

ZMENY PREVLÁDAJÚCEHO PRÚDENIA VZDUCHU A ICH VPLYV NA KLÍMU SLOVENSKA

Martin Gera
Ingrid Damborská

SUMMARY

DOMINANT STREAMING CHANGES AND THEIR INFLUENCE ON CLIMATE IN SLOVAKIA

The atmospheric circulation is one of the determining factors that affect climatic factors in given region. Scenarios of altitudinal streaming patterns in the Euro-Atlantic area at 500 hPa level in the 2011-2040 time frame compared to 1961-1990 reference period from ERA-40 reanalysis is studied in this paper. Scenarios of upper atmospheric flow changes in Central Europe and in the Atlantic area have been prepared using CCCM2000 coupled model outputs. Some statistical characteristics of chosen climatic elements were studied in both reference (1961-90) and model periods (2011-40) for the whole analysed region bordered by longitudes -82.5°W and 55.0°E (56 grid points) and by latitudes 22.5°N and 72.5°N (21 grid points).

The air temperature and horizontal wind components have been elaborated for individual months of the year and so outputs present 30-year averages of mentioned quantities. Because of model outputs reciprocal comparability CCCM data was interpolated to reanalysis grid. After this a vector field of wind and a scalar temperature field was compared at 500 hPa level. Direct interpolation of obtained results was very complicated. From this reason some point with longitude 17.0°N and latitude 48.0°N (near by Slovakia) was chosen to pass through it some inverse and forward trajectories in the average monthly field of air stream.

In the case of surface level CCCM2000 model outputs were adapted to reanalysis orography in consequence of different elevation above sea-level in models. It was got to temperature average shifting. After this correction stream and temperature changes have been analysed by means of air particles trajectories.

From obtained results it is obvious that dominant streaming changes at 500 hPa level will be nerveless. Only slight south trajectory shift is spotted in the East Atlantic area. The shifting southward on greater scale is observed at the surface level. Consequently some warming can be expected in this level where temperature change about $+1^{\circ}\text{C}$ is significant from climatic aspect. In the case of 500 hPa the direct interpolation of temperature field gives also warming up to $+2^{\circ}\text{C}$ at chosen point. However change of upper atmospheric flow in this level is not considerable and so significant rebuilding of circulation system is not expected.

It seems that optimal correction method concerning certain model defects would be a creating of a climatic embedded numerical model with advanced resolution that will respect atmosphere dynamics and meteorology elements consistency.

Abstrakt

Najnovšie modeli všeobecnej cirkulácie atmosféry (GCMs) poskytujú okrem množstva výstupov v tvare časových radov denných údajov základných klimatických prvkov tiež hodnoty atmosférického tlaku a vetra v rôznych výškach. Hladiny, ležiace v blízkosti 500 hPa, sú rozhodujúcim činiteľom, odrážajúcim cirkulačné pomery atmosféry. Analýza cirkulačných pomerov je možná len pre pomerne rozsiahle oblasti. V cirkulácii atmosféry nad jednotlivými oblasťami hrajú hlavnú úlohu akčné centrá atmosféry. Všeobecnú cirkuláciu vzduchu v oblasti Európy podmieňuje rozloženie stacionárnych tlakových útvarov, ktoré ovplyvňujú klímu v stredoeurópskom regióne, a teda aj na Slovensku. V práci sme sa zamerali na analýzu zmien prevládajúceho prúdenia v 500hPa hladine a ich vplyvu na klimatické pomery Slovenska. Scenár zmien výškového prúdenia v sledovanej oblasti severného Atlantiku a Európy v období 2011-2040 sme pripravili na základe výstupov prepo-

jeného atmosféricko-oceánického modelu CCCM2000, ktorý sme porovnávali s reálnymi údajmi, získanými z projektu ERA-40 v referenčnom období 1961-1990.

Kľúčové slová: scenáre klimatickej zmeny, atmosférická cirkulácia, prevládajúce prúdenie

ÚVOD

Ako pole teploty, tak aj charakter poľa tlaku a prúdenia vzduchu sa pri zemskom povrchu a vo výške podstatne odlišujú. Zložitá štruktúra poľa tlaku vzduchu v blízkosti zemského povrchu sa s výškou zjednodušuje. Všetky menej významné zvláštnosti prízemného barického poľa, ktoré sú podmienené prevládáním atmosférických vírov, ako aj orografickými podmienkami a reliéfom zemského povrchu, sa strácajú. Už v hladinách 700 a 500 hPa a vyššie priemerné pole tlaku vzduchu odpovedá základnému systému atmosférickej cirkulácie. Zmeny poľa geopotenciálnych výšok tlakových hladín vzduchu nad Európou a severným Atlantikom podmieňujú zmeny polohy akčných centier, čím ovplyvňujú zmeny klimatických prvkov. Znamenajú zmenu smeru a rýchlosti prízemného a výškového prúdenia v oblasti výskytu synoptických útvarov, ovplyvňujúcich počasie a klímu strednej Európy, a teda aj Slovenska.

Najnovším trojrozmerným modelom atmosférickej cirkulácie prepojeným s jednoduchým modelom oceánu a termodynamickým modelom morského ľadu je klimatický model CCCM 2000 (Kanadské centrum pre modelovanie klímy a analýzy). Tento model má horizontálne rozlíšenie 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 sieťou (1,875° podľa zemepisnej dĺžky a 1,856° podľa zemepisnej šírky) a s 29 vertikálnymi hladinami. Uvedený model poskytuje modelové hodnoty teploty vzduchu, rýchlosti a smeru vetra v rôznych výškach, pomocou ktorých sme v tomto príspevku analyzovali zmeny charakteru atmosférickej cirkulácie.

Atmosférický model, ktorý používa ERA-40, má za hlavný cieľ vytvoriť globálne analýzy atmosféry, pevniny a oceánu od r. 1958 do 2001 na základe dostupných údajov z pozorovaní, analýz a výskumných správ. Tento model má nasledujúce základné charakteristiky: je počítaný pre 60 vertikálnych hladín, v horizontálnom smere pracuje s urezanými vlnovými číslami väčšími ako 159 (T159), sféricko-harmonické zobrazenie základných dynamických polí používa redukovanú Gaussovu mriežku (s približne homogénnym 125 km krokom na povrchu) a polia sú archivované v štandardnej 2,5° mriežke rovnako ako aj v ich základnom modelovom tvare (T159 sférická harmonická alebo zodpovedajúca redukovaná Gaussova mriežka).

