



**MATEMATICKO-FYZIKÁLNÍ  
FAKULTA**  
Univerzita Karlova

## **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Jakub Hudek

# **Kontinentalita klimatu v Evropě**

Katedra fyziky atmosféry

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Eva Holtanová, Ph.D.

Studijní program: Fyzika

Studijní obor: Obecná fyzika

Praha 2018

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů, literatury a dalších odborných zdrojů.

Beru na vědomí, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorského zákona v platném znění, zejména skutečnost, že Univerzita Karlova v Praze má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

V Praze dne .....

Podpis autora

**Název práce:** Kontinentalita klimatu v Evropě

**Autor:** Jakub Hudek

**Katedra:** Katedra fyziky atmosféry

**Vedoucí bakalářské práce:** RNDr. Eva Holtanová, Ph.D., Katedra fyziky atmosféry

**Abstrakt:** V predloženej práci je študovaná kontinentalita klímy v Európe, jej základné charakteristiky, geografické rozloženie a jej závislosti na zemepisnej šírke a dĺžke. Najprv sú popísané základné pojmy, ako ročná amplitúda teploty vzduchu, termická (teplotná) kontinentalita a príslušné indexy, ktoré ju charakterizujú. Pozornosť je venovaná geografickému rozloženiu indexov kontinentality za dve referenčné obdobia (1951 – 1980 a 1981 – 2010) a ich rozdielom medzi jednotlivými obdobiami. Taktiež sú študované závislosti jednotlivých indexov na zemepisnej šírke a dĺžke s cieľom podrobnejšie zachytiť ich vlastnosti. Výsledky ukázali, že medzi uvedenými obdobiami došlo na väčšine územia Európy k značným zmenám kontinentality, ktoré sú v tejto práci podrobne popísané.

**Klíčová slová:** ročná amplitúda teploty vzduchu, termická kontinentalita, Gorczyńského index, asymetrickosť ročného chodu teploty vzduchu

**Title:** Continentality of climate over Europe

**Author:** Jakub Hudek

**Department:** Department of Atmospheric Physics

**Supervisor:** RNDr. Eva Holtanová, Ph.D., Department of Atmospheric Physics

**Abstract:** In present work the continentality of climate over Europe is studied. Attention is given to its basic characteristics, geographic distribution and its dependences on latitude and longitude. Firstly basic terms such as annual air temperature amplitude, thermal continentality and corresponding indices that characterize it are described. Attention is paid to the geographic distribution of continental indices for two reference periods (1951 – 1980 and 1981 – 2010) and the differences between them. The dependences of individual indices on latitude and longitude in order to capture in greater detail their properties are also studied. The results have shown that there has been considerable change of continentality between these periods in most of Europe's territory, which is described in detail in this work.

**Keywords:** annual air temperature amplitude, thermal continentality, Gorczyński index, asymmetry of annual course of air temperature

Ani najúprimnejším poďakovaním sa nemôžem dostatočne odvdáčiť pani RNDr. Eve Holtanovej, Ph.D. za vedenie mojej bakalárskej práce a hlavne za obrovské množstvo času, ktorý mi venovala. Bez jej rád a dobre mierených poznámok by táto práca nikdy nevznikla. Zabudnúť nemôžem ani na doc. RNDr. Jaroslavu Kalvovú, CSc., za to, že mi venovala čas pri zaobstaraní ťažko dostupnej literatúry. Vám teda veľmi hlboko ďakujem.

# Obsah

<b>Úvod .....</b>	<b>2</b>
<b>1. Základné pojmy a informácie .....</b>	<b>3</b>
1.1. Ročná amplitúda teploty vzduchu .....	3
1.2. Termická kontinentalita a jej charakteristiky .....	4
<b>2. Použité dáta a metódy spracovania .....</b>	<b>8</b>
2.1. Dátový súbor E-OBS .....	8
2.2. Programovací jazyk R a program R-Studio .....	9
2.3. Použité vzorce a dáta .....	10
<b>3. Výsledky spracovania, grafy a ich popis .....</b>	<b>11</b>
3.1. Charakteristiky kontinentality založené na ročnej amplitúde teploty vzduchu .....	11
3.2. Charakteristiky kontinentality založené a asymetrickosti ročného chodu teploty vzduchu .....	16
<b>Záver .....</b>	<b>25</b>
<b>Zoznam použitej literatúry .....</b>	<b>28</b>
<b>Zoznam obrázkov .....</b>	<b>30</b>
<b>Zoznam použitých skratiek .....</b>	<b>31</b>

# Úvod

Oceány tvoria viac než dve tretiny povrchu Zeme. Ich vplyv na klimatický systém je v porovnaní s ostatnými vplyvmi veľmi veľký, keďže patrí medzi základné klimatotvorné činitele. Ich veľká rozloha a rozmiestnenie predstavovali už v dávnej minulosti pre človeka jednu z najväčších prírodných bariér, ba dokonca až hranicu poznateľného sveta. No nebola to len jeho veľkosť a tajupnosť, ktorá človeka od počiatku fascinovala. Človek si postupom času začal všímať a skúmať aj iné, najmä komplexnejšie vlastnosti, ktoré so sebou oceán prináša. Medzi tieto vlastnosti patrí aj vplyv na podnebie a počasie.

Vplyv oceánu na podnebie je veľmi zložitý. Oceány a moria pôsobia ako rezervoár tepla pre celý klimatický systém, čo sa z hľadiska teploty prejavuje najmä na jej ročnom chode. Kontinentalita, ktorá závisí najmä na vzdialenosti od oceánu, je základným motívom tejto bakalárskej práce a je v ďalších kapitolách podrobne vysvetlená a rozpracovaná. Definícia indexu kontinentality nie je jednoznačná, preto bude venovaná pozornosť rôznym definíciám a rozdielom v geografickom rozložení kontinentality podľa rôzne definovaných indexov.

Zemské podnebie nie je nezávislé na čase. Práve naopak, v priebehu histórie sa neustále menilo, vyvíjalo. Zmena klímy na seba pútala pozornosť najmä v posledných desaťročiach, o čom svedčia aj nedávne správy WMO (*World Meteorological organisation*) (WMO, 2017). S jej zmenou sa menila aj ročná amplitúda teploty vzduchu na rôznych miestach na Zemi a v Európe a s ňou sa menila aj kontinentalita, ktorá je dôležitým rysom podnebia. V priebehu druhej polovice 20. storočia došlo k určitej zmene kontinentality najmä v Európe, čo je podrobne rozpracované v tejto bakalárskej práci. Je teda logické očakávať, že zmena ročnej amplitúdy a kontinentality sa bude v Európe odohrávať aj v budúcnosti.

Hlavnou úlohou predkladanej bakalárskej práce je vyhodnotiť geografické rozloženie vybraných charakteristík termickej kontinentality v Európe. Práca je členená nasledovne. V prvej a druhej kapitole sme sa pokúsili podať stručný výklad používaných pojmov (kontinentalita, indexy apod.) a metód práce s dátami. Taktiež postupu výpočtu jednotlivých indexov kontinentality ako aj samotný popis dátového súboru E-OBS, ktorý nám bol zdrojom dát. V tretej kapitole už bolo následne pristúpené k samotnému spracovaniu získaných dát. Za prvé to bolo geografické rozloženie rôznych indexov kontinentality. Za druhé závislosť jednotlivých indexov na zemepisnej šírke a dĺžke v rámci Európy za obdobia 1951 - 1980 a 1981 - 2010 a ich porovnanie medzi sebou. V závere práce je zhrnutie výsledkov s ich súvislosťami.

# 1. Základné pojmy a informácie

## 1.1 Ročná amplitúda teploty vzduchu

Podrobná analýza rozloženia a vlastností priemernej ročnej amplitúdy bola vykonaná v rámci študentského projektu *Ročná amplitúda teploty vzduchu v Európe* (Hudek, 2016). V tejto práci sú uvedené len najdôležitejšie získané výsledky.

Ročná amplitúda teploty vzduchu je definovaná ako rozdiel medzi priemernými mesačnými teplotami najteplejšieho a najchladnejšieho mesiaca v roku na danom mieste. Najnižšie teploty sa v Európe vyskytujú v zime, kedy sa vyskytuje aj najchladnejší mesiac roka (spravidla január alebo február). Naopak najvyššie teploty sa obvykle vyskytujú v lete, keď sa práve v tomto období vyskytujú na severnej pologuli najvyššie hodnoty insolácie na hornú vrstvu atmosféry (konkrétne najvyššie práve na severnom póle). Najteplejší mesiac je obvykle júl alebo august (Hudek, 2016).

Ročná amplitúda je závislá od viacerých faktorov. Jedným z významných faktorov je už v úvode spomenutý vplyv oceánu, ktorý v pobrežných oblastiach spôsobuje miernejšie zimy a chladnejšie letá. Smerom do vnútrozemia jeho vplyv klesá, zimy sú čoraz chladnejšie a letá teplejšie. Ročná amplitúda teda rastie so vzdialenosťou od oceánu alebo mora. Druhým veľmi významným faktorom je zemepisná šírka. Na rovníku, kde sa žiadne ročné obdobia nestriedajú a je po celý rok približne rovnaká teplota, je ročná amplitúda takmer nulová. Naopak najvyššia amplitúda sa očakáva na pólach (čo ale z hľadiska rozloženia oceánov a pevnín nie je pravda). Práve na pólach počas roka nedochádza k 24 hodinovému striedaniu dňa a noci. Má to za následok veľmi nerovnomerné dávky slnečného žiarenia, ktoré sa vyskytuje len v určitej ročnej dobe (tzv. polárny deň). Ročná amplitúda teda rastie od rovníka smerom k pólom. Tretím, už menej významným faktorom je nadmorská výška. S rastúcou nadmorskou výškou dochádza k oveľa výraznejšiemu poklesu priemernej teploty v lete ako v zime, ale vyskytujú sa aj výnimky (Hudek, 2016). V zimných mesiacoch sa v horských oblastiach často vyskytujú inverzie. Ročná amplitúda teda s rastúcou nadmorskou výškou takmer všade až na pár výnimiek klesá.

## 1.2 Termická kontinentalita a jej charakteristiky

Keďže ročná amplitúda teploty vzduchu nezávisí len na oceánskom vplyve, zaviedla sa v minulosti aj nová charakteristika, nezávislá na zemepisnej šírke, tzv. termická kontinentalita.

Kontinentalita klímy je zvyčajne definovaná ako miera rozdielov medzi kontinentálnym a oceánskym podnebím. Iné zdroje definujú kontinentalitu v Európe ako mieru, do akej je podnebie danej oblasti ovplyvnené advekciou vzduchových hmôt z Atlantického oceánu a z Eurázie (Čiaranek, 2014). Rozdiely medzi kontinentálnym a oceánskym podnebím sú výsledkom rozdielnych fyzikálnych vlastností pevniny a oceánu, vrátane tepelných kapacít, množstva výparu, turbulencie atď. (Český meteorologický slovník, 2016). Kvantitatívna charakteristika kontinentality je rozdelená na činitele termálnej a ombrickej miery kontinentality. Miery ombrickej kontinentality sú založené na zrážkach, najmä v ročnom chode, zatiaľ čo termická kontinentalita venuje pozornosť ročnému chodu teploty vzduchu. Táto práca je zameraná na termickú kontinentalitu (ďalej len kontinentalita).

Kontinentalita klímy je určená hlavne vzdialenosťou od oceánov resp. morí. Môže byť ale ovplyvňovaná viacerými faktormi ako orografia, prevládajúci smer vetra atď. Základná miera kontinentality je ročná amplitúda teploty vzduchu. Index kontinentality vyjadrený len ročnou amplitúdou bol už navrhnutý (Supan, 1884). Supan (1884) vo svojom diele *Die Grundzüge der physischen Erdkunde* popisuje klímu Zeme z hľadiska teploty. Na základe pomocných štúdií od iných autorov porovnáva hlavne priemerné teploty v jednotlivých ročných obdobiach, najmä leto a zimu na rôznych miestach na Zemi. Na základe skúmaní a výpočtov určil teplotné charakteristiky jednotlivých klimatických pásov. Určil napríklad priemernú ročnú, priemernú januárovú a júlovú teplotu na jednotlivých rovnobežkách na Zemi (0°, 10°, ... ,90°).

Keďže ročná amplitúda nezávisela priamo len na vplyve oceánu, ale aj na ročnom chode dopadajúceho slnečného žiarenia, došlo ku kombinácii ročnej amplitúdy so zemepisnou šírkou. A keďže amplitúda ročného cyklu dopadajúceho slnečného žiarenia závisí na zemepisnej šírke (s nulovou amplitúdou na rovníku a s maximálnou amplitúdou na póloch), uvažovala sa prevrátená hodnota sínu zemepisnej šírky. Indexy kontinentality boli navrhnuté tak, aby stanica Thorshavn (Faerské ostrovy) mala hodnotu 0 % a stanica Verchojansk a Jakutsk mali 100 %. Najrozšírenejší a najčastejšie používaný index tohto druhu bol definovaný Gorczyńskim, tzv. Gorczyńského index (GI) (Gorczyński, 1920, 1922):

$$K_{Gorczyński} = c \frac{A}{\sin \varphi} - d, \quad (1)$$



kde  $A$  je priemerná ročná amplitúda,  $\phi$  je zemepisná šírka a  $c$ ,  $d$  sú empirické konštanty. Gorczynski tieto konštanty určil ako  $c = 1,7$  a  $d = 20,4$  % (pôvodná Gorczynského definícia), no neskôr boli pozmenené inými autormi. Johansson (1926) uvedené konštanty určil ako  $c = 1,6$  a  $d = 14$  % a Raunio (1948) určil  $c = 1,57$  a  $d = 11,7$  % na základe pozorovaní a popisu podnebia Faerských ostrovov, špeciálne mesta Thorshavn. Kategórie kontinentality založené na GI sú:

- 0 až 33 % pre prechodné oceánske podnebie,
- 34 až 66 % pre kontinentálne podnebie,
- 67 až 100 % pre extrémne kontinentálne podnebie.

