

UNIVERZITA KARLOVA
Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Geografie
Studijní obor: Fyzická geografie a geoekologie



Bc. Tereza Kodetová

**Variabilita povrchové teploty vody v Severním Atlantiku a její vliv na teploty
a srážky v Evropě**

Sea surface temperature variability in the North Atlantic and its effect on temperature
and precipitation in Europe

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: RNDr. Lucie Pokorná, Ph.D.

Praha 2022

Zadání diplomové práce

Název práce: Variabilita povrchové teploty vody v Severním Atlantiku a její vliv na teploty a srážky v Evropě

Cíle práce:

Náplní práce je analyzovat povrchovou teplotu vody ve vybraném území Severního Atlantiku, její dlouhodobé změny po roce 1950 a vazbu na klima v Evropě. Jednotlivé cíle spočívají ve výběru vhodné databáze SST, která bude pro analýzu snadno dostupná a zpracovatelná, výběru oblasti v Severním Atlantiku, která má potenciál ovlivňovat klima v Evropě a ve výběru vhodného období pro výpočet trendů. Dále bude úkolem pro vybrané období spočítat trendy ročních a měsíčních SST ve zvolené oblasti Severního Atlantiku. Finálním úkolem je spočítat korelace mezi časovými řadami ročních průměrných SST a průměrnými teplotami vzduchu a úhrny srážek pozorovanými nad Evropou. Na základě korelací pak určit souvislost mezi SST a měsíčními meteorologickými podmínkami na kontinentu.

Použité pracovní metody, zájmové území, zdroje:

Databáze SST bude vybraná z volně dostupných serverů, které se specializují na charakteristiky oceánů. Pro popis měsíčních teplot vzduchu a úhrnů srážek bude využita volně dostupná gridovaná databáze staničních dat E-OBS. Zájmové území v Severním Atlantiku řešitelka vybere na základě odborných článků. Analýza průměrných SST a jejich trendů bude provedena pro jednotlivé měsíce i pro roční průměry. U trendů bude testovaná jejich statistická významnost. Korelace budou počítány mezi průměrnou SST z celé vybrané oblasti v SA a časovými řadami měsíčních průměrných teplot a úhrnů srážek v jednotlivých uzlových bodech databáze E-OBS na území Evropy. Výsledky budou zobrazeny formou grafů a map.

Datum zadání: 02. 12. 2019

Jméno studenta: Tereza Kodetová

Podpis studenta:

Jméno vedoucího práce: RNDr Lucie Pokorná, Ph.D.

Podpis vedoucího práce:

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci s názvem „Variabilita povrchové teploty vody v Severním Atlantiku a její vliv na teploty a srážky v Evropě“ zpracovala samostatně pod vedením RNDr. Lucie Pokorné, Ph.D. a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne

.....

Bc. Tereza Kodetová

Poděkování:

Tímto bych v první řadě ráda poděkovala vedoucí mé diplomové práce RNDr. Lucii Pokorné, Ph.D. za kvalitní vedení mé práce, hodnotné připomínky, rady a neskutečnou trpělivost v průběhu psaní s ohledem na celkovou situaci. Dále bych ráda poděkovala svým rodičům, zejména matce, která by zajisté velmi ráda sledovala dokončení mého studia. Po celou dobu mi rodina byla nesmírnou oporou. V neposlední řadě děkuji za trpělivost svým nejbližším, kteří ke mně byli po celou dobu studia a psaní diplomové práce velice shovívaví.

Abstrakt

Povrchová teplota vody (SST) Severního Atlantiku (SA) má prokazatelný vliv na klima Evropy. Cílem této diplomové práce je zjistit dlouhodobý vývoj SST v SA a popsat vliv změny povrchové teploty oceánu v SA na teploty a srážky v Evropě. K tomuto účelu byla zvolena volně dostupná databáze HadISST z Mett Office Hadley Centre Observations datasets. Studované období 1980-2019 bylo zvoleno tak, aby data nebyla ovlivněna přechodem na jiný druh měření či metodu jejich zpracování a také zahrnutím satelitních měření. Jedná se tedy o data získaná po počátku satelitního měření, která zajišťují mnohem kvalitnější a obsáhlejší pokrytí snímaného území. Dalším krokem bylo vypočítání průměrných měsíčních a ročních SST v rámcové oblasti Severního Atlantiku. Měsíční průměrné SST se pohybovaly v rozmezí 2,3 °C nejchladnějšího měsíce března po nejvyšší naměřené průměrné SST 18,5 °C v srpnu. Průměrná roční SST zájmové oblasti byla 10,5 °C v rámci analyzovaných 40 let. V následujícím kroku byly detekovány měsíční a roční trendy v letech 1980-2019. Trendy dosahují hodnot od -0,7 °C do 1,5 °C, ale v rámci celého období se potvrdilo, že ve 40letém období dochází ve všech měsících k oteplování zájmového území. Posledním cílem bylo zjistit konkrétní vzájemnou souvislost mezi SST v zájmové oblasti SA s teplotou vzduchu a srážkami v Evropě. Nejvyšší kladné korelace ročních úhrnů srážek s SST jsou na severu Evropy a při pobřeží Černého moře. Nejvýraznější záporné korelace roční úhrnů srážek s SST jsou detekovány ve středu Evropy. Roční průměrné teploty korelují s SST na celém sledovaném území kladně, maximálních hodnot dosahují korelace v Irsku. V jednotlivých měsících nejsilněji koreluje SST s teplotami v lednu a v červenci, se srážkami v lednu. Pole korelací je pro teploty homogenní, zatímco pro srážky značně proměnlivé.

Výsledky této práce jsou významným přínosem v rámci zkoumaného tématu, neboť vývoj SST s jeho klimatickými prvky nad Evropou analyzují nejen prostřednictvím ročních průměrů, ale zaměřují se i na měsíční hodnoty.

Klíčová slova: Evropa, korelace, povrchová teplota vody, Severní Atlantik, srážky, teplota vzduchu, trend

Abstract

The sea surface temperature (SST) of the North Atlantic (NA) has a demonstrable impact on Europe's climate. The main purpose of this final thesis is to investigate the long-term evolution of SST in SA and to describe the influence of SST change in NA on temperatures and precipitation in Europe. For this purpose, the freely available HadISST database from the Met Office Hadley Centre Observations datasets was chosen. The study period 1980-2019 was chosen so that the data would not be affected by switching to a different measurement type or processing method, and also by the inclusion of satellite measurements. This means that the data was acquired after the start of satellite measurements, which provides a much higher quality and more comprehensive coverage of the area. The next step was to calculate the average monthly and annual SSTs in the NA area of interest. Monthly mean SSTs ranged from 2,3 °C in the coldest month of March to the highest measured mean SST of 18,5 °C in August. The average annual SST of the area of interest was 10,5 °C over the 40 years analysed. Next, monthly and annual trends were detected from 1980-2019. The trends range from -0,7 °C to 1,5 °C, but it was confirmed that the area of interest is warming in all months over the 40 year period. The final objective was to establish a specific correlation between SST in the SA region of interest with temperature and precipitation in Europe. The highest positive correlations of annual precipitation with SST are in northern Europe and along the Black Sea coast. The strongest negative correlations of annual precipitation with SST are detected in central Europe. Annual mean temperatures are positively correlated with SST throughout the study area, with maximum correlations in Ireland. In individual months, SST correlates most strongly with temperatures in January and July, and with precipitation in January. The field of correlations is homogeneous for temperature, while it is highly variable for precipitation.

The results of this work make an important contribution to the topic under investigation, as they analyse the evolution of SST with its climatic components over Europe not only through annual averages, but also focus on monthly values.

Key words: air temperature, atmospheric circulation, correlation, Europe, North Atlantic, precipitation, sea surface temperature, trend

Obsah

Seznam obrázků	8
Seznam tabulek.....	11
Seznam zkratek.....	12
1. Úvod a cíle práce.....	13
2. Způsoby měření SST	14
3. Databáze SST	19
3.1 Historické databáze	19
4. SST v Severním Atlantiku	24
4.1 Trendy SST.....	24
4.2 Vliv SST na klima v Evropě.....	26
5. Data.....	29
6. Metodika	32
7. Výsledky	34
7.1 Průměrné SST v zájmové oblasti v letech 1980-2019.....	34
7.2 Trendy SST v zájmové oblasti v letech 1980-2019.....	39
7.3 Korelace srážek s průměrnými SST v Evropě.....	45
7.4 Korelace teplot s průměrnými SST v Evropě.....	50
8. Diskuze	55
9. Závěr.....	59
10. Zdroje	61
9.1 Literatura	61
9.2 Internetové zdroje a mapové podklady.....	65

Přílohy

Seznam obrázků

- Obr. 1: Kbelíky používané k měření SST (a – dřevěné vědro, b – plátěné vědro, c – německá naběračka)
- Obr. 2: Schéma typického systému sání chladící vody motoru na moderní obchodní lodi
- Obr. 3: Znázornění 10denního cyklu plováku systému ARGO
- Obr. 4: Lineární trendy ve °C za 10letí v jednotlivých datasetech pro období 1870-2002
HadISST (a), COBE (b), ERSST (c), LDEO (d), ICOADS (d) a HadSST (f)
- Obr. 5: Rozdíly mezi 30letými průměry SST (období 1971-2000) v HadISST a ročními průměry
v datasetech COBE (a), ESRRT (b), ICOADS (c) a HadSST (d)
- Obr. 6: Pozorované trendy SST pro čtyři různá období v letech 1915-2014 od datasetu
COBE-SST2
- Obr. 7: Roční lineární trendy SST ve °C za 10 let v období 1985-2004
- Obr. 8: Sezónní lineární trendy SST v letech 1985-2004
- Obr. 9: Mapa anomálií SST pro první a druhý mód proměnlivosti SST v letech 1960-2011
- Obr. 10: Pozorovaná časová řada dvou hlavních módu proměnlivosti v porovnání s indexem
AMO
- Obr. 11: Pozorované teplotní anomálie ve dvou módech EOF
- Obr. 12: Pozorované srážkové anomálie ve dvou módech EOF
- Obr. 13: Formát dat HadISST
- Obr. 14: Mapa zájmového území
- Obr. 15: Přeorganizování sítě v metodě přirozeného souseda po přidání dalšího bodu
- Obr. 16: Průměrné SST ve °C zobrazené v intervalu 1 °C za celé sledované období 1980-2019
- Obr. 17: Průměrné SST v měsíci leden, zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 16
- Obr. 18: Průměrné SST v měsíci únor, zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 16
- Obr. 19: Průměrné SST v měsíci březen, zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 16
- Obr. 20: Průměrné SST v měsíci duben, zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 16
- Obr. 21: Průměrné SST v měsíci květen, zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 16
- Obr. 22: Průměrné SST v měsíci červen, zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 16
- Obr. 23: Průměrné SST v měsíci červenec, zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 16
- Obr. 24: Průměrné SST v měsíci srpen, zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 16
- Obr. 25: Průměrné SST v měsíci září, zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 16
- Obr. 26: Průměrné SST v měsíci říjen, zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 16

- Obr. 27 Průměrné SST v měsíci listopad, zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 16
- Obr. 28: Průměrné SST v měsíci prosinec, zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 16
- Obr. 29: Časová řada ročních průměrných SST pro celé zájmové území (plná čára), lineární trend pro období 1980-2019 (tečkovaná čára) a rovnice přímky lineárního trendu
- Obr. 30: Trendy SST v zájmové oblasti za celé sledované období 1980-2019
- Obr. 31: Trendy SST v měsíci leden, zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 30
- Obr. 32: Trendy SST v měsíci únor, zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 30
- Obr. 33: Trendy SST v měsíci březen, zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 30
- Obr. 34: Trendy SST v měsíci duben, zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 30
- Obr. 35: Trendy SST v měsíci květen, zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 30
- Obr. 36: Trendy SST v měsíci červen, zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 30
- Obr. 37: Trendy SST v měsíci červenec, zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 30
- Obr. 38: Trendy SST v měsíci srpen, zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 30
- Obr. 39: Trendy SST v měsíci září, zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 30
- Obr. 40: Trendy SST v měsíci říjen, zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 30
- Obr. 41: Trendy SST v měsíci listopad, zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 30
- Obr. 42: Trendy SST v měsíci prosinec, zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 30
- Obr. 43: Roční korelace SST s ročními úhrny srážek v Evropě
- Obr. 44: Korelace srážek v Evropě s SST v měsíci leden, zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 43
- Obr. 45: Korelace srážek v Evropě s SST v měsíci únor, zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 43
- Obr. 46: Korelace srážek v Evropě s SST v měsíci březen, zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 43
- Obr. 47: Korelace srážek v Evropě s SST v měsíci duben, zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 43
- Obr. 48: Korelace srážek v Evropě s SST v měsíci květen, zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 43
- Obr. 49: Korelace srážek v Evropě s SST v měsíci červen, zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 43
- Obr. 50: Korelace srážek v Evropě s SST v měsíci červenec, zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 43

- Obr. 51: Korelace srážek v Evropě s SST v měsíci srpen, zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 43
- Obr. 52: Korelace srážek v Evropě s SST v měsíci září, zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 43
- Obr. 53: Korelace srážek v Evropě s SST v měsíci říjen, zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 43
- Obr. 54: Korelace srážek v Evropě s SST v měsíci listopad, zobrazení a zdroj stejné jako
v obr. 43
- Obr. 55: Korelace srážek v Evropě s SST v měsíci prosinec, zobrazení a zdroj stejné jako
v obr. 43
- Obr. 56: Korelace ročních SST s ročními teplotami vzduchu v Evropě
- Obr. 57: Korelace teplot v Evropě s SST v měsíci leden, zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 56
- Obr. 58: Korelace teplot v Evropě s SST v měsíci únor, zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 56
- Obr. 59: Korelace teplot v Evropě s SST v měsíci březen, zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 56
- Obr. 60: Korelace teplot v Evropě s SST v měsíci duben, zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 56
- Obr. 61: Korelace teplot v Evropě s SST v měsíci květen, zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 56
- Obr. 62: Korelace teplot v Evropě s SST v měsíci červen, zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 56
- Obr. 63: Korelace teplot v Evropě s SST v měsíci červenec, zobrazení a zdroj stejné jako
v obr. 56
- Obr. 64: Korelace teplot v Evropě s SST v měsíci srpen, zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 56
- Obr. 65: Korelace teplot v Evropě s SST v měsíci září, zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 56
- Obr. 66: Korelace teplot v Evropě s SST v měsíci říjen, zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 56
- Obr. 67: Korelace teplot v Evropě s SST v měsíci listopad, zobrazení a zdroj stejné jako
v obr. 56
- Obr. 68: Korelace teplot v Evropě s SST v měsíci prosinec, zobrazení a zdroj stejné jako
v obr. 56

Seznam tabulek

Tabulka 1: Přehled datasetů SST

Tabulka 2: Průměrná, minimální a maximální SST za celé období 1980-2019 a v jednotlivých měsících pro celou zájmovou oblast

Seznam zkratk

ARGO	Array for Real-time Geostrophic Oceanography
AVHRR	Advanced High Resolution Radiometer
BM	Baltské moře
COADS	Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set
COBE	The centennial in situ observation-based estimate of SSTs
ECS	equilibrium climate sensitivity
ECA&D	European Climate Assessment and Dataset
EOFs	empirical orthogonal functions
GHR SST	Group for High Resolution Sea Surface Temperature
GTS	Global Telecommunications System
Had SST	Hadley Centre Sea Surface Temperature data set
Had ISST	Hadley Centre Sea Ice and Sea Surface Temperature data set
ICOADS	International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer on board
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NCEP	National Centers for Environmental Prediction
NMHS	European National Meteorological and Hydrological Services
RSOI	Reduced-space optimal interpolation
SA	Severní Atlantik
SM	Severní moře
s. š.	severní zeměpisná šířka
VOS	Voluntary Observing Ships
VB	Velká Británie
v. d.	východní zeměpisná délka
z. d.	západní zeměpisná délka

1 Úvod a cíle práce

Tato diplomová práce navazuje na bakalářskou práci (Kodetová, 2019), která se zaměřila na popis Severního Atlantiku (SA) a popis změn povrchové teploty vody (anglicky sea surface temperature, SST) v SA za poslední dekády. Při bakalářské práci rešeršního charakteru jsem se snažila porozumět problematice spojené s SST a aplikovat získané vědomosti při psaní navazující diplomové práce. Průzkum změn SST a vlivu SST na klima na přilehlém kontinentu dochází od konce 20. století a je stále aktuálním tématem pro následující výzkumy.

Základním a stěžejním cílem této práce je z počátku vyhodnotit z dostupných databází jednu nejvhodnější pro následnou analýzu SST. Dále je potřeba zvolit zájmovou oblast na základě odborných článků, která bude mít dostatečný vliv na klima v Evropě. Posledním bodem prvního cíle je zvolit období pro analýzu SST, které nebude ovlivněno změnami metod měření či dalšími nezanedbatelnými faktory.

Další část se zaměřuje na výpočet průměrné měsíční a roční teploty SST ve zvoleném období a v zájmovém území. S těmito daty se bude nadále pracovat pro výpočet měsíčních a ročních trendů SST v rámci vybraného časového období. Trendy bude nutné přepočítat na dekádu, aby výsledky byly uchopitelnější pro následnou interpretaci. Pro určení spolehlivosti trendů je nezbytné určit hladinu statistické významnosti, na které bude testována. Trendy významné na zvolené hladině potvrzují, zda v rámci sledovaného období a ve sledované oblasti dochází k oteplování povrchu SA či dochází k ochlazení.

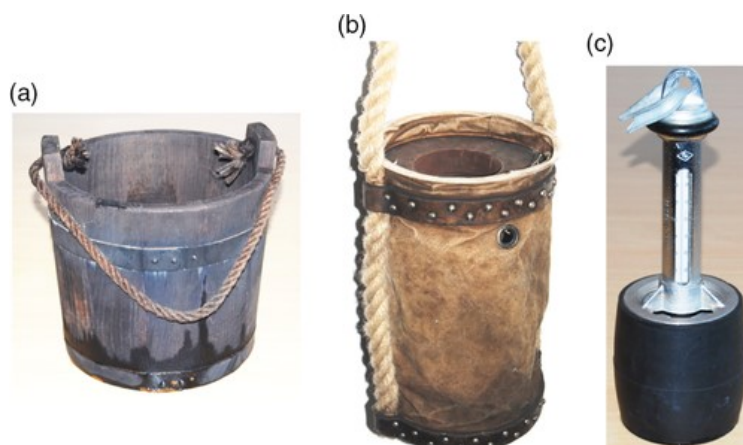
Posledním cílem této práce je zjištění vzájemné závislosti SST v zájmové oblasti SA s teplotami vzduchu a srážkami v Evropě s využitím korelací. Porozumění souvislosti mezi klimatickými proměnnými, jako jsou teploty a srážky s hodnotami SST je klíčové například pro sezónní předpovědi počasí.

SST a její trendy se doposud zaměřovaly na roční nebo sezónní hodnoty, na měsíční škále nebyly doposud nikým publikovány, a tak je předložená práce první svého druhu. Zároveň se tomuto tématu věnuji již od bakalářské práce, kdy jsem obsáhla značnou část vydaných odborných článků zaměřených na dané téma. V průběhu psaní diplomové práce jsem volila články vydané po roce 2015, abych doplnila aktuální informace a výzkumy zaměřené na SST, trendy a jejich vliv na klima v Evropě.

2 Způsoby měření SST

K souvislému měření SST ve světových oceánech dochází přibližně v posledních 150 letech od konce 19. století. V počátcích docházelo k měření či odvozování SST přístroji na pobřeží, z lodí a bójí. Historické měření SST na oceánech či mořích se provádělo za pomoci několika druhů kbelíků, do kterých byla nabírána voda, která byla následně změřena teploměrem. Měření z lodí kbelíky bylo ustanoveno na námořní konferenci v Bruselu roku 1853 (Woodruff a kol., 2008). Nejběžnější kbelíky využívané k měření teploty vody byly ze dřeva či z plátěného materiálu (obr. 1). Dřevěná vědra mohla být vyrobena např. z dubu a po obvodu byla vyztužena nerezovými pásy. Plátěná vědra byla z plátna pouze po obvodu, ale konstrukce byla dřevěná s kovovým závažím uvnitř.

Obr. 1: Kbelíky používané k měření SST (a – dřevěné vědro, b – plátěné vědro, c – německá naběračka)



Zdroj: Carella a kol. 2017

Naměřená data SST prostřednictvím kbelíků mají ale spoustu chyb či nevýhod jejich využití. Charakteristické zkreslení SST je silně závislé na způsobu měření (Kent a kol., 2016). Známé faktory ovlivňující SST jsou odpařování, přímé a nepřímé radiační výměny tepla, strukturální charakteristiky kbelíků (materiál, rozměr) a proudění vzduchu (Kent a kol., 2016). Výše zmíněné faktory byly odhadnuty z fyzikálních modelů (Folland, Parker, 1995). Nejistota spojená se zkreslenými daty z kbelíků ovlivňuje například od roku 1880 hodnoty globální povrchové teploty (Jones, 2016).

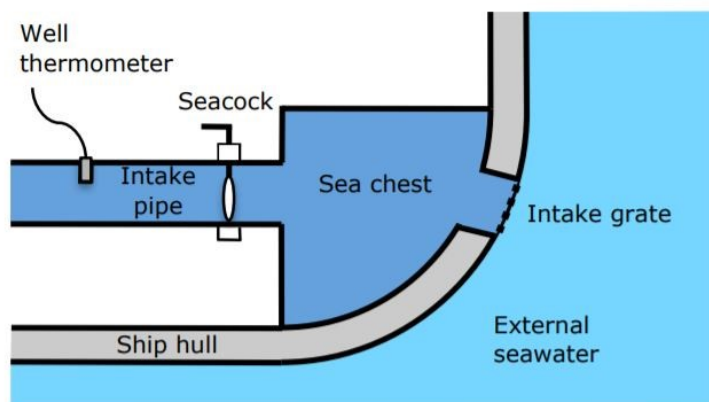
Měření SST pomocí kbelíků ale není pouze historií. V současnosti dochází k měření za pomoci německé naběračky, která je moderní verzí kbelíkového měření (Carella a kol., 2017). Pokrytí měření z bójí není dostatečné, a tak dochází k získávání dat moderní verzí kbelíků i v dnešní době. Od 20. let 20. století došlo k modernizaci a nahrazení dřevěných kbelíků gumovými kbelíky, které jsou lépe izolované. Po vhození kbelíku z můstku ve výšce 30 m na obchodní lodi může kbelík

nabrat rychlost i 10 m/s a vytažení kbelíku pak bývá opravdu náročné. Podíl měření kbelíkovou metodou se však snižuje, jelikož došlo k jeho nahrazení například senzory na trupech lodí (Carella a kol., 2017). Databáze HadISST (anglicky Hadley Centre Sea Ice and Sea Surface Temperature, HadISST) konstruuje úpravy dat získaných naběračkou a upravuje zkreslení z odhadů odchylek vážených měsíčních klimatologických polí založených na fyzikálním modelu od Follanda a Parkera z roku 1995 (Rayner a kol., 2003). Databáze ERSSTv4 (Huang a kol., 2015) upravuje zkreslení dat získaných z lodí na základě nočních teplot mořského vzduchu z datového souboru HadMAT2 (Kent a kol., 2013).

Na lodích se kromě nabírání kbelíků v současnosti využívá měření na trupech obchodních, námořních či vědeckých lodích (Matthews, 2013). Voda je využívána k chlazení motoru a nepředstavuje tak žádný zvláštní požadavek při konstrukci a výrobě lodě. Další lodě zaznamenávají kromě SST i další meteorologické prvky na dobrovolných pozorovacích lodích známých jako VOS (anglicky Voluntary Observing Ships, VOS). Do VOS spadají kontejnerové lodě využívané k přepravě zboží a tankery. Měření na kontejnerových lodích se provádí ve dvou různých hloubkách a záleží také na zatížení lodí nákladem. První měření se provádí v hloubce blízko kýlu a druhé měření o přibližně 2 metry výše. Hloubkové měření se provádí na volném moři nebo v mělkých pobřežních vodách či kanálech. Průměrná hloubka sání u lodí byla v roce 1997 v hloubce 8,4 +/- 4,1 m a největší hloubka sání z téhož roku byla 26 m (Matthews, 2013).

Modernější lodě mají průměrné pozorovací hloubky 7-9 m, jedná-li se o kontejnerové lodě či tankery. Lodě využívané k přepravě hospodářských zvířat přesahují svou měrnou hloubkou 10 m (Kent, 2007). Oceánografické výzkumné lodě odebírají mořskou vodu průměrně v hloubkách 2-4 m a liší se menším vnějším průměrem sacího potrubí. Teploměry k měření se montují do 15 m od vtoku a za mořským kohoutem (obr. 2).