MATERIÁL A METÓDY

V príspevku sme sa zamerali na analýzu prevládajúceho prúdenia z výstupov prepojeného atmosféricko-oceánického modelu CCCM2000 a z reanalýz z ERA-40. Na spracovanie boli použité denné údaje horizontálnych zložiek vetra v 500 hPa a mesačné priemery teploty vzduchu v 500 hPa a prízemnej hladine v období 1961-2040 z CCCM 2000 (A2-SRES) a reanalýzy za obdobie 1961-1990 z projektu ERA-40. Štatistické charakteristiky vybraných klimatických prvkov boli skúmané v oblasti severného Atlantiku a Európy v referenčnom období 1961-1990 a v modelovom období 2011-2040.

Vzhľadom na snahu popísať zmenu cirkulačných pomerov, ovplyvňujúcich územie Slovenska, sme analyzovali pomerne rozsiahlu oblasť: severozápadný okraj mapy je v Grónsku a juhovýchodný v oblasti Červeného mora. Mapa teda zahŕňa celý severný Atlantik, na východe zasahuje po Ural a na juhu siahá po oblasť Sahary. Analyzovaná oblasť je ohraničená zemepisnou dĺžkou -82,5° z.z.d. a 55,0° v.z.d. a zemepisnou šírkou 22,5° s.z.š. a 72,5° s.z.š.. Vo vertikálnom smere sme vybrali hladinu 500 hPa, ktorú sme stotožnili s hladinou non-divergencie. V tejto hladine

očekávame dobré vlastnosti pre popis advekčných charakteristík prúdenia vzduchu. Kvôli lepšej obrazotvornosti sme vybrali aj ďalšiu hladinu a stotožnili ju s prízemnou hladinou. Účinky prúdenia v tejto hladine totiž priamo pociťujeme, keďže sa nachádza v oblasti, kde sa vykonáva väčšina ľudskej činnosti.

Skúmané meteorologické prvky, zložky horizontálneho vetra a teplota vzduchu boli spracované pre jednotlivé mesiace v roku. Výstupy teda predstavujú 30-ročné priemery uvedených veličín, ktoré sú navzájom porovnávané. Výsledky, získané v predchádzajúcich prácach [1,2,3], svedčia o tom, že klimatický model CCCM2000 sa dopúšťa chýb, ktoré je potrebné zohľadniť pri interpretácii dosiahnutých výsledkov. Aby sme čo najlepšie pochopili tieto závislosti a chyby, je vhodné porovnať reanalýzy s výstupmi klimatického modelu v období, kedy ešte máme k dispozícii reálne namerané údaje. V prácach [1,2] je referenčným obdobím 30-ročné obdobie 1961-1990, ktoré je východiskovým normálom aj v tomto príspevku. Obdobie 1991-2001 bolo zase kontrolným obdobím mimo normálového obdobia.

Kvôli porovnateľnosti modelových výstupov boli údaje z modelu CCCM2000 lineárne preinterpolované do siete reanalýzy. Hustota siete je pravidelná v zonálnom a meridiálnom 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 56×21 bodov.

V hladine 500 hPa sme po tejto interpolácii priamo porovnali vektorové pole vetra a skalárne pole teploty. Priama interpretácia výsledkov v tomto prípade bola veľmi komplikovaná. Z tohto dôvodu sme vybrali bod v blízkosti Slovenska, konkrétne bod so súradnicami 48°s.z.š a 17°v.z.d. , cez ktorý sme nechali prechádzať spätné a dopredné trajektórie v priemernom mesačnom poli prúdenia vzduchu. Tento postup nám umožnil získať prehľad o lokalitách, cez ktoré častica vzduchu musí prejsť, aby prešla zvoleným bodom. Pritom sme si všimli teplotné pole a jeho zmeny v referenčnom a modelovom období, čo nám umožnilo pochopiť transformačné procesy v dôsledku zmeny teploty pri prechode danej častici vzduchu cez rôzne územia.

V prízemnej hladine sa však situácia komplikuje v dôsledku rozdielnych modelových orografií. V prípade priamej aplikácie výsledkov by dochádzalo ku skresleniu výstupov v dôsledku rozdielnej nadmorskej výšky jednotlivých bodov v modeli CCCM2000 a ERA-40. Preto bol výstup z CCCM2000 v tejto hladine prispôbený orografii reanalýzy jednoduchým spôsobom, a to posunutím priemeru teploty vzduchu:

$$M_N = M - (\bar{M} - \bar{R}),$$

kde M_N je nová, modifikovaná hodnota pre CCCM2000, M sú mesačné údaje CCCM 2000, \bar{M} je mesačný priemer CCCM2000 a \bar{R} je mesačný priemer z reanalýzy za 30-ročné obdobie. Po tejto korekcii sme pri analýze postupovali rovnako ako aj v hladine 500 hPa. Zmeny prúdenia a teploty vzduchu boli analyzované pomocou trajektórií vzduchových častíc.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Skôr, ako pristúpime k analýze dosiahnutých výsledkov, zhrnieme nám známe nedostatky klimatického modelu z prác [1,2,3], s ktorými musíme počítať pri interpretácii získaných výsledkov. Vo všeobecnosti v klimatickom modeli dochádza počas chladného polroku, hlavne v zimných mesiacoch, k nadhodnoteniu mesačných modelových výstupov poľa geopotenciálu v 500 hPa v európskej a americkej časti kontinentu. Nad Atlantikom zároveň pozorujeme podhodnotenie modelových výstupov. Daný jav zrejme súvisí s polohou akčných centier atmosféry, reprezentáciou planetárnych vln v 500 hPa. To znamená, že nad oceánom klimatický model CCCM 2000 dáva častejší výskyt cyklónálne zakrivených izohýps a nad kontinentom anticyklónálne zakrivených izohýps. V teplom polroku zase dochádza k nadhodnoteniu poľa geopotenciálu vo vysokých zemepisných šírkach a k podhodnoteniu v stredných a nižších zemepisných šírkach.

Zdá sa, že tendencia podhodnocovať, resp. nadhodnocovať model súvisí s polohou polárneho frontu, oddeľujúceho rôzne vzduchové hmoty, a s cyklónálnou činnosťou v tejto oblasti. V danej vzduchovej hmote hustota izobár súvisí s vertikálnym barickým gradientom, ktorý závisí od teploty vzduchovej hmoty, čo

sa odráža aj na geopotenciálnej výške 500 hPa hladiny.

Z výsledkov, ktoré publikujeme v tomto prípevku, sme vybrali 30-ročné priemery pre mesiace apríl, máj a november. Dôvodom tohto výberu boli nasledovné jednoduché kritériá: v novembri pozorujeme v 500 hPa najväčší nárast teploty vzduchu vo vybranom bode (17°v.z.d., 48°s.z.š.), v apríli najväčší pokles teplôt na relatívne veľkom území (pričom však vo vybranom bode pozorujeme oteplenie o 0,6°C) a v máji zase najväčšie ochladenie a to o 0,5°C vo zvolenom bode.