Conrad a Pollack (1950) ukázali, že hodnota GI pre Jakutsk je 99 % a pre Thorshavn -6 %. Negatívne hodnoty kontinentality nemajú žiaden fyzikálny význam. Ďalšia nevýhoda indexu na ktorú Conrad a Pollack poukázali je, že jeho hodnota narastá k nekonečnu v blízkosti rovníka (ako sa  $\phi$  blíži k nule). Preto navrhli používať člen  $\sin(\phi + \phi_0)$  v menovateli:

$$K_{Conrad} = c \frac{A}{\sin(\phi + \phi_0)} - d, \quad (2)$$

Ak je hodnota indexu rovná nule, podnebie danej oblasti nie je pod absolútne žiadnym vplyvom povrchu pevniny. Naopak, ak je hodnota rovná 100 %, nejedná sa o absolútne žiaden vplyv oceánu. Ako výsledok boli vykonané pokusy modifikovať index s cieľom zvýšiť jeho presnosť aj v hraničných podmienkach. Na základe dostupných dát Conrad a Pollack určili hodnoty  $c$ ,  $d$  a  $\phi_0$  na 1,7, 14 % a  $10^\circ$ . V tomto prípade je hodnota GI rovná 100 % pre Jakutsk a približne 0 % pre Thorshavn. Ich definícia však nebola platná pre zemepisné šírky nad  $80^\circ$  a navyše mali veľmi obmedzené dáta pre tieto oblasti, preto nemohli overiť platnosť indexu. Odporúčali prepočítanie koeficientov pre nové súbory dát.

Hela (1952) predstavil inú modifikáciu indexu, ktorý bol použiteľný tiež v blízkosti rovníka a navyše kontinentalita typických oceánskych oblastí vnútri tropického pásu sa rovnala 0 %. Hela neskôr vytvoril mapy svojho indexu pre Atlantický a Tichý oceán a niekoľko vybraných staníc. Hela definoval svoj vzorec ako:

$$K_{Hela} = \frac{1,97A}{0,92 + \sin(\phi - 53^\circ)} - 13,3 \%, \quad (3)$$

Kde  $\phi$  je zemepisná šírka,  $A$  je ročná amplitúda a uvedené konštanty určil Hela tak, že zbral stanice s najnižšou ročnou amplitúdou na rovnobežkách  $7,5^\circ$ ;  $12,5^\circ$  a  $57,5^\circ$  a použil ich spolu s hodnotami zo staníc na Sibíri s najvyššou amplitúdou.

Iná skupina indexov kontinentality berie do úvahy nielen ročnú amplitúdu teploty počas ročného cyklu, ale aj asymetriu ročného chodu teploty vzduchu.

Napríklad Prohaska (1976) definuje kontinentálne a oceánske podnebie na základe rozdielu priemerných teplôt mesiacov máj a september. Minetti (1989) ukázal, že mnohé indexy založené na amplitúdach a rozdieloch priemerných teplôt rôznych mesiacov nie sú veľmi efektívne. Navrhol vylepšenú klasifikáciu založenú na asymetrii tepelných sezónnych vln. Modifikoval prístup Prohasku a rozdiel teploty nahradil fázovým posunom ročného cyklu teploty vzduchu a dopadajúceho slnečného žiarenia na hornú vrstvu atmosféry.

Niekoľko štúdií zahrňujúcich Retuerta, Carballeira (1992), ktorí vypracovali bioklimatickú analýzu rastlinných druhov v Španielsku a Baltasa (2007) používa tzv. Kernerov index oceanity (KOI). Tento index je založený na predpoklade, že jarne mesiace sú chladnejšie ako jesenné v oblastiach s oceánskym podnebím a porovnáva rozdiel teploty medzi mesiacmi máj a september resp. apríl a október s ročnou amplitúdou. Nízke alebo negatívne hodnoty indexu KOI charakterizujú kontinentálne podnebie, zatiaľ čo vyššie hodnoty podnebie oceánske. KOI je definovaný:

$$K_{Kerner} = \frac{100(T_{10,9} - T_{4,5})}{A}, \quad (4)$$

Kde  $T_{10,9}$  je priemerná teplota mesiaca október alebo september,  $T_{4,5}$  je priemerná teplota mesiaca apríl alebo máj a  $A$  je ročná amplitúda teploty vzduchu.

Zatiaľ sme definovali indexy kontinentality založené len na priemernej ročnej a mesačnej teplote vzduchu. Niekoľko autorov v nedávnej minulosti predstavilo miery kontinentality založené na denných dátach. Driscoll et al. (1994) definovali index založený na ročnom chode dennej teplotnej variability.

Sládek (2005) dospel k záveru, že v stredných zemepisných šírkach je oceánske podnebie charakterizované dlhými prechodnými ročnými obdobiami (jar a jeseň), zatiaľ čo zima a leto sú krátke. Definoval tak dĺžku prechodných ročných období založenú na raste a poklese priemernej dennej teploty. Index definoval ako:

$$Q = \frac{L + Z}{365} = \frac{365 - J - P}{365}, \quad (5)$$

Kde  $J$ ,  $L$ ,  $P$ ,  $Z$  vyjadrujú trvanie jari, leta, jesene a zimy v dňoch. Ročný chod teploty vzduchu je vyjadrený nie pomocou mesačných, ale pomocou denných priemerov teploty vzduchu. Potom v každej vzostupnej aj zostupnej vetve ročného chodu teploty vzduchu je možné nájsť tzv. medián. Dni s priemernou teplotou vyššou ako medián sú označené ako teplé a nižšou ako chladné. V každej vzostupnej aj zostupnej vetve ročného chodu sa vyskytujú tri obdobia. Obdobie blízko maxima tvorené len teplými dňami, obdobie blízko minima tvorené len chladnými dňami a obdobie medzi nimi tvorené oboma druhmi dní. Pričom časová hranica medzi jednotlivými obdobiami je daná prvým teplým a posledným chladným dňom

v vzostupnej vetve a prvým chladným a posledným teplým dňom v zostupnej vetve. Časti oboch na seba nadväzujúcich vetví len s teplými dňami označíme ako leto (L) a len s chladnými dňami ako zimu (Z). Obdobie od prvého teplého dňa po zime po posledný chladný deň pred letom v vzostupnej vetve označíme ako jar (J). Obdobie od prvého chladného dňa po lete po posledný teplý deň pred zimou v zostupnej vetve označíme ako jeseň (P). Index  $Q$  s takto definovanými veličinami nadobúda hodnôt 0 až 1, pričom hodnoty menšie ako 0,5 určujú oceánske podnebie a hodnoty väčšie ako 0,5 zase podnebie kontinentálne.

Mikolášková (2009) ďalej modifikovala index Sládka zahrnutím vplyvu zemepisnej šírky na teplotu vzduchu. Porovnávala už existujúce indexy kontinentality a snažila sa urobiť návrh pre nový index. Nový index bol založený na denných teplotných priemeroch a zahŕňal vplyv zemepisnej šírky na rozložení teploty na Zemi. Určila vhodnú regresnú funkciu, ktorou daný index popísala a ktorý najlepšie odrážal závislosť priemernej ročnej teploty na zemepisnej šírke.

Rôzne štúdie využili rozdielne miery kontinentality na vyhodnotenie podnebia v regiónoch či už v Európe alebo mimo. Niektoré z nich sa zamerali na dlhodobú premenlivosť podnebia (napr. Brázdil et al., 2009, Čiaranek, 2014, Hirshi et al., 2007) zatiaľ čo iní využili vyhodnotenie kontinentality v spojitosti s ekologickým výskumom (napr. Rivaz-Martinez et al., 2011). Brázdil vo svojej štúdii *Climate fluctuations in Czech republic* popisuje fluktuáciu klímy v Českej republike za obdobie 1961 až 2005 na základe dát zozbieraných z 23 klimatologických staníc. Popisuje fluktuácie mesačných, sezónnych a ročných homogenizovaných radov vybraných klimatologických veličín. Vilček et al. (2016) zase popisuje podnebie na Slovensku za obdobie 1961 – 2013. Zameriava za hlavne na kontinentalitu šiestich vybraných staníc.

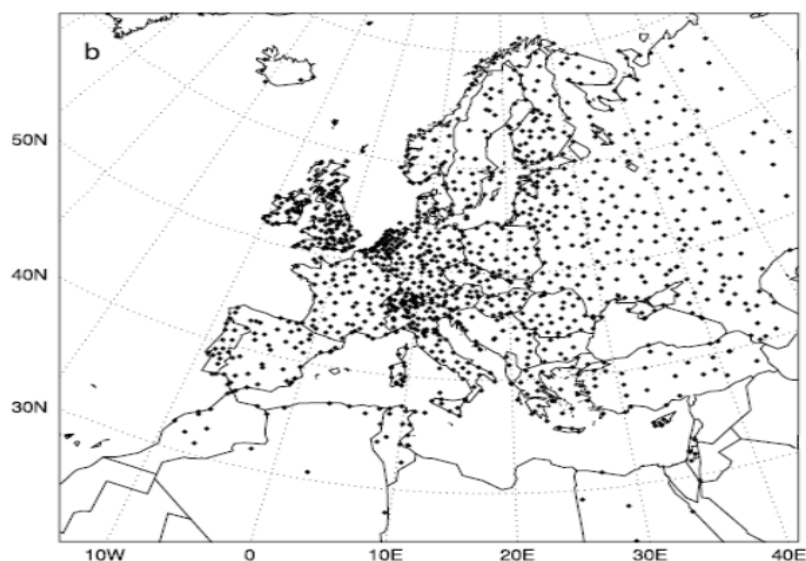
## 2. Použité dáta a metódy spracovania

### 2.1 Dátový súbor E-OBS

Pri vypracovávaní a vyhodnocovaní jednotlivých výsledkov (charakteristík kontinentality) uvedených v kapitole č. 3 boli použité dáta zo súboru E-OBS (*European High-resolution Gridded Data Set*). Jedná sa o dátový súbor pre zrážky, minimálnu, maximálnu a priemernú teplotu vzduchu vo výške 2 metre nad povrchom s vysokým rozlíšením za obdobie 1950 – 2006 pričom k dispozícii sú merania až do súčasnosti. Tento dátový súbor obsahuje časové rady spomínaných veličín v pravidelnej sieti uzlových bodov. Pri jeho vytváraní bola venovaná pozornosť výberu vhodnej metódy interpolácie tak, aby výsledok bol vhodný ako podklad pre validáciu výstupu regionálnych klimatických modelov (Haylock et al., 2008).

Dátový súbor obsahoval pôvodne dáta z 250 staníc, neskôr bol rozšírený na celkovo 2316 staníc naprieč celou Európou (obr. 2.1). Rozloženie staníc je nerovnomerné s najväčšou hustotou v Holandsku, Veľkej Británii a vo Švajčiarsku a s najmenšou v severnej, východnej a južnej Európe. Len zopár staníc leží v severnej Afrike, ktorá ale nie je oblasťou nášho výskumu. Zbierka dát bola pôvodne poskytnutá Holandským meteorologickým inštitútom (KNMI), ktorý spadá pod ECA&D (*European climate Assessment and Data Set*). Data zo zvyšných staníc boli získané z iných projektov výskumu ako napríklad STARDEX (*Statistical and Regional dynamical Downscaling of Extremes for European regions*) a mnohé iné. Keďže rozloha Európy je približne 10 mil. km<sup>2</sup>, pripadá 1 stanica zhruba na 4300 km<sup>2</sup>, čo je zhruba štvorec o rozmere 65 x 65 km. Vďaka vhodným interpolačným metódam boli dáta pomocou hodnôt zo staníc interpolované na gridové štvorce o rozmere 25 x 25 km.

Neistota interpolácie je kvantifikovaná pomocou denných štandardných chýb pre každý gridový štvorec. Priemerná denná neurčitosť v celej oblasti bude do značnej miery závisieť od obdobia a počtu prispievajúcich pozorovaní. Skúmaný je vplyv, ktorý má interpolácia na veľkosť extrémov v pozorovaniach výpočtom plošných redukčných faktorov pre denné maximálne teploty a zrážkové udalosti s návratnosťou do 10 rokov.



**Obr. 2.1:** Geografické rozloženie staníc s meraním teploty vzduchu v Európe  
(Haylock et al., 2008)

## 2.2 Programovací jazyk R a program R-Studio

R je programovací jazyk a prostredie určené pre štatistické výpočty a grafiky. Jedná sa o projekt GNU (*GNU's Not Unix*), ktorý je podobný jazyku S a prostrediu, ktoré bolo vyvinuté v laboratóriách Bell Johnom Chambersom a jeho kolegami. R môže byť považované za odlišnú implementáciu jazyka S. Aj keď sú medzi týmito dvoma jazykmi dôležité rozdiely, väčšina kódov písaných pre S, funguje bez zmeny pod R.

V prostredí R je zahrnutá široká škála štatistických a grafických techník, vrátane lineárneho a nelineárneho modelovania, klasické štatistické testy, analýza časových radov, klasifikácii, zhukovanie a mnohé ďalšie. Okrem toho je jazyk R vysoko rozšíriteľný. Jazyk S je často nástroj pre výskum v štatistickej metodológii a jazyk R poskytuje „open source“ cestu pre podieľanie sa v uvedenej aktivite. Jedna z výhod a praktických vlastností R je jednoduchosť, s ktorou možno vytvárať dobre navrhnuté výkresy s publikačnou kvalitou, vrátane matematických symbolov a vzorcov tam, kde je to potrebné. Veľká pozornosť bola venovaná hlavne rôznym grafickým nástrojom, pričom užívateľ si zachováva plnú kontrolu.

R-Studio je počítačový program umožňujúci prácu v programovacom jazyku R v užívateľsky príjemnom prostredí. Jedná sa o „free open-source“ vývojové prostredie pre jazyk R. R-Studio je dostupné v dvoch verziách: R-Studio Desktop (program beží lokálne na počítači ako miestny program) a R-Studio Server (program beží na vzdialenom linuxovom serveri a pristupuje sa k nemu pomocou

internetového prehliadača). R-Studio je napísané v programovacom jazyku C++ a pre grafické užívateľské rozhranie používa aplikačný rámec Qt (<http://r-project.org/>).