Obr. 2: Schéma typického systému sání chladicí vody motoru na moderní obchodní lodi



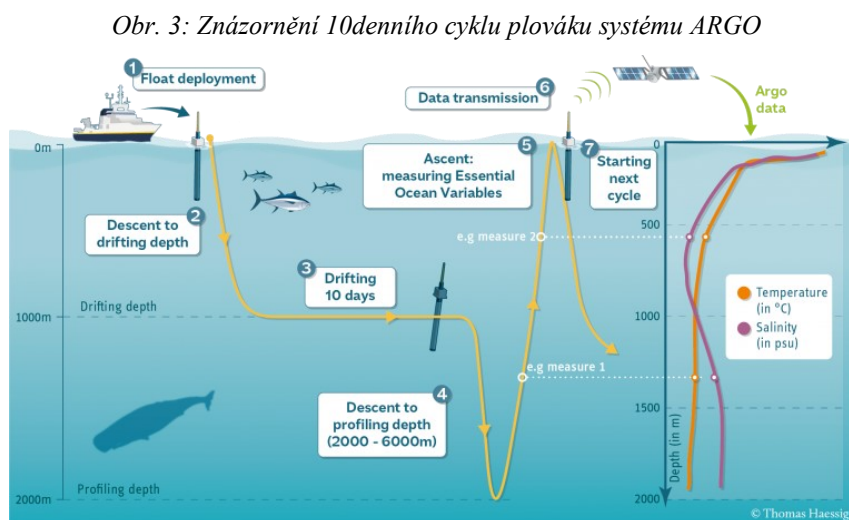
Zdroj: Matthews, 2013

V současnosti se voda přivádí na palubu přes utěšňující kovovou schránku zabudovanou v lodi. Na lodi se nachází jedno hlavní přívodní potrubí a v závislosti na typu lodi i jedno či více vedlejších potrubí, kde se teplota měří na různých místech (Saur, 1963). Měření může být provedeno dvěma způsoby, a to metodami zvanými studna a kohoutek. Při metodě studna dochází k měření SST teplotní sondou uvnitř studny zapuštěné do sacího potrubí, její dno dosahuje přibližně do 1/3 vnitřního průměru sacího potrubí (Piip, 1974). V některých případech může být teplotní sonda umístěna rovnou do potrubí. Studny se plní například olejem a označují se také jako termoventil nebo teploměrná kapsa (Matthews, 2013). V rámci kohoutkové metody dochází k přímému odebírání mořské vody z potrubí, které je opatřeno kohoutkem a následně se měří teplota nabrané vody. K měření byly využívány např. ručně odečítané rtuťové teploměry, příjmové teploměry, platinové odporové teploměry a v některých případech docházelo k zaznamenávání teploty termografem. V posledních letech došlo ke snížení počtu VOS ze 7 500 na necelé 4 000, což vede ke snížení počtu měření ze sání motoru, ale také kbelíků (Kennedy a kol., 2011b).

Měření teploty vody z potrubí bylo částečně nahrazeno kontaktními čidly na trupech lodí, které se rozšířily koncem 90. let 20. století. Teplotní čidla jsou zabudována uvnitř nebo vně trupu a poskytují mnohem více dat, než kolik se získalo sběrem z kbelíků (Kent a kol., 2007). Dnes se podílejí na všech měření z 1/4 (Kent a kol., 2010). Oproti starším lodím jsou ty modernější opatřeny radiačními teploměry, výdejními bathytermografy a vlečnými termistory. Na specializovaných lodích jsou data doplněna o automatizovaná měření především z unášených a kotvených bojích, které byly zavedeny v roce 1978, ale standardizovány byly až v roce 1993 (Rayner a kol., 2010). Předpokládá se, že k měření na bojích dochází přibližně v hloubce 25 cm, ale vzhledem k vlnovému poli je skutečná hloubka měření do 2 m (Emery a kol., 2001).

Další stěžejní měření SST je prováděno plováky umístěnými na bojích. Tato data označovaná jako in situ (manuální či automatické stanice se stálou či málo proměnlivou polohou) se získávají z kotvených a unášených bojů, plováků ARGO a sady nezávislých, plně charakterizovaných a sledovaných měření v rámci validace produktu FRM (anglicky Fiducial Reference Measurements, FRM) (O'Carroll a kol., 2019). Rozmístění bojů ve světovém oceánu je ale nedostatečné, tak dochází k jeho posilování výše zmíněnými odběry přímo z lodí. Jedním ze systému plováků na mezinárodní úrovni je systém ARGO (Array for Real-time Geostrophic Oceanography). ARGO shromažďuje informace z oceánů s flotilou robotických nástrojů, které jsou unášeny mořskými proudy a pohybují se vertikálně mezi povrchem a střední hladinou vody (ARGO 2021). V roce 2020 ARGO shromažďoval data z více než 12 000 datových profilů každý měsíc, což převyšuje množství kterýchkoliv jiných dat z měření pod hladinou oceánu.

Plováky umístěné na bójích systému ARGO jsou spuštěny z lodí a cena plováků se pohybuje v rozmezí od 20 000 do 150 000 dolarů v závislosti na jeho technické specifikaci. Hmotnost plováku musí být dána předem, aby došlo k jeho následnému ustálení v předem nastavené úrovni obvykle kolem 1km. Po 10 dnech dojde vnitřním čerpadlem k převodu oleje mezi nádrží uvnitř plováku a vnějším měchýřem. Plovák sestoupí nejprve do hloubky 2 km a následně se vrací na hladinu oceánu, kdy cestou měří jeho vlastnosti. Data jsou přenášena s využitím satelitů společně s polohou plováků do regionálních datových center, a také do přijímacích stanic na pobřeží. Cyklus (obr. 3) se opakuje každých 10 dnů, dokud nedojde k vybití baterií, které pohání čerpadlo. Systém ARGO si zakládá na tom, aby data byla přístupna do 12 hodin. Jejich kvalita je vyhodnocena v regionálních datových centrech, odkud jsou následně předány dvěma globálním datovým centřům, kde jsou veřejně přístupná. Data ze systémů ARGO a Jason jsou asimilovány do modelů, které vyvinula společnost GODAE OceanPredict, která se snaží o zlepšení schopnosti předpovídat změny charakteristik oceánů (Argo, 2021).



Zdroj: ARGO 2021

Od 80. let 20. století dominují data SST ze satelitního měření. Satelity umožňují měření SST pomocí radiometrů s využitím dlouhovlnného záření v oblasti infračerveného a mikrovlnného pásma o vlnové délce od 10 μm do 1 mm (PO.DAAC, 2021). Přístroje MODIS (anglicky Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer on board, MODIS) nacházející se na satelitech Terra a Aqua společnosti NASA (anglicky National Aeronautics and Space Administration, NASA) obíhají přibližně 14krát denně Zemi. Satelity Terra a Aqua shromažďují více dat SST za 3 měsíce než všechny dosavadní způsoby měření SST před příchodem satelitů (PO.DAAC, 2021). Vyzařování oceánu se nachází mezi infračerveným a mikrovlnným zářením a vlnová délka se mění s teplotou oceánu, z toho důvodu je využívána k měření SST. Měření založené na

infračerveném záření má kvalitnější prostorové rozlišení. Je ale častěji zkresleno oblačností v porovnání s měřeními mikrovlnnými senzory. Větší citlivost na oblačnost je způsobena faktem, že infračervené záření je vyzařováno oceánem, ale zároveň dochází k jeho pohlcování oblačností.

K validaci měření ze satelitních přístrojů se využívají plováky, které snímají teplotu a salinitu oceánů a je jich rozmístěno několik tisíc. Kromě systému ARGO se v oceánech nacházejí plováky v programu GDP (anglicky Global Drifter Program), které poskytují okolo 60 000 nočních měření za měsíc v hloubce 0,2 m. Měření GDP je tak jedním z největších přínosů měření v oblasti SST, salinity oceánů a oceánských proudů (PO.DAAC, 2021). Dalším přínosným programem v oblasti měření SST je projekt GHRSSST (anglicky Group for High Resolution Sea Surface Temperature, GHRSSST), který poskytuje všechny datové sady SST ve formátu dostupném pro různé operační systémy a počítačové platformy. Datové sady SST musejí být poskytovány společně s uvedením chyb daných datových sad nejlépe pro každý pixel.

3 Databáze SST

3.1 Historické databáze

SST může být prezentována jako nejdelší pozorovaná charakteristika oceánů. Jak už bylo zmíněno na začátku předchozí kapitoly, v počátku bylo pozorování SST realizováno převážně na lodích a bójích a následně byly zaznamenávány a archivovány několika národními agenturami. Data SST, která byla archivována na počátcích měření se nepřibližují ani zdaleka tomu, čeho jsme dosáhli od počátku satelitního snímání. V současnosti existuje několik datových souborů SST (tab. 1), které rekonstruují data od 19. století. Databáze obsahují měsíční data SST, ale jednotlivé soubory se liší například prostorovým rozlišením, interpolační metodou doplňující chybějící data, metodami korekce zkreslení a zpracování dat odvozených ze satelitního měření (Yasunaka, Hanawa, 2011).

Tabulka č.1: Přehled datasetů SST

Název data setu	Začátek měření	Prostorové rozlišení (°)	Gridová metoda
ICOADS	1800	2	Simple grid average
HadSST	1850	5	Grid average with some elimination of extreme value
COBE	1850	1	Optimal interpolation
ERSST	1854	2	Reconstruction by EOF
LDEO	1856	5	Reconstruction by RSOS
HadISST	1870	1	Reconstruction by RSOI

zdroj: vlastní zpracování podle Yasunaka a Hanawa, 2011

První vydání databáze ICOADS (anglicky International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set, ICOADS) zahrnuje kvalitní, kontrolovaná a reprezentativní data od roku 1800. Obsahuje měsíční souhrnná data (Worley a kol., 2005). Ačkoliv je SST pozorována globálně nad všemi oceány, tak pokrytí stále není celosvětové. Oblasti, ve kterých nedochází k měření SST se následně dopočítávají na základě různých metod v závislosti na databázích. Právě u ICOADS se jedná o neinterpolovanou databázi, kde v důsledku nesouvislého měření chybí mnoho gridových dat. Nedochází zde ani k vyhlazení či odstranění extrémních hodnot. V novějších studiích je použita aktualizovaná verze ICOADS 2.1, která zahrnuje také data z lodí převzatých z MDB (anglicky Met Office Marine Data Bank, MDB).

Mezi nejstarší databáze SST řadíme například data set Hadley Center Sea Surface temperature (HadSST), která je první verzí dnešní HadISST a archivuje data od roku 1850. HadSST má rozlišení 5° a gridová metoda je založená na metodě grid average, který eliminuje některé extrémní hodnoty (Rayner a kol., 2006). HadSST není interpolována databáze, a tak v datasetu schází značné množství hodnot. Rovněž není v HadSST uplatněn žádný proces kromě základní gridové metody, který by vyčlenil a vyhladil z databáze extrémní hodnoty (Yasunaka, Hanawa, 2011). HadSST používá verzi historické databáze ICOADS, která poskytuje reprezentativní data

o hladině moře z konce 18. století. HadSST byla několikrát aktualizována po prvním vydání v roce 1985 a v současnosti je ve verzi 2.0. Další parametr, který se liší v závislosti na databázi je korekce zkreslení pro historická data SST, kde Rayner a kol. v roce 2006 upravili korekční metodu pozorování autorů Folland a Parker z roku 1995 použitou v ICOADS a aplikovali ji na databázi HadSST. V HadSST jsou zahrnuta rovněž data odvozená ze satelitního snímání, která slouží k získání realistické klimatologie v polárních oblastech asimilací dat Japonské meteorologické agentury a globálního datového souboru mořského ledu a SST (Rayner a kol., 1996).

V tom samém roce 1850 se datuje počátek datasetu COBE (anglicky The centennial in situ observation-based estimate of SSTs), který má prostorové rozlišení 1° a je založen na gridové metodě optimal interpolation (Ishii a kol., 2005). Díky interpolaci zde nejsou na rozdíl od HadSST chybějící gridová data. Zároveň jsou zde interpolačními metodami eliminovány extrémní hodnoty. Stejně jako HadSST i COBE využívá verzi historické databáze ICOADS verze 2.0, která obsahuje reprezentativní hodnoty. Ke zkreslení historických dat SST dochází při rozdílných způsobech jejího měření, kde stanovená obecná hodnota rozdílu zkreslení mezi teplotou sání motoru a naběračky je $0,3^\circ\text{C}$ (Jones a kol., 1986). Folland a Parker v roce 1995 odhalili za pomoci modelu efekt chlazení odpařováním při měření naběračkami a jejich korekce byla následně využita nejen v COBE databázi. Stejně jako HadSST i COBE používá odvozená SST data ze satelitu k asimilaci podle autorů Rayner a kol. z roku 1996. Nová informace, která přibyla v databázi COBE je informace o mořském ledu zvyšující pokrytí dat ve vyšších zeměpisných šířkách. Přítomnost mořského ledu se odhaduje v databázi statistickými metodami z koncentrace mořského ledu a SST (Yasunaka, Hanawa, 2011).

V roce 1854 začíná databáze ERSST (anglicky the extended reconstruction of global SST, ERSST) s prostorovým rozlišením 2° a gridovou metodou využívající EOF (anglicky empirical orthogonal functions, EOFs) (Smith, Reynolds, 2004). Databáze ERSST je založena na historické databázi ICOADS vydání 2.0. Pro interpolaci chybějících gridových dat jsou hodnoty v ERSST rekonstruovány za pomoci EOF (Yasunaka, Hanawa, 2011). Jelikož se jedná o interpolovanou databázi, tak extrémní hodnoty jsou eliminovány. Smith a Reynolds 2002 navrhli korekční metodu zkreslení historických SST založenou na nočních teplotách mořského vzduchu a pozorování SST, jejichž verzi upravili v roce 2004 a následně ji aplikovali na ERSST. Databáze ERSST využívá data in situ, která jsou upravena kalibračním postupem, ale i tak v něm zanechávají některá zkreslení (Rayner a kol., 2003). Později ale došlo k odstranění satelitních dat z databáze a z internetu. Data set obsahuje informace o mořském ledu a zahrnuje je tak do své analýzy pro lepší pokrytí ve vysokých zeměpisných šířkách. SST v oblastech vysokých zeměpisných šířek se získávají nastavením jejich hodnot na bod mrazu mořské vody v gridových boxech, které jsou

pokryty z více než 90 % ledem.

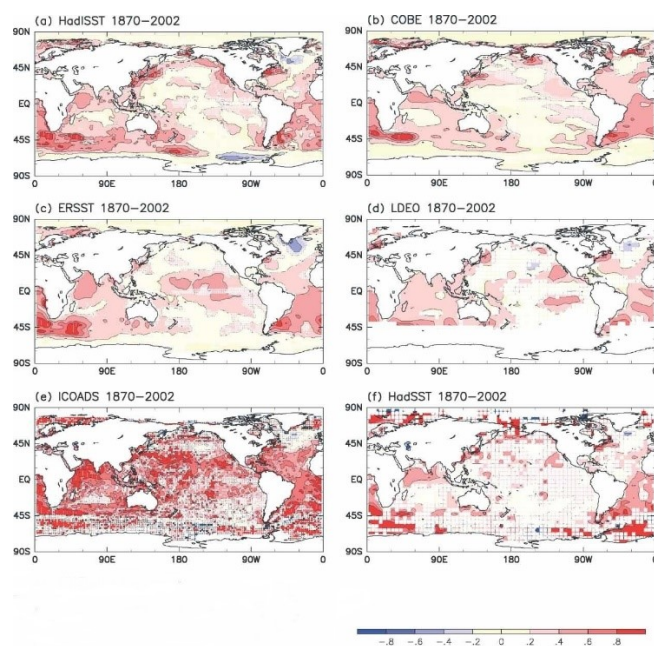
Od roku 1856 poskytuje data databáze LDEO (anglicky Lamont-Doherty Earth Observatory, LDEO) s prostorovým rozlišením 5° využívající gridovací metodu Reconstruction by RSOS (Kaplan a kol., 2003). Chybějící gridová data jsou doplněna metodou EOF a rovněž jsou zde interpolačními procesy vyřazeny extrémní hodnoty. V data setu se nachází data z lodí převzatá z MDB a v posledních letech se využívají také zprávy z GTS (anglicky Global Telecommunications System, GTS). LDEO přijala opravu zkreslení historických SST na základě práce autorů Folland a Parker z roku 2005 (Yasunaka, Hanawa, 2011). Odvozená satelitní data SST v LDEO jsou kombinací in situ a satelitního pozorování využívané k vytváření projekce do redukovaného prostoru analýzy (Reynolds a kol, 2002). Nenachází se zde informace o mořském ledu a nevěnuje se žádná speciální pozornost dlouhodobým změnám.

Poslední zmíněnou databází, která obsahuje data od roku 1870 je HadISST s prostorovým rozlišením 1°, která je založená na gridovací metodě Reconstruction by RSOI (anglicky Reduced-space optimal interpolation, RSOI) (Rayner a kol., 2003). HadISST využívá redukovanou prostorovou optimální interpolaci aplikovanou na SST z Marine Data Bank, kde využívá také lodní měření a ICOADS do roku 1981 v kombinaci s in situ měřením a upravenými SST odvozenými ze satelitů pro rok 1982 a dále (NCAR, 2021). Chybějící gridová data se získávají interpolačními metodami. Interpolační metody v HadISST slouží také k odstranění extrémních hodnot (Yasunaka, Hanawa, 2011). K vylepšení pokrytí dat HadISST byly využity měsíční střední hodnoty SST z let 1871-1995 ze souboru COADS (anglicky Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set, COADS), který neobsahoval žádné údaje z MDB (APDRC, 2020). Informace z lodí zahrnuté v HadISST jsou převzaty z MDB, která od roku 1982 rovněž zahrnuje data přijatá prostřednictvím telekomunikačního globálního systému GTS (Met Office, 2021). Úpravy, které slouží ke korekci zkreslení historických SST se mění a aktuálně HadISST přijímá opravu autorů Folland a Parker z roku 1995, kteří tvrdí, že „odhalili časově a plošně proměnlivé korekce pomocí modelu pro efekt chlazení odpařováním při měření kbelíky“ a jejich korekce byly využívány v několika databázích včetně této. Před interpolačním procesem HadISST zpracovává data odvozená ze satelitu a AVHRR (anglicky Advanced Very High Resolution Radiometer, AVHRR) jsou sloučeny s pozorováním in situ (Rayner a kol., 2003). Výše zmíněná korekce kbelíků byla aplikována na SST v letech 1871-1941. Na rozdíl od HadSST zahrnuje databáze HadISTT informace o mořském ledu z důvodu zvýšení pokrytí dat ve vyšších nadmořských výškách. SST byla přiřazena pevná hodnota -1,8 °C pro oblasti s pokrytím mořského ledu vyšším než 90 % (NCAR, 2021). Data o mořském ledu jsou převzata z několika zdrojů obsahujících digitalizované mapy mořského ledu, pasivní mikrovlnné satelitní vyhledávání a provozní analýzy ledu NCEP

(anglicky National Centers for Environmental Prediction, NCEP).

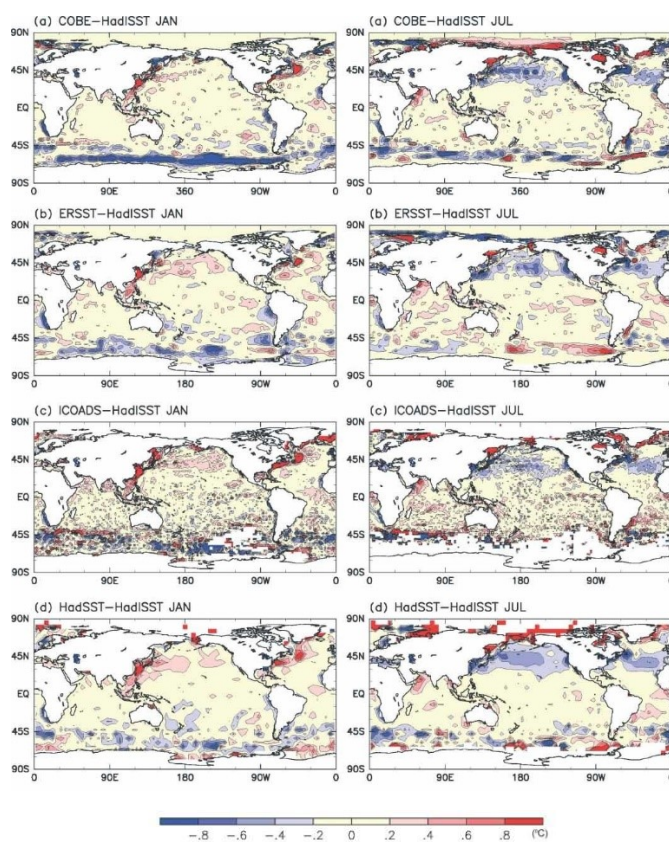
HadISST s sebou přináší ale několik hlavních omezení. Po roce 1941 došlo ke změnám měření SST, které data set nezohledňuje, což může narušit výsledná pole. V polárních oblastech čerpá z omezených dat, zejména v jižním oceánu, což ale nemá vliv na naši zájmovou oblast. V aktuálních studiích bývá HadISST i přes tyto nedostatky velmi často využívána mimo jiné i v Ishii a kol., (2005). Autoři Yasunaka a Hanawa ve své studii z roku 2011 využili data z HadISST k výpočtu dlouhodobých lineárních trendů (obr. 4), které se využívají k zachycení globálních změn na Zemi a kontrolují tak například celosvětové oteplování. Dále ve zmíněné studii modelují na základě HadISST 30letou klimatologii a porovnávají HadISST s dalšími databázemi (obr. 5) v letech 1971 až 2000. Ačkoliv rozdíly mezi databázemi a HadISST vycházejí méně než 0,5 °C ve většině oceánech, tak rozdíly u pobřeží kontinentů mohou dosahovat až 1°C (Yasunaka, Hanawa, 2011).

Obr. 4: Lineární trendy SST ve °C za 10letí v jednotlivých datasetech pro období 1870-2002
HadISST (a), Cobe (b), ESRRT (c), ICOADS (d), ICOADS (e) a HadSST (f)



Zdroj: Yasunaka, Hanawa, 2011

Obr. 5: Rozdíly mezi 30letými průměry SST (období 1971-2000) v HadISST a ročními průměry v datasetech Cobe (a), ESRRT (b), ICOADS (c) a HadSST (d)



Zdroj: Yasunaka, Hanawa, 2011

4 SST v Severním Atlantiku

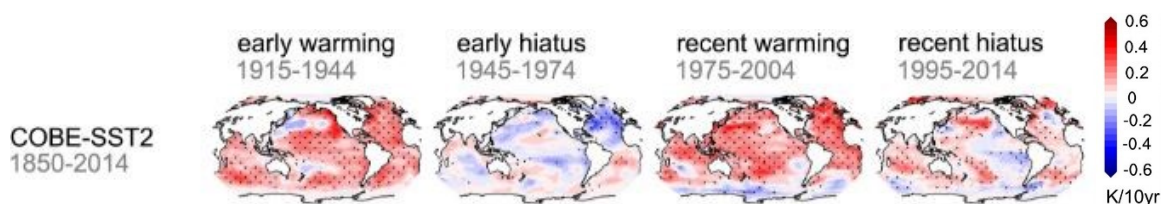
4.1 Trendy SST

Trendy slouží k detekci dlouhodobého vývoje dané charakteristiky. Jsou nedílnou součástí výzkumu chování SST, jejich detekce je nezbytná k porozumění možných vlivů SST na minulé, současné a budoucí klima. Statisticky významné lineární trendy odhalují konzistentní chování teploty. V minulosti se změny globální SST většinou připisovaly zejména rostoucí koncentraci skleníkových plynů v atmosféře (Hartmann a kol., 2013). Výzkum z roku 2017 ale prokázal, že časové i prostorové změny SST jsou silně ovlivňovány velikostí atmosférických radiačních zpětných vazeb (Armour, 2017). Prostorové a časové změny prostorového rozložení SST silně ovlivňují velikost zpětné vazby atmosférického záření a simulace s předepsanou pozorovanou strukturou SST vykazují nižší odhady citlivosti klimatu než historické simulace s dynamickým hlubinným oceánem (Marvel a kol., 2018).

Tato teorie je založená na rovnici klimatické citlivosti ECS (anglicky ekvilibrium climate sensitivity, ECS). Autoři se snaží dokázat, že nedávné změny klimatu nejsou vhodné pro výzkum dlouhodobé proměnlivosti (Andrews a kol., 2018). Simulované změny rozložení SST získané globálním klimatickým modelem se totiž neshodují s pozorovanými daty (Kostov a kol., 2018). Vzhledem k tomu, že klimatický systém sám o sobě je velmi chaotický a neuspořádaný, nelze očekávat, že modely budou simulovat trendy SST shodné s pozorovanými trendy v regionálním měřítku (Olonscheck a kol., 2020).