Z uvedených obrázkov a získaných výsledkov môžeme vyvodit' nasledujúce spoločné závery, ktoré sú platné viac menej počas celého roka. Z modelu CCCM2000 (2011-2040) a z reanalýz (1961-1990) je zrejmé, že v 500 hPa nedôjde k výraznej zmene prevládajúceho prúdenia. Z výsledkov je badať zväčša mierny posun trajektórie južným smerom vo východnej časti Atlantického oceánu. V prízemnej hladine je rozdiel v trajektóriách výraznejší. Opäť však vo väčšine prípadov dochádza k posunu trajektórie južným smerom.

Z teplotného hľadiska je v 500 hPa viditeľná tendencia ochladenia v chladnom polroku, hlavne v mesiacoch november až apríl (v budúcnosti očakávame pokles teploty) a to v nižších zemepisných šírkach, prípadne v oblasti medzi Islandom a Britskými ostrovmi (súvis s častým výskytom cyklonálneho útvaru). V mesiacoch máj a október dochádza k prestavbe poľa a k posunu frontálnej zóny. V máji je efekt zreteľnejší vzhľadom na prítomnosť výraznejšieho teplotného gradientu medzi pólom a rovníkom. V ostatných mesiacoch (teplejšia časť roka) vo všeobecnosti dochádza k otepleniu v 500 hPa na väčšine sledovaného územia. Celkovo sa amplitúda teploty vzduchu pohybuje vo vybranom bode v určitom rozmedzí, od oteplenia v mesiaci november o 2,0°C po ochladenie v máji o -0,5°C. Podotknime, že ochladenie vo zvolenom bode bolo pozorované len v jednom mesiaci. V ďalších mesiacoch sa očakáva oteplenie minimálne o 0,3°C.

V prízemnej vrstve atmosféry je pozorovaná oveľa jednoznačnejšia tendencia zmeny poľa teploty vzduchu. Vzhľadom na prispôbenie orografie modelu CCCM2000, výsledky hovoria o otepľovaní prakticky v celej sledovanej oblasti. Vo zvolenom bode sa najväčšie

oteplenie očakáva v mesiacoch apríl (1,9°C), júl (1,8 °C) a september (1,5 °C). Najmenšie oteplenie sa očakáva v novembri a to o 0,8 °C.

V mesiaci apríl, kedy prevláda meridionálna cirkulácia (chyba modelu, priemerná odchýlka je v absolútnej hodnote väčšia ako 155m v oblasti Islandskej níže, pričom prakticky v celej skúmanej oblasti dochádza k podhodnocovaniu geopotenciálnej výšky 500 hPa (obr.1a, 1b)) na väčšine domény pozorujeme ochladenie. V oblasti západnej a centrálnej Európy sledujeme zase mierne oteplenie. V prípade, že by sme aplikovali metódu prispôbenia priemeru, prípadne aj variancie (vid' [1,2]), by ochladenie mohlo byť v niektorých lokalitách výraznejšie (posunutím modelovej hladiny do väčších výšok). Aplikácia tejto metódy v hladinách, ktorých výška sa v čase mení, je však diskutabilná vzhľadom na to, že výška tlakovej hladiny závisí od viacerých meteorologických parametrov. Výsledná zmena teploty, ako to vidieť na obr.2a, dosahuje vo vybranom bode -0,6°C (znamienko „-“ hovorí o oteplení, keďže počítame rozdiel reanalýza - model). Model CCCM2000 viac zonalizuje prúdenie v 500 hPa, o čom svedčí aj tvar vypočítaných trajektórií. Preto oteplenie nie je až takým prekvapením. Tu je potrebné si ešte uvedomiť, že pole odchýlok teplôt vzduchu nič nehovorí o tom, pri akej teplote je daná častica unášaná, hlavne, ak trajektórie majú inú dráhu. Preto si musíme priamo vykresliť aj teplotu vzduchu aj trajektóriu (ako na obr.2b a 2c), čím získame prehľad o teplotných pomeroch unášaného prúdenia.

V mesiaci máj je situácia iná než vo väčšine ostatných mesiacov. Trajektória modelu CCCM2000 je vo východnej časti Atlantického oceánu v 500 hPa posunutá severnejšie od trajektórie reanalýzy. Aj v tomto mesiaci, podobne ako v mesiaci apríl, je veľká časť územia chladnejšia ako v referenčnom období 1961-1990 (obr.3). Výsledná podoba odchýlky teplotného poľa zrejme súvisí s polohou frontálnych zón a tým aj s polohou vzduchových hmôt. Z výsledkov prác [1,2] vieme o podhodnocovaní geopotenciálnej výšky 500 hPa v klimatickom modeli aj v mesiaci máj. Podhodnotenie je sústredené v páse miernych šírok a to hlavne nad kontinentmi. Preto v prvom priblížení, ak predpokladáme, že si model zachová svoje vlastnosti a bude

podhodnocovať geopotenciálnu výšku aj v skúmanom období 2011-2041, môžeme očakávať ešte výraznejšie ochladenie vo zvolenom bode ako je získaná hodnota $-0,5^{\circ}\text{C}$.

V mesiaci november sme zaznamenali najväčší nárast teploty v 500 hPa v skúmanom bode a to o 2°C . Trajektória klimatického modelu je pritom vo východnej časti Atlantického oceánu výraznejšie posunutá k juhu.

Ako je zrejmé z predchádzajúcich analýz, zámerne sme podrobili interpretáciu výsledkov štatistickej kontrole. Je známe (z prác [1,2]), že samotný klimatický model sa dopúšťa chýb, ktoré je možné len veľmi ťažko korigovať. Samotná štatistická korekcia môže síce priblížiť správanie modelu v referenčnom období, ale v skúmanom období (ak chceme uplatniť štatistiku získanú v referenčnom období), musíme predpokladať, že modelové výstupy z klimatického modelu budú rovnako „dobré“, t.j. štatistická závislosť (previazanosť) modelu a budúca skutočnosť sa nezmení, čo je však otázne. Okrem toho v prípade, že chceme aplikovať štatistickú korekciu, sa ukazuje nevyhnutné zohľadniť multivariačné závislosti medzi jednotlivými premennými. V prípade jednoduchej závislosti dostávame výsledky s istou výpovednou hodnotou, ale podstupujeme riziko nekonzistentnosti medzi jednotlivými meteorologickými prvkami (napríklad prevýšenie teploty vzduchu teplotou rosného bodu). Značne rozdielny prístup si vyžaduje aj korekcia modelových

údajov pri povrchu a vo voľnej hladine. Pri povrchu je najzávažnejším nedostatkom rozdielna orografická výška oboch modelov. V tejto hladine môže poskytnúť prepracovaná štatistická metóda zaujímavé výsledky. V príspevku sme použili jednoduchú metódu posunutia priemeru a to bez väzby na iné meteorologické prvky. Vo voľnej hladine sme korekciu nevykonali napriek tomu, že vieme o chybe klimatického modelu a interpretáciu výsledkov sme urobili s týmto vedomím. Ako sa ukazuje, najvhodnejšou metódou korekcie bude vytvorenie klimatického vnoreného numerického modelu s vyšším rozlíšením, ktorý bude rešpektovať dynamiku atmosféry a previazanosť jednotlivých meteorologických prvkov. Tento model bude pritom použiteľný na prízemnú vrstvu atmosféry a zároveň aj na voľnú atmosféru.