## 2.3 Použité vzorce a dáta

V tretej kapitole tejto práce sú spracované výsledky, ktorých teoretický popis je uvedený v prvej kapitole a to zväčša formou grafov geografických rozložení alebo grafov závislostí. Jedná sa hlavne o geografické rozloženia dôležitých indexov uvedených v prvej kapitole a to Gorczyńskiego index kontinentality (GI, vzorec č. 1), upravený Gorczyńskiego index Coradom a Pollakom (vzorec č. 2) a Kernerov index oceanity (KOI, vzorec č. 4). KOI je spracovaný pre dve dvojice mesiacov (apríl - október a máj - september). Oba indexy (GI aj KOI) sú spracované pre dve referenčné pozorované obdobia a to 1951 – 1980 a 1981 – 2010. GI bol vybraný a spracovaný z toho dôvodu, že sa jedná o najčastejšie používaný index založený na ročnej amplitúde (Gorczynski, 1920, 1922, Mikolášková, 2009). Okrem toho tento index používa aj mnoho štúdií, z ktorých boli čerpané informácie. KOI je zase jeden z najčastejšie používaných indexov asymetrie (Retuerto, Carballeira, 1992, Baltas, 2007).

Výsledky sú spracované pomocou programu R-Studio najprv ako tabuľka v textovom súbore. Potom sú hodnoty z tabuľky pomocou uvedeného programu graficky znázornené buď ako geografické rozloženie v Európe alebo v závislosti na zemepisnej šírke alebo dĺžke. Okrem grafov geografického rozloženia za jednotlivé obdobia sú analyzované a graficky spracované aj rozdiely medzi jednotlivými obdobiami, teda zmeny hodnôt indexov v období 1981 – 2010 oproti obdobiu 1951 – 1980.

# 3. Výsledky spracovania, grafy a ich popis

## 3.1 Charakteristiky kontinentality založené na ročnej amplitúde teploty vzduchu

Geografické rozloženie Gorczynskeho indexu termickej kontinentality (vzorec č. 1) v Európe je zobrazený na obr. 3.1 pre jednotlivé pozorované obdobia (1951 - 1980 a 1981 - 2010). Plocha analyzovaných oblastí je ohraničená od 33° s. š. po 75° s. š. a od 23° z. d. po 45° v. d. Rozloženie indexu na obr. 3.1 nie je úplne v súlade s teóriou popísanou v prvej kapitole. Na uvedenom obrázku nie sú teda všade splnené základné vlastnosti kontinentality (Brázdil, 2009, Mikolášková, 2009). Z obr. 3.1 plynie, že najnižšiu hodnotu GI (okolo 0 %) majú západné pobrežia Európy od severného Nórska až po juh Portugalska, Britské ostrovy a Island (na Islande dokonca klesá pod 0 %). Pokles indexu pozorujeme aj v horských oblastiach ako sú najmä horské pásma Álp a Karpát. Naopak najvyššiu hodnotu indexu (hodnota okolo 50 % a viac) pozorujeme vo východnej Európe a vo vnútrozemí Turecka aj napriek vysoko položenej oblasti, ktorá je zväčša náhornou plošinou. A práve tu sa výsledky rozchádzajú z teóriou popísanou v prvej kapitole. V nižšie položených oblastiach Turecka sú nižšie hodnoty indexu ako vo vyššie položených. Vzostup indexu pozorujeme aj vo vnútrozemiach Európskych polostrovov (Pyrenejský polostrov, Balkán, Škandinávsky polostrov). Najvýraznejší práve v Turecku aj napriek vysokému nárastu nadmorskej výšky.

Záporné hodnoty indexu, ktoré sa vyskytujú na Islande, nemajú z hľadiska definície GI význam (Conrad, Pollak, 1950). Dôležitejším cieľom je však popísať časové zmeny kontinentality, týkajúce sa hlavne kontinentálnej časti Európy, kde sa žiadne záporné hodnoty nevyskytujú. Pre porovnanie boli spracované aj grafy geografického rozloženia upraveného Gorczynského indexu Conradom a Pollakom (obr. 3.3). Oproti klasickému GI pre dané obdobie (obr. 3.1) sa rozloženie upraveného indexu nijak významne nelíši. Rozdiel je len v absencii záporných hodnôt, ktoré sa predtým vyskytovali na Islande.

Na obr. 3.2 je znázornený rozdiel hodnôt GI medzi obdobia 1981-2010 a 1951-1980. Je zrejmé, že došlo k vzostupu indexu v oblastiach s nízkymi hodnotami a naopak k poklesu v oblastiach s vysokými hodnotami indexu. Z toho plynie, že v oblastiach s oceánskym podnebím sa začína mierne prehlbovať kontinentalita a naopak v oblastiach s kontinentálnym podnebím (až na pár výnimiek) sa kontinentalita zmiernuje. Jednou z výnimiek je napríklad západné pobrežie Škandinávie s oceánskym podnebím, kde podľa obr. 3.2 dochádza ešte

k ďalšiemu poklesu indexu. Opakom je napríklad už spomínané vnútrozemie Turecka s pomerne vysokou kontinentalitou, ktorá sa ešte ďalej prehľbuje.

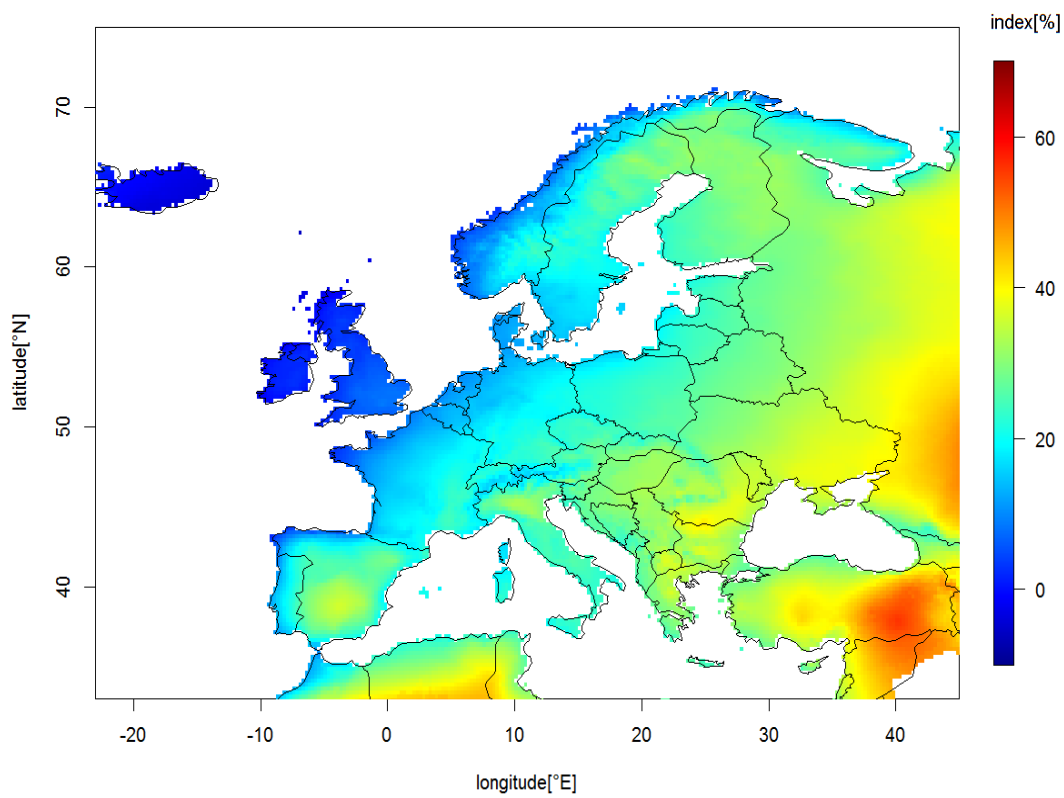
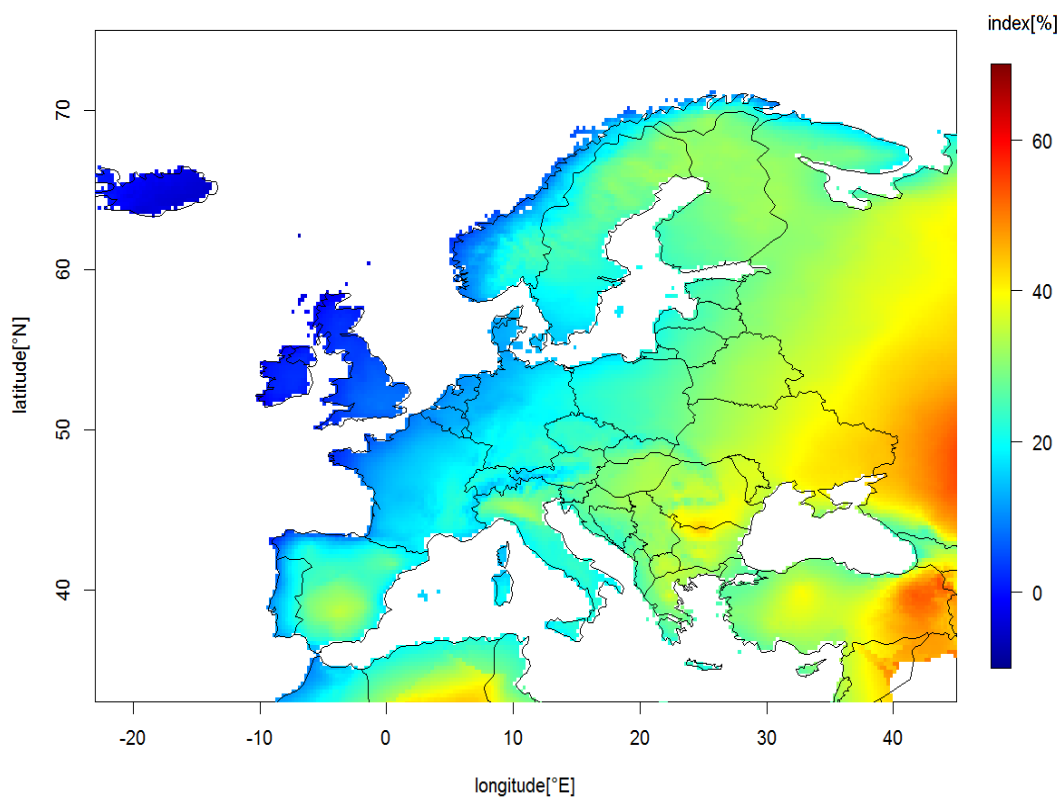
Samostatná pozornosť týkajúca sa časovej zmeny GI je zameraná na oblasti nachádzajúce sa na rozhraní medzi oceánskym a kontinentálnym podnebím v strednej Európe. Medzi také oblasti patrí napr. územie Českej republiky. Z obr. 3.2 však plynie, že v týchto oblastiach nedošlo z časového hľadiska k takmer žiadnej zmene GI. K nepatrne miernemu vzostupu došlo len na juhovýchode krajiny (obr. 3.2). V uvedených oblastiach teda nedošlo k žiadnej výraznejšej zmene kontinentality medzi jednotlivými obdobiami.

Na obr. 3.4 (hore) je znázornená závislosť hodnoty GI na zemepisnej dĺžke. V smere zo západu na východ možno pozorovať značný nárast GI, čo súvisí s prejavom kontinentality. Nárast kontinentality však nie je lineárny, keďže povrch pevniny je na jednotlivých rovnobežkách rôzne členitý. Nachádzajú sa na nich rôzne horské pásma, ale aj moria. Najlepšie uvedenú závislosť vystihuje graf pre 55° s. š., keďže uvedená rovnobežka vedie prevažne rovinným územím Európy (s výnimkou Severného mora a pohoria Ural na východe). Naopak najväčší rozptyl v hodnotách GI je na 45° s. š. Je to samozrejme zapríčinené tým, že práve na tejto rovnobežke sa nachádzajú najväčšie a najvyššie horské pásma Európy (Alpy, Karpaty, Balkánske pohoria, atď.) a okrajové moria (Stredozemné, Jadranské a Čierne more). Každé z týchto pohorí a morí odlišnou mierou vplyva na zmenu kontinentality. Z časového hľadiska môžeme výraznejšiu zmenu v závislosti GI na zemepisnej dĺžke medzi obdobiami 1981 – 2010 a 1951 – 1980 pozorovať len na 55° s. š. a to na východ od 20° v. d. a na 45° s. š. na východ od 40° v. d. Jedná sa o prevažne o oblasti s nížinami, kde podľa obr. 3.2 došlo k výraznejšiemu poklesu indexu.