Na základě databáze Cobe-SST byly spočítány trendy SST v SA (obr. 6) pro 4 různá období mezi lety 1915-2014. Teplota ve světových oceánech silně rostla v první pol. 20. století a mezi roky 1975-2004 (obr. 6). Bylo detekováno období 1949-1974, kdy se oceány ochlazovaly, a období 1995-2014, kdy chování SST bylo prostorově nehomogenní. Teplota v SA odpovídá chování světových oceánů, trendy jsou v jednotlivých obdobích dokonce výraznější. Od roku 1995 SST rostla na západě a severu Atlantského oceánu, zatímco na východě šlo spíše o pokles SST (Hand a kol., 2019).

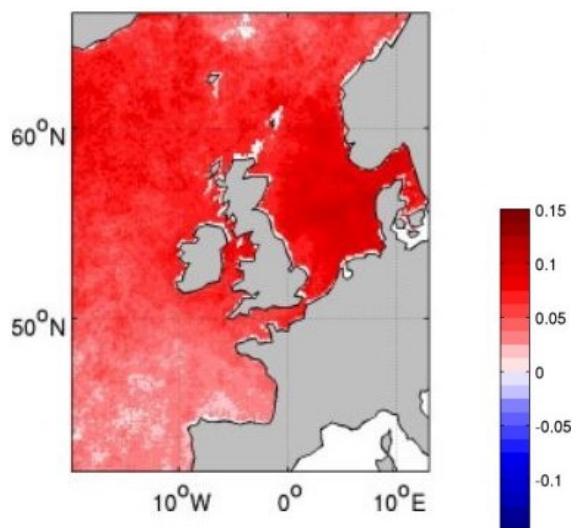
Obr. 6: Pozorované trendy SST pro čtyři různá období v letech 1915-2014 od datasetu COBE-SST2



Zdroj: Olonscheck a kol., 2020

Zaměříme-li se na specifickou oblast SA, tak například v oblasti severozápadního evropského šelfu dochází během posledních desetiletí k oteplování. Je detekované v dlouhodobém měření a i ze satelitního pozorování (Hughes a kol., 2010b). V Severním moři (SM) došlo k oteplení povrchových vod za období 1985-2004 o 0,06 °C za rok, což je několikanásobně větší trend v porovnání s globálním trendem, který byl $0,017 \pm 0,005$ °C za rok . Tyto trendy byly určeny z naměřených dat AVHRR (anglicky Advanced High Resolution Radiometer, AVHRR) (obr. 7). Západoevropská šelfová oblast je tedy považována za jedno z několika míst označovaných jako „hot spots“, neboli žhavé oblasti globálního oteplování. Pochopení změn v této oblasti bude zásadní pro scénáře budoucí změny klimatu, která ovlivní přilehlý evropský kontinent (Holt a kol., 2012).

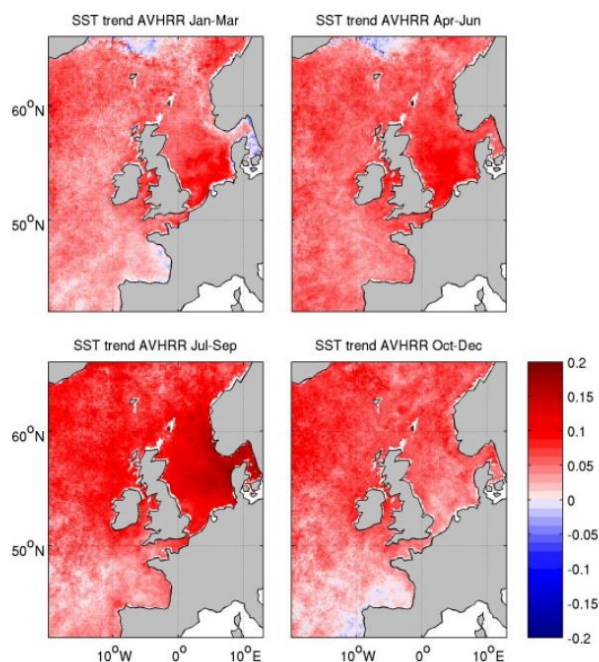
Obr. 7: Roční lineární trendy SST ve °C za 10 let v období 1985-2004



Zdroj: Holt a kol., 2012

Sezónní trendy SST (obr. 8) z oblasti SM v letech 1985-2004 ukazují nejsilnější nárůst SST v letních měsících (červenec až září) zejména v oblasti západně od Dánska. Naopak k nejmenšímu oteplování SST v SM docházelo v měsících říjen až prosinec. Slabé ochlazení povrchu SA lze pozorovat během první poloviny kalendářního roku na severu Norského moře (Holt a kol., 2012).

Obr. 8: Sezónní lineární trendy SST v letech 1985-2004



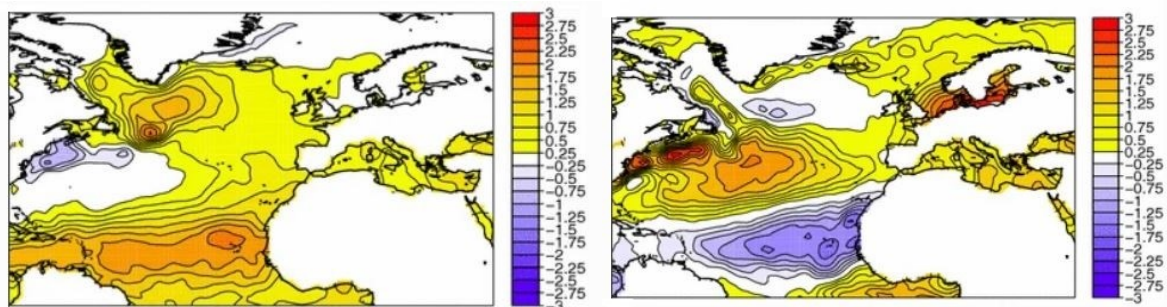
Zdroj: Holt a kol., 2012

4.2 Vliv SST na klima v Evropě

Hlavní zdroje srážek nad Evropou pocházejí z přilehlých moří a oceánů. Bylo prokázáno, že rozdíly změn SST ovlivňují srážky nad Evropou (Lenderink a kol., 2009). V minulosti docházelo k podhodnocení vlivu SST na klima přiléhajícího území, což se ale v posledních letech řada vědců snaží změnit a tento nezanedbatelný vliv prokázat.

Na popis vlivu variability SST v SA na teploty a srážky v období 1960-2011 se zaměřili Lienert a Doblás-Reyes (2017). Pomocí analýzy hlavních složek (EOF) identifikovaly dva hlavní módy proměnlivosti, které vystihují variabilitu SST během celého roku (obr. 9).

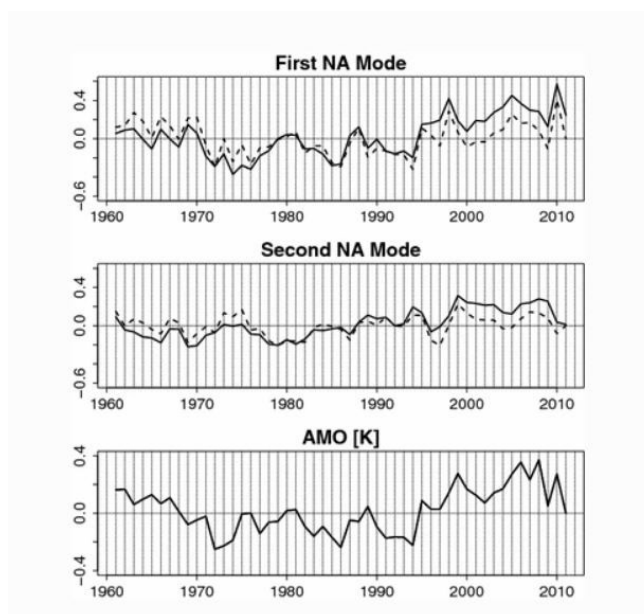
Obr. 9: Mapa anomálií SST pro první a druhý mód proměnlivosti SST v letech 1960-2011



Zdroj: Lienert, Doblás-Reyes, 2017

Dohromady vysvětlují 43 % proměnlivosti SST v SA. První režim proměnlivosti má jedno centrum tvořené pásem sahajícím od západní Afriky ke Karibskému moři a druhé centrum souhlasné polarity v západním SA jižně od Grónska. Malé centrum opačné polarity se nachází u východního pobřeží USA. Druhý mód má dvě srovnatelně rozlehlá centra opačné polarity rozložená po celé šíři SA zhruba podél obratníku Raka. Kladné centrum má své maximum u severovýchodního pobřeží USA a také v BA s SM. Oba hlavní módy proměnlivosti jsou úzce spjaty s AMO (obr. 10), korelace mezi prvním módem a AMO je přibližně 60 % a korelace mezi druhým módem a AMO je 23 %.

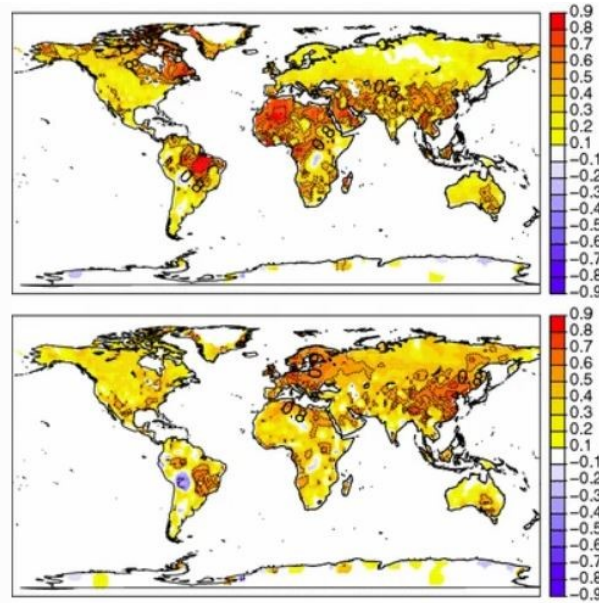
Obr. 10: Pozorovaná časová řada dvou hlavních módů proměnlivosti v porovnání s indexem AMO



Zdroj: Lienert, Doblas-Reyes, 2017

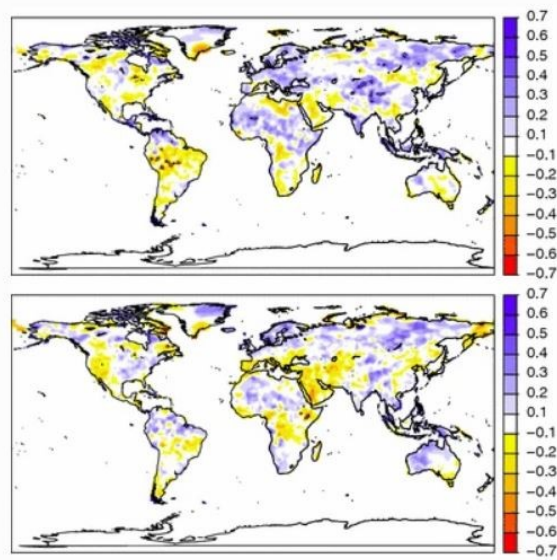
Mapy korelací mezi módy proměnlivosti SST v SA a klimatickými prvky na pevninách ukazují, že pro teploty a srážky v Evropě je důležitější druhý mód. Jak je patrné z map na Obr. 11. a 12, vliv prvního módu je dominantní zejména v severní Africe, v Brazílii a v případě teplot také na severovýchodě Severní Ameriky. Druhý mód ovlivňuje silně teploty a srážky na většině Evropského území. Přitom zvýšené SST v oblasti SM a Baltského moře (BM) vedou ke zvýšení teplot na Evropském kontinentu a zároveň zvýšení srážek ve Skandinávii a na Britských ostrovech, zatímco na Pyrenejském poloostrově a v jihovýchodní Evropě jsou pozorovány menší úhrny srážek.

Obr. 11: Pozorované teplotní anomálie ve dvou módech EOF



Zdroj: Lienert, Doblas-Reyes, 2017

Obr. 12: Pozorované srážkové anomálie ve dvou módech EOF



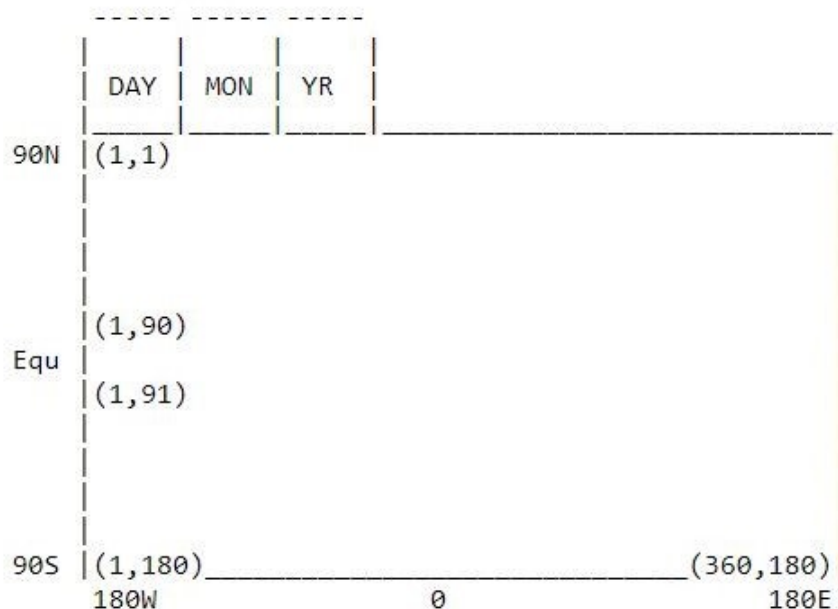
Zdroj: Lienert, Doblas-Reyes, 2017

5 Data

Ke zkoumání vlivu SST v SA byla zvolena databáze HadISST1 z Mett office Hadley Centre observations datasets za období 1980 až 2019 (Mett Office, 2019).

Tato databáze byla vybrána po nastudování odborných prací, po porovnání s dalšími databázemi a s ohledem na dostupnost dat. Data z Mett Office jsou volně dostupná ke stažení a obsahují rovněž klíč k formátu dat (obr. 13). Jedná se zároveň o jednu z nejdelších databází založených na pozorovaných in situ datech COADS, která následně od vzniku satelitního pozorování využívá i satelitní data. Na rozdíl od HadSST obsahuje informace o ledu, které se mohou vyskytovat v severních oblastech SA. Dataset HadISST má prostorové rozlišení 1° a jedná se o interpolovanou databázi. Dle mého názoru je nezbytné co nejmenší prostorové rozlišení v případě, že zájmové území není tolik plošně rozsáhlé. Dataset obsahuje určité nedostatky jako například omezená data z polárních oblastí. Ale pro naši zájmovou oblast se jedná o nepodstatnou vadu. Období od roku 1980 bylo zvoleno tak, aby data neobsahovala výrazné skoky způsobené přidáním satelitních měření k původním in situ měřením SST. Vstupní data SST, jsou uvedena ve $^\circ\text{C}$ a zaokrouhlena na jedno desetinné místo. Území pokryté ledem, zamrzlé území a pevnina je v datech označeno „nan“.

Obr. 13: Formát dat HadISST



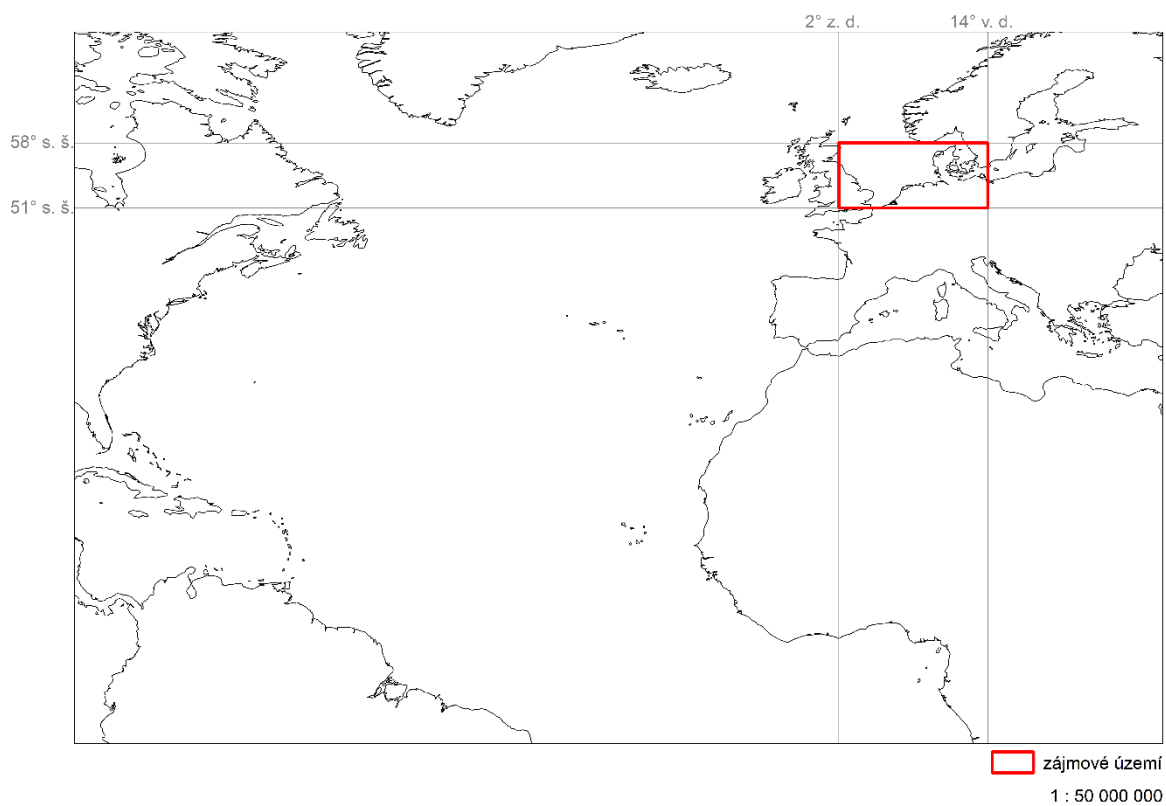
Zdroj: Mett office, 2019

Pro určení vlivu SST na pevninské klima v Evropě byla zvolena databáze E-OBS 24.0e. Jedná se o staniční data přepočítaná do pravidelné sítě pokrývající oblast 25° s. š. - $71,5^{\circ}$ s. š. x 25° z. d. - 45° v. d. Základ datasetu E-OBS tvoří smíšené časové řady denních charakteristik ze sítě stanic in situ ECA&D (anglicky European Climate Assessment & Dataset, ECA&D). Časové řady v uzlových bodech jsou konstruovány pomocí metody podmíněné simulace. Pro každého člena souboru je vytvořeno prostorově korelované náhodné pole pomocí předem vypočítané prostorové korelační funkce (ECAD, 2022). Všechna data pocházejí přímo od meteorologických a hydrologických služeb či obdobných institucí NMHS (anglicky National Meteorological and Hydrological Services), která je spravují. Hustota sítě je s ohledem na počet použitých stanic mnohem detailnější než ta, která je běžně sdílána mezi NMHS (Climate Data Store, 2022). Dochází k neustálému navyšování hustoty sítě díky těsnější spolupráci NMHS v rámci Evropské unie. V datasetu E-OBS se jedná o denní data pokrývající 24 hodin v každém časovém kroku v závislosti na jednotlivých regionech. Někde dochází k odečítání dat o půlnoci a jinde ráno (ECAD, 2022). V horizontálním měřítku má dataset $0,25^{\circ}$ x $0,25^{\circ}$ (Climate Data Store, 2022). Příklad hlavních proměnných, které E-OBS zahrnuje, jsou průměrná, maximální a minimální teplota udaná ve $^{\circ}\text{C}$, množství srážek v mm, relativní vlhkost v % a rychlost větru v m s^{-1} . V mé práci jsem použila průměrnou denní teplotu a denní úhrny srážek, ze kterých jsem v jednotlivých uzlových bodech spočítala měsíční průměry v případě teploty a měsíční úhrny v případě srážek v jednotlivých letech studovaného období. Ty jsem následně použila pro výpočet korelací.

Data k vymezení pobřeží Evropy byla použita z webu Nature Earth Data ve středním měřítku 1:50 m (Nature Earth Data, 2022). Stažena byla data pevniny a mřížky v rozlišení 1° zeměpisné šířky i zeměpisné délky k vymezení mapy zájmového území.

Zájmové území v Severním Atlantiku (obr. 14), které bylo vybráno převážně na základě výzkumné práce od autorů Lienert a Doblas-Reyes z roku 2017, se rozkládá mezi 51° s. š. - 58° s. š. x 2° z. d. - 14° v. d. V posledních desetiletích je na tomto území pozorovaný až třikrát vyšší nárůst SST oproti globálnímu oceánu (Holt a kol., 2012). Tento důvod byl jedním z hlavních, které rozhodly proč se věnovat právě zmiňovanému zájmovému území. Druhým neméně podstatným důvodem je vliv právě této oblasti na klima v Evropě. Nachází se zde jedno z center druhého módu proměnlivosti popsaného v Lienert a Doblas-Reyes (2017), které specificky ovlivňuje srážky a teploty v Evropě.

Obr. 14: Mapa zájmového území



Zdroj vstupních dat: Nature Earth; vlastní zpracování

6 Metodika

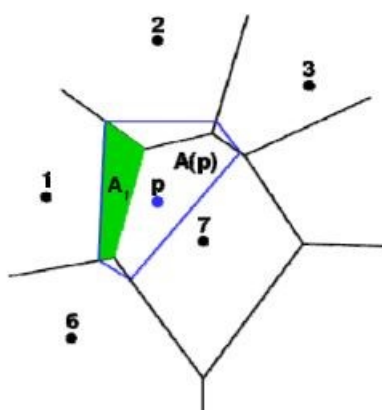
Vstupní data byla zpracována v programu Python a MS Excel, ale grafické výstupy a výsledné mapy byly vytvořeny v programu ArcMap 10.6.1. Mapy jsou opatřeny v závislosti na zkoumaném jevu barevnými škálami znázorňující průměrné teploty, trendy a korelace se srážkami a teplotami v zájmové oblasti.

Ze vstupních dat bylo nejprve nutné vybrat zájmové území a následně spočítat průměrné teploty ve °C. Spočítány byly průměry za celé období 1980-2019 pro jednotlivé měsíce a následně pro celé 40leté období. Jelikož se jedná o měsíce s velmi odlišnými teplotami, tak bylo nutné vytvořit pro všechny měsíce a celé období jednotnou stupnici zahrnující všechny naměřené teploty. Data byla z programu Python vyexportována ve formátu .csv, se kterým nadále mohu pracovat v programu MS Excel. Vyexportovaná data v programu MS Excel byla vložena do programu ArcMap 10.6.1, kde byla následně graficky zpracována. Dále byly spočítány průměrné měsíční hodnoty pro celou zájmovou oblast, které byly následně použity pro výpočet korelací.

V programu ArcMap 10.6.1 bylo nutné vizualizovat data v atributové tabulce za pomoci interpolační metody. Vyzkoušeny byly například metody Feature to Raster či interpolační metoda IDW, ale ani jedna nevyhovovala požadavkům. Metoda IDW byla příliš striktní a nevykreslovala krajní dva body zájmového území. Nakonec byla použita metoda přirozeného souseda (anglicky natural neighbour), která vykreslila naměřené hodnoty i se zahrnutím krajních bodů u pevniny. Data průměrných teplot byla rozdělena do 17 intervalů zahrnujících nejnížší naměřenou hodnotu 2,2 °C až nejvyšší naměřenou hodnotu 18,5 °C. Barevná škála je rozdělena po jednom °C, aby byla vypovídající pro jednotlivé měsíce, které se výrazně liší teplotou. Číselné hodnoty vedle barevné škály označují spodní hranice intervalů. Nejtmavší červená, resp. modrá tak znázorňuje interval 18-19 °C resp. 2-3 °C.

Metoda přirozeného souseda je založena na Thiessenových polygonech, které určují jejich váhu. Jakmile vložíme interpolovaný bod do sítě Thiessenových polygonů, tak způsobíme její přeorganizování v okolí právě zpracovávaného bodu (obr. 15). V tomto okamžiku vznikají dvě sítě polygonů, prvotní a přebudovaná síť, kde došlo k přidání bodu. Polygon s přidáním bodem překrývá části prvotních polygonů již známých bodů. Právě zmiňované body se označují za přirozené sousedy a budou tak zahrnuty do interpolace přebudovaného bodu. Polygony jednotlivých sousedů oddělují plochy, které jsou váhami přirozených sousedů. Jedná se o velice efektivní metodu v případě, že jsou měřené hodnoty umístěny pravidelně (jako je tomu i zde). Výsledné struktury modelovaného jevu jsou spojitě, vyhlazené a neobsahují extrapolované hodnoty.