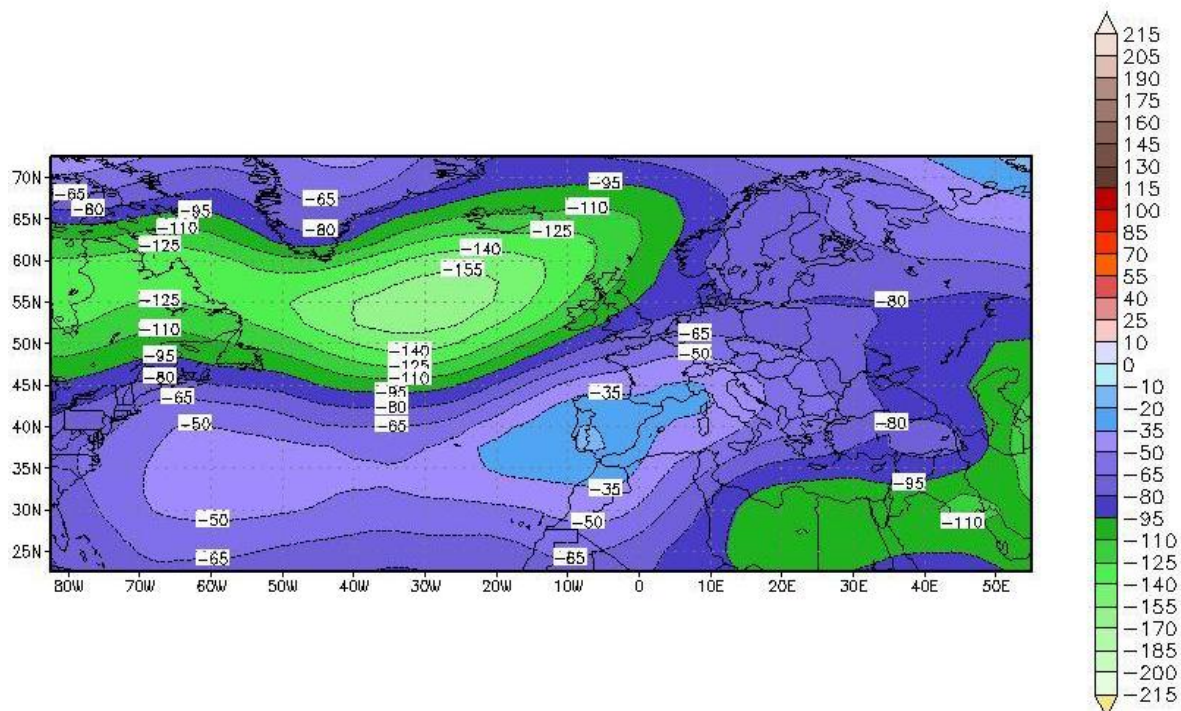
Celkovo môžeme na základe výsledkov skonštatovať otepľujúci trend v prízemnej hladine, kde dosiahnutá zmena teploty vzduchu okolo $+1^{\circ}\text{C}$ je z klimatického hľadiska významná. V 500 hPa výškovej hladine musíme byť opatrnejší pri interpretácii teplotného poľa. Priama interpretácia tohto poľa pre vybraný bod (17°v.z.d. , 48°s.z.š) hovorí tiež o otepľovaní a to až do $+2^{\circ}\text{C}$ (výnimkou je mesiac máj $-0,5^{\circ}\text{C}$). Prúdenie v 500 hPa hladine nezaznamenáva výraznejšie zmeny, takže sa neočakáva podstatnejšia prestavba cirkulačného systému.

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

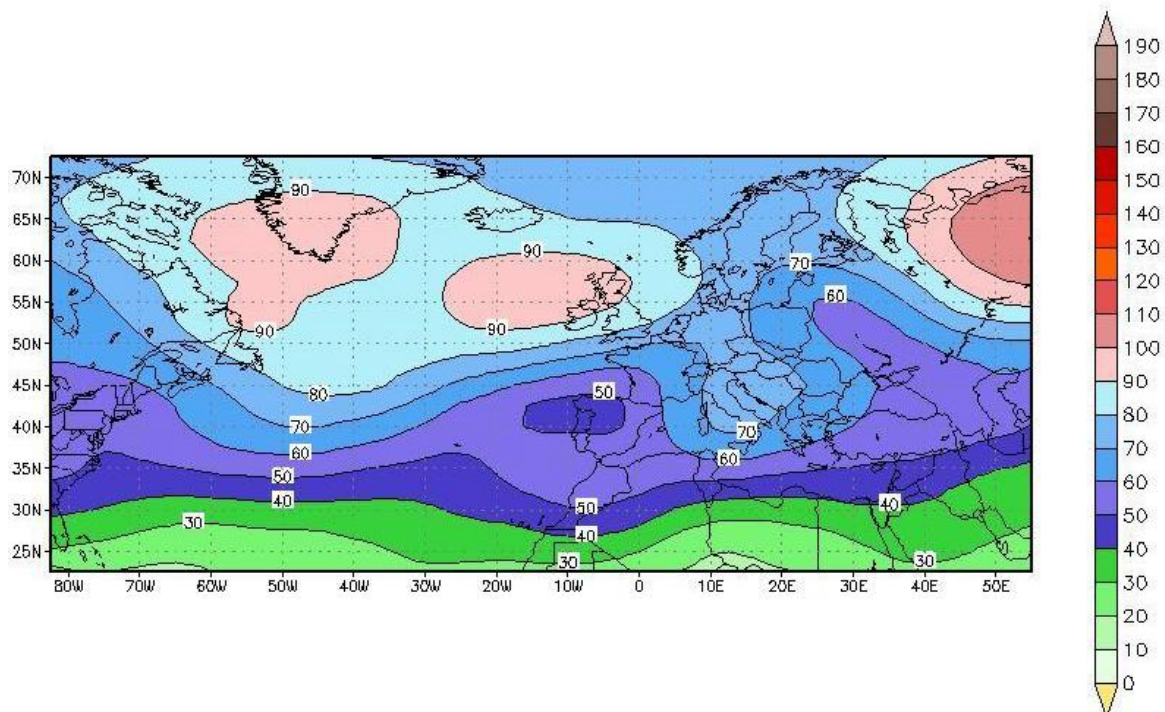
Literatúra:

- [1] Gera M., Damborská I., Martíni, M.: Analýza zmien prúdenia vzduchu v 500 hPa hladine s využitím výstupov ERA-40 a CCCM 2000. Zborník príspevkov 7. Konferencia mladých meteorológov a klimatológov. Bratislava, 11. november 2004, rozsah 12str., ISBN 80-88907-79-7
- [2] Damborská, I., Gera, M., Martíni, M.: Scenarios of upper flow changes in Central Europe using CCCM 2000 outputs, International Bioclimatological Workshop, Viničky, 23-26.8.2004, ISBN 80-8069-402-8, pp. 22
- [3] Lapin, M., Melo, M., Damborská, I., Gera, M.: Scenáre úhrnov zrážok počas extrémnych zrážkových situácií na Slovensku, Zborník, ISBN 80-86690-12-1, 11.3.2004, pp.18

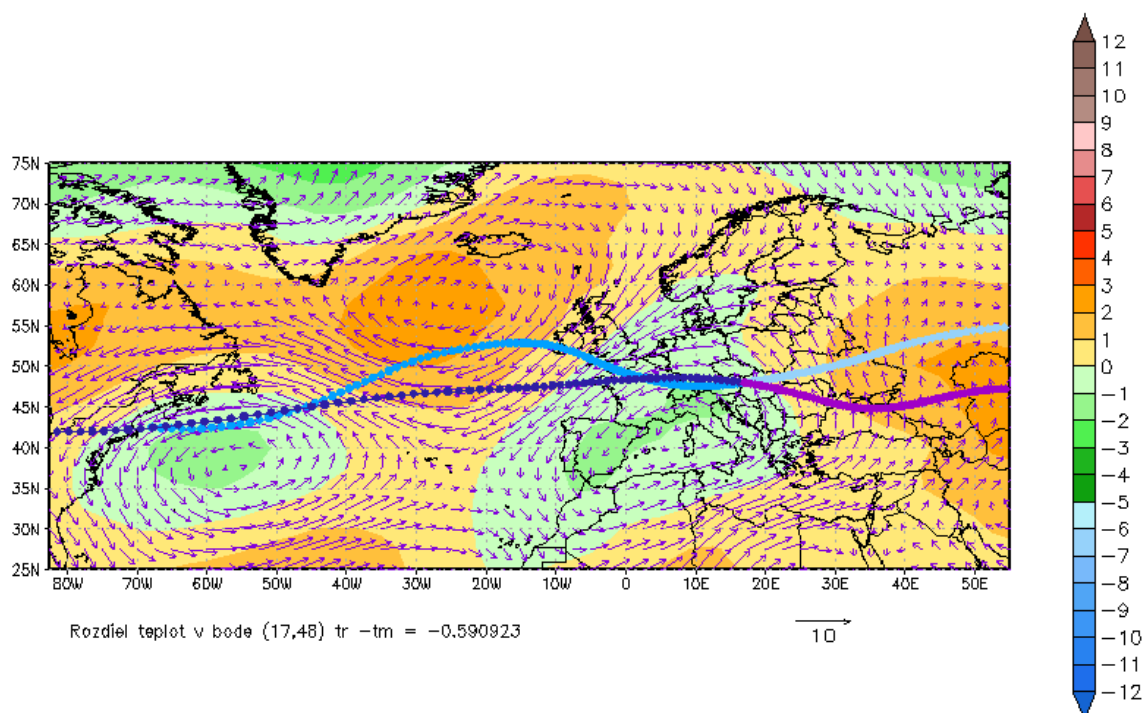
Obrázková príloha



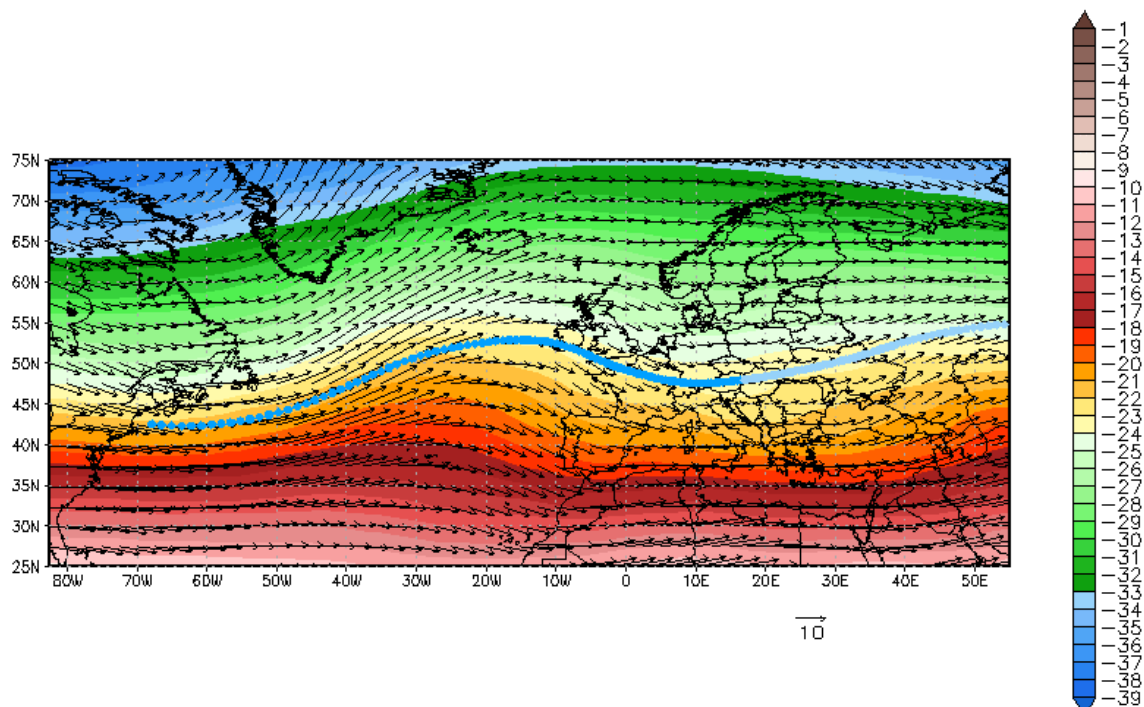
Obr.1a: Pole hodnôt priemerných aprílových odchýlok geopotenciálnych výšok [m] hladiny 500 hPa počítaných z odchýlok modelových a reálnych údajov v referenčnom období 1961-1990.



