov v referenčnom období 1961-1990, teplý polrok. Izočiary (biela) predstavujú pole teploty vzduchu CGCM3 v hladine 850 hPa.**



**Obr.5a: Pole hodnôt teplotných odchýlok vzduchu v 850 hPa (farebné pozadie) a vektorové pole odchýlok vetra CGCM3 (2046-2065) a CGCM3 (1961-1990) v 850 hPa hladine pre 30 ročný priemer v období rok. Tmavší odtieň trajektórie reprezentuje CGCM3 (2046-2065), svetlejší odtieň reprezentuje trajektóriu v poli CGCM3 (1961-1990)**

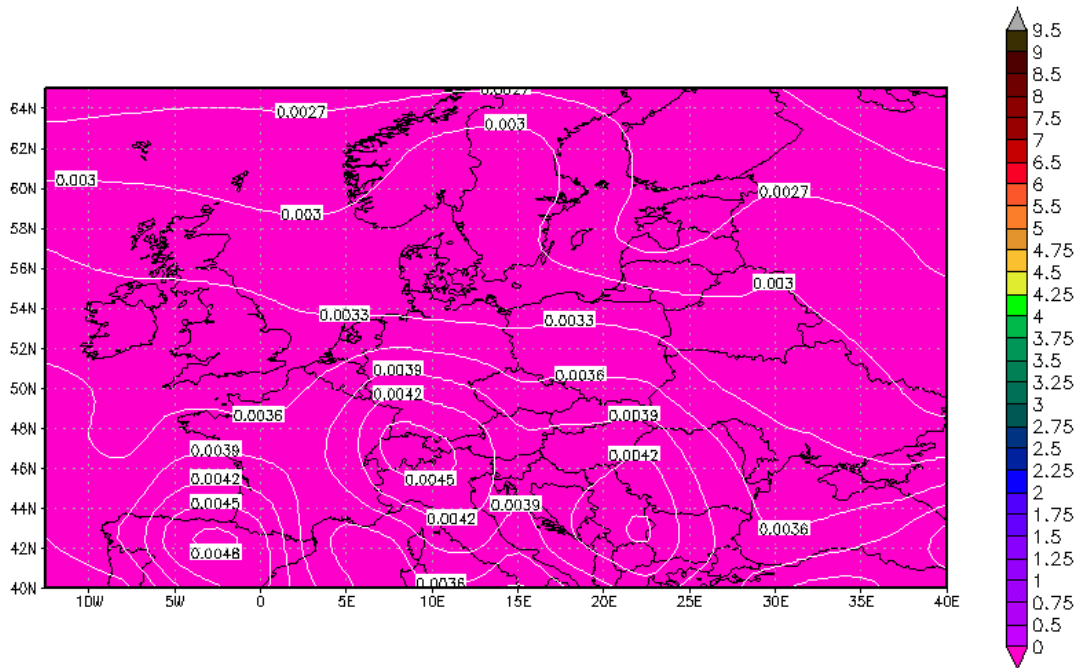


**Obr.5b: Pole hodnôt teplotných odchýlok vzduchu v 500 hPa (farebné pozadie) a vektorové pole odchýlok vetra CGCM3 (2046-2065) a CGCM3 (1961-1990) v 500 hPa hladine pre 30 ročný priemer v období rok. Tmavší odtieň trajektórie reprezentuje CGCM3 (2046-2065), svetlejší odtieň reprezentuje trajektóriu v poli CGCM3 (1961-1990)**

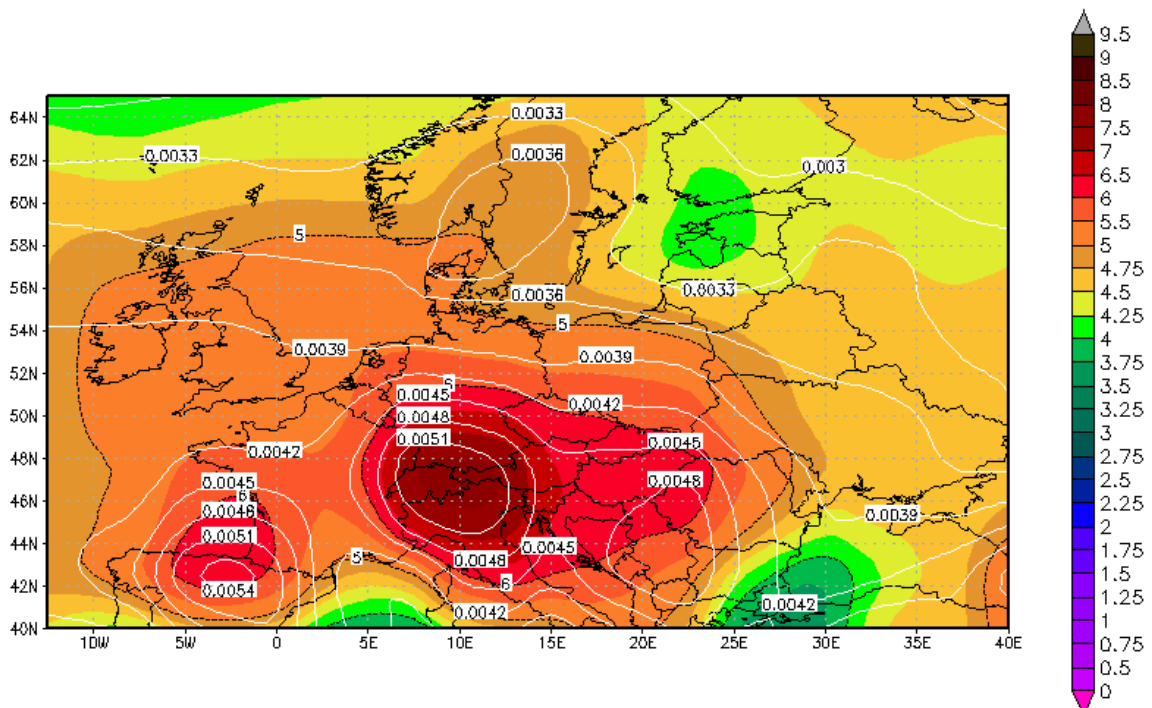


**Obr.6a: Pole hodnôt priemerných ročných odchýlok mernej vlhkosti vzduchu  $\text{kg.kg}^{-1}$  ( $\times 10^4$ ) v hladine 850 hPa počítaných ako odchýlka CGCM2 a reálnych údajov v referenčnom období 1961-1990. Izočiary (biela) predstavujú pole mernej vlhkosti  $\text{kg.kg}^{-1}$  ( $\times 10^4$ ) CGCM2 v hladine 850 hPa.**





**Obr.6b:** Pole hodnôt priemerných ročných odchýlok mernej vlhkosti  $\text{kg.kg}^{-1} (\times 10^4)$  vzduchu v hladine 850 hPa počítaných ako odchýlka CGCM3 a reálnych údajov v referenčnom období 1961-1990. Izočiary (biela) predstavujú pole mernej vlhkosti  $\text{kg.kg}^{-1} (\times 10^4)$  CGCM3 v hladine 850 hPa.



**Obr.6c:** Pole hodnôt priemerných ročných odchýlok mernej vlhkosti  $\text{kg.kg}^{-1} (\times 10^4)$  vzduchu v hladine 850 hPa počítaných ako odchýlka CGCM3 v období (2046-2065) a CGCM3 v období 1961-1990. Izočiary (biela) predstavujú pole mernej vlhkosti  $\text{kg.kg}^{-1} (\times 10^4)$  CGCM3 v hladine 850 hPa v období (2046-2065).