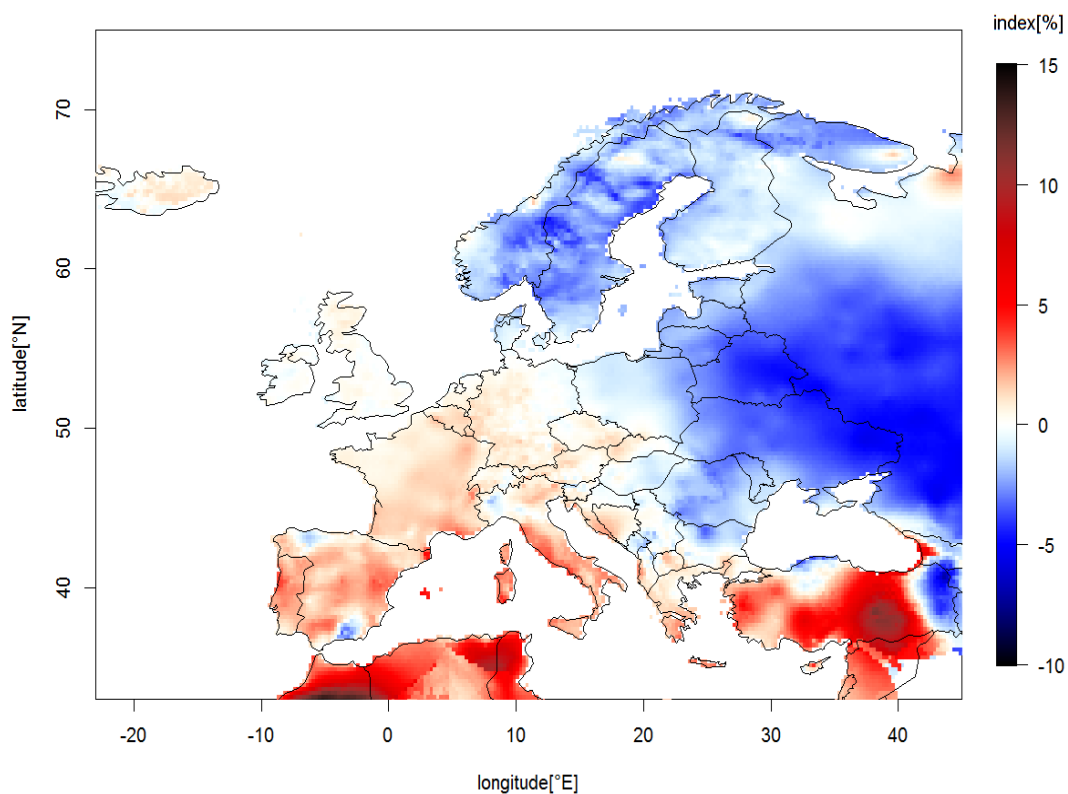
Na obr. 3.4 (dole) je znázornená závislosť GI na zemepisnej šírke. Na jednotlivých poludníkoch je terén rôzne členitý podobne ako na rovnobežkách v predošlej závislosti (obr. 3.4, hore). Na poludníkoch, kde sa takmer žiadne horské pásma nenachádzajú (napr. 30° v. d.), sa hodnoty GI držia v určitom úzkom intervale, z ktorého s výnimkou v blízkosti okrajových morí nevybočia. Na tomto poludníku vplyvajú na hodnoty indexu len mierne okrajové moria. Výraznejšie „skoky“ v hodnotách možno naopak pozorovať na poludníkoch s horskými pásmami a moriami, podobne ako na obr. 3.4 (hore). Ako príklad možno uviesť 10° v. d., kde sa nachádzajú pohoria ako Alpy, Škandinávске vrchy a iné.

Ročná amplitúda pri ceste z juhu na sever narastá. Na rozdiel od toho sa hodnoty kontinentality držia buď v určitých intervaloch, alebo majú skôr klesajúci trend. Konštantný priebeh pozorujeme hlavne na 30° v. d. a klesajúci na ostatných poludníkoch. Je to spôsobené hlavne rozložením oceánov a pevniny. Z časového hľadiska možno výraznejšiu zmenu v hodnotách kontinentality medzi jednotlivými obdobiami (1951 – 1980 a 1981 – 2010) pozorovať prakticky na všetkých v grafe uvedených poludníkoch, ale na každom v iných zemepisných šírkach.

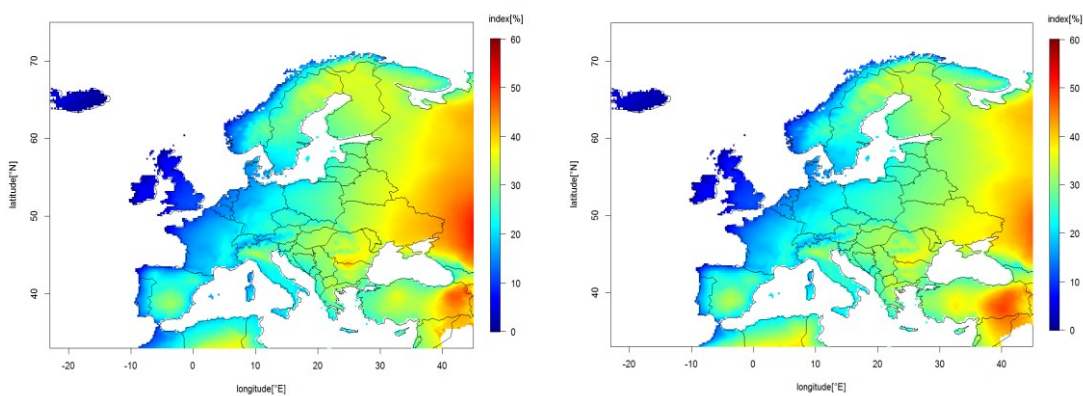




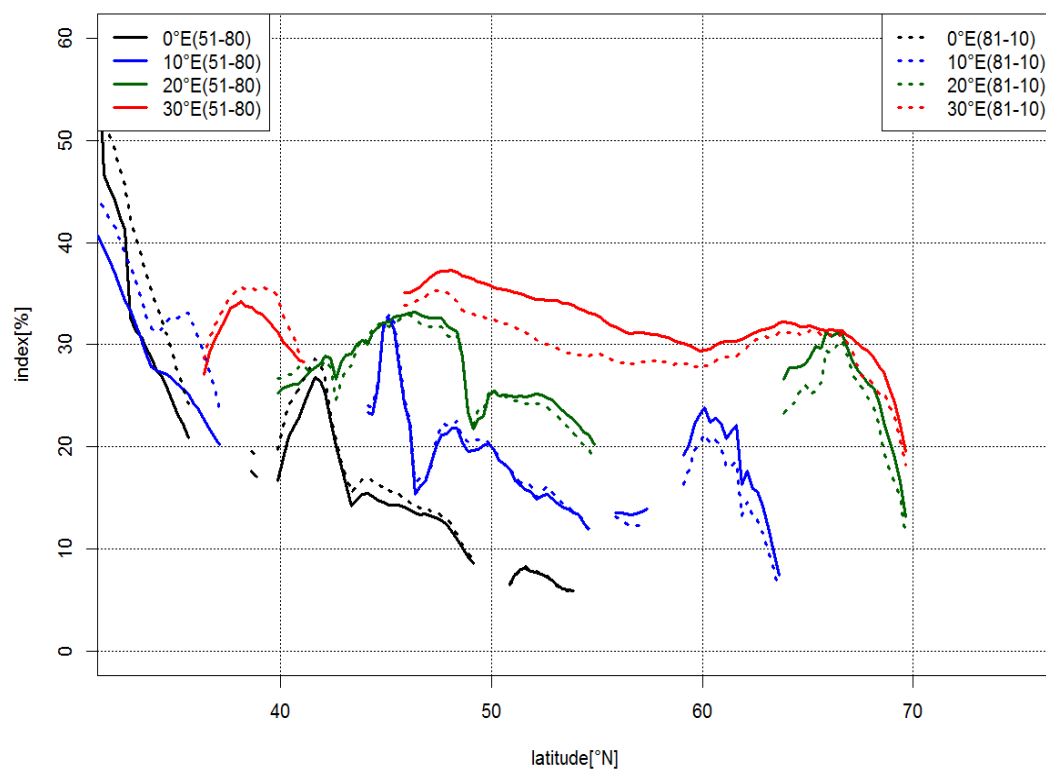
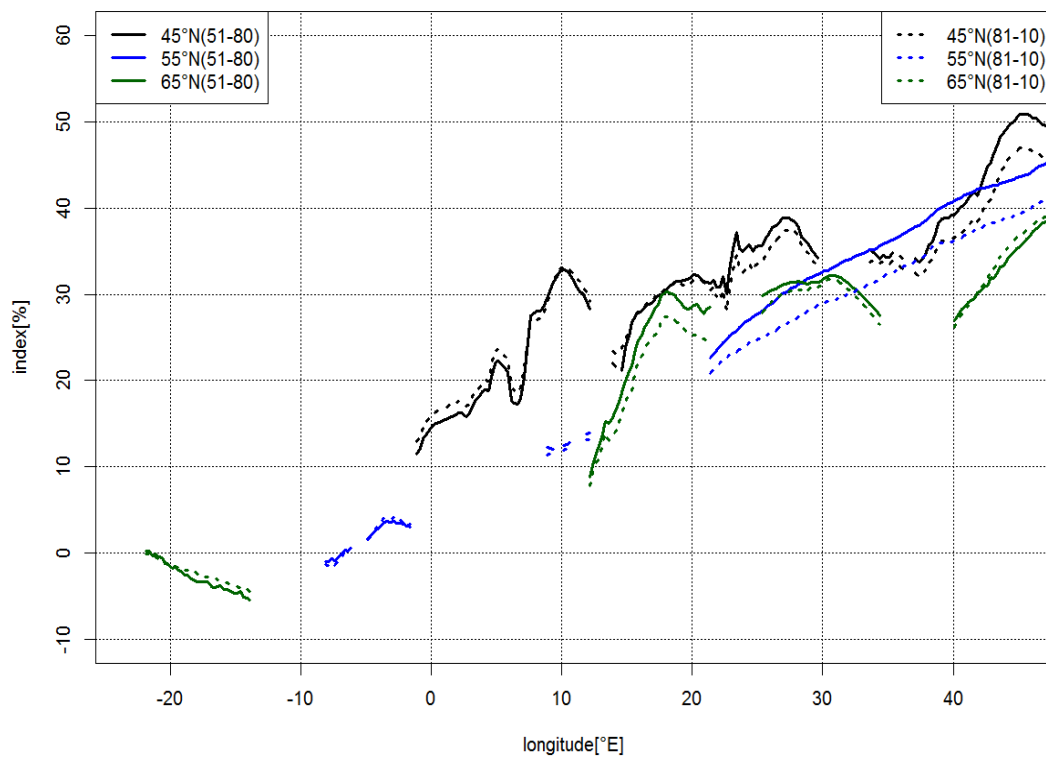
**Obr. 3.1:** Geografické rozloženie Gornýnského indexu kontinentality v Európe za obdobie 1951-1980 (hore) a 1981 – 2010 (dole)



**Obr. 3.2:** Geografické rozloženie rozdielu Gorchynskeho indexu kontinentality v Európe medzi obdobiami 1981-2010 a 1951-1980 (červená farba znamená vzostup a modrá naopak pokles)



**Obr. 3.3:** Geografické rozloženie upraveného Gorchynského indexu Conradom a Pollakom v Európe za obdobie 1951 – 1980 (vľavo) a 1981 – 2010 (vpravo)



**Obr. 3.4:** Závislosť Gorchynského indexu na zemepisnej dĺžke pre 3 vybrané rovnobežky (hore), na zemepisnej šírke pre 4 vybrané poludníky (dole) a dve rôzne obdobia (1951 – 1980 a 1981 – 2010) v Európe

### 3.2 Charakteristiky kontinentality založené na asymetrickosti ročného chodu teploty vzduchu

Charakteristiky kontinentality založené na rozdieloch priemerných teplôt medzi jarnými a jesennými mesiacmi (viď základné pojmy) sú spracované a znázornené na obr. 3.5, 3.6, 3.7, 3.11 a 3.12. Jedná sa o KOI založený na teplotných rozdieloch medzi mesiacmi máj a september (obr. 3.5), resp. apríl a október (obr. 3.6). Je to iná charakteristika kontinentality, ktorá popisuje kontinentalitu iným spôsobom ako GI. Jedná sa ale o významnú paralelu s GI, aj keď popisuje danú charakteristiku z iného hľadiska (Baltas, 2007, Mikolášková, 2009). Indexy boli vypočítané a spracované podobne ako pri GI pre dve pozorovné obdobia 1951 – 1980 a 1980 – 2010. Takisto bol vypočítaný a spracovaný aj rozdiel hodnôt indexu medzi uvedenými obdobiami (obr. 3.7).

Obr. 3.5 (KOI, september – máj) a 3.6 (KOI, október - apríl) znázorňujú, ktorý z uvedených dvoch mesiacov je na danom mieste v Európe teplejší, resp. chladnejší. Oblasti s teplejším septembrom resp. októbrom, teda oblasti s vysokými hodnotami KOI (červené, žlté a zelené oblasti) sa vyskytujú najmä v západnej a južnej Európe a v najsevernejších častiach Európy. Jedná sa o oblasti s nízkou kontinentalitou, teda nízkymi hodnotami GI. Výnimkou je len Turecko, kde je GI vysoký (obr. 3.1) a hodnota KOI sa tu pohybuje v rozmedzí 15 – 20 %, čo podľa definície KOI charakterizuje skôr oceánske podnebie. Naopak, tmavomodré oblasti, oblasti s teplejším májom resp. aprílom, teda oblasti s nízkou alebo zápornou hodnotou KOI sa vyskytujú vo vnútrozemí východnej Európy, kde je kontinentalita (teda GI) vysoká. Rozdiely medzi jednotlivými definíciami (september/máj a október/apríl) sú takmer všade zanedbateľné. Líšia sa len mierne rozdielnou citlivosťou na vplyv oceánu a horské pásma. Napríklad centrum minima indexu sa z oblasti centrálného Ruska (obr. 3.5) presúva o niečo južnejšie (obr. 3.6). Centrá maxima sa v oboch prípadoch nachádzajú v pobrežných oblastiach Španielska, Talianska a západného Islandu. Rozdiel je len v nižšej hodnote v pobrežných oblastiach Španielska (obr. 3.5). Uvedené rozdiely platia pre obe pozorované obdobia (1951 – 1980 a 1981 – 2010). Je vidieť, že prakticky nezáleží na tom, ktorú dvojicu mesiacov k určeniu kontinentality pomocou KOI použijeme.