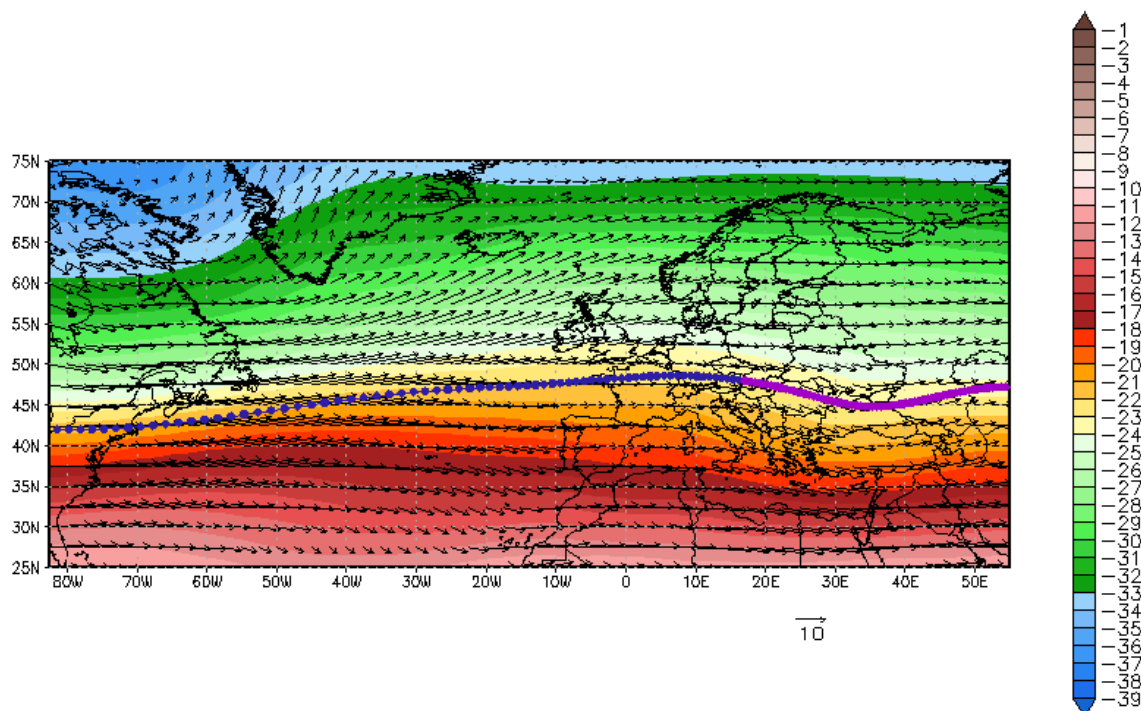
Obr.1b: Pole hodnôt aprílových štandardných odchýlok [m] z odchýlok modelových a reálnych údajov v referenčnom období 1961-1990.



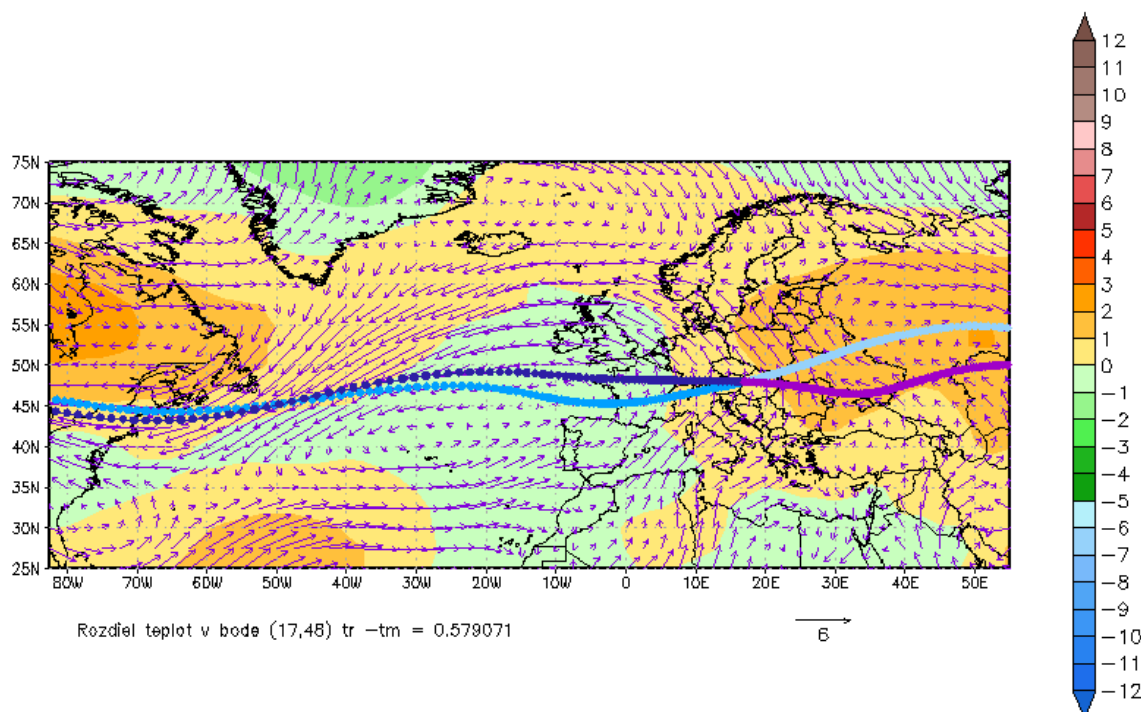
Obr.2a: Pole hodnôt teplotných odchýlok (farebné pozadie) a vektorové pole odchýlok vetra reanalýzy a klimatického modelu v hladine 500 hPa pre 30 ročný priemer v mesiaci apríl. Tmavší odtieň trajektórie reprezentuje model CCCM2000 (2011-2040), svetlejší odtieň trajektóriu v poli reanalýzy (1961-1990).