Obr. 15: Přeorganizování sítě v metodě přirozeného souseda po přidání dalšího bodu



Zdroj: Křikavová, 2009

Kromě průměrných teplot v rámci zmiňovaného období byly spočítány trendy pro období 1980-2019. Na rozdíl od průměrných teplot byly trendy počítány za dekádu, aby výsledná hodnota byla názornější. Trendy byly počítány v programu Python jako lineární regrese s testováním statistické významnosti koeficientu na hladině 0,01 v rámci Mann-Kendall Trend Test. Mann-Kendall Trend Test se využívá k určení, zda existuje trend v datech časové řady. Jedná se o neparametrický test, který lze použít i pro data, která neodpovídají normálnímu rozdělení (STATISTICSHOWTO, 2022). Zakládá se na nulové hypotéze, že v datech není přítomen žádný trend a alternativní hypotéza, že v datech je přítomen trend. Může se ale jednat jak o pozitivní, tak o negativní trend. Hodnoty trendů byly opět vyexportovány ve formátu .csv, aby se s nimi i v tomto případě mohlo pracovat v programu MS Excel, ze kterého jsou vizualizována programem ArcMap 10.6.1.

Do programu ArcMap 10.6.1 byla vložena data trendů. Ty byly opět interpolovány stejně jako průměrné SST za pomoci metody nejbližšího souseda. Uzlové body s trendy významnými na hladině významnosti 0,01 jsou vyznačeny červeně, nevýznamné trendy a ostatní uzlové body jsou vyznačeny v mapách křížkem. Trendy byly rozděleny do 23 intervalů v rozpětí od -0,7 do 1,5 barevnou škálou vypovídající opět pro všechny měsíce a celé zájmové období tak, aby zahrnovaly minimální a maximální hodnoty v letech 1980-2019.

V programu MS Excel byly vypočteny korelace průměrných SST v zájmové oblasti s teplotami vzduchu a srážkami v Evropě v letech 1980-2019. Interval korelací od -1 do 1 byl rozdělený barevnou škálou do 10 intervalů po 0,2. Následně byla data upravena v programu ArcMap 10.6.1, kde byla interpolována metodou nejbližšího souseda, tak jako u předešlých analýz.

7 Výsledky

7.1 Průměrné SST v zájmové oblasti v letech 1980-2019

Průměrné SST jsou stěžejním výpočtem v rámci každé práce, která se zabývá povrchovou vrstvou hladiny oceánů. Průměrné měsíční teploty SST v rámci zájmového území v letech 1980-2019 byly vypočteny na základě vstupních dat z databáze HadISST. Přehledné zpracování průměrných teplot SST za celé zájmové období a také minimální a maximální průměrná teplota dosažená v zájmové oblasti v jednotlivých měsících je uvedena v tabulce č. 2.

Tabulka č. 2: Průměrná, minimální a maximální SST za celé období 1980-2019 a v jednotlivých měsících pro celou zájmovou oblast

	Průměrná teplota	Minimální teplota	Maximální teplota
1980-2019	10,54	9,53	12,12
Leden	6,43	2,80	8,34
Únor	5,57	2,36	7,35
Březen	5,51	2,25	7,33
Duben	6,99	4,05	8,75
Květen	9,90	8,75	11,22
Červen	13,36	11,05	15,74
Červenec	15,59	12,74	17,67
Srpen	16,70	13,60	18,49
Září	15,07	12,68	17,32
Říjen	12,91	11,40	15,37
Listopad	10,28	8,61	12,64
Prosinec	8,09	4,01	10,15

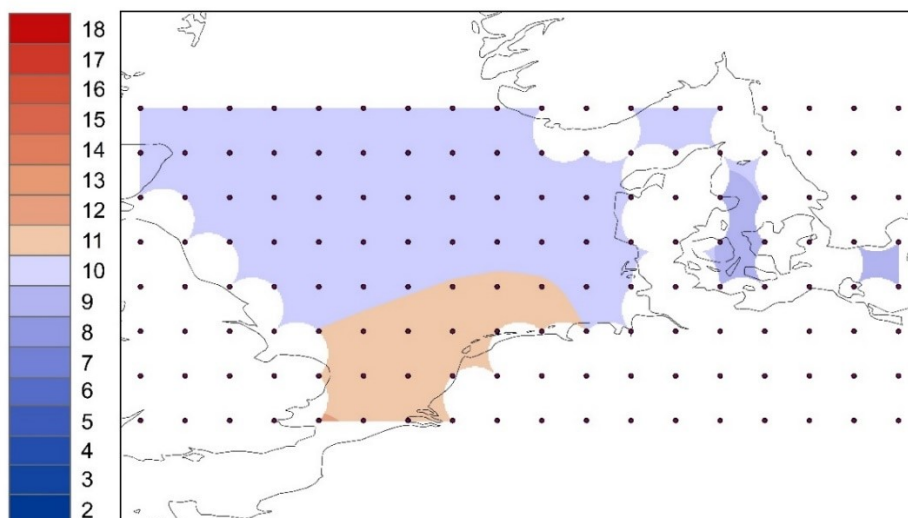
Zdroj: Mett office Hadley Centre Observations dataset, vlastní zpracování

Za 40leté období se průměrná roční SST v letech 1980-2019 (obr. 16) na většině zájmové oblasti pohybuje mezi 9 a 11 °C, nejvyšších hodnot dosahuje v Lamanšském průlivu 12,1 °C. Nejchladnější ze zájmové oblasti je povrch západního BM na východě od Dánska, kde roční průměr dosahuje pouhých 9,5 °C. Nejchladnější je povrch SA v březnu, nejteplejší v srpnu. V následujících odstavcích rozebírám průměrné teploty v jednotlivých měsících.

V měsíci leden (obr.17) pozorujeme, že nejchladnější oblast je v západním BM. Směrem k ostrovům VB je SM teplejší. Nejnížší naměřená hodnota je 2,8 °C a nejvyšší naměřená hodnota v měsíci leden je 8,3 °C, ačkoliv většině území dominují hodnoty okolo 7 °C.

V únoru (obr. 18) je SM chladnější a rostoucí gradient směřuje od západního Baltu k Britským ostrovům. Maximální hodnoty průměrných teplot SST v rámci zájmového území jsou 7,4 °C, ale dominují zde na většině území teploty okolo 6 °C.

Obr. 16: Průměrné SST ve °C zobrazené v intervalu 1 °C za celé sledované období 1980-2019



Zdroj vstupních dat: Met Office Hadley Centre observations datasets, vlastní zpracování

Vysvětlivky: Číselné hodnoty vedle barevné škály označují spodní hranice intervalů. Nejtmavší červená, resp. modrá tak znázorňuje interval 18-19 °C resp. 2-3 °C.

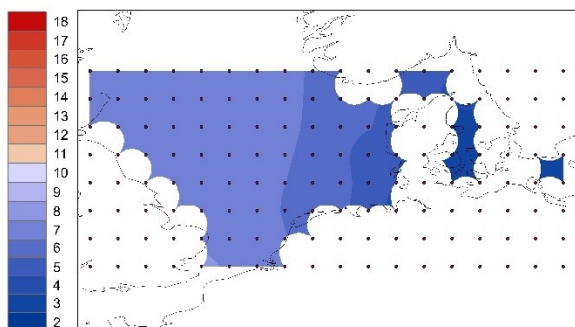
Březnové průměrné SST (obr. 19) jsou nižší než v lednu a únoru a směrem od pevniny rostou k ostrovům Velké Británie (VB). Nejnižší naměřené březnové průměrné SST jsou v západním BM a pohybují se okolo 2,5 °C a nejvyšší naměřená hodnota průměrné SST je 7,4 °C. Největší část zájmového území v měsíci březen dosahuje teplot 5-6 °C a pouze u jihovýchodního břehu VB a severně od VB byla naměřená průměrná teplota nad 7 °C.

V dubnu (obr. 20) dochází k pozvolnému oteplení povrchu oceánu a gradient se mění ze západovýchodního na severojižní, tedy od SM směrem k Lamanšskému průlivu. Jedná se o první měsíc, kdy nejnižší naměřená průměrná SST neklesá po 4 °C a nejvyšší naměřená hodnota je 8,4 °C. Dominantní naměřené teploty jsou 6-7 °C.

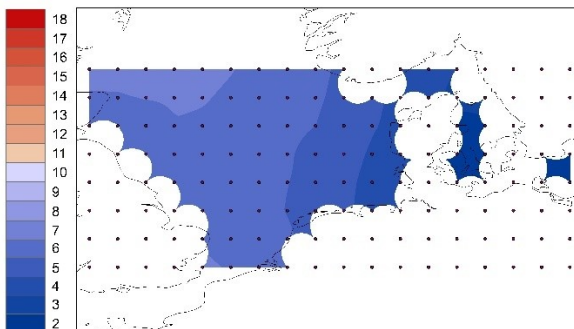
V květnu (obr. 21) jsou už naměřené hodnoty o dost vyšší než v předešlých měsících. Nejnižší naměřená hodnota je 8,8 °C a nejvyšší naměřená hodnota 11,2 °C prvně přesahuje 10 °C. Zatímco v předchozích měsících patřil západ BM mezi nejchladnější, v květnu zde naopak pozorujeme nejvyšší průměrné SST v rámci zájmového území.

V měsíci červen (obr. 22) již všechny naměřené průměrné SST dosahují více než 11 °C. Nejnižší naměřená průměrná teplota SST je 11,1 °C v Lamanšském průlivu a nejvyšší naměřená teplota je 15,6 °C v západním BM v blízkosti pevniny. Gradient má stále severojižní směr. Převládající průměrné teploty v měsíci červen jsou 11-12 °C.

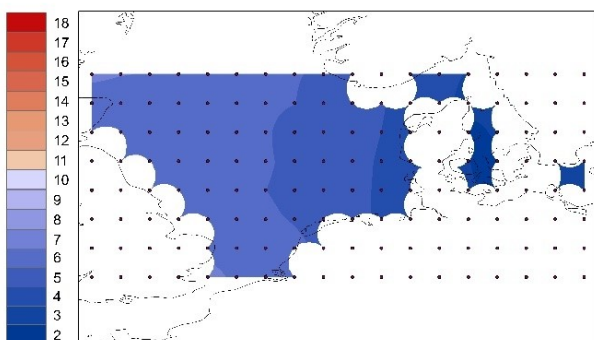
Obr. 17: Průměrné SST v měsíci leden, zobrazení a zdroj je stejný jako v obr. 16



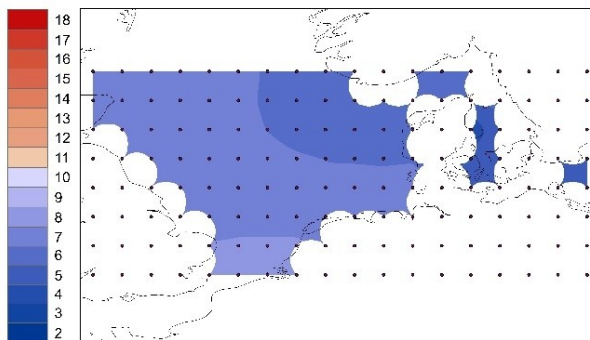
Obr. 18: Průměrné SST v měsíci únor, zobrazení a zdroj je stejný jako v obr. 16



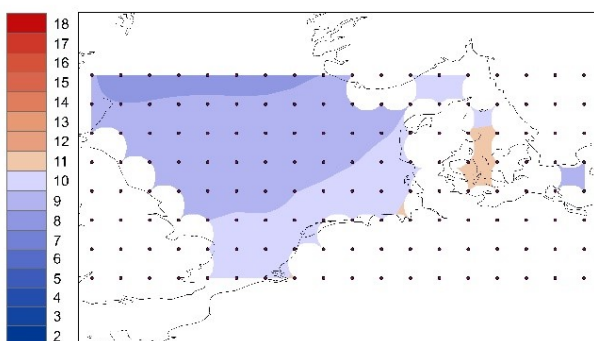
Obr. 19: Průměrné SST v měsíci březen, zobrazení a zdroj je stejný jako v obr. 16



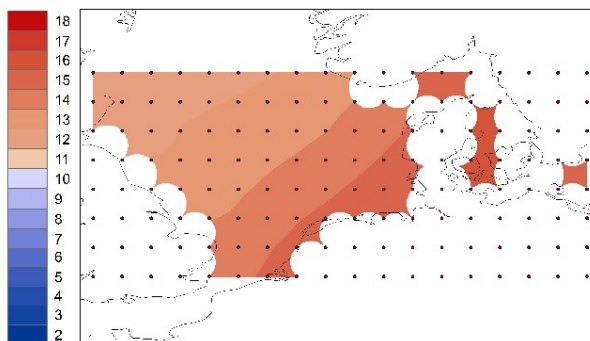
Obr. 20: Průměrné SST v měsíci duben, zobrazení a zdroj je stejný jako v obr. 16



Obr. 21: Průměrné SST v měsíci květen, zobrazení a zdroj je stejný jako v obr. 16



Obr. 22: Průměrné SST v měsíci červen, zobrazení a zdroj je stejný jako v obr. 16



Průměrné SST naměřené v měsíci červenec (obr. 23) se pohybují mezi 12,7 °C a 17,7 °C. Gradient teplot v zájmové oblasti směřuje od severovýchodního pobřeží VB, kde jsou SST nejmenší, k západnímu BM. Na obrázku č. 23 je patrné, že teplota roste pozvolna směrem k břehům Německa.

Srpen je měsíc, kdy je povrch SA v zájmové oblasti v průměru nejteplejší během sledovaných 40 let (obr. 24), nejnížší naměřená SST 13,1 °C je severně od VB v krajním uzlovém bodě. Teplota povrchu SM narůstá směrem k břehům Německa a Dánska, kde dosahuje 18,5 °C.

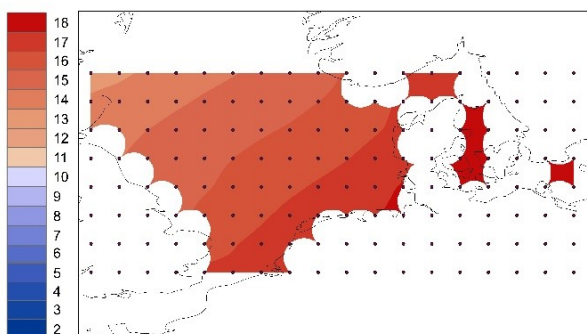
V září (obr. 25) jsou teploty poněkud nižší, od 12,7 °C po 17,3 °C. Gradient směřuje od nejnižších SST v SA severně od VB k břehům Evropy. Nejteplejší je povrch oceánu u pobřeží Belgie a Nizozemska.

V říjnu (obr. 26) v zájmové oblasti dochází k poklesu teplot, klesající gradient směřuje od nejvyšších hodnot v Lamanšském průlivu směrem k severozápadu, jen v blízkosti Jutského poloostrova jsou naměřené průměrné SST ještě okolo 12 °C. Nejnížší naměřená hodnota 11,4 °C je na severozápadě zájmové oblasti a nejvyšší naměřená hodnota v Lamanšském průlivu je 15,4 °C.

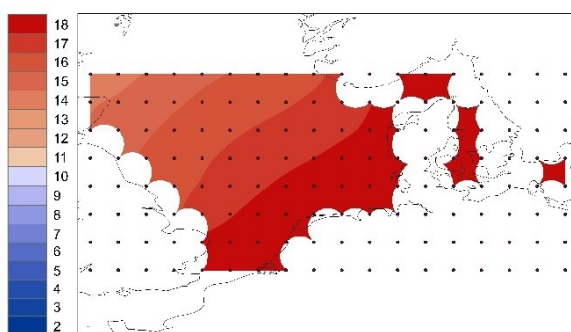
Listopadový měsíc (obr. 27) je zřetelně chladnější, jelikož naměřené hodnoty opět klesají pod 10 °C. Nejnížší naměřená hodnota v západní části BM je 8,6 °C a nejvyšší naměřená teplota stále v poměrně teplém SM na jihu zájmové oblasti je 12,7 °C. Gradient opět získává severojižní směr.

V posledním měsíci prosinci (obr. 28) nedosahují průměrné SST téměř v celém zájmovém území 10 °C. Z obrázku je patrné, že převážná část území má teploty okolo 8 °C. Nejnížší naměřená teplota je v západní části BM 4,0 °C a nejvyšší naměřená teplota 10,2 °C u jihovýchodních břehů VB, zde je jediná lokalita z celého území s průměrnou SST přesahující 10 °C. V prosinci je interval průměrných teplot ve sledované oblasti z celého roku nejširší.

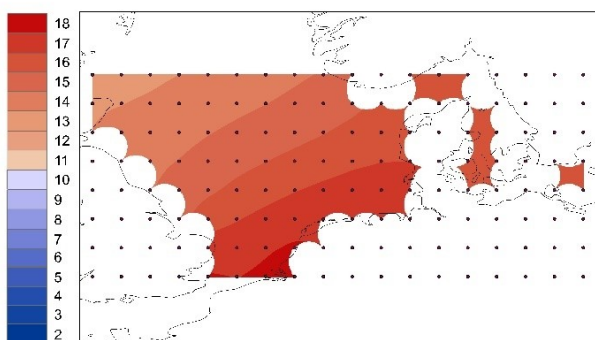
Obr. 23: Průměrné SST v měsíci červenec, zobrazení a zdroj je stejné jako v obr. 16



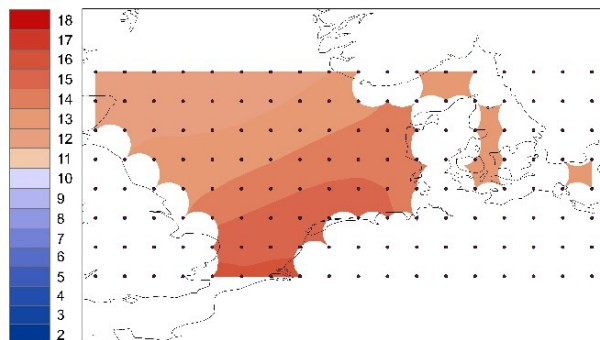
Obr. 24: Průměrné SST v měsíci srpen, zobrazení a zdroj je stejné jako v obr. 16



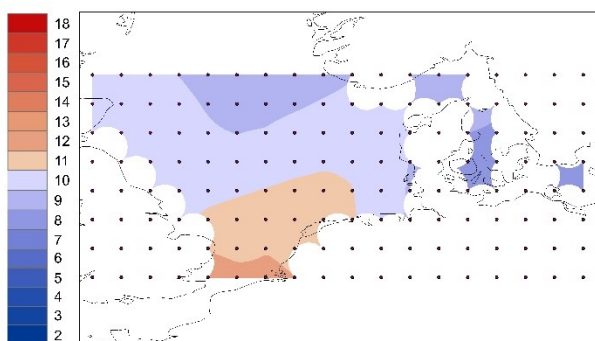
Obr. 25: Průměrné SST v měsíci září, zobrazení a zdroj je stejné jako v obr. 16



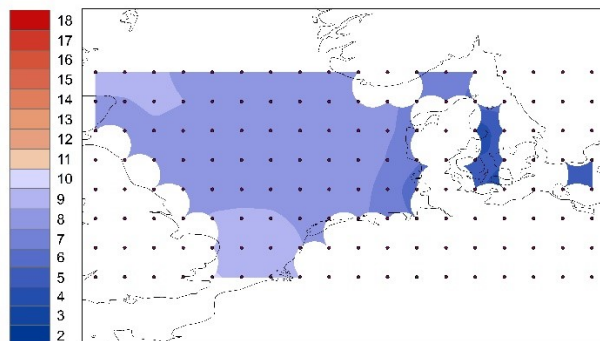
Obr. 26: Průměrné SST v měsíci říjen, zobrazení a zdroj je stejné jako v obr. 16



Obr. 27: Průměrné SST v měsíci listopad, zobrazení a zdroj je stejné jako v obr. 16



Obr. 28: Průměrné SST v měsíci prosinec, zobrazení a zdroj je stejné jako v obr. 16



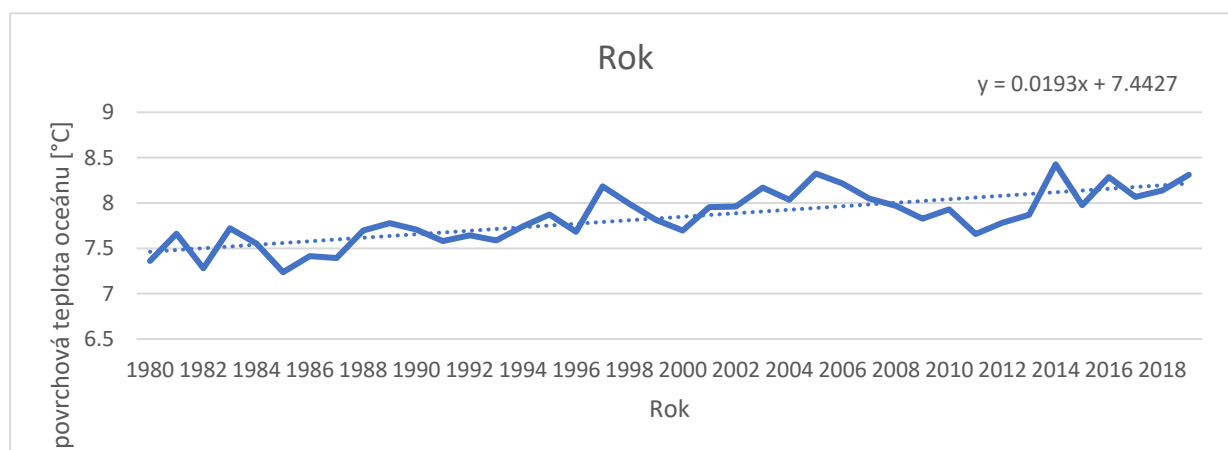
7.2 Trendy SST v zájmové oblasti v letech 1980-2019

Na základě trendů obecně můžeme odhadovat dlouhodobý vývoj zkoumaného jevu, v našem případě se jedná o trendy průměrných SST. V jednotlivých uzlových bodech zájmové oblasti byly trendy SST z období 1980-2019 přepočteny na dekádu a byla testována jejich statistická významnost na hladině 0,01 a to jak pro jednotlivé měsíce tak pro průměrné roční SST.

Roční trendy pro celé období 1980-2019 jsou kladné a statisticky významné ve všech uzlových bodech až na jeden v západním BM (obr. 30). Trendy ukazují dlouhodobý nárůst SST v průměru o 0,4 °C za 10 let. Za sledovaných 40 let tedy vzrostla SST zhruba o 1,6 °C/10 let. Přitom největší nárůst pozorujeme v oblasti západního BM východně od pobřeží Dánska a v SM mezi Německem a JV pobřežím VB. Nejnižší vypočítaný trend ročních průměrů za celé 40leté období je 0,02 °C/10 let a nejvyšší trend 0,7 °C /10 let. Roční průměrná SST z celého území kontinuálně roste (obr. 29) a mění se v intervalu od 7,2 °C do 8,4 °C. Graf zobrazuje roky s výrazně teplejším či chladnějším povrchem SA. Nejchladnější roky jsou na začátku sledovaného období a později rok 2011. Na druhou stranu nejteplejší roky jsou ke konci sledovaného období, dále roky 2006, 2005 a na počátku pozorovaného období například 1998 a 1997. Nejchladnější povrch SA byl v roce 1985 a nejteplejší v roce 2014.

V jednotlivých měsících převládaly na sledovaném území kladné trendy SST, v některých uzlových bodech na východě zájmového území byly detekovány v měsících prosinec až duben trendy záporné. Jedná se o body v okolí Dánska. V ostatních měsících jsou trendy ve všech bodech kladné na celé oblasti, i když ne vždy jsou statisticky významné. V odstavcích, které následují, popisují detailněji měsíční trendy.