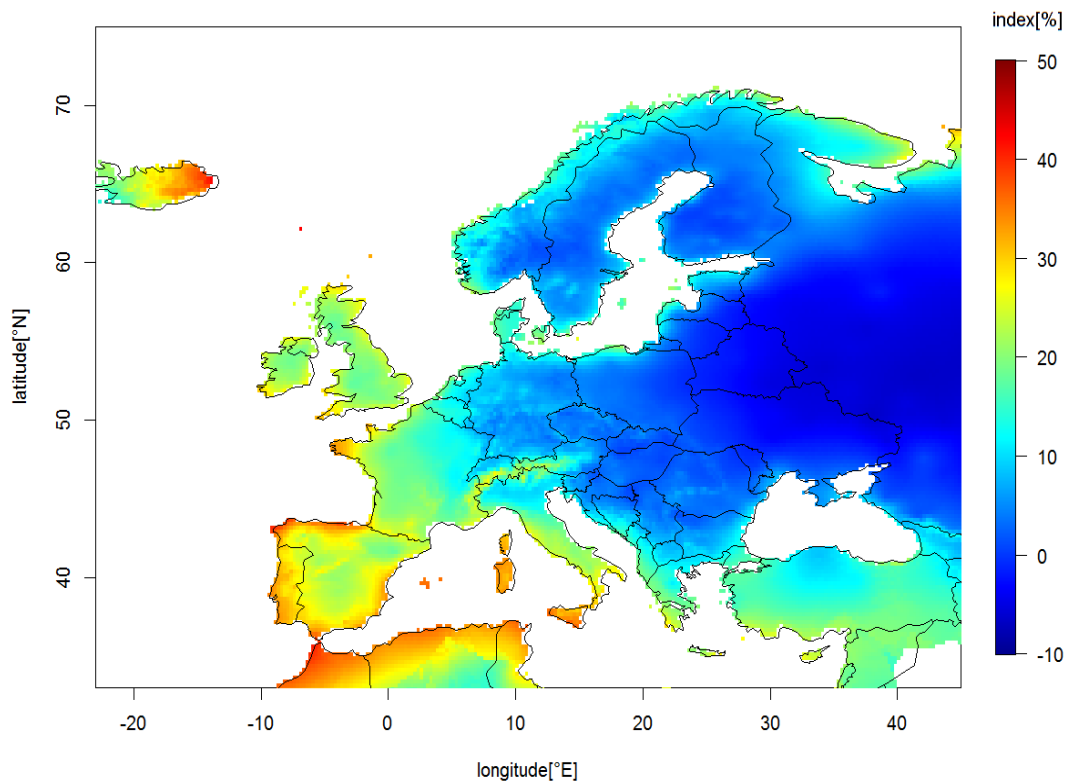
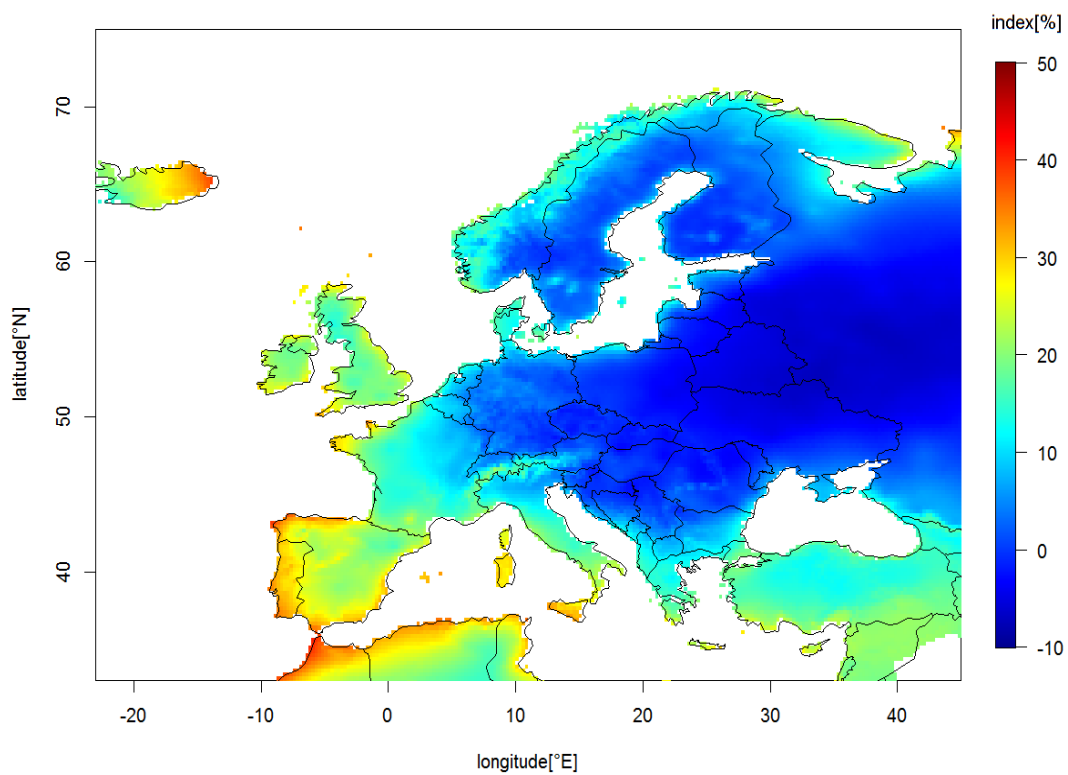
Na obr. 3.7 (hore) je znázornený rozdiel KOI mesiacov september a máj medzi obdobia 1951 – 1980 a 1981 – 2010. Z uvedeného rozloženia možno jasne určiť, kde došlo k vzostupu a kde naopak k poklesu indexu oproti obdobiu 1951 – 1980. Červené oblasti (pobrežie Nórska, východná Ukrajina, južné Rusko a sever Turecka) znázorňujú vzostup. Práve v týchto oblastiach došlo podľa definície indexu k určitému zmierneniu kontinentality. Jedná sa pritom o oblasti s pôvodne vysokou (Rusko), ale aj nízkou kontinentalitou (pobrežia Nórska a Turecka). Naopak, modré oblasti (takmer celý zvyšok Európy okrem bielych oblastí) znázorňujú pokles indexu. V týchto oblastiach došlo k určitému prehĺbeniu kontinentality. K najväčšiemu

v strednej a častiach západnej Európy, čo sú oblasti s rôznymi mierami kontinentality resp. oceanity či už z hľadiska GI alebo KOI. Nejedná sa teda o rovnaké oblasti ako pri zmenách GI.

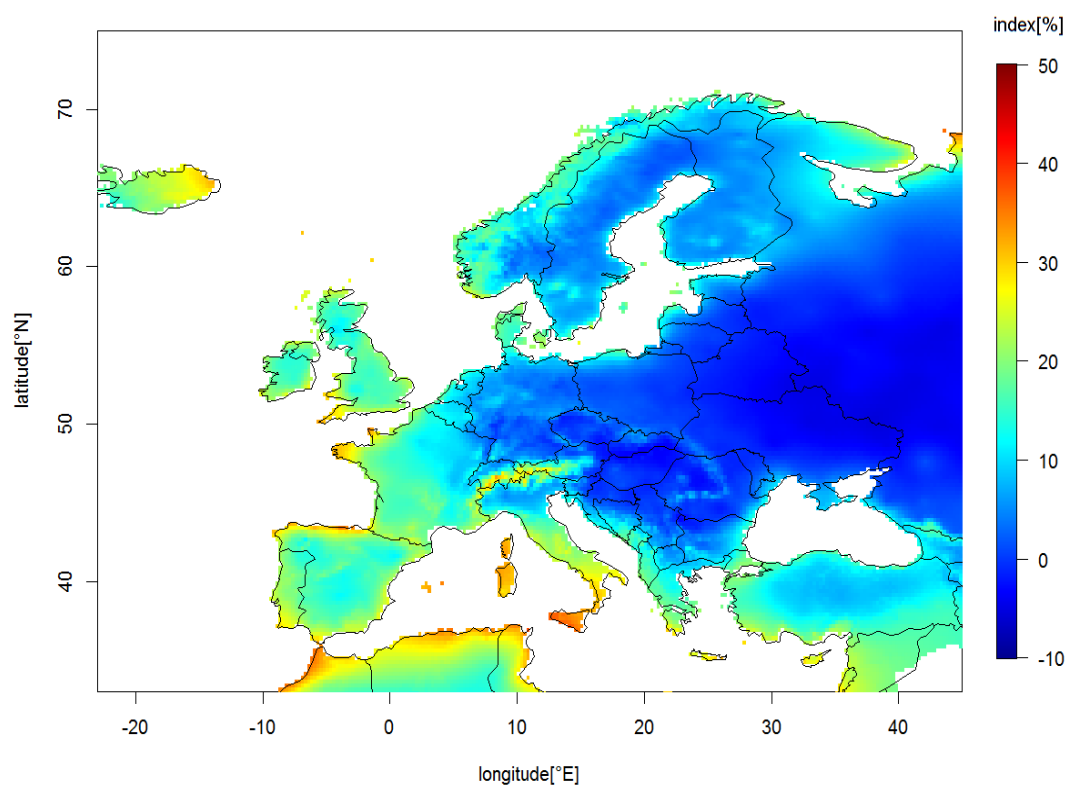
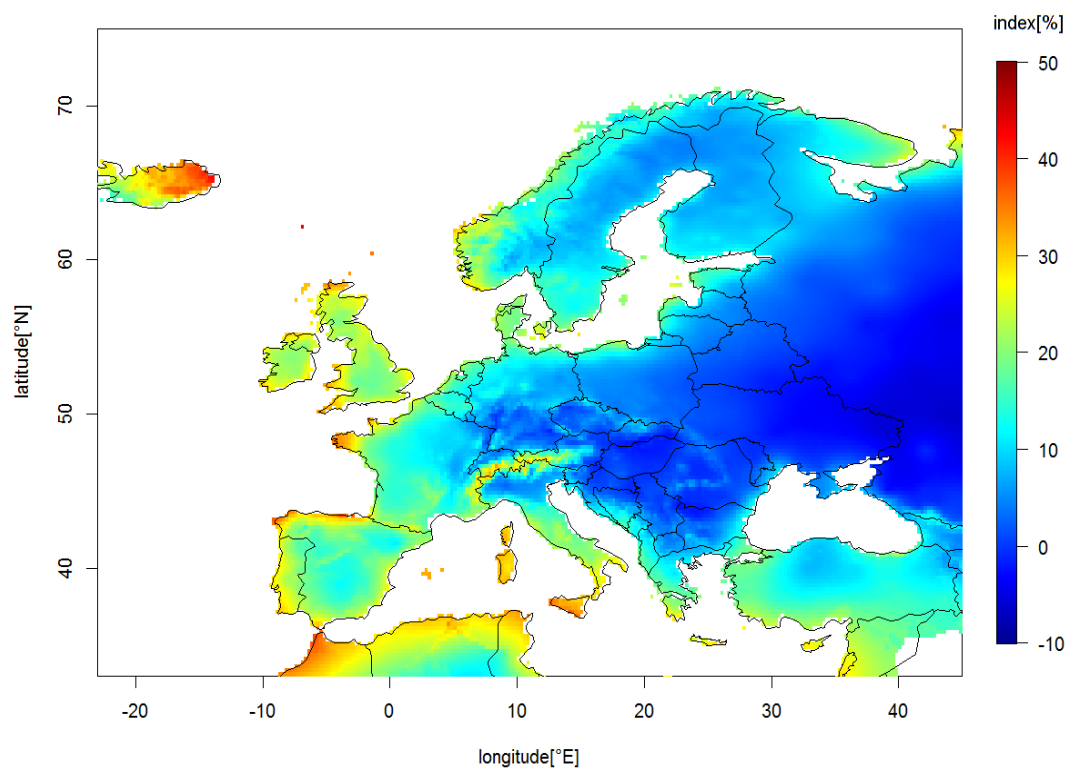
Rozdiel KOI mesiacov október a apríl medzi obdobiami 1951 – 1980 a 1981 – 2010 je znázornený na obr. 3.7 (dole). Uvedené rozloženie sa od rozloženia rozdielov KOI mesiacov september a máj výrazne líši. A to jednak v tom, že nedochádza k tak výrazným vzostupom indexu, ale aj v zmene oblastí v ktorých k zmenám dochádza. Červené oblasti sa tentokrát vyskytujú aj v západnej a južnej Európe (aj keď sa jedná len o mierny vzostup), okrem v už spomínaných na obr. 3.7 (hore). Mierny vzostup taktiež pozorujeme len v severnej časti Nórska. Naopak, modré oblasti sa tentokrát vyskytujú viac severnejšie ako na obr. 3.7 (hore) (hlavne juh Škandinávie a sever strednej a západnej Európy). Taktiež Veľká Británia, západ Španielska, Portugalsko a Island. Oblasti s poklesom aj vzostupom sú rovnako ako na obr. 3.7 (hore) oblasti s rôznymi mierami kontinentality aj oceanity, takže nemožno jednoznačne určiť, čím sú oblasti s poklesom resp. vzostupom charakteristické.

Podobne ako pri GI aj tu sa treba špeciálne zamerať na prechodné oblasti medzi kontinentálnym a oceánskym podnebím v strednej Európe a hlavne Českú republiku. Na obr. 3.7 možno vidieť, že na rozdiel od GI sú časové zmeny KOI oveľa výraznejšie. Týka sa to hlavne mesiacov september a máj. Podľa obr. 3.7 (hore) došlo k výraznejšiemu poklesu indexu v uvedenej oblasti. Na obr. 3.7 (dole) už zmeny KOI týkajúceho sa mesiacov október a apríl nie sú tak výrazné ako pri predošlej dvojici mesiacov. Dokonca v niektorých častiach k zmenám ani nedochádza. V Českej republike však dochádza k poklesu oboch typov indexu, akurát pre index mesiacov september a máj je pokles výraznejší. Z hľadiska indexov asymetrickosti dochádza na území ČR k výraznejšiemu prehĺbeniu kontinentality, resp. k zmierneniu oceanity.