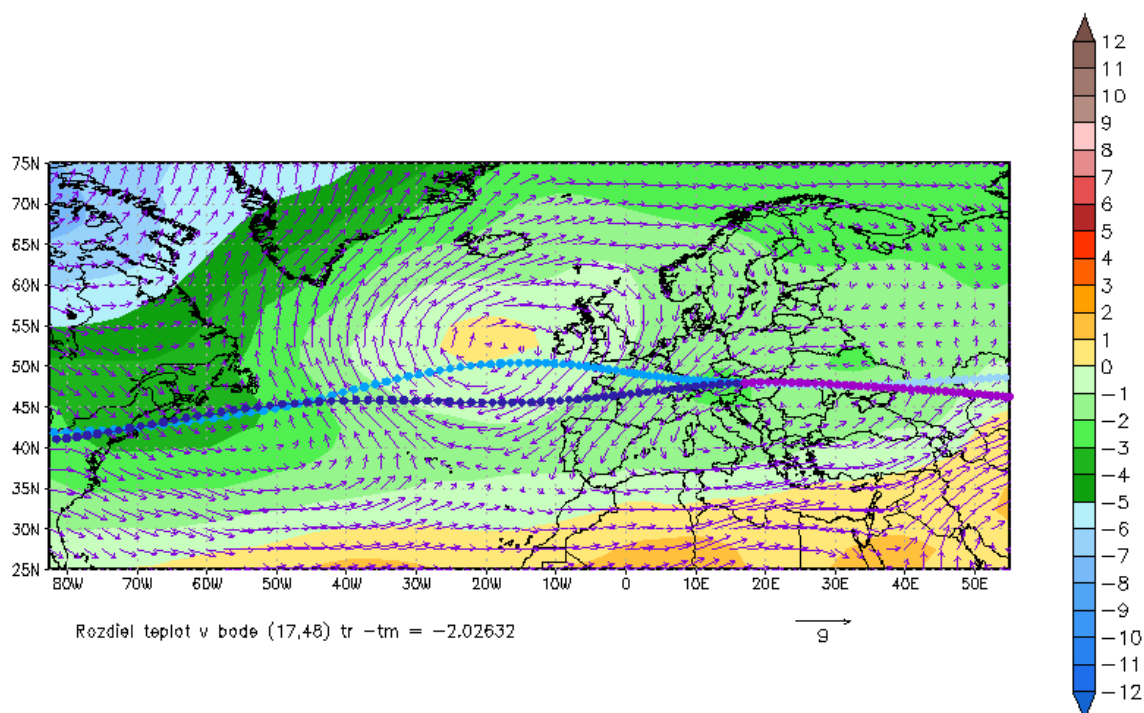
Obr.2b: Pole hodnôt teploty (farebné pozadie) a vektorové pole vetra reanalýzy v hladine 500 hPa pre 30 ročný priemer v mesiaci apríl. Ďalej je na obrázku znázornená trajektória v poli reanalýzy (1961-1990), prechádzajúca bodom 17°v.z.d a 48°s.z.š. Tmavšia modrá vyjadruje spätnú trajektóriu, svetlejšia reprezentuje doprednú trajektóriu.



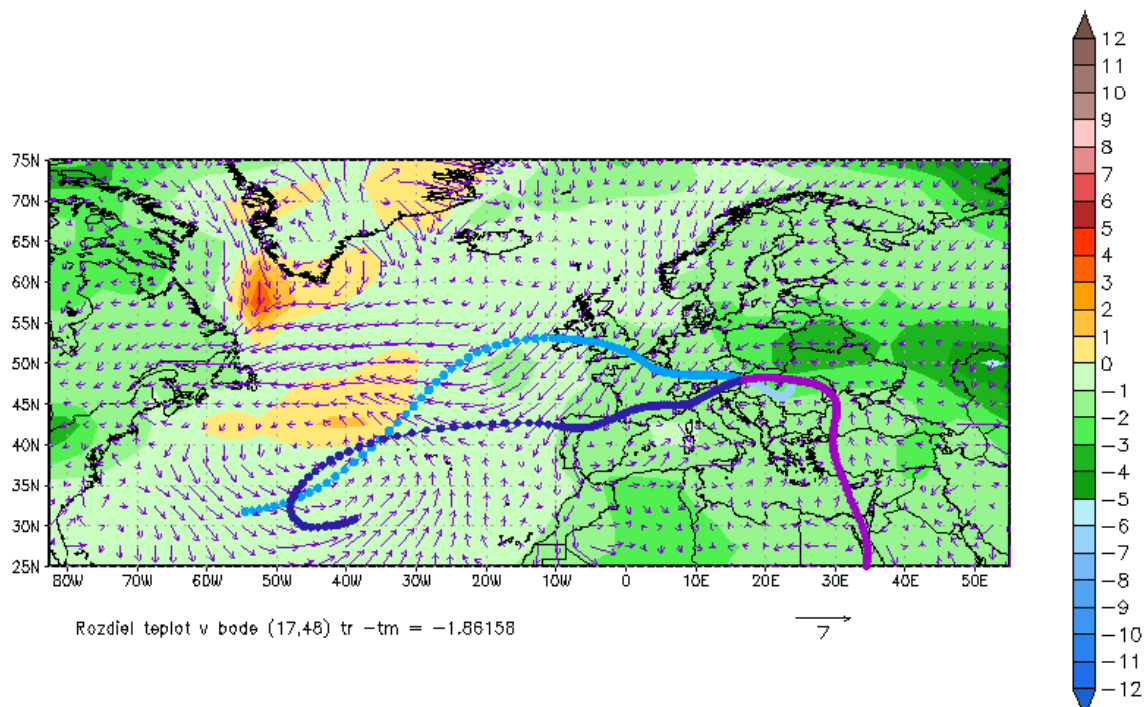
Obr.2c: Pole hodnôt teploty (farebné pozadie) a vektorové pole vetra CCCM2000 v hladine 500 hPa pre 30 ročný priemer v mesiaci apríl. Ďalej je na obrázku znázornená trajektória v poli CCCM2000 (1961-1990), prechádzajúca bodom 17°v.z.d a 48°s.z.š. Tmavomodrá farba vyjadruje spätnú trajektóriu, fialová reprezentuje doprednú trajektóriu.