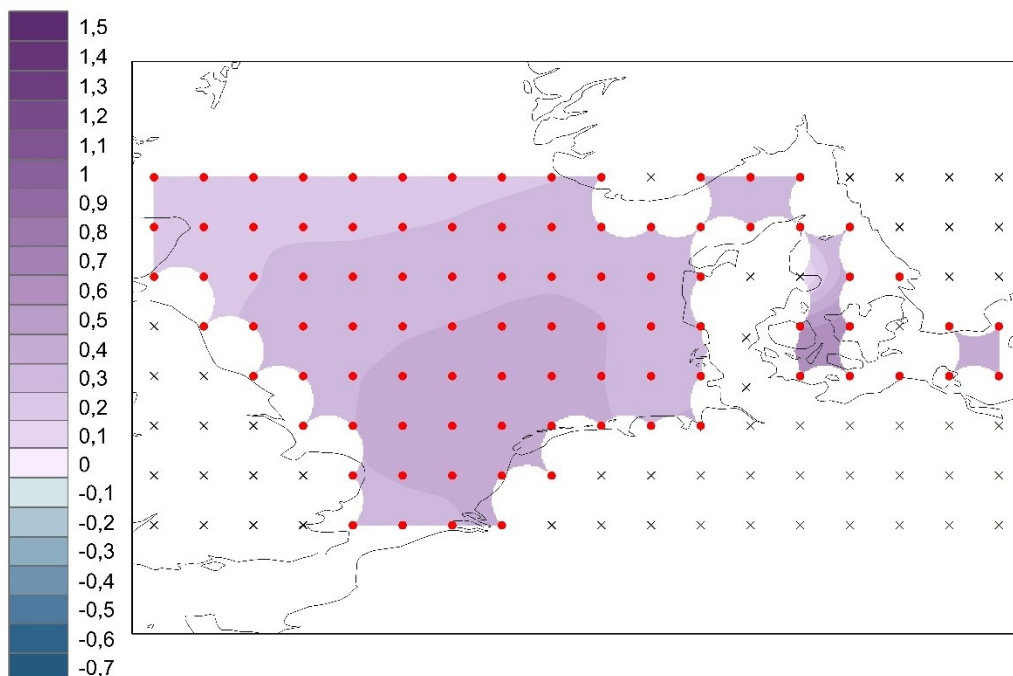
Obr. 29: Časová řada ročních průměrných SST pro celé zájmové území (plná čára), lineární trend pro období 1980-2019 (tečkovaná čára) a rovnice přímky lineárního trendu



Zdroj vstupních dat: Met Office Hadley Centre observations datasets, vlastní zpracování

Obr. 30: Trendy SST v zájmové oblasti za celé sledované období 1980-2019.

Barevná stupnice vlevo zobrazuje velikost trendů ve $^{\circ}\text{C}/10$ let, hodnoty vedle stupnice platí pro dolní hranici intervalu, červené body – uzlové body s významným trendem, černý křížek – uzlové body s nevýznamným trendem a ostatní uzlové body



Zdroj: Mett Office Hadley Centre Observations Dataset, vlastní zpracování

Vysvětlivky: Číselné hodnoty vedle barevné škály označují spodní hranice intervalů. Nejtmavší fialová, resp. modrá tak znázorňuje interval 1,5 až 1,6 $^{\circ}\text{C}$ resp. -0,7 až -0,6 $^{\circ}\text{C}$.

V lednu (obr. 31) na území západního BM byly spočítány záporné trendy, které dosahovaly hodnot až $-0,6^{\circ}\text{C}/10$ let. K postupnému nárůstu trendů dochází směrem k pobřeží VB, kde trend dosahuje maximálních hodnot $0,7^{\circ}\text{C}/10$ let. Významné trendy vyznačené červeně na obrázku č. 30 jsou převážně v oblasti okolo pobřeží VB a pět se jich nachází v oblasti západního BM. Průměrná teplota pro celou oblast rostla o $0,24^{\circ}\text{C}/10$ let. Nejnižší SST byla v letech 1982, 1987, 1997 a 2011, nejvyšší v roce 2008. Meziroční proměnlivost lednových SST (příloha č. 1) je v porovnání s následujícími měsíci poměrně vysoká.

V únoru (obr. 32) bylo odhaleno více záporných trendů v okolí celého Jutského poloostrova. Nejvíce SST klesaly o $0,5^{\circ}\text{C}/\text{let}$ v jednom uzlovém bodě blízko města Bønnerup v Dánsku, ovšem směrem k západnímu BM se trend mění na kladný. Zřejmý je nárůst trendů od Jutského poloostrova směrem k Lamanšské úžině, kde trend dosahoval maximálních hodnot $0,5^{\circ}\text{C}/10$ let. Významné kladné trendy v měsíci únor jsou při severovýchodním pobřeží VB a dva se nacházejí v oblasti západního BM. Meziroční proměnlivost (příloha č. 2) je z celého roku nejnižší a také

trend je slabý a statisticky nevýznamný. Nejvyšší SST byla v letech 1998 a 2005, nejnižší v roce 2012.

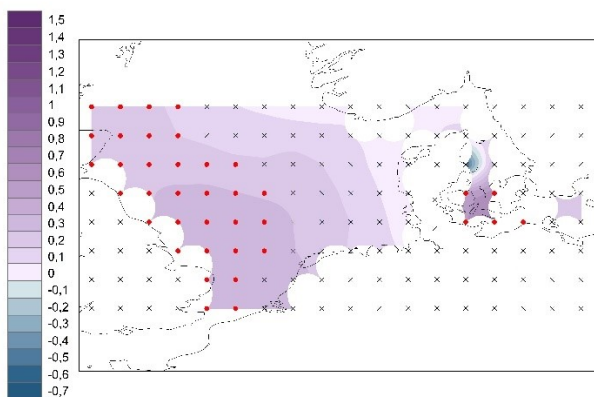
V březnovém měsíci (obr. 33) byl dominantní trend $0,2 \text{ } ^\circ\text{C}/10 \text{ let}$ téměř v celé oblasti SM s výjimkou pobřeží Belgie, kde trend dosahoval hodnot $0,3$ až $0,4 \text{ } ^\circ\text{C}/10 \text{ let}$. Maximální hodnoty trendu $0,6 \text{ } ^\circ\text{C}/10 \text{ let}$ jsou v západním BM a minimální hodnota trendu $-0,7 \text{ } ^\circ\text{C}/10 \text{ let}$ byla detekována u Bønnerup. V měsíci březen se významné trendy nacházejí pouze v severozápadní oblasti zájmového území. Meziroční proměnlivost (příloha č. 3) je i v tomto měsíci velmi malá, trend průměrných SST je méně než $0,1 \text{ } ^\circ\text{C}/10 \text{ let}$ a je statisticky nevýznamný. Nejvyšší a nejnižší SST byla ve stejných letech jako v únoru.

V dubnu (obr. 34) jsou téměř všechny trendy kladné, až na jediný uzlový bod s trendem $-0,7 \text{ } ^\circ\text{C}/10 \text{ let}$ na východě Jutského poloostrova. K pozvolnému nárůstu trendů dochází směrem od severu VB směrem k pobřeží Belgie. Maximální hodnoty jsou v oblasti západního BM, kde dosahují až k téměř nejvyšším hodnotám za celé období $1,5 \text{ } ^\circ\text{C}/10 \text{ let}$. V tomto měsíci je tedy interval trendů v uzlových bodech zájmové oblasti největší z celého roku. Průměrné dubnové teploty (příloha č. 4) z celé oblasti se meziročně mění v intervalu menším než $1 \text{ } ^\circ\text{C}$, trend dosahující hodnoty $0,1 \text{ } ^\circ\text{C}/10 \text{ let}$ je statisticky významný. Nejvyšší SST byla v letech 1997, 1998 a 2005, nejnižší v roce 1985 a 2012.

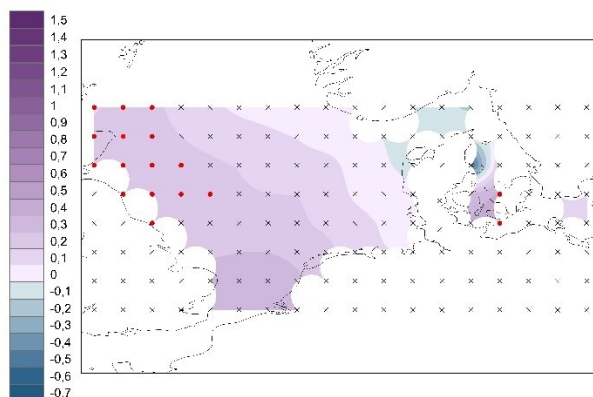
Květnové trendy (obr. 35) se opět zvyšují směr od severozápadního břehu VB k pobřeží Nizozemska a severu Německa. Trendy se pohybují v rozmezí $0,4$ až $0,5 \text{ } ^\circ\text{C}/10 \text{ let}$, vysoké jsou v západním BM. V květnu jsou významné trendy téměř všechny po celém zájmovém území. Meziroční proměnlivost SST (příloha č. 5) je větší než v předchozích měsících, průměrná teplota pro celé území se pohybovala v intervalu 5 až $6,4 \text{ } ^\circ\text{C}$, nejteplejší byla hladina SA v roce 2005, nechlادnější v letech 2012 a 2013.

V červnu (obr. 36) jsou opět nejvyšší trendy lokalizované u pobřeží Německa, Belgie, Nizozemska a v BM. Hodnota trendu se zvyšuje ze severozápadu zájmové oblasti, kde byly detekovány maximální hodnoty trendů $0,6 \text{ } ^\circ\text{C}/10 \text{ let}$, směrem k pobřeží kontinentální Evropy s hodnotami trendu $0,2 \text{ } ^\circ\text{C}/10 \text{ let}$. Trendy na většině území se pohybují v rozmezí $0,3$ až $0,5 \text{ } ^\circ\text{C}/10 \text{ let}$. Významné trendy se nacházejí v severozápadní části zájmového území až k Lamanšské úžině, břehům kontinentální Evropy a také v oblasti západního BM. Meziroční proměnlivost (příloha č. 6) SST je větší než v předchozích měsících, průměrná teplota byla v intervalu 5 až $6,4 \text{ } ^\circ\text{C}$, nejteplejší byla hladina SA v roce 2005, nechlادnější v letech 2012 a 2013.

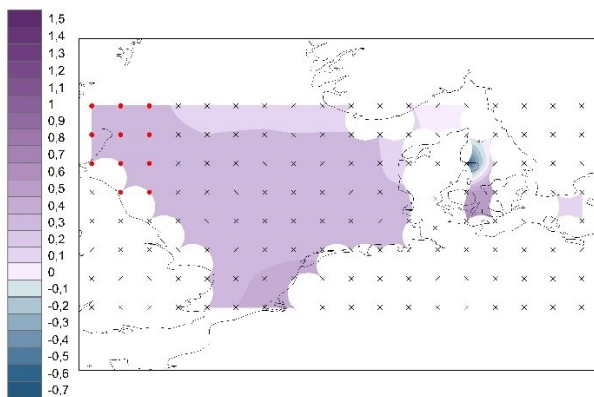
Obr. 31: Trendy SST v měsíci leden,
zobrazení a zdroj je stejné jako v obr. 30



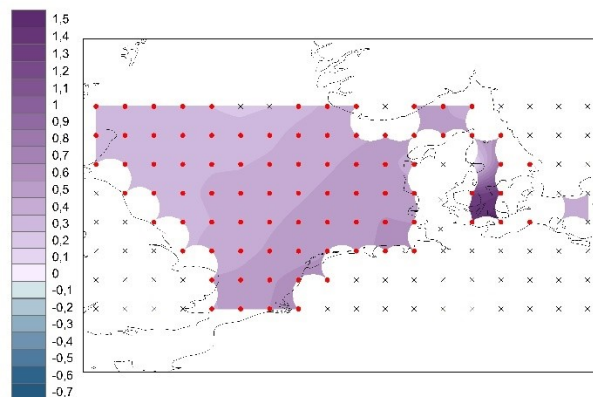
Obr. 32: Trendy SST v měsíci únor,
zobrazení a zdroj je stejné jako v obr. 30



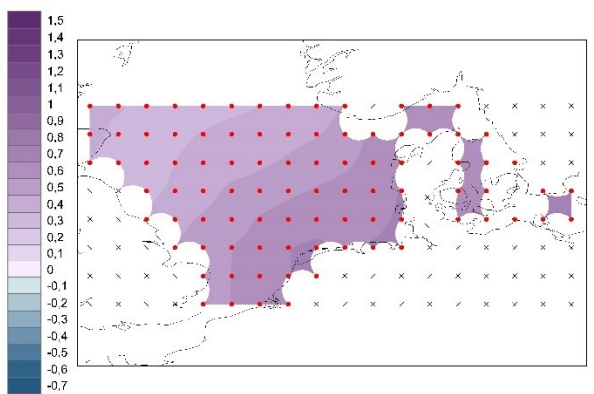
Obr. 33: Trendy SST v měsíci březen,
zobrazení a zdroj je stejné jako v obr. 30



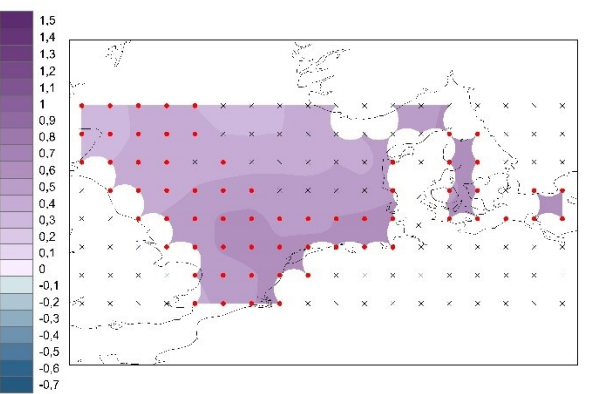
Obr. 34: Trendy SST v měsíci duben,
zobrazení a zdroj je stejné jako v obr. 30



Obr. 35: Trendy SST v měsíci květen,
zobrazení a zdroj je stejné jako v obr. 30



Obr. 36: Trendy SST v měsíci červen,
zobrazení a zdroj je stejné jako v obr. 30



V měsíci červenec (obr. 37) dochází ke změně nárůstu trendu směrem k Lamanšské úžině. Nejnižší detekované trendy $0,3 \text{ } ^\circ\text{C}/10 \text{ let}$ jsou na severozápadě zájmové oblasti. V tomto měsíci jsou trendy poměrně vysoké na celém území směrem k oblasti západního BM a pobřeží Německa a Dánska, kde dosahují maximální hodnoty $0,7 \text{ } ^\circ\text{C}/10 \text{ let}$. Významné trendy vyšly opět téměř na celém území SM a BM. V červenci byla meziroční proměnlivost (příloha č. 7) nejvyšší ze všech měsíců. Průměrné SST se pohybovaly v intervalu od $13,9 \text{ } ^\circ\text{C}$ do $17,6 \text{ } ^\circ\text{C}$. Nejvyšší SST byla v letech 2006, 2018 a 2014, nejnižší byla naopak v letech 1984, 1996 a 1981.

V srpnu (obr. 38) dochází k nárůstu trendu SST od západu, kde hodnoty začínají na $0,3 \text{ } ^\circ\text{C}/10 \text{ let}$, směrem k východu a zvyšují se až do západního BM, kde hodnoty trendu dosahují $0,6 \text{ } ^\circ\text{C}/10 \text{ let}$. Trendy jsou významné na většině zájmové oblasti v SM i BM. V průměrných srpnových teplotách (příloha č. 8) dochází k menší meziroční variabilitě než v předchozím měsíci červenec v intervalu od $11,2$ až $13,5 \text{ } ^\circ\text{C}$. Nejvyšší SST se vyskytovala v letech 2014, 2019 a 1997, nejnižší v letech 1985, 1992 a 1982.

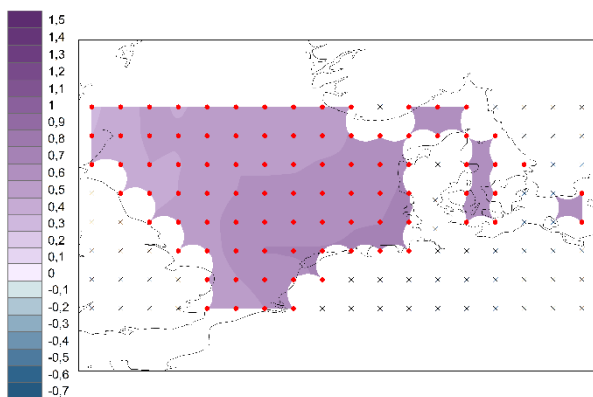
V září (obr. 39) nabírá nárůst trendů jihovýchodní směr od minimálních hodnot $0,3 \text{ } ^\circ\text{C}/10 \text{ let}$ na západě zájmové oblasti do maximálních hodnot $0,6 \text{ } ^\circ\text{C}/10 \text{ let}$ na východě území. Významné trendy jsou stále na téměř celém území. Meziroční proměnlivost je nižší než v srpnu a průměrné SST se pohybují v intervalu od $10,7$ až $12,5 \text{ } ^\circ\text{C}$. Nejvyšší SST byla v letech 2014, 2016 a 1997, nejnižší ve stejných letech jako v srpnu.

V měsíci říjen (obr. 40) je nárůst trendů výraznější, směřuje jihovýchodním směrem a maximální hodnoty se pohybují uprostřed SM v zájmové oblasti. Nejnižší hodnota trendu $0,2 \text{ } ^\circ\text{C}$ byla vypočtena u pobřeží západního Dánska. Nejvyšší hodnota trendu $0,5 \text{ } ^\circ\text{C}$ se vyskytuje uprostřed SM. Významné trendy jsou stále na převážně celém zájmovém území. Meziroční proměnlivost je poměrně malá. Nejvyšší průměrná SST byla v roce 2006 a nejnižší v roce 1982.

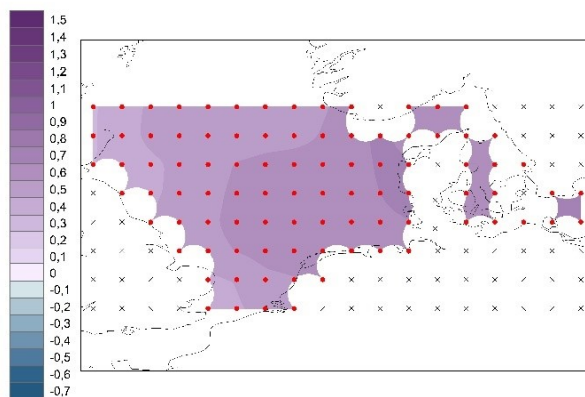
V měsíci listopad (obr. 41) se zvětšuje kladný trend ve středu SM a rozšiřuje se do okolních uzlových bodů. Také v oblasti BM jsou kromě středu SM naměřeny vyšší hodnoty trendu SST a to $0,5 \text{ } ^\circ\text{C}/10 \text{ let}$. Na severozápadě a severně nad Dánskem byly detekovány nejnižší naměřené trendy $0,2 \text{ } ^\circ\text{C}$. Významné trendy se tak jako v předešlých měsících drží téměř ve většině zájmové oblasti. Meziroční variabilita se pohybuje v intervalu od $6,4 \text{ } ^\circ\text{C}$ v roce 1985 do $7,5 \text{ } ^\circ\text{C}$ v roce 1997.

V posledním kalendářním měsíci prosinec (obr. 42) je interval trendů větší a opět se zde objevuje záporný trend na východě Dánska. Od nejnižší naměřené hodnoty $-0,3 \text{ } ^\circ\text{C}/10 \text{ let}$ se směrem do západního BM trend mění na kladný a jeho hodnoty se zvyšují až k $1,3 \text{ } ^\circ\text{C}/10 \text{ let}$. Počet významných trendů poklesl, nenacházejí se již při pobřeží Dánska, Německa a na severu zájmové oblasti. V prosinci je meziroční variabilita velmi nízká, jelikož se interval pohybuje mezi $4,9 \text{ } ^\circ\text{C}$ v roce 1992 do $5,9 \text{ } ^\circ\text{C}$ v roce 2019.

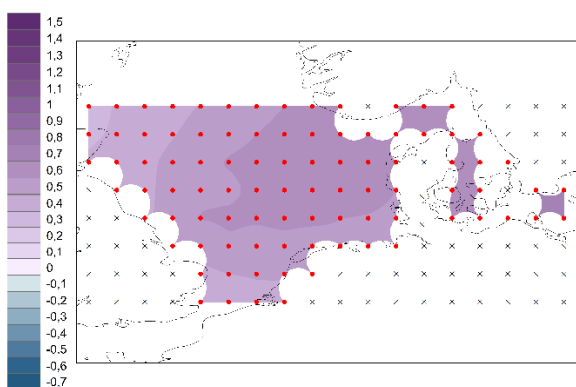
Obr. 37: Trendy SST v měsíci červenec, zobrazení a zdroj je stejné jako v obr. 30



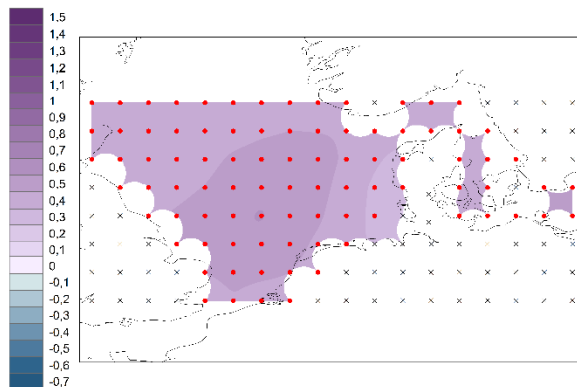
Obr. 38: Trendy SST v měsíci srpen, zobrazení a zdroj je stejné jako v obr. 30



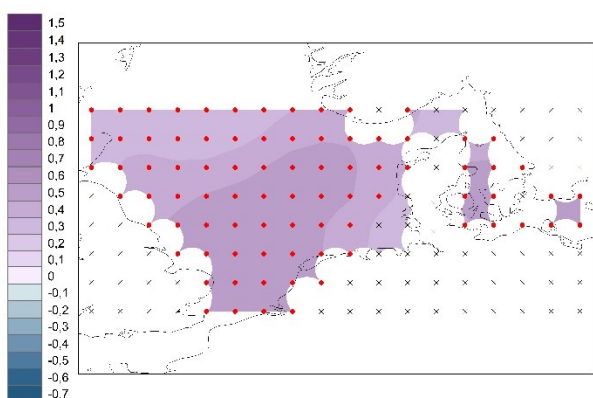
Obr. 39: Trendy SST v měsíci září, zobrazení a zdroj je stejné jako v obr. 30



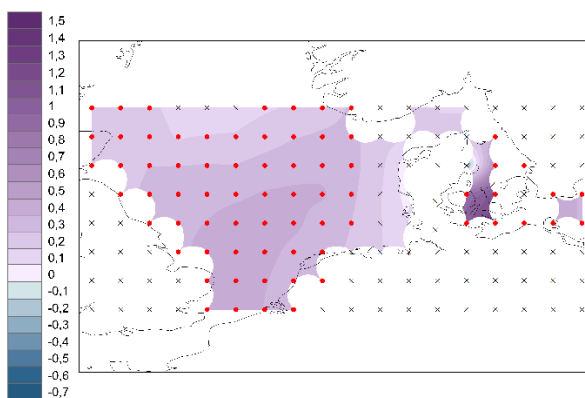
Obr. 40: Trendy SST v měsíci říjen, zobrazení a zdroj je stejné jako v obr. 30



Obr. 41: Trendy SST v měsíci listopad, zobrazení a zdroj je stejné jako v obr. 30



Obr. 42: Trendy SST v měsíci prosinec, zobrazení a zdroj je stejné jako v obr. 30

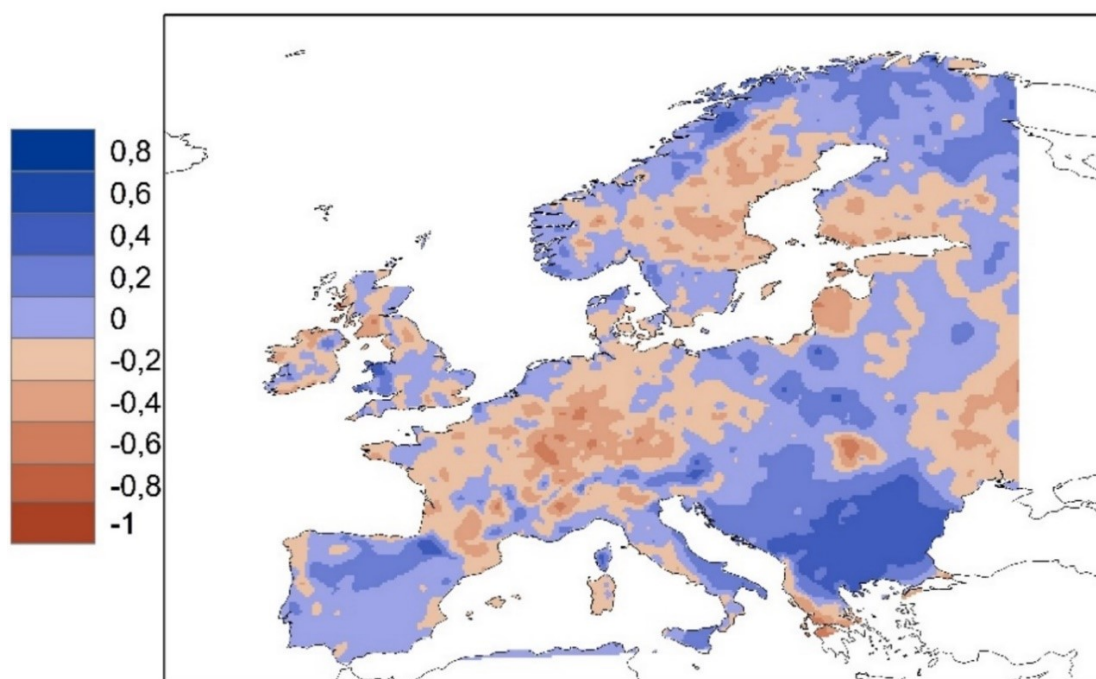


7.3 Korelace SST se srážkami v Evropě

Zda SST působí například na srážky v Evropě je předmětem výzkumu posledních několika let. V této diplomové práci jsme nejprve zkoumali vzájemné působení SST a srážek v Evropě.