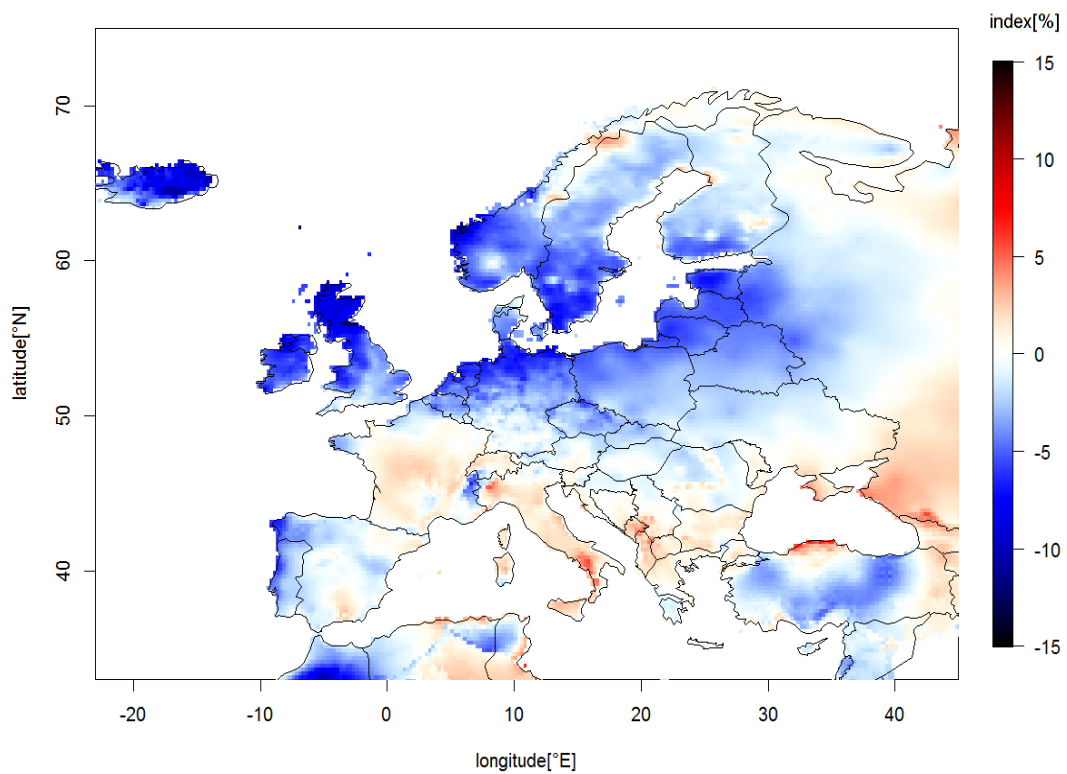
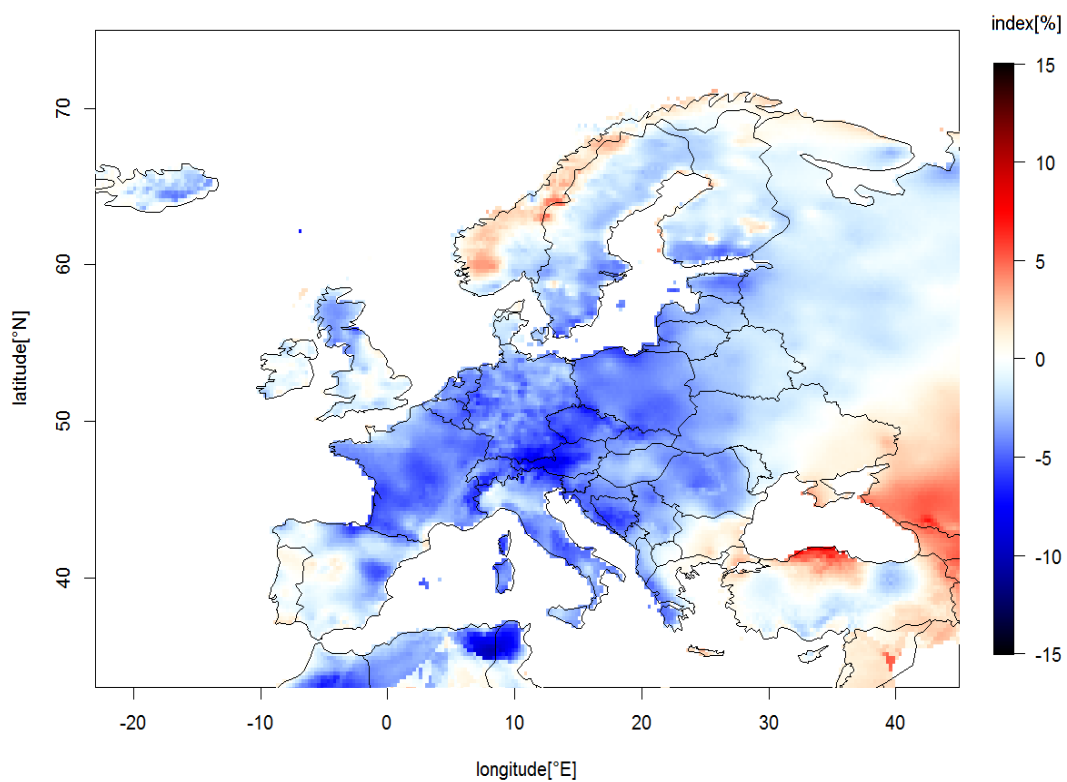
Na obr. 3.8, 3.9 a 3.10 sú znázornené časové rozdiely priemerných teplôt mesiacov apríl, máj, september, október, taktiež najchladnejšieho a najteplejšieho mesiaca medzi obdobiami 1951 – 1980 a 1981 – 2010. Pomocou uvedených obrázkov boli zistené možné príčiny časových zmien GI a KOI (obr. 3.2 a 3.7). Príčiny sú podrobne diskutované v závere práce.



**Obr. 3.5:** Geografické rozloženie Kernerovho indexu oceanicity mesiacov september a máj v Európe za obdobie 1951-1980 (hore) a 1981 – 2010 (dole)

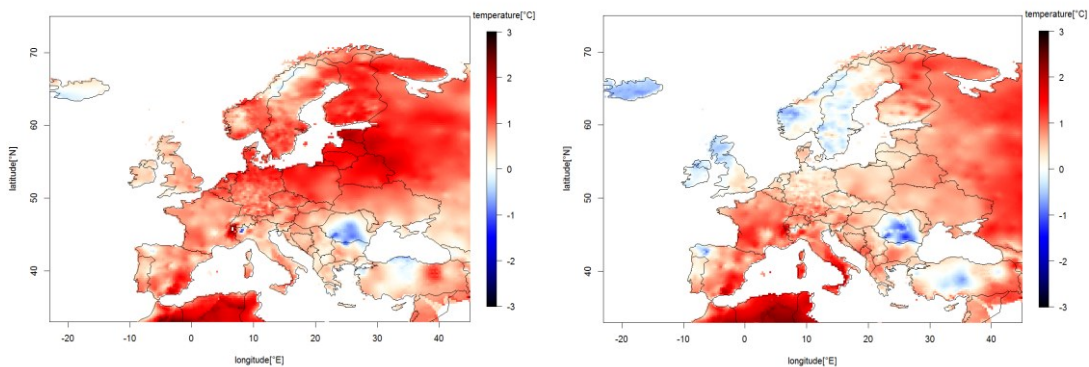


**Obr. 3.6:** Geografické rozloženie Kernerovho indexu oceanity mesiacov október a apríl v Európe za obdobie 1951-1980 (hore) a 1981 – 2010 (dole)

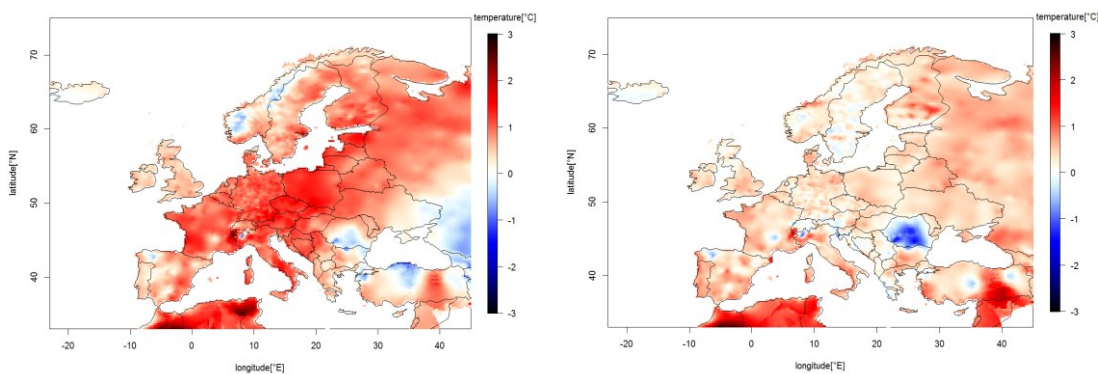


**Obr. 3.7:** Geografické rozloženie rozdielu Kernerovho indexu oceanity mesiacov september a máj (hore), október a apríl (dole) v Európe medzi obdobiami 1951 – 1980 a 1981 – 2010

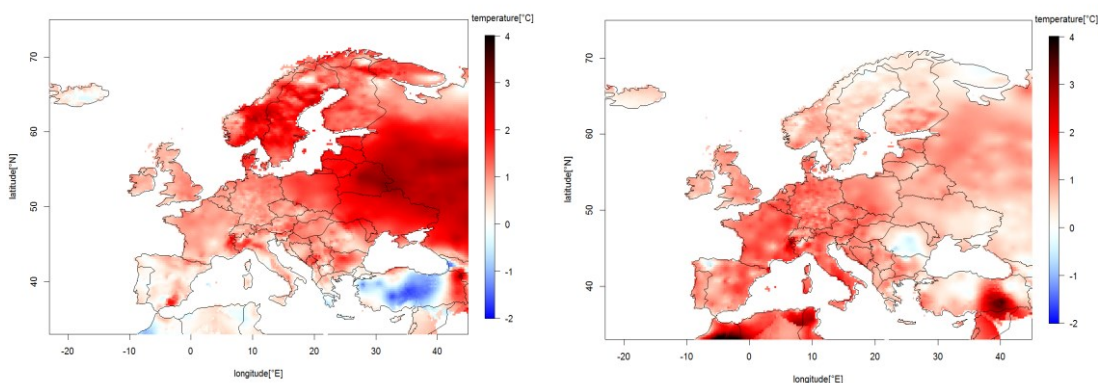




**Obr. 3.8:** Geografické rozloženie rozdielu priemerných teplôt mesiacov apríl (vľavo) a október (vpravo) v Európe medzi obdobiami 1951 – 1980 a 1981 – 2010



**Obr. 3.9:** Geografické rozloženie rozdielu priemerných teplôt mesiacov máj (vľavo) a september (vpravo) v Európe medzi obdobiami 1951 – 1980 a 1981 – 2010



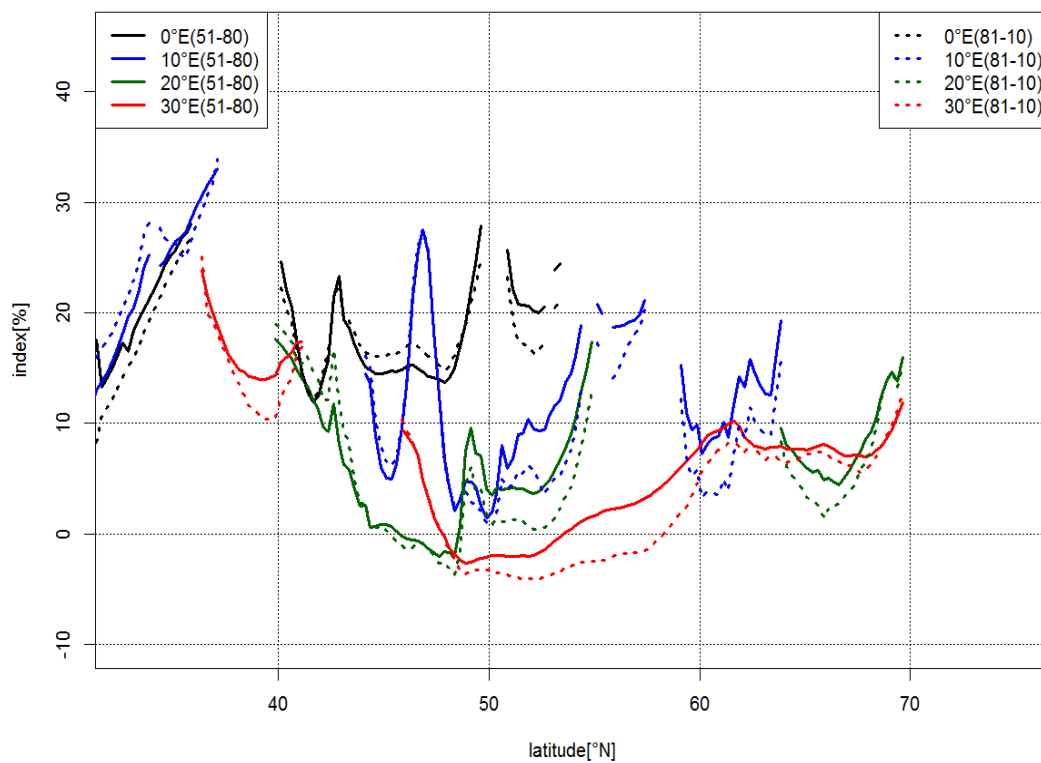
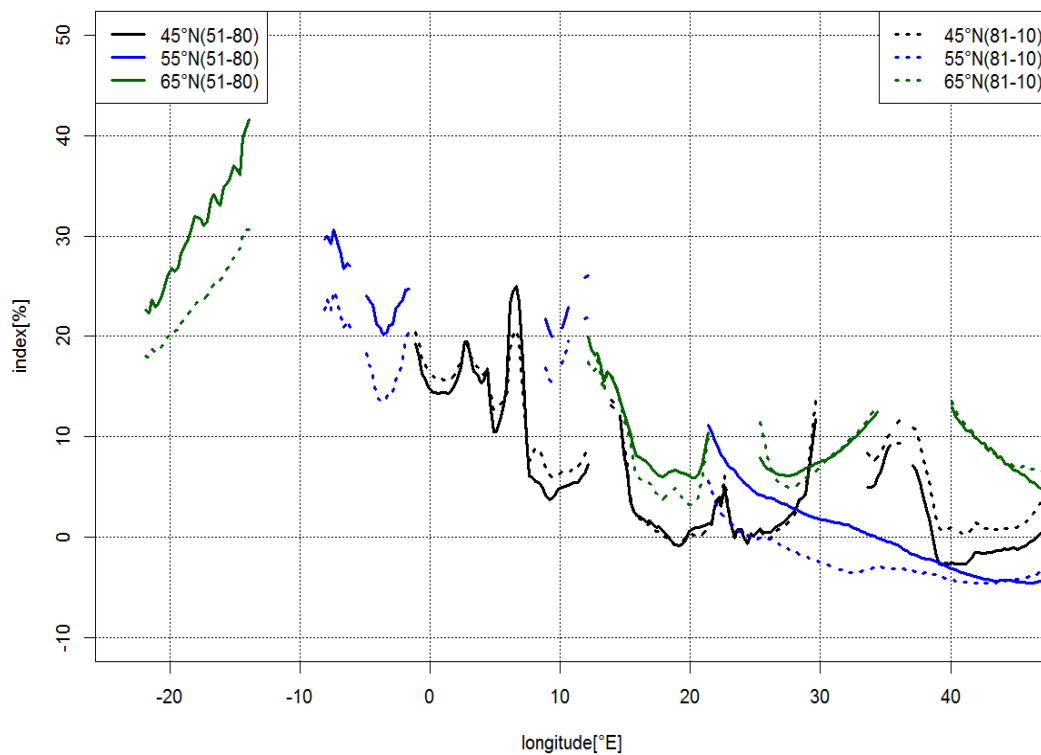
**Obr. 3.10:** Geografické rozloženie rozdielu priemerných teplôt najchladnejšieho (vľavo) a najteplejšieho mesiaca (vpravo) v Európe medzi obdobiami 1951 – 1980 a 1981 – 2010