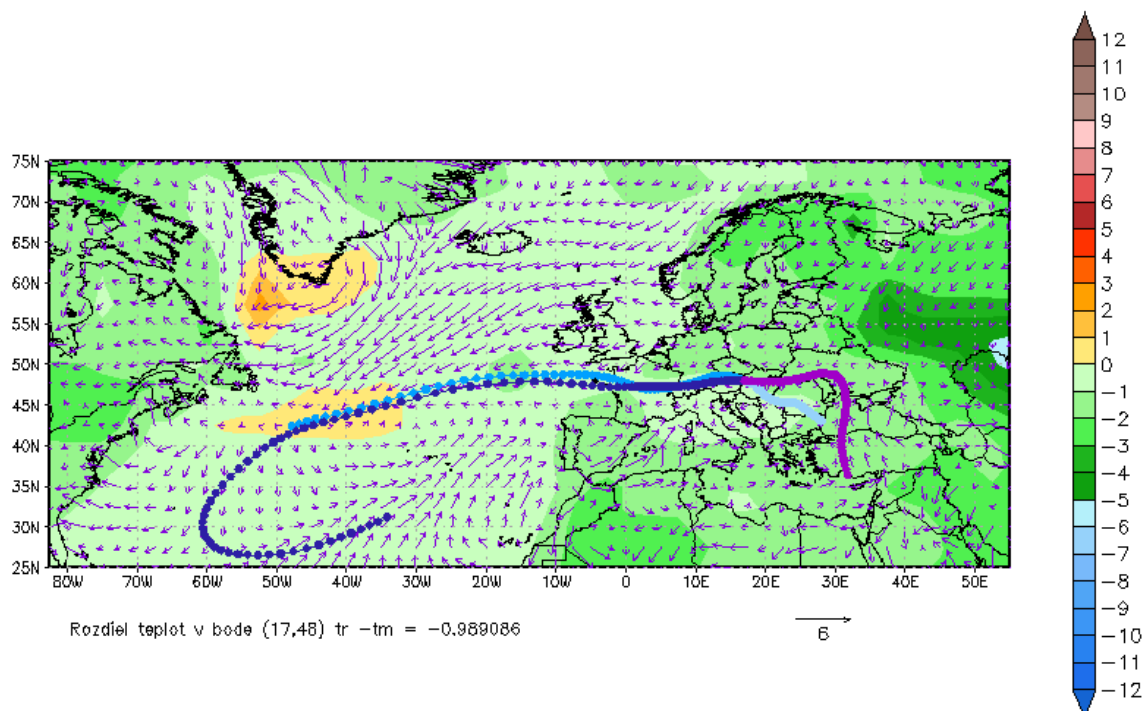
Obr.3: Pole hodnôt teplotných odchýlok (farebné pozadie) a vektorové pole odchýlok vetra reanalýzy a klimatického modelu v hladine 500 hPa pre 30 ročný priemer v mesiaci máj. Tmavší odtieň trajektórie reprezentuje model CCCM2000 (2011-2040), svetlejší odtieň trajektóriu v poli reanalýzy (1961-1990).



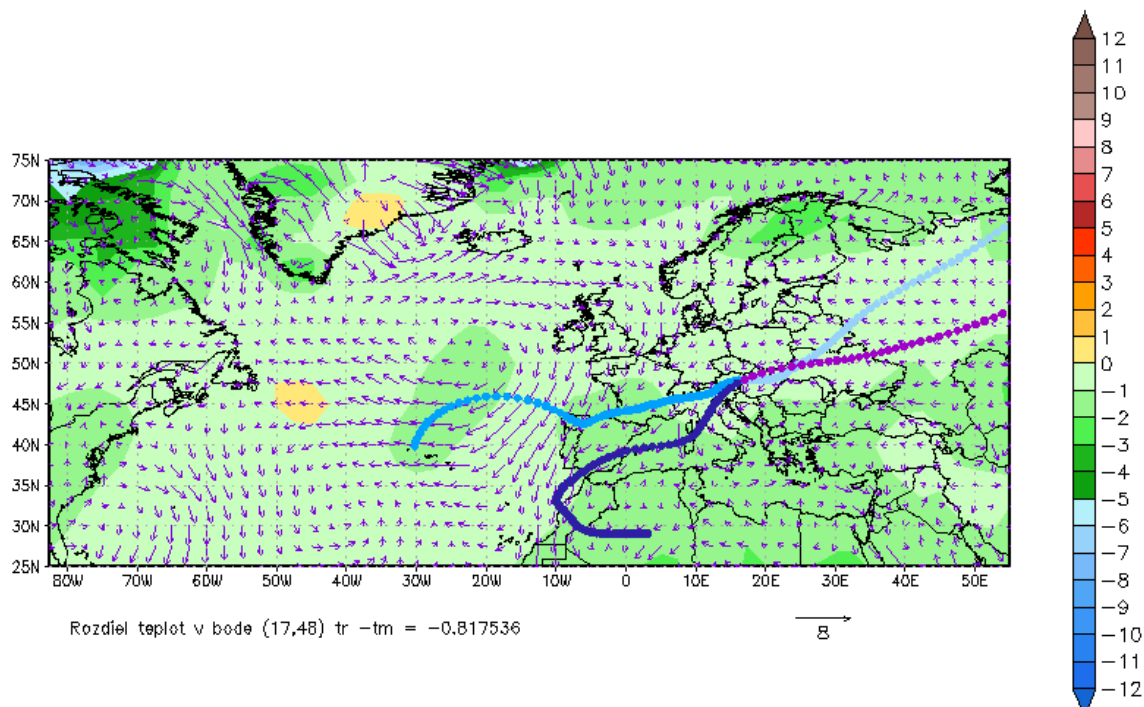
Obr.4: Pole hodnôt teplotných odchýlok (farebné pozadie) a vektorové pole odchýlok vetra reanalýzy a klimatického modelu v hladine 500 hPa pre 30 ročný priemer v mesiaci november. Tmavší odtieň trajektórie reprezentuje model CCCM2000 (2011-2040), svetlejší odtieň reprezentuje trajektóriu v poli reanalýzy (1961-1990).



Obr.5: Pole hodnôt teplotných odchýlok (farebné pozadie) a vektorové pole odchýlok vetra reanalýzy a klimatického modelu v prízemnej hladine (v 2m, resp. v 10m) pre 30 ročný priemer v mesiaci apríl. Tmavší odtieň trajektórie reprezentuje model CCCM2000 (2011-2040), svetlejší odtieň reprezentuje trajektóriu v poli reanalýzy (1961-1990).



Obr.6: Pole hodnôt teplotných odchýlok (farebné pozadie) a vektorové pole odchýlok vetra reanalýzy a klimatického modelu v prízemnej hladine (v 2m, resp. v 10m) pre 30 ročný priemer v mesiaci máj. Tmavší odtieň trajektórie reprezentuje model CCCM2000 (2011-2040), svetlejší odtieň reprezentuje trajektóriu v poli reanalýzy (1961-1990).



Obr.7: Pole hodnôt teplotných odchýlok (farebné pozadie) a vektorové pole odchýlok vetra reanalýzy a klimatického modelu v prízemnej hladine (v 2m, resp. v 10m) pre 30 ročný priemer v novembri. Tmavší odtieň trajektórie reprezentuje model CCCM2000 (2011-2040), svetlejší odtieň reprezentuje trajektóriu v poli reanalýzy (1961-1990).