Korelace ročních srážek s SST v zájmové oblasti v letech 1980-2019 (obr. 43) jsou kladné a pohybovaly se v intervalu -0,6 až 0,7. Nejvyšší kladné hodnoty jsou na jihovýchodě Evropy ve státech při pobřeží Černého moře. V těchto místech jsou při vyšší SST zaznamenány vyšší hodnoty srážek. Naopak záporné korelace, které pozorujeme například ve střední Evropě či na území Švédska při pobřeží BM, znamenají vyšší srážky při nižších hodnotách SST. V jednotlivých měsících jsou korelace SST se srážkami prostorově i v sousedních měsících velmi variabilní. Jejich stručný popis je obsahem následujících odstavců.

Obr. 43: Korelace SST s ročními úhrny srážek v Evropě



Zdroj vstupních dat: E-OBS, Mett office Hadley Centre Observations dataset, vlastní zpracování

Vysvětlivky: Číselné hodnoty vedle barevné škály označují spodní hranice intervalů. Nejtmavší modrá, resp. hnědá, tak znázorňuje interval 0,8-1 resp. -1 až -0,8.

Korelace srážek s SST v měsíci leden (obr. 44) jsou velmi homogenní, rozdělují Evropu na severní a jižní část a pohybují se v rozmezí -0,5 až 0,7. Kladné vysoké hodnoty korelace můžeme pozorovat ve Skandinávii, ve VB a Irsku. Naopak vyšší záporné korelace pozorujeme ve Španělsku, na jihu Francie, v Itálii a na severu Norska. V těchto regionech je při vyšší SST nižší lednový úhrn srážek.

V únoru (obr. 45) převládají v Evropě na většině území kladné korelace dosahující až 0,5. Nejvyšší hodnoty korelací vidíme na obrázku č. 45 při pobřeží BM a SM. Ačkoliv je zájmové území SM poměrně daleko vzdálené od Itálie, tak kladné a poměrně vysoké hodnoty korelace pozorujeme i tam. Záporné korelace na západě Pyrenejského poloostrova, na území Francie a v Řecku jsou nízké a jen výjimečně dosahují hodnot -0,4.

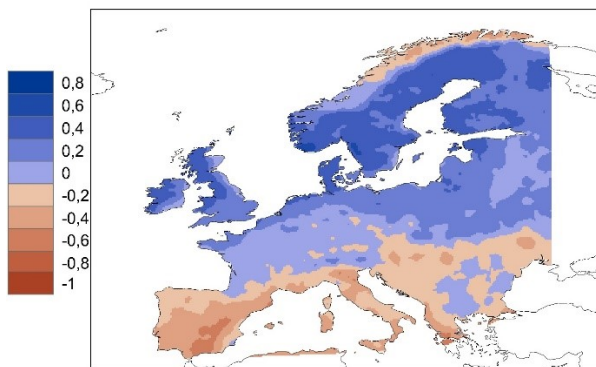
Březnové korelace srážek s SST (obr. 46) se výrazně liší od předchozího měsíce. Zastoupení kladných a záporných korelací je poměrně vyrovnané, hodnoty se pohybují mezi -0,5 až 0,5. Vyšší kladné korelace pozorujeme na území Dánska, jihu Švédska, v Polsku a ve většině východní Evropy. Naopak vyšší záporné korelace byly detekovány na území Francie, Belgie, Itálie a ve Skandinávii.

V dubnu (obr. 47) převažují záporné korelace. Hodnoty se pohybují v rozmezí mezi -0,5 až 0,3. Kladné korelace jsou pouze na severu Norska, v Dánsku, na území Irsku a místy v jižní a jihovýchodní Evropě. Naopak záporné a poměrně vysoké hodnoty korelací pozorujeme na velké části území Švédska, Finska, Polska a ve střední a východní Evropě.

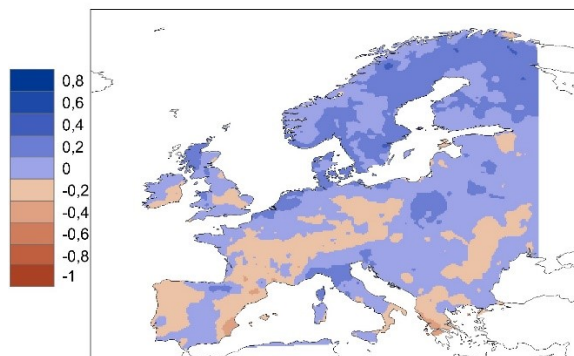
V květnu dominují kladné a vysoké korelace (obr. 48). Nejvyšší hodnoty přesahující 0,5 pozorujeme ve Skandinávii, ve východní části Evropy a také na západě Pyrenejského poloostrova. Záporné korelace do hodnot -0,4 pozorujeme na území Francie, Švýcarska, Česka a Německa.

V červnu (obr. 49) je rozložení korelací obdobné jako v dubnu, objevuje se ale víc regionů s kladnými korelacemi do hodnoty 0,4 a to na území Balkánského poloostrova, na severovýchodě Evropy, na Pyrenejském poloostrově a ve VB. Záporné korelace pozorujeme ve střední a východní Evropě, dosahují hodnot -0,5.

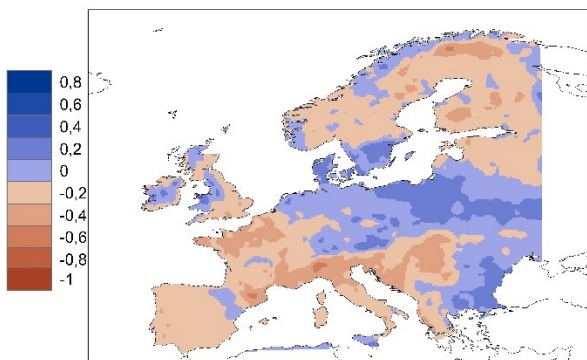
Obr. 44: Korelace srážek v Evropě s SST
v měsíci leden,
zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 43



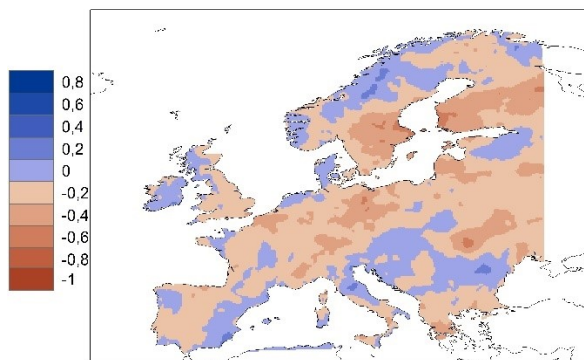
Obr. 45: Korelace srážek v Evropě s SST
v měsíci únor,
zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 43



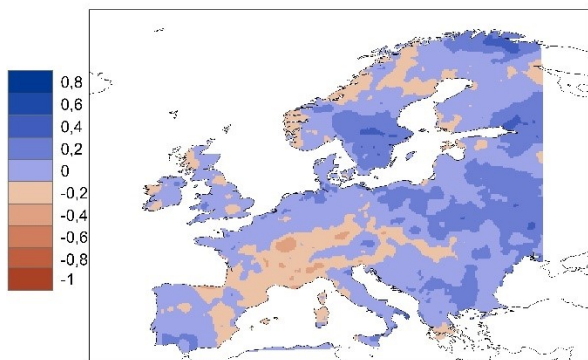
Obr. 46: Korelace srážek v Evropě s SST
v měsíci březen,
zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 43



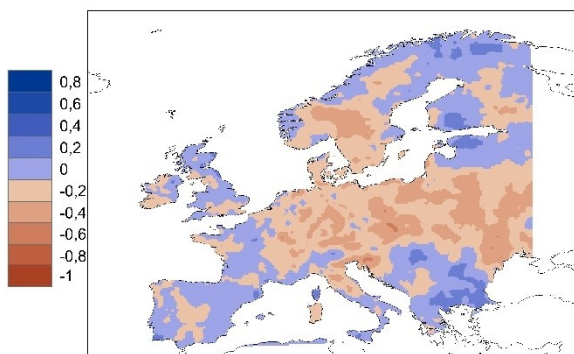
Obr. 47: Korelace srážek v Evropě s SST
v měsíci duben,
zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 43



Obr. 48: Korelace srážek v Evropě s SST
v měsíci květen,
zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 43



Obr. 49: Korelace srážek v Evropě s SST
v měsíci červen,
zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 43



Červencové korelace SST se srážkami (obr. 50) dosahují hodnot v rozpětí od -0,6 do 0,6. Kladné hodnoty pozorujeme na severu Norska, v Irsku, na severozápadě Pyrenejského poloostrova, v Itálii a nejvyšší jsou na Balkánském poloostrově. Záporné korelace jsou v severní polovině Evropy a na východě, nejvyšší jsou v Pobaltských státech a ve Finsku.

Korelace v srpnu (obr. 51) jsou poněkud nižší, mezi -0,5 až 0,4. Kladné korelace pozorujeme na většině území. Záporné korelace dominují ve VB a na severu Evropy s maximálními hodnotami na území Dánska, jihu Norska, ve Finsku a ve VB s Irskem.

Korelace mezi SST a srážkami v Evropě v měsíci září (obr. 52) se pohybují v rozpětí od -0,5 do 0,5 a jsou rozloženy souvisleji než v předchozích dvou měsících. Vysoké srážky ve vzájemné závislosti s vysokými hodnotami SST znázorněné vysokými hodnotami kladné korelace se vyskytují na jihovýchodě Pyrenejského poloostrova, v Itálii, na Balkánském poloostrově, v Polsku a na severu Norska. Naopak záporné korelace ukazující souvislost vysokých úhrnů srážek s nízkými hodnotami SST můžeme pozorovat ve VB a v západní, střední a východní Evropě.

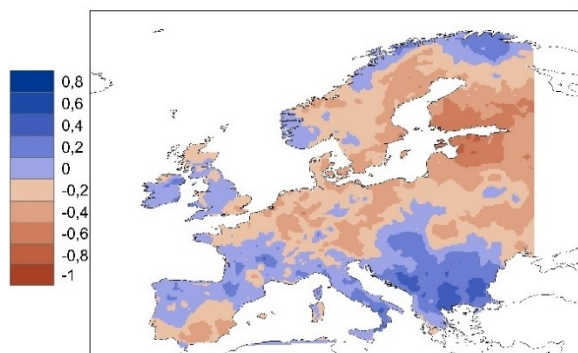
Korelace v měsíci říjen (obr. 53) se nacházejí opět v intervalu od -0,5 až 0,5. Na větší části území dominují kladné hodnoty s maximy na Pyrenejském poloostrově, při pobřeží Černého moře a ve státech na jižním pobřeží BM. Maximální hodnoty záporných korelací se vyskytují na severu Norska a Švédska, v Itálii a při hranicích mezi Španělskem a Francií, záporné korelace pokrývají obecně západní a severní Evropu a také část jižní Evropy.

V listopadu se kladné a záporné korelace (obr. 54) téměř vymění ve srovnání s korelacemi v září. Jejich rozložení je proměnlivé, kladné korelace dominují na jihozápadě a západě Evropy a dosahují hodnoty až 0,4 na Pyrenejském poloostrově, ve Francii, Itálii, a při pobřeží Černého moře. Naopak záporné hodnoty korelací převládají ve střední, severní a východní Evropě s nejvyššími hodnotami do -0,4.

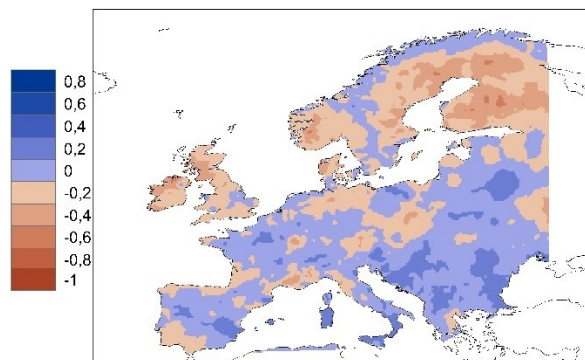
V prosinci (obr. 55) jsou ve většině Evropy korelace srážek a SST záporné, jen v okrajových částech kladné. Konkrétně nalézáme kladné korelace až do výše 0,4 na území Pyrenejského poloostrova, v Norsku a na jihu Francie. Vysoké hodnoty záporné korelace -0,5 jsou lokalizované v Pobaltí a ve střední Evropě.

Souhrnně lze říci, že ve střední a severozápadní Evropě srážkové úhrny většinu měsíců korelují s SST záporně, naopak na jihu, východě a severu Evropy převládají během roku korelace kladné. Největší souvislost mezi srážkami a SST v jednotlivých měsících je ve Skandinávii, v JV Evropě a na Pyrenejském poloostrově. Pole korelací je v jednotlivých měsících s výjimkou ledna roztržité a značně proměnlivé. Nelze tedy vyvodit obecný závěr. Nejvyšší kladné korelace byly nalezeny v lednu, nejsilnější záporné v červenci.

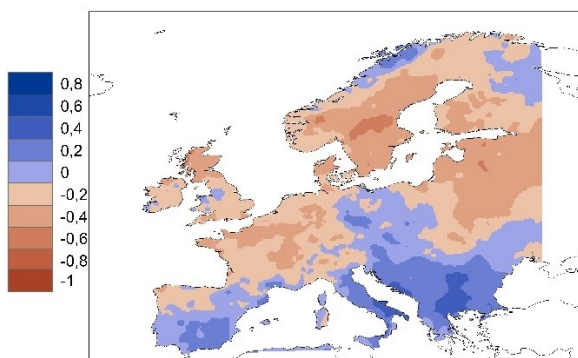
Obr. 50: Korelace srážek v Evropě s SST
v měsíci červenec,
zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 43



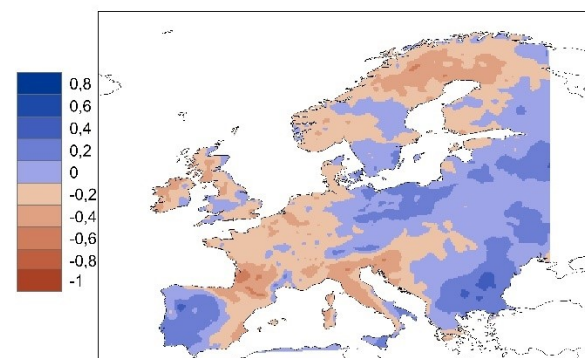
Obr. 51: Korelace srážek v Evropě s SST
v měsíci srpen,
zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 43



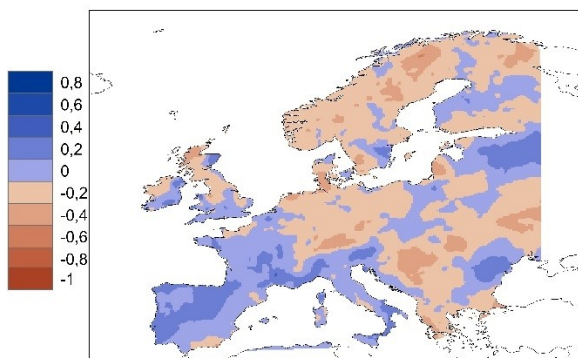
Obr. 52: Korelace srážek v Evropě s SST
v měsíci září,
zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 43



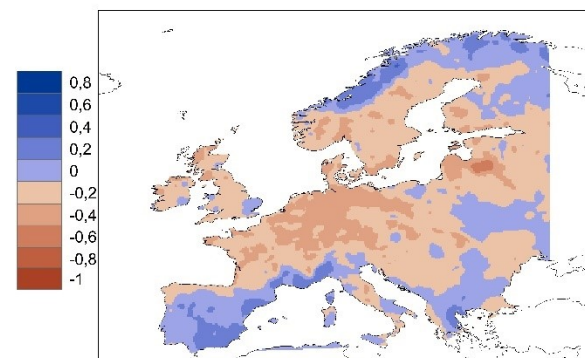
Obr. 53: Korelace srážek v Evropě s SST
v měsíci říjen,
zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 43



Obr. 54: Korelace srážek v Evropě s SST
v měsíci listopad,
zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 43



Obr. 55: Korelace srážek v Evropě s SST
v měsíci prosinec,
zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 43

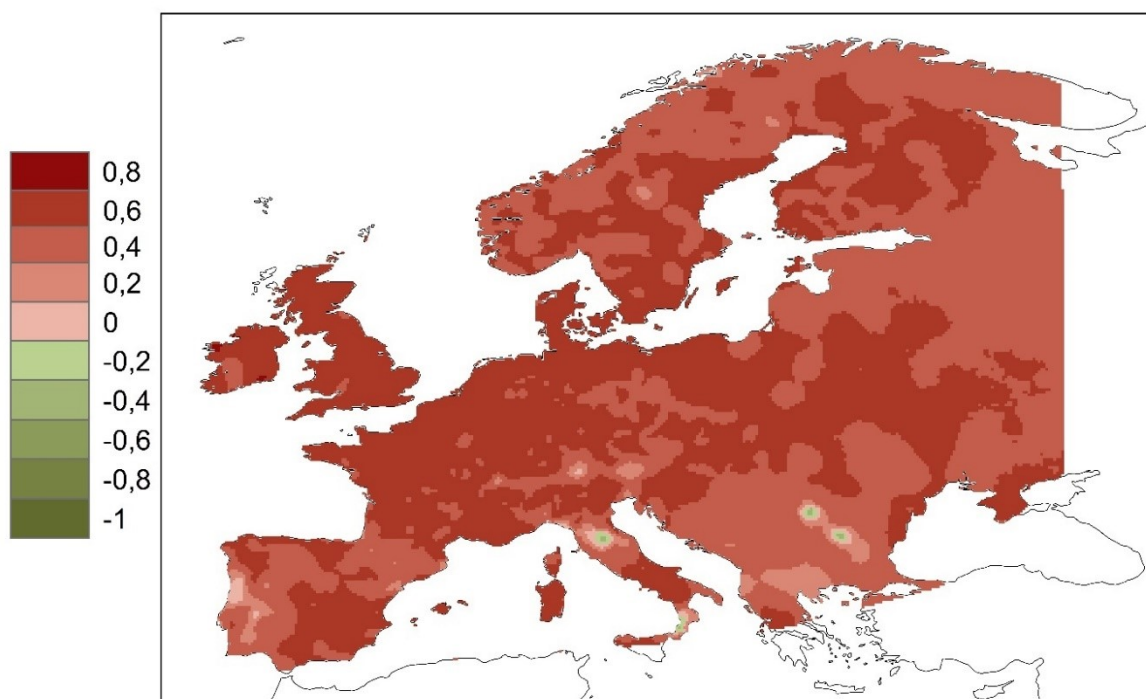


7.4 Korelace SST s teplotami vzduchu v Evropě

Po korelaci srážek v Evropě s hodnotami SST je další přirozený krok korelovat teploty vzduchu Evropy s SST. Teploty vzduchu, stejně jako srážky, mohou souviset s hodnotami SST. Jelikož se jedná o průměrné měsíční teploty v jednotlivých letech, tak se dá předpokládat, že dojde-li k naměření vyšších SST, tak v tom samém roce naměříme současně vyšší teploty vzduchu na kontinentu.

Mapa korelací ročních průměrných teplot vzduchu nad pevninou s SST ze zájmové oblasti SA ukazuje místa, kde při vyšších SST naměříme současně vyšší teploty vzduchu na kontinentu. Korelace se pohybují v rozmezí -0,3 až 0,8. Jediné výjimky záporných hodnot se nacházejí v izolovaných oblastech na severu a jihu Itálie a mezi Rumunskem a Bulharskem. V jednotlivých měsících byly ale hodnoty korelací více rozdílné, jak budu popisovat podrobněji v následujících odstavcích.

Obr. 56: Korelace ročních SST s ročními průměrnými teplotami vzduchu v Evropě



Zdroj vstupních dat: E-OBS, Mett office Hadley Centre Observations dataset, vlastní zpracování

Vysvětlivky: Číselné hodnoty vedle barevné škály označují spodní hranice intervalů. Nejtmavší hnědá, resp. zelená, tak znázorňuje interval 0,8-1 resp. -1 - -0,8.

V lednu (obr. 57) jsou korelace teplot vzduchu a SST homogenně rozložené podobně jako u srážek, kladné v intervalu -0,1 až 0,8. Zároveň v tomto měsíci vycházejí jedny z nejvyšších kladných korelací, a to na území VB, jihu Norska a Švédska a na severozápadě kontinentu. Slabé záporné hodnoty korelací se nachází pouze na jihozápadě Pyrenejského poloostrova a na jihozápadě Balkánského poloostrova.

Korelace SST a teplot vzduchu v měsíci únor (obr. 58) se nacházejí mezi -0,1 až 0,5 a nedosahují tak vysokých korelací jako v předešlém měsíci. Téměř v celé Evropě se stále nacházejí především kladné korelace. Záporné korelace můžeme nalézt pouze na severu Norska a na hranicích mezi Španělskem a Francií.

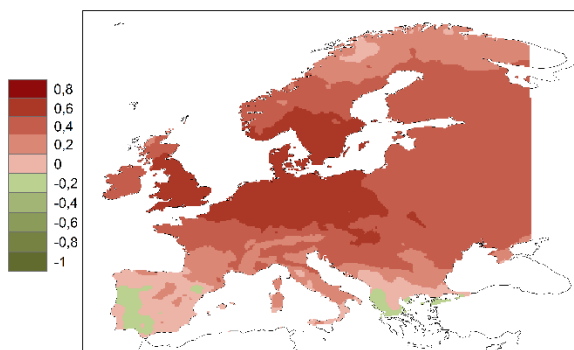
V březnu (obr. 59) kladné korelace SST a teploty vzduchu v Evropě dále slábnou, naopak je více uzlových bodů se zápornými korelacemi, rozmezí korelací je od -0,3 až 0,5. Kladné korelace se drží stále na většině území, kde maximálních hodnot dosahují ve VB a Irsku, na Pyrenejském poloostrově, při pobřeží Francie, Belgie, Nizozemska, Německa a Dánska a také severně od Černého moře. Záporné korelace jsou v Itálii, při pobřeží Jadranského moře a ve Finsku.

Dubnové korelace SST a teplot vzduchu v Evropě (obr. 60) nalezneme mezi hodnotami -0,4 až 0,6, kladné opět převažují na většině území. Nejvyšší dosažené kladné korelace jsou opět při pobřeží SA na jihu Norska, Švédska, Dánska a západoevropských států Belgie, Nizozemsko a Francie. Záporné se nacházejí na východě Evropy a také na severním pobřeží Středozemního moře.

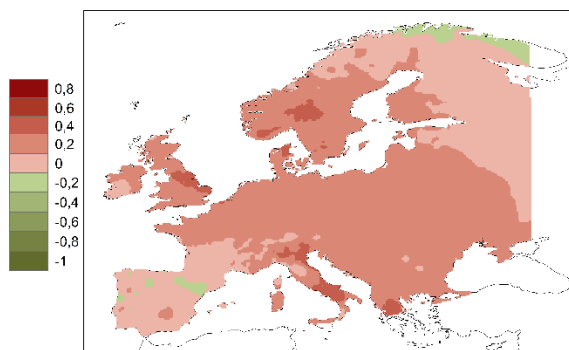
V květnu jsou na většině území (obr. 61) korelace teplot vzduchu v Evropě a SST zájmové oblasti slabé. Kladné hodnoty se i nadále vyskytují na většině území Evropy. Záporné korelace tentokrát nalezneme v Norsku a Švédsku a na jihu Balkánského poloostrova. Interval korelací je od -0,5 do 0,5.

Kladné korelace v červnu (obr. 62) jsou opět vysoké na většině území, dosahují hodnot až 0,6. Nejvyšších korelací jsou ve státech na pobřeží SA a ve střední Evropě až směrem k jihu. Pouze na území Norska, Švédska a Finska jsou záporné hodnoty korelací až do -0,4.