Na obr. 3.11 sú znázornené závislosti KOI mesiacov október a apríl, na obr. 3.12 závislosti KOI mesiacov september a máj na zemepisnej šírke a dĺžke. Na rozdiel od závislosti GI na zemepisnej dĺžke (obr. 3.4, hore) sú závislosti KOI na zem. dĺžke značne odlišné. Kým u GI sme pozorovali značný nárast v smere zo západu na východ, u KOI pozorujeme skôr kolísanie hodnôt v určitom uzavretom intervale, a to pre 45° a 65° s. š.

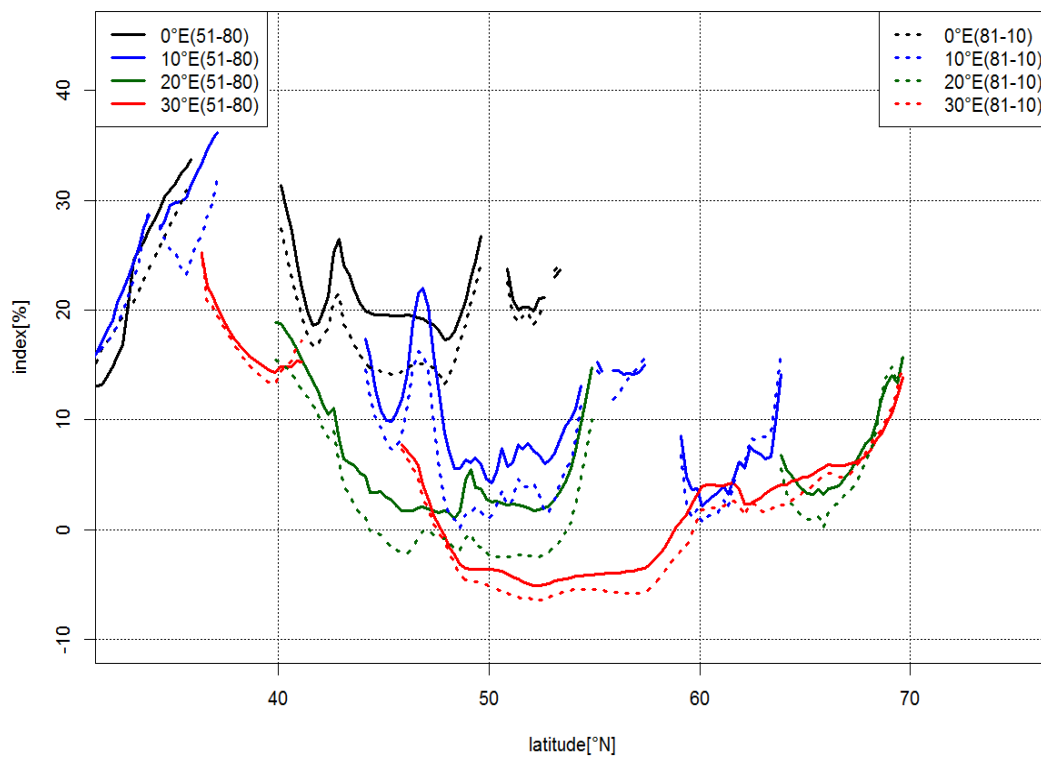
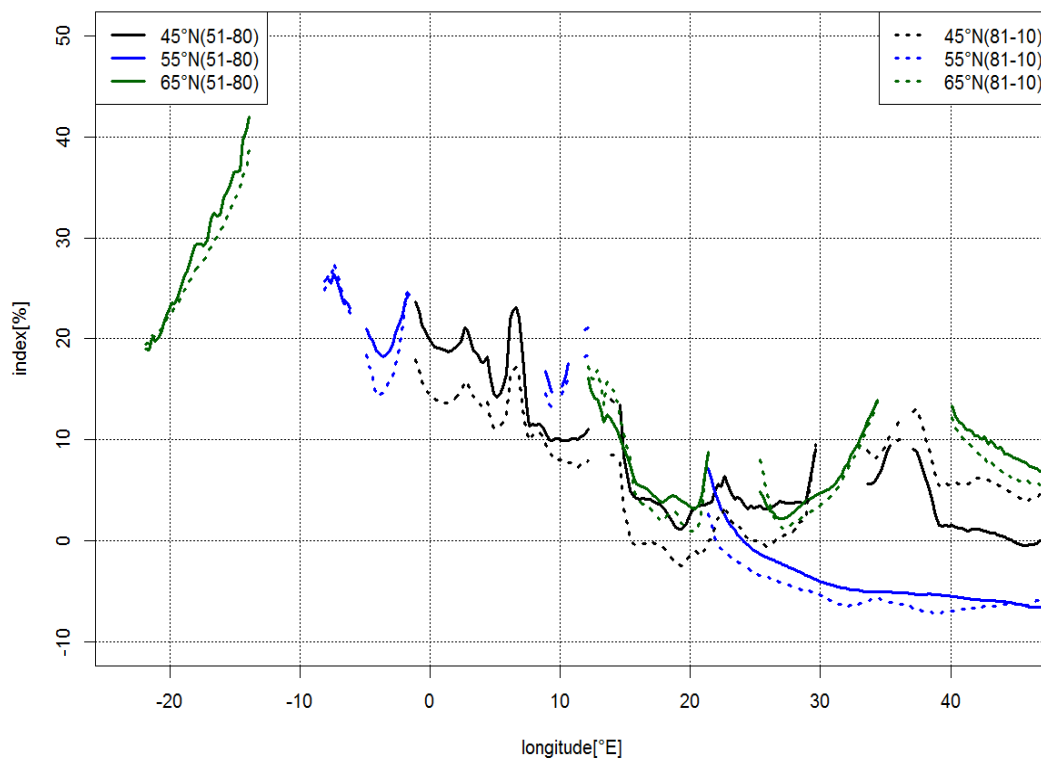
Pri priblížení závislosti sa však KOI chová podobne ako GI. V oblastiach s pohoriami dochádza k výraznejším „skokom“ hlavne na 45° a 65° s. š., kde sa nachádzajú významné horské pásma. Je to spôsobené hlavne poklesom ročnej amplitúdy. Naopak na 55° s. š., ktorá vedie prevažne rovinným územím, nedochádza podobne ako u GI k žiadnym výraznejším výchyľkám.

Pri závislostiach KOI na zemepisnej šírke (obr. 3.11 a 3.12, dole) pozorujeme takisto rozdiel oproti závislostiam GI na zem. šírke (obr. 3.4, dole). Pri celkovom pohľade v smere z juhu na sever vidíme, že hodnoty indexu sa pre nultý poludník, 10°, 20° a 30° v. d. držia v určitom intervale, zatiaľ čo pre 60° v. d. už dochádza k výraznejším zmenám v závislosti na zemepisnej šírke. Príčina môže byť absencia okrajových morí na 60° v. d., ktoré majú na ostatných poludníkoch dosť značný vplyv. Pri dôkladnejšom priblížení pozorujeme podobné vlastnosti ako pri závislostiach na zem. dĺžke na obr. 3.11 a 3.12 (hore). V oblasti pohorí dochádza k výraznejším poklesom.

Rozdiely medzi jednotlivými definíciami (september - máj a október - apríl) v uvedených závislostiach sú pre väčšinu rovnobežiek resp. poludníkov pomerne zanedbateľné, no pri určitých pozorujeme značnejšie rozdiely. Na poludníkoch resp. rovnobežkách prechádzajúcimi spomínanými horskými pásmami pozorujeme výraznejšie skoky v definícii október - apríl (obr. 3.11) oproti definícii september - máj (obr. 3.12). Okrem citlivosti na horské pásma sú rozdiely aj v citlivosti na vplyv okrajových morí a oceánov, čo bolo už spomínané pri popise geografického rozloženia.



**Obr. 3.11:** Závislosť Kernerovho indexu ocníte mesiacov október a apríl na zemepisnej dĺžke pre 3 vybrané rovnobežky (hore), na zemepisnej šírke pre 4 vybrané poludníky (dole) a dve rôzne obdobia (1951 – 1980 a 1981 – 2010) v Európe



**Obr. 3.12:** Závislosť Kernerovho indexu oceanity mesiacov september a máj na zemepisnej dĺžke pre 3 vybrané rovnobežky (hore), na zemepisnej šírke pre 4 vybrané poludníky (dole) a dve rôzne obdobia (1951 – 1980 a 1981 – 2010) v Európe

# Záver

V záverečnej časti práce sa pokúsime urobiť zhrnutie z doterajšieho textu a všetky doposiaľ uvedené výsledky zosumarizujeme. V prvej kapitole, ktorá sa skladala z dvoch podkapitol, boli vyložené základné pojmy a informácie týkajúce sa uvedenej práce. V prvej podkapitole bol definovaný a charakterizovaný pojem ročná amplitúda teploty vzduchu, jej závislosti, kde základné informácie najmä o jej rozložení v Európe boli čerpané najmä zo študentského projektu *Ročná amplitúda teploty vzduchu v Európe* (Hudek, 2016). V druhej podkapitole bol definovaný pojem termická kontinentalita, jej vlastnosti a rôzne veličiny ako indexy, ktoré ju charakterizujú. Medzi najvýznamnejšie patrili indexy založené na ročnej amplitúde teploty vzduchu. Taktiež boli krátko zhrnuté niektoré dôležité štúdie od rôznych autorov zaoberajúcich sa danou problematikou, z ktorých boli aj čerpané informácie o daných charakteristikách.

V druhej kapitole boli uvedené základné informácie o použitých dátach a metódach spracovania ako aj o základných štatistických počítačových programoch použitých pri výpočte a vyhodnocovaní výsledkov. Jednalo sa hlavne o dátový súbor E-OBS, ktorý obsahoval časové rady priemerných teplôt v pravidelnej sieti uzlových bodov. Dátový súbor bol verejne prístupný po registrácii na webových stránkach (<http://ecad.eu/download/ensembles/download.php/>). Pri spracovaní dát z uvedeného súboru bol použitý program R-Studio, ktorý spracovával uvedené dáta pomocou príkazov v prostredí R. Pomocou tohto programu boli vypočítané a graficky spracované všetky potrebné charakteristiky a indexy.

V nasledujúcej tretej kapitole sme už pristúpili k samotným výsledkom tejto práce. Grafy popisovali geografické rozloženie indexov kontinentality v Európe. Jednalo sa o indexy založené na ročnej amplitúde teploty vzduchu tzv. Gorczyńskiego index (GI), ako aj o indexy založené na asymetričnosti chodu teploty počas roka tzv. Kernerov index oceanity (KOI). Grafy boli spracované pre dve pozorované obdobia 1951 – 1980 a 1981 – 2010. Každý index vyjadroval mieru kontinentality iným spôsobom. GI, ktorý bol založený na ročnej amplitúde a korigovaný vzhľadom na zemepisnú šírku, popisoval mieru kontinentality v intervale -6 % (nulová miera) až 100 % (maximálna možná miera). V Európe sa hodnoty pohybovali v rozpätí -6 % až 60 % (obr. 3.1). Záporné hodnoty indexu boli dôsledkom Gorczyńskiego definície (Gorczynski, 1920, 1922). KOI popisoval mieru kontinentality opačným spôsobom, čo plynie aj zo samotného názvu, keďže tento index má popisovať tzv. „oceanitu“. Čím vyššie hodnoty, tým vyššia oceanita, teda nižšia kontinentalita. Tento index nemá jednoznačne stanovený obor hodnôt ako GI, keďže je založený na teplotných rozdieloch medzi jarnými a jesennými mesiacmi, normovaný celkovou ročnou amplitúdou. V Európe sa jeho hodnoty pohybujú zhruba od -10 do 45 % (obr. 3.5 a 3.6). Grafické znázornenia jednotlivých indexov do značnej miery splnili základné

charakteristiky kontinentality uvedené v prvej kapitole, aj keď sa vyskytlo aj zopár výnimiek. Príčinou týchto výnimiek mohla byť kombinácia vplyvu oceánu s vplyvom nadmorskej výšky v tesnej blízkosti oceánov a pohorí.