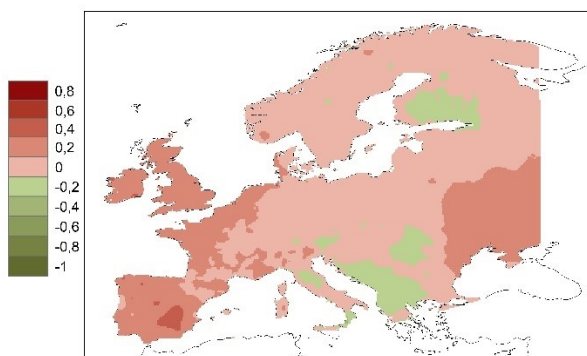
Obr. 57: Korelace teplot vzduchu v Evropě s SST
v měsíci leden,
zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 56



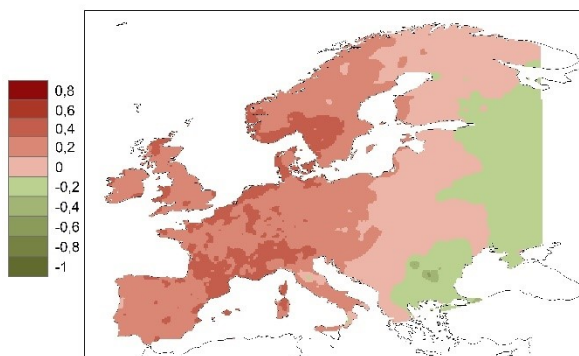
Obr. 58: Korelace teplot vzduchu v Evropě s SST
v měsíci únor,
zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 56



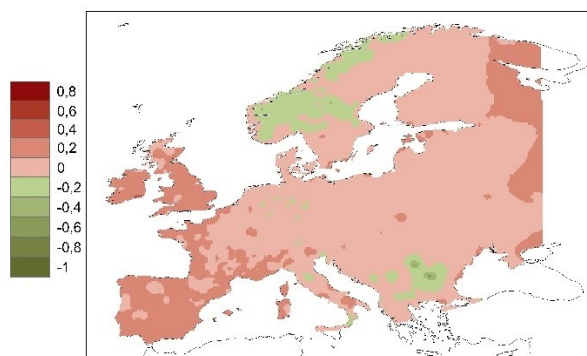
Obr. 59: Korelace teplot vzduchu v Evropě s SST
v měsíci březen,
zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 56



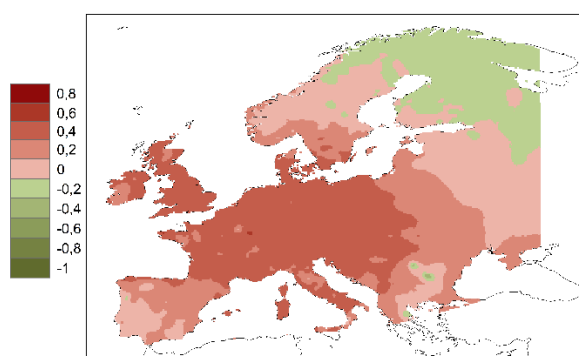
Obr. 60: Korelace teplot vzduchu v Evropě s SST
v měsíci duben,
zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 56



Obr. 61: Korelace teplot vzduchu v Evropě s SST
v měsíci květen,
zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 56



Obr. 62: Korelace teplot vzduchu v Evropě s SST
v měsíci červen,
zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 56



V červenci (obr. 63) pozorujeme silnou vzájemnou závislost mezi teplotou vzduchu v Evropě a SST. Korelace jsou z celého roku nejvyšší, kladné dosahují 0,9, záporné -0,4, ovšem jen lokálně. Největší souvislost mezi SST a teplotou vzduchu je ve státech kolem BM a dále se snižuje směrem do vnitrozemí. Záporné korelace jsou naopak v místech vzdálených zájmovému území měření SST a nacházejí se na západě Pyrenejského poloostrova a na jihu Balkánského poloostrova.

Srpnové korelace (obr. 64) již nejsou tak vysoké jako v červenci, ale stále je z nich patrný vliv SST na teplotu vzduchu v pobřežních oblastech SA. Kladné korelace dosahují až 0,6 ve VB, Norsku a Dánsku. Záporné korelace do maximálních hodnot -0,5 se nacházejí pouze na jihu Evropy.

V měsíci září (obr. 65) opět převládají kladné korelace teploty vzduchu a SST, nejvyšší na severu Evropy a ve VB až do 0,6. Záporné korelace jsou v tomto měsíci nejsilnější a pokrývají největší oblast na jihu a jihovýchodě Evropy, dosahují až -0,6.

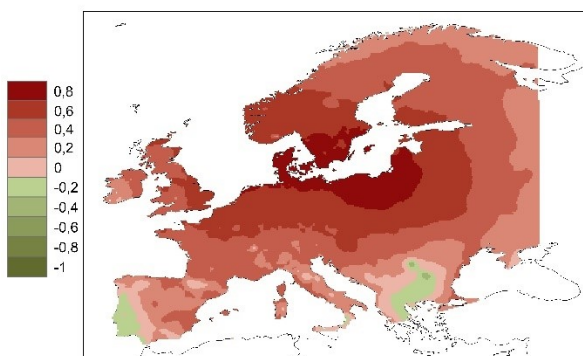
Vysoké kladné korelace až 0,6 v měsíci říjen (obr. 66) pokrývají větší plochu na západě, jihozápadě a jihu Evropy, což je oproti měsíci září téměř opak. Záporné korelace se tentokrát nacházejí na severu Evropy na území států okolo BM a mezi Bulharskem a Rumunskem a dosahují hodnot až -0,5.

Listopadové korelace SST a teplot (obr. 67) jsou opět převážně kladné a na většině území Evropy vyšší než v předchozích třech měsících, dosahují maximálních hodnot 0,6. Záporné korelace se nacházejí pouze na velmi malé části Norska a Švédska, kde dosahují -0,2.

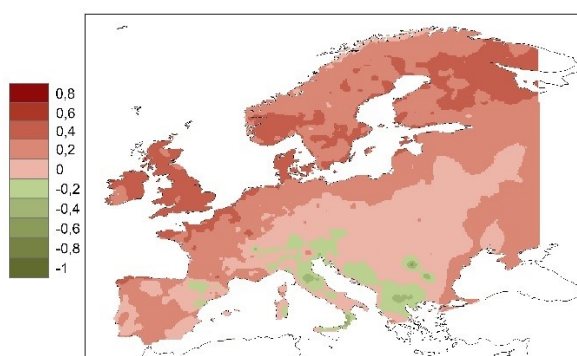
V posledním měsíci kalendářního roku prosinci (obr. 68) nalezneme téměř na celém území kladné a slabé korelace s dosaženými maximy 0,5 na západě Norska a na jihu Evropy v Itálii a ve Španělsku. Záporné korelace do hodnot -0,2 můžeme vidět při západním pobřeží Černého moře a na několika lokalitách ve střední Evropě.

V závěrečném shrnutí týkající se korelací teplot vzduchu a SST můžeme tvrdit, že korelace teplot vzduchu s SST jsou na většině území a v jednotlivých měsících kladné. Záporné korelace teploty vzduchu s SST se objevují na Pyrenejském poloostrově, na severu Skandinávie, na jihu a JV Evropy. Největší vzájemná závislost mezi SST a teplotou vzduchu se v jednotlivých měsících vyskytuje ve státech okolo zájmové oblasti měření SST. Nejvyšší kladné korelace byly detekovány v červenci, nejsilnější záporné v září.

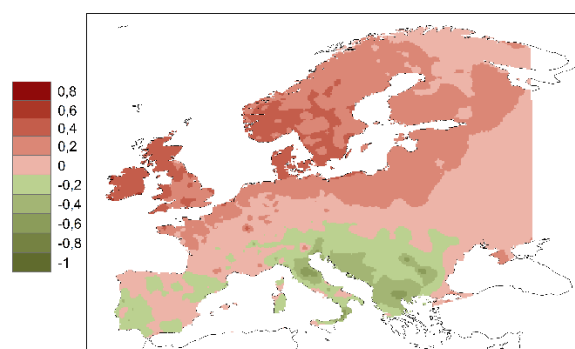
Obr. 63: Korelace teplot vzduchu v Evropě s SST
v měsíci červenec,
zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 56



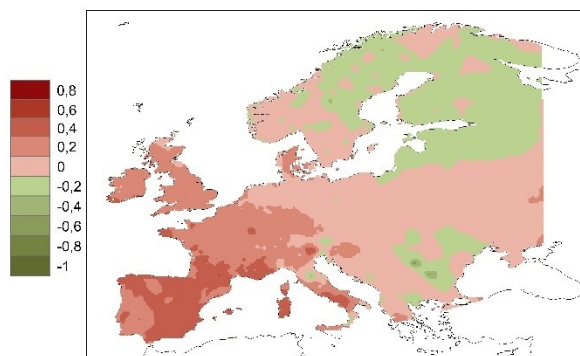
Obr. 64: Korelace teplot vzduchu v Evropě s SST
v měsíci srpen,
zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 56



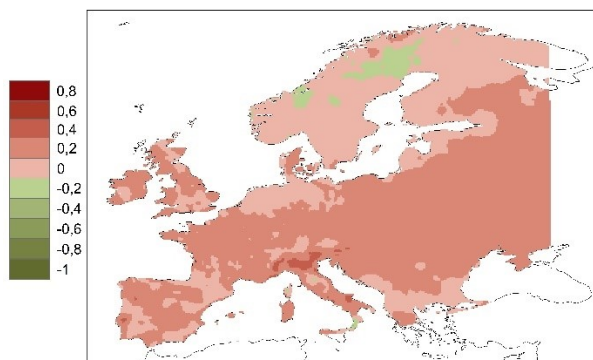
Obr. 65: Korelace teplot vzduchu v Evropě s SST
v měsíci září,
zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 56



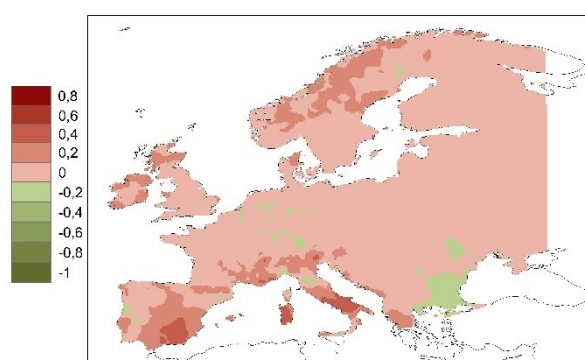
Obr. 66: Korelace teplot vzduchu v Evropě s SST
v měsíci říjen,
zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 56



Obr. 67: Korelace teplot vzduchu v Evropě s SST
v měsíci listopad,
zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 56



Obr. 68: Korelace teplot vzduchu v Evropě s SST
v měsíci prosinec,
zobrazení a zdroj stejné jako v obr. 56



8 Diskuze

Pozorování a výzkum SST prošel celou řadou změn, než se dostal do fáze, ve které se nyní nachází. Počátky měření SST z 19. století přináší pro současné zpracování dat možná úskalí. Historické měření se provádělo nejprve z pobřeží společně s odebráním vody kbelíky na lodích a následným změřením teploty nabrané vody. Technika měření SST kbelíky se ale stále využívá i v současnosti. Dnes patří mezi používané metody sběr vody kbelíky, snímání SST senzory na trupech lodí a satelitní měření. Ačkoliv se měření SST kbelíky modernizovalo a využívají se materiály, které lépe izolují, tak se stále jedná o metodu, kterou ovlivňuje spousta faktorů. Rozdíly, které s sebou přináší odlišné způsoby měření SST mohou dle mého názoru hrát nezanedbatelnou roli v kvalitě dat. SST měřená kbelíky se musí lišit od metody snímání SST senzory na trupech lodí. Ke snímání na trupech lodí dochází přibližně v hloubce $8,4 \pm 4,1$ m, což vyvolává otázku, zda se stále jedná o SST. Také u modernějších lodí je průměrná hodnota pozorované hloubky 7-9 m v případě tankerů či kontejnerových lodí. Zajistit stejné podmínky pro měření SST je téměř nadlidský úkol. Každá metoda odběru a měření SST má své charakteristické zkreslení, které se nesmí opomenout. Faktory, které ovlivňují metodu měření SST za pomoci odběru kbelíky může být například materiál, ze kterého je kbelík vyroben, odpařování, proudění vzduchu či přímé a nepřímé radiační výměny tepla. Rovněž se nesmí opomenout četnost zmiňovaných metod měření SST a oblast měření. Při pobřeží se podle mého názoru bude plavit více lodí, tedy měření budou četnější než například na otevřeném oceánu. Díky in situ měření a četnějšímu měření při pobřeží Evropy tak v rámcové oblasti mohou být data rovněž přesnější při pobřeží než uprostřed SM.

První zpracování dat vedlo k vypočítání průměrných teplot SST ve sledovaném období jako základní ukazatel vývoje změn v letech 1980-2019. V prvním kalendářním měsíci leden má teplotní gradient klesajících teplot severovýchodní směr od BM do SM. Severovýchodní směr poklesu gradientu teplot pokračuje i následujících měsících, až do dubnového měsíce, kde se pozvolna orientuje jihozápadně od BM směrem k Lamanšské úžině. V květnu se tento směr ale naprosto převrátí, a naopak k rostoucímu teplotnímu gradientu dochází ze severozápadu zájmové oblasti k pobřeží kontinentální Evropy a dále do západní části BM. V následujících měsících dochází k prohlubování gradientu teplot směrem k pobřeží kontinentální Evropy až do září. V tomto měsíci dochází k pozvolnému posunutí gradientu teplot k Lamanšské úžině, který se umocňuje v následujícím měsíci říjen jižním směrem. V listopadu gradient nabývá opět severojižního směru a v prosinci se převrací od břehů kontinentální Evropy k pobřeží VB. Změny teplotního gradientu vzbuzují dojem, že kontinent značně ovlivňuje teploty SST v rámcové oblasti.

Jak ukázala analýza, roční chod SST se liší od ročního chodu teploty vzduchu. Nejnížší jsou naměřené hodnoty za celé období 40 let v měsíci březen, zatímco vzduch je nejchladnější v lednu. Od března naměřené hodnoty narůstají až do měsíce srpna, kdy byly naměřeny nejvyšší hodnoty za celé sledované období v rámci zájmové oblasti. Ke zvyšování teploty povrchu oceánu v rámci zájmového území dochází tedy po dobu 5 měsíců, ochlazování ovšem trvá déle, 7 měsíců. Doba ochlazování byla tedy nezanedbatelně delší než doba oteplování. Zpracovaná data průměrných teplot SST za celé rámcové území prokazují, že SM a západní část BM má SST průměrně okolo 12 °C. Chladnější byla oblast zájmového území v severní části SM a BM a teplejší se nacházela na jihu mezi břehy VB a Belgie s Nizozemskem.

Z průměrných teplot SST byly vypočítány trendy SST. Již v roce 2010 byly trendy součástí několika vědeckých prací. Hughes a kol. zkoumali vývoj trendu SA v roce 2010, který se výrazně lišil o 0,06 °C za jeden rok od globálního trendu, který v té době byl okolo $0,017 \pm 0,05$ °C. Olonscheck a kol. se v roce 2020 zaměřili na analýzu trendu z let 1915-2014, tedy na 100leté období, které rozdělili na 4 období. Během zkoumaného období došlo k několika fázím, kdy byly trendy kladné i záporné. Chování zájmové oblasti SA odpovídalo světovým oceánům s tím rozdílem, že zde trendy byly dokonce o něco výraznější. Práce od autorů Olonscheck a kol. se zaměřuje na území SM, kde byly detekovány nejvyšší hodnoty trendů SST. Z toho důvodu jsem si zájmovou oblast zvolila právě v této lokalitě. Autoři Holt a kol. z roku 2012 se zaměřili na výzkum sezónních trendů v období 1985-2004 pro území SM. Slabé ochlazení SA bylo pozorováno na začátku kalendářního roku směrem k Norskému moři. Nejvýraznější byly trendy na západ od Dánska, kde byl detekován nejvýraznější nárůst SST v letních měsících červenec až září. Po zaznamenaném nejvýraznějším rostoucím trendu došlo v měsících říjen až prosinec k mírnému nárůstu teplot v oblasti SM. Holt se domníval, že pochopení změn v oblasti SA bude rozhodující pro výzkum budoucí změny Evropského kontinentu.

Zájmová lokalita se nachází v SM a částečně zasahuje i do západní oblasti BM. Vzhledem k úvahám a výsledkům výše zmíněných autorů se domnívám, že lokalita byla zvolena vhodně s důrazem na pravděpodobný vliv pro přilehlou Evropu. Časové období 1980-2019 je kratší než například 100leté období v práci od autorů Olonscheck a kol. Myslím si ale, že bude vypovídající díky tomu, že se jedná o data z počátku satelitního měření až do současnosti. Autoři se na rozdíl ode mě zabývali sezónními či ročními trendy, ale v této diplomové práci se osobně zaměřuji především na trendy měsíční, které ještě nikdo v minulosti nepublikoval. V rámci 40letého období v zájmové oblasti byly detekovány rostoucí a statisticky významné trendy v téměř všech uzlových bodech. Dlouhodobý nárůst SST za 40 let je přibližně 1,6 °C. V několika měsících byly pozorovány i záporné trendy jako je tomu například i u měsíce leden. V bodě na východě Dánska

blízko města Bønnerup byl detekován odlišný, záporný trend oproti okolním uzlovým bodům. Nejedná se sice o statisticky významný bod, ale došlo zde k ochlazení o 2 °C za uplynulých 40 let. Dle mého názoru zde však mohlo dojít k nějaké chybě, která se mohla týkat metody měření či zpracování dat, neboť se tento uzlový bod chová odlišně od jiných v jeho okolí. V únorovém měsíci je trend v tomto uzlovém bodě opět záporný, ale zároveň zde dochází k rozšíření záporných trendů okolo Dánska. Březen ukazuje opět záporné trendy, které však nejsou statisticky významné. Na většině území dominuje v březnu kladný trend 0,2 °C/10 let. V prvních třech měsících dochází k nárůstu trendů severozápadním směrem k břehům VB, ale v dubnu se tento gradient převrátí a nabírá severovýchodní rostoucí směr od VB k břehům Německa. V následujících měsících se nárůst trendů k pobřeží kontinentální Evropy umocňuje až do července, kdy nárůst teplot má jihovýchodní směr k pobřeží Dánska. Směr narůstajících trendů se v srpnu otáčí a směřuje jihovýchodním směrem již k pobřeží Dánska a Norska, což se umocňuje i v měsíci říjen. V listopadu je trend nejvyšší v centrální oblasti SM odkud klesá do okolí. V prosinci byl opět detekován záporný trend, který je jako u předešlých v blízkosti města Bønnerup. V prosinci navíc trend od tohoto uzlového bodu narůstá směrem do BM, kde byly vypočítány statisticky významné hodnoty znatelně kladnějších trendů. Zde předložená analýza trendů SST potvrzuje dříve publikované výsledky. V zájmové lokalitě zahrnující SM a část BM dochází k dlouhodobému oteplování v letech 1980-2019.

Z průměrných měsíčních dat SST naměřených v rámci 40letého období byly vypočítány korelace s teplotami vzduchu a srážkami v Evropě. Vysoké kladné nebo záporné korelace znamenají, že dojde-li k naměření vyšších SST v daném roce, tak se současně naměří vyšší nebo nižší teploty či srážky na kontinentu.

Vliv SST na klima v Evropě byl zkoumán v práci od autorů Lienert a Doblas z roku 2017, kde autoři potvrdili, že hlavní zdroj srážek nad Evropou je právě z přilehlých moří a oceánů. V delším časovém období 1960-2011 byly identifikovány 2 hlavní módy proměnlivosti, které ukazují oblasti s největší variabilitou SST během celého roku. Autoři prokázali, že zvýšené SST v oblasti SM a BM jsou spojené se zvýšenými teplotami v Evropě a zároveň se zvýšenými srážkami na severu Evropy a ve VB. Opačný účinek mají změny SST na Pyrenejském poloostrově a v jihovýchodní Evropě, kde při zvýšení SST byl pozorován menší úhrn srážek.

Během let 1980-2019 byla největší kladná vazba mezi SST a srážkami v Evropě v rámci celého roku při pobřeží Černého moře, ačkoliv je tento region od zájmové oblasti dat SST velmi vzdálený. Pro státy sousedící se SM vyšly kladné korelace nejvýznamnější na severu Dánska, jihu Norska, na severu Norska, Švédska, Finska, při pobřeží Nizozemska a na západě VB. Záporné hodnoty korelací vyvolané vzájemnou závislostí nižších SST a vyšších srážek můžeme pozorovat

ve střední Evropě. Vzájemnou kladnou provázanost SST a teplot vzduchu v rámci celého roku pozorujeme na většině území celého kontinentu, což se poměrně liší od korelací SST a srážek. Záporné korelace SST s teplotou vzduchu v Evropě se omezují jen na několik lokalit. Pozorovat můžeme záporné korelace na území Pyrenejského poloostrova, na severu Skandinávie, na jihu a JV Evropy. Nejsilnější záporná korelace byla detekována v měsíci září až k hodnotám -0,6. Nejvyšší kladné korelace sahající k hodnotám 0,8 byly vypočítány v měsíci leden, kde největší vliv byl v přilehlých státech měření SST. Červencové korelace teplot vzduchu s SST jsou nejzajímavější dle mého názoru ze všech vypočítaných dat. Nejvyšší jsou kladné korelace při pobřeží západního BM odkud se kruhovitě snižují až na jih Balkánského poloostrova a západ Pyrenejského poloostrova k záporným hodnotám.

Korelace teplot vzduchu s SST byly počítány z měsíčních průměrů pozorovaných dat a pro spolehlivější hodnoty korelací by bylo správné je detrendovat. Detrendováním by se odstranil z časových řad SST i z klimatických prvků nad kontinentem trend. Korelace by tak popisovaly skutečnou souvislost mezi SST a teplotou vzduchu v Evropě. Srážky nevykazují tak výrazný a jednoznačný trend, proto detrendování není nutné.

9 Závěr

Cílem této práce bylo analyzovat povrchovou teplotu vody ve vybrané oblasti a vliv jejich změn na pozorované teploty a srážky v Evropě. Základním krokem bylo zvolit vhodnou, dostupnou a snadno zpracovatelnou databázi SST, která by měla vliv na klima v Evropě. Další kritérium, které bylo potřeba splnit je výběr vhodného období pro výpočet ročních a měsíčních trendů v rámcové oblasti. Posledním cílem bylo vypočítat korelace mezi časovými řadami ročních průměrných SST s průměrnými úhrny srážek a teplotami vzduchu nad Evropou. Na základě vypočítaných korelacích vyjádřit závislost mezi SST a meteorologickými proměnnými nad kontinentem.

V první řadě bylo nutné zvolit volně dostupnou databázi vhodnou pro analýzu SST. Kromě databáze SST bylo nezbytné vybrat pro následující analýzy území s potenciálním vlivem na přilehlé státy Evropy a určit období v jakém budou analyzována data. Sledované období 1980-2019 bylo zvoleno po uvážení, jakým způsobem jsou data získávána. Aby zde nedošlo ke skokům v datech, které by mohly nastat po přechodu z in situ měření a kbelíkovém sběru dat na satelitní měření a automatickému získávání dat SST na trupech lodí.

Druhým nezanedbatelným cílem této práce bylo spočítat měsíční a roční průměry SST v letech 1980-2019 ve zvolené oblasti SA. Nejnižší naměřená průměrná SST byla v měsíci březen 2,3 °C a nejvyšší průměrná SST 18,5 °C v srpnu. Z toho je zřejmé, že oteplování povrchu oceánu z minimálních na maximální roční SST trvá kratší dobu než jeho ochlazování. Na základě dat se můžeme domnívat, že rozložení průměrných SST je silně ovlivněno okolním kontinentem. Ve volném oceánu nedochází k tak výrazným změnám jako je tomu u pobřeží.

Stěžejním úkolem, který následoval, bylo vypočítání průměrných měsíčních a ročních trendů v letech 1980-2019 a jejich testování statistické významnosti na hladině 0,01. V průběhu 40letého období byly detekovány jak záporné, tak kladné trendy SST a pohybovaly se v rozmezí -0,7 – 1,5 °C/10let. Chování zájmové oblasti SA bylo výraznější než v ostatních oceánech, ale i přesto odpovídalo jejich vývoji. Potvrdilo se, že v rámcové oblasti dochází k oteplování v průběhu sledovaného období 1980-2019. Za celé sledované období nejchladnějšími roky byly 1985 a 1980 a nejteplejšími roky byly 2014 a 2019.

Posledním cílem bylo zjistit konkrétní vliv změn SST v zájmové oblasti na teploty vzduchu a srážky v Evropě. Na základě korelací se nedá potvrdit, že vyšší či nižší SST způsobují vyšší teploty vzduchu nebo srážky. Lze ale říct, že spolu SST a hodnoty těchto prvků souvisí a k jejich změnám dochází souběžně. Roční kladné korelace srážek s SST překvapivě prokazují, že vyšší srážky v souvislosti s vyššími průměrnými SST vycházejí ve dvou centrech. První centrum se

nachází na severu Evropy a druhé při pobřeží Černého moře. Naopak záporné roční korelace dosahují nejvyšších hodnot ve střední Evropě. Co se korelací úhrnu srážek a průměrných SST týče, tak nejzajímavější je výsledek v měsíci leden. V lednu nejsilněji korelují průměrné SST s úhrny srážek, ale zároveň také s teplotami vzduchu, které dosahují nejsilnějších korelací včetně měsíce leden také v červenci. Rozložení korelací úhrnů srážek s SST je proměnlivé kromě měsíce leden, naopak korelace teploty vzduchu s SST je velmi homogenní v rámci Evropy. V severní Evropě byly naměřeny vyšší průměrné SST a s nimi jsou spojené vyšší úhrny srážek a teploty vzduchu. Roční korelace teploty vzduchu a průměrných SST vycházejí na většině území Evropy kladné s maximy v Irsku. V lednu je patrná, tak jako v korelacích se srážkami, silná vazba teploty vzduchu na SST v pobřežních státech. V červenci je souvislost mezi teplotou vzduchu a SST ještě větší, zejména v okolí BM. Vazba se zeslabuje směrem na východ a jih kontinentu. Přesto existují poměrně vzdálené regiony, kde je souvislost SST a teploty vzduchu značná.