Okrem grafov vyjadrujúcich rozloženie jednotlivých indexov za jednotlivé obdobia boli vypracované aj grafy týkajúce sa rozdielov medzi týmito dvoma skúmanými obdobiami (1951 – 1980 a 1981 – 2010). Cieľom bolo zachytiť zmenu resp. vývoj miery kontinentality v čase. Graf týkajúci sa GI (obr. 3.2) popisuje, že kontinentalita sa zmiernuje v oblastiach s pôvodne vysokou hodnotou a naopak sa začína prehĺbovať v oblastiach s nízkou hodnotou. Má to za následok zmiernovanie rozdielov medzi oceánskym a kontinentálnym podnebím. Samostatná pozornosť bola venovaná oblastiam na hranici medzi oceánskym a kontinentálnym podnebím a konkrétne územia ČR. Práve v tejto oblasti záleží na voľbe indexu pre popis časových zmien kontinentality. Z hľadiska GI k takmer žiadnym zmenám nedošlo, no z hľadiska KOI sú zmeny oveľa výraznejšie.

Na záver boli spracované aj závislosti jednotlivých indexov na zemepisnej šírke a dĺžke pre určité významné rovnobežky, resp. poludníky. Jednalo sa prakticky o rezy jednotlivých geografických rozložení na vybraných rovnobežkách resp. poludníkoch a ich premietnutie na zvislú osu znázorňujúcu daný index. Závislosť bola spracovaná konkrétne pre 3 rovnobežky a 4 poludníky a dve už vyššie spomínané časové obdobia. Cieľom bolo presnejšie zachytiť zmeny kontinentality v jednotlivých pohoriach ako aj v blízkosti oceánov, ale aj znázorniť akýsi trend nárastu zo západu na východ.

Ak porovnáme výsledky tejto práce s výsledkami iných štúdií, tak napríklad Hirschi et al. (2007) vo svojej štúdií *Global warming and changes of continentality since 1948* popisuje zmenu klímy a jej možné príčiny od roku 1948. Popisuje napríklad zmenu priemernej globálnej teploty na Zemi medzi obdobiami 1948 – 2005 a 1995 – 2005. Podrobnejšie sa zameriava najmä na Arktídu a Antarktídu, kde popisuje teploty najteplejšieho a najchladnejšieho mesiaca a ich rozdiel, teda ročnú amplitúdu. V oboch oblastiach došlo k poklesu amplitúdy, pričom výraznejší pokles pozoruje v Antarktíde. Ročnú amplitúdu považuje za určitú mieru kontinentality, ktorú však už nekoriguje vzhľadom na zemepisnú šírku. Aj napriek tomu jeho výsledky približne odpovedajú výsledkom tejto práce, čo sa týka rozloženia spracovaných indexov, ako aj základných vlastností kontinentality v Európe. Časové rozdiely kontinentality však porovnať nemožno, keďže v uvedenej štúdií boli hodnoty spracované pre dve úplne odlišné obdobia a ešte k tomu s úplne odlišnou dĺžkou.

Hirschi et al. (2007) ďalej vo svojej štúdií rozoberali a analyzovali, čím sú zmeny kontinentality spôsobené a snažili sa diskutovať rôzne možnosti. Na základe ich popisov možných vplyvov oteplenia podnebia na kontinentalitu možno diskutovať a s pomocou použitých dát zistiť, čím sú časové zmeny GI spôsobené

z hľadiska porovnaní nárastov teploty najchladnejšieho a najteplejšieho mesiaca. Z geografického rozloženia časových zmien priemerných teplôt najchladnejšieho a najteplejšieho mesiaca (obr. 3.10) a časových rozdielov GI (obr. 3.2) plynú zaujímavé poznatky. V oblastiach s vzostupom GI bol nárast teploty najteplejšieho mesiaca vyšší v porovnaní s najchladnejším mesiacom. Výnimkou je len centrálna a juhovýchodná časť Turecka, kde došlo k poklesu teploty najchladnejšieho mesiaca, pričom teplota najteplejšieho mesiaca sa buď nezmenila, alebo výraznejšie stúpila v juhovýchodnej časti. V oblastiach s poklesom indexu bol zase nárast teploty najchladnejšieho mesiaca vyšší v porovnaní s najteplejším. V oblastiach bez zmeny indexu (stredná, juhovýchodná Európa a Britské ostrovy) došlo približne k rovnakému otepleniu oboch mesiacov.

Podobne možno diskutovať časové zmeny KOI na základe časových rozdielov priemerných teplôt príslušných jarných a jesenných mesiacov (obr. 3.8 a 3.9). Keďže KOI závisí okrem teploty jarného a jesenného mesiaca aj na ročnej amplitúde, nie je možné určiť príčinu časových zmien tak jednoducho ako pri GI. Dôraz tak bude kladený len na zmeny príslušných jarných a jesenných mesiacov. V oblastiach s poklesom príslušného indexu KOI bol nárast teploty príslušného jarného mesiaca vyšší v porovnaní s príslušným jesenným. Výnimkou je len Island, kde sa teplota mesiaca apríl takmer vôbec nezmenila, pričom teplota mesiaca október mierne poklesla. V oblastiach s vzostupom indexu KOI mesiacov október a apríl bol nárast teploty mesiaca október vyšší v porovnaní s mesiacom apríl. V oblastiach s vzostupom indexu KOI mesiacov september a máj došlo v každej oblasti k iným zmenám. Napríklad v častiach Nórska došlo k miernemu poklesu teploty mesiaca máj, pričom teplota septembra sa takmer nezmenila. V severnej časti Turecka došlo k miernemu poklesu teplôt oboch jarných a k miernemu vzostupu oboch jesenných mesiacov. V južnej časti Ruska došlo k poklesu teploty mesiaca máj a k vzostupu teploty mesiaca september. V oblastiach bez zmeny KOI došlo k približne rovnakému nárastu resp. poklesu teploty príslušných jarných a jesenných mesiacov.

Vilček et al. (2016) vo svojej štúdií *Minimal change of thermal continentality in Slovakia* popisuje kontinentalitu Slovenska v období 1961 – 2013. Jeho výsledky sú porovnateľné s výsledkami tejto práce. Určil kontinentalitu šiestich vybraných staníc a zistil, že najvyššie hodnoty sa vyskytujú na staniách na východe krajiny, resp. v horských dolinách, najnižšie naopak vo vysokých horských polohách, čo odpovedá našim výsledkom. Hodnoty GI aj indexu Conrada a Pollaka zo spomínaných šiestich staníc približne odpovedajú hodnotám na obr. 3.1, kde sa hodnoty na území Slovenska pohybujú okolo 30 %. Z grafov časových zmien teplôt najteplejšieho a najchladnejšieho mesiaca (obr. 3.10) možno usúdiť, že sa oba otepľujú približne rovnako, teda ročná amplitúda ostáva približne rovnaká, alebo sa mení len nepatrne. Teda GI sa na území Slovenska nezmenil takmer vôbec, čomu odpovedá aj obr. 3.2. Treba však podotknúť, že Vilček používa priamo staničné dáta. Z porovnania je vidieť, že staničné dáta celkom presne odpovedajú dátam E-OBS, pričom mierne odchýlky mohli vzniknúť len kvôli interpolácii.

# Zoznam použitej literatúry

- Baltas, E. *Spatial distribution of climatic indices in northern Greece*. Meteorological Applications 14, 69-78, 2007.
- Brázdil, R., Chromá, K., Dobrovolný, P., Tolasz, R. Climate fluctuations in the Czech Republic during the period 1961–2005, *International Journal of Climatology*, 29, 223–242, 2009.
- Čiaranek, D. *Variability of the thermal continentality index in Central Europe*. Proceedings of air and water, components of the Environment. Cluj Napoca, Romania, 2014. ISBN: 2067-743X.
- Český meteorologický slovník. *Meteorologický slovník výkladový a terminologický (eMS)*, ČMeS, 2016.
- Conrad, V., Pollak, L. W. *Methods in climatology, 2nd edition*. Harvard university press, Cambridge, Massachusetts, 1950.
- Driscoll, D. M., Rice, P. B., Yee Fong, J. M. et al. Spatial variation of climatic aspects of temperature: interdiurnal variability and lag. *International Journal of Climatology*, 14, 1001–1008, 1994.
- Johansson, O. V. *Über die Asymmetrie der meteorologischen Schwankungen*. Soc. Sci. Fennica, Com mentationes Phys. Math. 3, Iff., 1926.
- Gorczynski, W. Sur le calcul du degré de continentalisme et son application dans la climatologie. *Geogr. Annaler* 2, 324-331, 1920.
- Gorczynski, L. The calculation of the degree of continentality. *Monthly Weather Review* 50, 369-370, 1922.
- Hela, I. Regional distribution of the continentality in the climate of the oceans. *Geophysica*, Helsinki, 5 (1): 1-7, 1952.
- Hirschi, J. J.-M., Sinha, B. a Josey, S. A. *Global warming and changes of continentality since 1948*. Weather, 62: 215–221, 2007.
- Mikolášková, K. A regression evaluation of thermal continentality. *Geografie* 4, 350–361, 2009.
- Minetti, J. L. Continentality indices: methodological revision and proposition. *Erdkunde*, 43:51-58, 1989.
- Prohaska, F. The climate of Argentina, Paraguay and Uruguay. Schwerdtfeger W. Climates of Central and South America. *World Survey of Climatology* 12 , 13-112, 1976. Amsterdam, Oxford, New York.
- Raunio, N. The Effect of local factors on the meteorological observations at Torshavn. *Geophysica* 3, 173-179, 1948.



Retuerto, R., Carballeira, A. Use of direct gradient analysis to study the climate-vegetation relationships in Galicia, Spain. *Vegetatio* 101,183–194, 1992. Kluwer Academic Publishers, Printed in Belgium.

Rivas-Martinez et al. *North American Forest vegetation*. Itinera Geobotanica, 1999.

Sládek, I. Návrh nové míry kontinentality klimatu. *Fyzickogeografický sborník* 3, 144–147, 2005.

Supan, A. *Grundzüge des physischen Erdkunde*, Veit&Comp., Leipzig, 1884.

Vilček, J., Škvarenina, J., Vido, J., Kandřík, R., Škvareninová, J., Nalevanková, P. “Changes” of the thermal continentality in Central Europe between the years 1951 and 2013: case study – Slovak Republic. *Earth Syst. Dynam. Discuss.* 6, 1261–1275, 2015.

Hudek, J. *Ročná amplitúda teploty vzduchu v Európe*. Študentský projekt. MFF UK, Praha, 2016

WMO. *WMO Statement on the status of the global climate in 2016*. WMO-No 1189, 2017.

Haylock et al. A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950 – 2006. *Journal of geophysical research*, vol. 113, 2008.

Internetové stránky projektu R (prístup 15.6.2018), <http://r-project.org/>.

Internetové stránky dátového súboru E-OBS (prístup 17.1.2018), <http://ecad.eu/download/ensembles/download.php/>

# Zoznam obrázkov

2.1	Geografické rozloženie staníc s meraním teploty vzduchu v Európe .....	9
3.1	Geografické rozloženie Gorczyńskiego indexu kontinentality v Európe za obdobie 1951 – 1980 a 1981 – 2010 .....	13
3.2	Geografické rozloženie rozdielu Gorczyńskiego indexu kontinentality v Európe medzi obdobiami 1951 – 1980 a 1981 – 2010 .....	14
3.3	Geografické rozloženie upraveného Gorczyńskiego indexu Conradom a Pollakom v Európe za obdobie 1951 – 1980 a 1981 – 2010 .....	14
3.4	Závislosť Gorczyńskiego indexu na zemepisnej dĺžke pre 3 vybrané rovnobežky, na zemepisnej šírke pre 4 vybrané poludníky a dve rôzne obdobia (1951 – 1980 a 1981 – 2010) v Európe .....	15
3.5	Geografické rozloženie Kernerovho indexu oceanity mesiacov september a máj v Európe za obdobie 1951 – 1980 a 1981 – 2010 .....	18
3.6	Geografické rozloženie Kernerovho indexu oceanity mesiacov október a apríl v Európe za obdobie 1951 – 1980 a 1981 – 2010 .....	19
3.7	Geografické rozloženie rozdielu Kernerovho indexu oceanity mesiacov september a máj, október a apríl v Európe medzi obdobiami 1951 – 1980 a 1981 – 2010 .....	20
3.8	Geografické rozloženie rozdielu priemerných teplôt mesiacov apríl a október v Európe medzi obdobiami 1951 – 1980 a 1981 – 2010 .....	21
3.9	Geografické rozloženie rozdielu priemerných teplôt mesiacov máj a september v Európe medzi obdobiami 1951 – 1980 a 1981 – 2010 .....	21
3.10	Geografické rozloženie rozdielu priemerných teplôt najchladnejšieho a najteplejšieho mesiaca v Európe medzi obdobiami 1951 – 1980 a 1981 – 2010 .....	21
3.11	Závislosť Kernerovho indexu oceanity mesiacov október a apríl na zemepisnej dĺžke pre 3 vybrané rovnobežky, na zemepisnej šírke pre 4 vybrané poludníky a dve rôzne obdobia (1951 – 1980 a 1981 – 2010) v Európe .....	23
3.12	Závislosť Kernerovho indexu oceanity mesiacov september a máj na zemepisnej dĺžke pre 3 vybrané rovnobežky, na zemepisnej šírke pre 4 vybrané poludníky a dve rôzne obdobia (1951 – 1980 a 1981 – 2010) v Európe .....	24

# Zoznam použitých skratiek

ČMeS	Český meteorologický slovník
ČR	Česká republika
ECA&D	European Climate Assessment and Data Set
E-OBS	European High-resolution Gridded Data Set
GI	Gorczynski Index
GNU	GNU's Not Unix
KNMI	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
KOI	Kerner Oceanity Index
STARDEX	Statistical and Regional dynamical Downscaling of Extremes for European regions
WMO	World Meteorological Organisation