V rámci rešerše nebyly nalezeny žádné odborné články, které by se zabývaly problematikou změn SST a jejich vlivu na pevninské počasí na stejném území. Proto nebylo možné zde uvedené výsledky s ničím porovnat.

Zde předložené výsledky jsou jedinečné a zcela nové. Přispívají k detailnějšímu pochopení chování teploty povrchové vody ve vybraném území SA, které má potenciál ovlivňovat hodnoty měsíčních teplot vzduchu a srážek v Evropě. Aktuálně je velmi složité předpovídat měsíční teploty vzduchu nebo srážky, ovšem předpovědi SST jsou poměrně spolehlivé, mimo jiné i díky nízké variabilitě SST. Zde prezentovaná souvislost mezi SST a klimatickými prvky může přispět ke zpřesnění předpovědi. Na základě očekávaných hodnot SST v zájmové oblasti bude možné lépe odhadnout vývoj teplot a srážek pro daný měsíc v jednotlivých Evropských regionech.

Zdroje

1.1 Literatura

ANDREWS, T., GREGORY, J. M., PAYNTER, D., SILVERS, L. G., ZHOU, C., MAURITSEN, T., TITCHNER, H. (2018): Accounting for changing temperature patterns increases historical estimates of climate sensitivity. *Geophysical Research Letters*, 45, 8490-8499.

ARMOUR, K. C. (2017): Energy budget constraints on climate sensitivity in light of inconstant climate feedbacks. *Nature Climate Change*, 7, 331-335.

CARELLA, G., MORRIS, A. K. R., PASCAL, R. W., YELLAND, M. J., BERRY, D. I., MORAK-BOZZO, S., MERCHANT, C. J., KENT, E. C. (2017): Measurements and models of the temperature change of water samples in sea-surface temperature buckets. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 143, 2198-2209.

EMERY, W. J., CASTRO, S., WICK, G. A., SCHLUESSEL, P., DONLON, C. (2001): Estimating sea surface temperature from infrared satellite and in situ temperature data. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 82, 2773-2785.

FOLLAND, C. K., PARKER, D. E. (1995): Correction of instrumental biases in historical sea-surface temperature data. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 121, 319-367.

HAND, R., KEENLYSIDE, N. S., OMRANI, N. E., BADER, J., GREATBATCH, R. J. (2019): The role of local sea surface temperature pattern changes in shaping climate change in North Atlantic sector. *Climate Dynamics*, 52, 417-438.

HARTMANN, D., TANK, A. K., RUSTICUCCI, M. ALEXANDER, L., BRNNIMANN, S., CHARABI, Y., ZHAI, P. (2013): Observations: Atmosphere and surface. *Climate change 2013 the physical science basis*.

HOLT a kol. (2012): Multi-decadal variability and trends in the temperature of the northwest European continental shelf: A model-data synthesis. *Progress in Oceanography*, 106, 97-117.

HUANG, B., BANZON, V. F., FREEMAN, E., LAWRIK, J., PETERSON, T. C., SMITH, T. M., THORNE, P. W., WOODRUFF, S. D., ZHANG, H. M. (2015): Extended Reconstructed Sea Surface Temperature Version 4 (ERSST. v4) Part I: Upgrades and Intercomparisons. *Journal of Climate*, 28, 3, 911-930.

HUGHES, S. L., HOLLIDAY, N. P., BESZCZYNSKA-MOLLER, A. (2010b): The ICES Report on Ocean Climate 2009.

ISHII, M., SHOUJI, A., SUGIMOTO, S., MATSUMOTO, T. (2005): Objective analyses sea surface temperature and marine meteorological variables for the 20th century using ICOADS and the Kobe Collection. *International Journal of Climatology*, 25, 865-879.

JONES, P. (2016): The reliability of global and hemispheric surface temperature records. *Advanced in Atmospheric Sciences*, 33, 269-282.

JONES, P. D., WIGLEY, T. M. L., WRIGHT, P. B. (1986): Global temperature variations between 1861 and 1984. *Nature*, 322, 430-434.

KAPLAN, A., CANE, M. A., KUSHNIR, Y. (2003): Reduced space approach to the optional analysis of historical marine observations. Accomplishments, difficulties, and prospects. In *Advances in the Applications of Marine Climatology. The Dynamic Part of the WMO*, 199-216.

KENNEDY, J. J., RAYNER, N. A., SMITH, R. O., PARKER, D. E., SAUNBY, M. (2011b): Reassessing biases and other uncertainties in sea surface temperature observations measured in situ since 1850. 1 Measurement and sampling uncertainties. *Journal of Geophysical Research*, 116, D14104.

KENT, E. C., WOODRUFF, S. D., BERRY, D. I. (2007): Metadata from WMO publication No. 47 and an assessment of voluntary observing ship observation heights in ICOADS. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 24, 214-234.

KENT, E. C., KENNEDY, J. J., BERRY, D. I., SMITH, R. O. (2010): Effects of instrumentation changes on sea surface temperature measured in situ. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 1, 718-728.

KENT a kol. (2016): A call for new approaches to quantifying biase in observations of sea-surface temperature. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 98, 8, 1601-1616.

KODETOVÁ, T. (2019): Změny povrchové teploty vody v Severním Atlantiku v posledních dekádách. Bakalářská práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK, Praha.

KOSTOV, Y., FERREIRA, D., ARMOUR, K. C., MARSHALL, J. (2018): Impac of the Atlantic meridional overturning circulation on ocean heat storage and transient climate change. *Geophysical Research Letters*, 41, 2108-2116.

KŘIKAVOVÁ, L. (2009): Interpolace bodových dat v GIS. Bakalářská práce. Katedra mapování a kartografie FS ČVUT, Praha.

LENDERINK, G., VAN MEIJGAARD, E., SELTEN, F. (2009): Intense coastal rainfall in the Netherlands in response to high sea surface temperatures: analysis of the event of August 2006 from the perspective of a changing climate. *Climate Dynamics*, 32, 19-33.

LIENERT, F., DOBLAS-REYES, F. J. (2017): Prediction of interannual North Atlantic sea surface temperature and its remote influence over land. *Climate Dynamics*, 48, 3099-3144.

MARVEL, K., PINCUS, R., SCHMIDT, G. A., MILLER, R. L. (2018): Internal variability and disequilibrium confound estimates of climate sensitivity from observations. *Geophysical Research Letters*, 45, 1595-1601.

MATTHEWS, J. B. R. (2013): Comparing historical and modern methods of sea surface temperature measurements – Part 1: Review of methods, field comparisons and dataset adjustments. *Ocean Science*, 9, 4, 683-394.

O'Carroll a kol., (2019): Observational Needs of Sea Surface Temperature. *Frontiers in Marine Science*, 6, 420.

OLONSHECK, D., RUGENSTEIN, M., MAROTZKE, J. (2020): Broad Consistency Between Observed and Simulated Trends in Sea Surface Temperature Patterns. *Geophysical Research Letters*, 47, 10.

RAYNER, N. A., HORTON, E. B., PARKER, D. W., FOLLAND, C. K., HACKETT, P. B. (1996): Global analyses of seasurface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century. *Journal of Geophysical Research*, 108, 4407.

RAYNER, N. A., PARKER, D. E., HORTON, E. B., FOLLAND, C. K., ALEXANDER, L. V., ROWELL, D. P., Kent, E. C., KAPLAN, A. (2003): Global analyses of seasurface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century. *Journal of Geophysical Research*, 108, 4407.

RAYNER, N. A., BROHAN, P., PARKER, D. E., FOLLAND, C. K., KENNEDY, J. J., VANICEK, M., ANSELL, T. J., TETT, S. F. B. (2006): Improved analyses of changes and uncertainties in sea surface temperature measured in situ since the mid-nineteenth century. The HadSST2 data set. *Journal of Climate*, 19, 446-469.

REYNOLDS, R. W., RAYNER, N. A., SMITH, T. M., STORKES, T. D., WANG, W. (2002): An improved in situ and satellite SST analysis for climate. *Journal of Climate*, 15, 1609-1625.

SMITH, T. M., REYNOLDS, R. W. (2004): Improved extended reconstruction of SST (1854-1997). *Journal of Climate*, 17, 2466-2477.

RAYNER, N. A., KAPLAN, A., KENT, E. C., REYNOLDS, R. W., BROHAN, P., CASEY, K. S., KENNEDY, J. J., WOODRUFF, S. D., SMITH, T. M., DONLON, C. J., BREIVIK, L., EASTWOOD, S., ISHII, M., BRANDON, T. (2010): Evaluating Climate Variability and Change from Modern and Historical SST Observations in: *Proceeding of Ocean Obs.*, 9.

SAUR, J. F. T. (1963): A study of the quality of sea water temperatures reported in logs of ships weather observation. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 2, 3, 417-425.

WOODRUFF, S. D., DIAZ, H. F., KENT, E. C., REYNOLDS, R. W., WORLEY, S. J. (2008): The evolving SST records from ICOADS in: *Climate Variability and Extremes during the Past 100 Years*. *Advances in Global Change Research*, 33.

WORLEY, S. J., WOODRUFF, S. D., REYNOLDS, R. W., LUBKER, S. J., LOTT, N. (2005): ICOADS release 2.1 data and products. *International Journal of Climatology*, 25, 823-842.

YASUNAKA, S., HANAWA, K. (2011): Intercomparison of historical sea surface temperature datasets. *International Journal of Climatology*, 31, 1056-1073.

1.2 Internetové zdroje

APDRC (2020): Asia Pacific Data Research Center, Hadley Centre Sea Ice and Sea Surface Temperature data set. <http://apdrc.soest.hawaii.edu/datadoc/hadisst.php> (cit. 15. 02. 2022).

ARGO (2021): ARGO. History of ARGO system. <https://argo.ucsd.edu/about/> (cit. 13. 11. 2021).

CLIMATE DATA STORE (2022): E-OBS daily gridded meteorological data for Europe from 1950 to present derived from in-situ observations.

<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/insitu-gridded-observations-europe?tab=overview> (cit. 05. 04. 2022).

ECAD (2022): E-OBS gridded dataset.

<https://www.ecad.eu/download/ensembles/download.php#:~:text=E-OBS%20datafiles%20E-OBS%20comes%20as%20an%20ensemble%20dataset,mean%20wind%20speed%20FG%20and%20global%20radiation%20QQ> (cit. 05. 04. 2022).

MET OFFICE (2019): Met Office Hadley Centre observations datasets. HadISST1 Data. <https://www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadisst/data/download.html> (cit. 09. 03. 2022).

MET OFFICE (2021): Met Office Hadley Centre observations datasets. <https://www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadisst/> (cit. 15. 02. 2022).

NATURE EARTH DATA (2022): 1:50 Graticules. Grid at 1° intervals. Includes WGS84 bounding box. <https://www.natureearthdata.com/downloads/50m-physical-vectors/> (cit. 11. 03. 2022).

NATURE EARTH (2022): 1:50 Physical Vectors, Land. Land polygons including major islands. <https://www.natureearthdata.com/downloads/50m-physical-vectors/> (cit. 11. 03. 2022).

NATURE EARTH (2022): 1:50 Physical Vectors, Ocean. Ocean polygon split into contiguous pieces. <https://www.natureearthdata.com/downloads/50m-physical-vectors/> (cit. 11. 03. 2022).

NCAR (2021): NCAR. National Center for Atmospheric Research Staff. The Climate Data Guide: SST data: HadISST v1.1. <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/sst-data-hadisst-v11>. (cit. 15. 02. 2022).

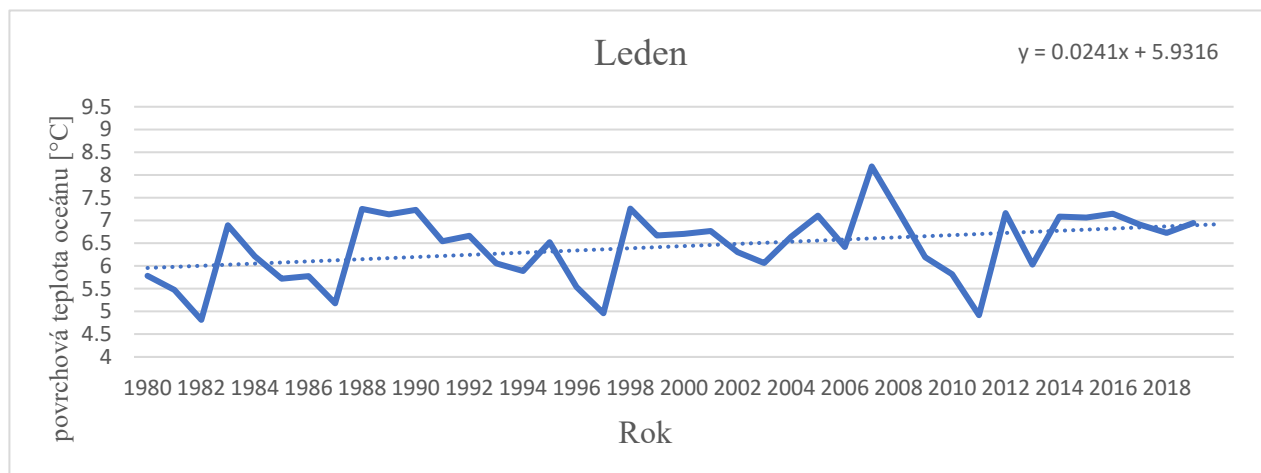
PODAAC (2021): Ocean Temperature. <https://podaac.jpl.nasa.gov/SeaSurfaceTemperature> (cit. 14. 11. 2021).

STATISTICSHOWTO (2022): Mann-Kendall Trend Test.

<https://www.statisticshowto.com/mann-kendall-trend-test/> (cit. 26.03.2022)

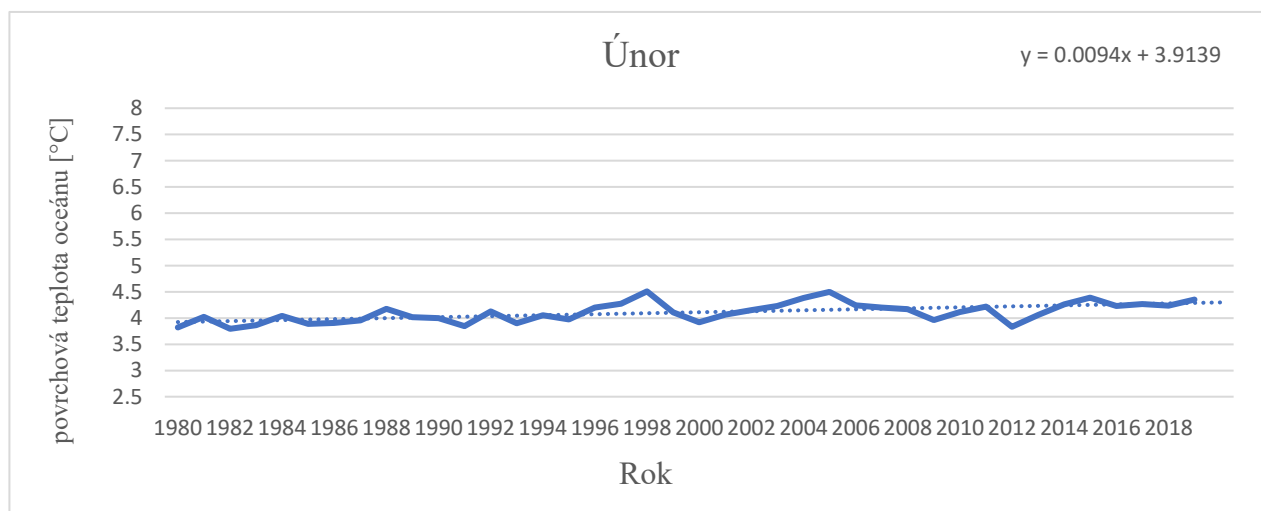
Přílohy

Příloha 1: Lednová časová řada průměrných teplot oceánu



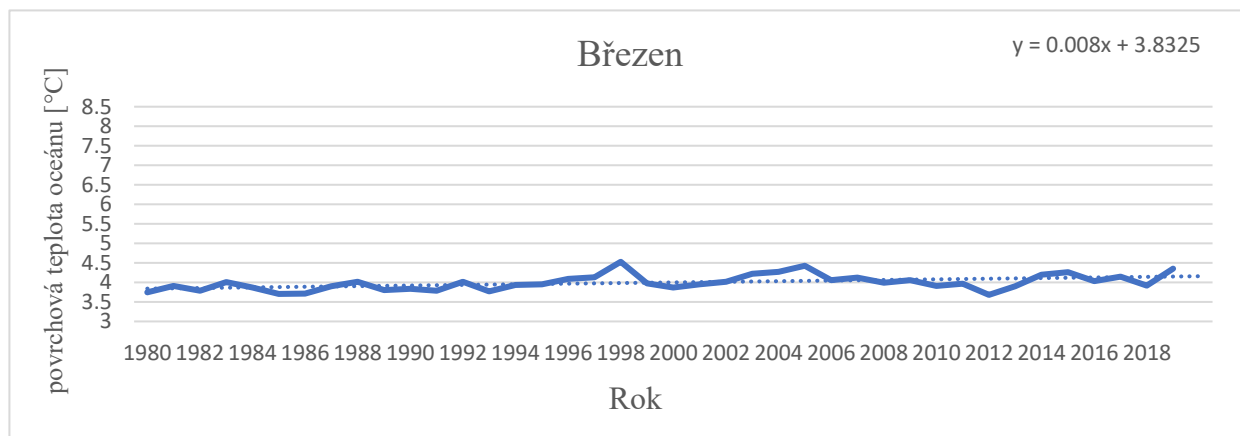
Zdroj vstupních dat: Met Office Hadley Centre observations datasets, vlastní zpracování

Příloha 2: Únorová časová řada průměrných teplot oceánu



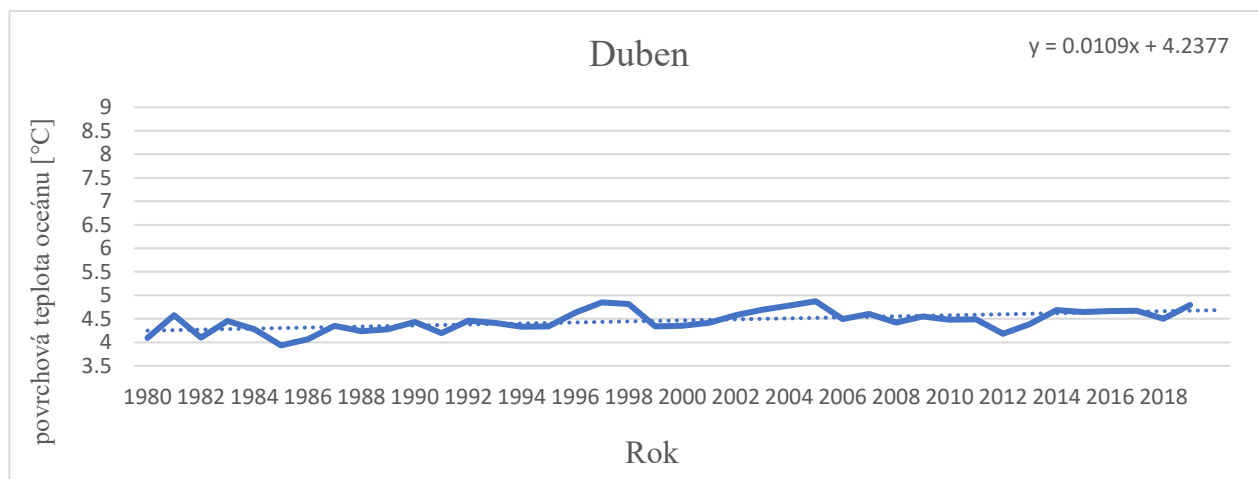
Zdroj vstupních dat: Met Office Hadley Centre observations datasets, vlastní zpracování

Příloha 3: Břežnová časová řada průměrných teplot oceánu



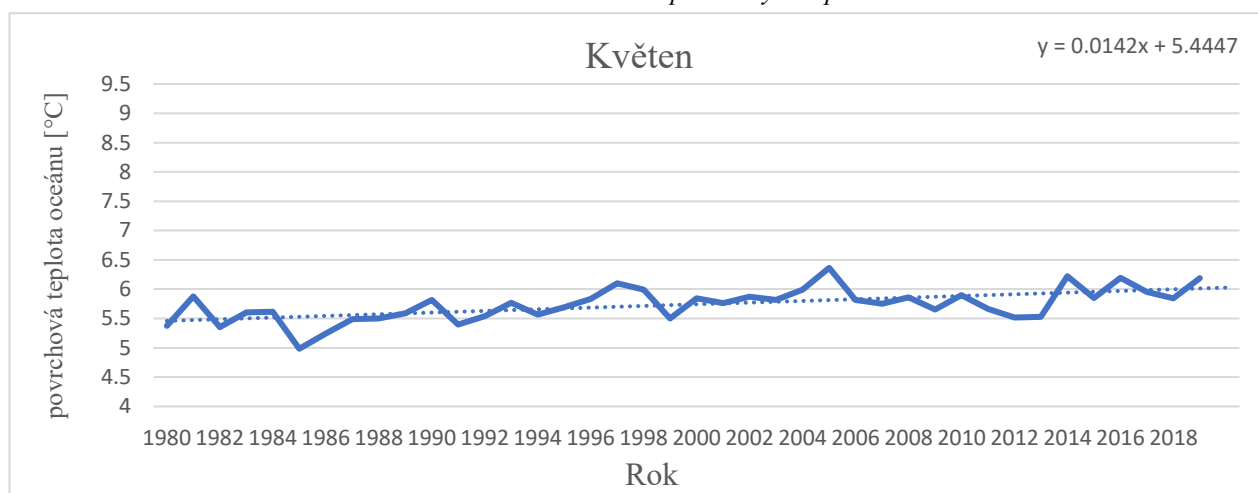
Zdroj vstupních dat: Met Office Hadley Centre observations datasets, vlastní zpracování

Příloha 4: Dubnová časová řada průměrných teplot oceánu



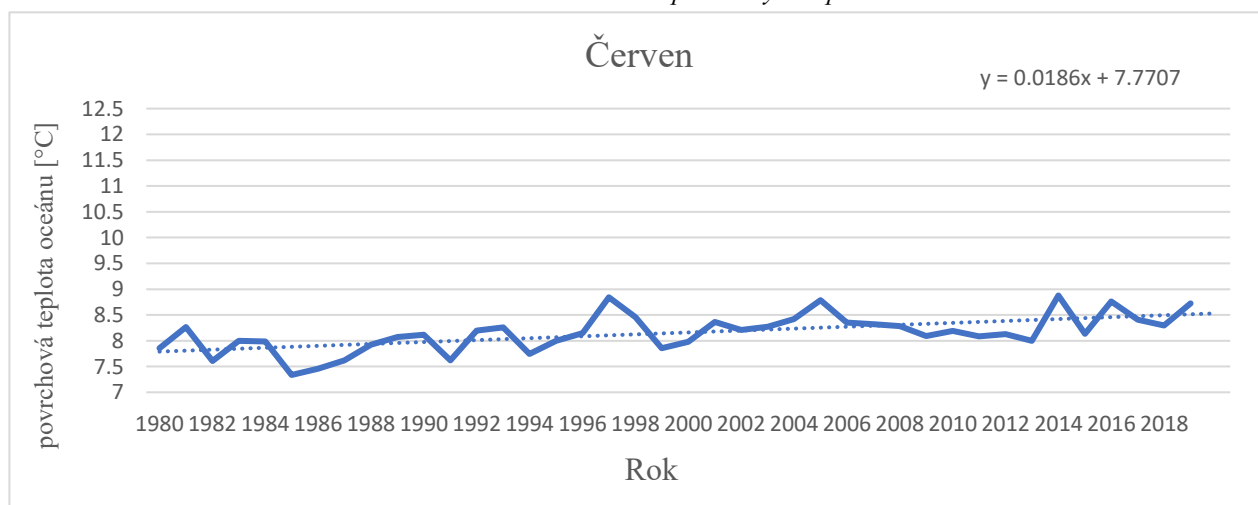
Zdroj vstupních dat: Met Office Hadley Centre observations datasets, vlastní zpracování

Příloha 5: Květnová časová řada průměrných teplot oceánu



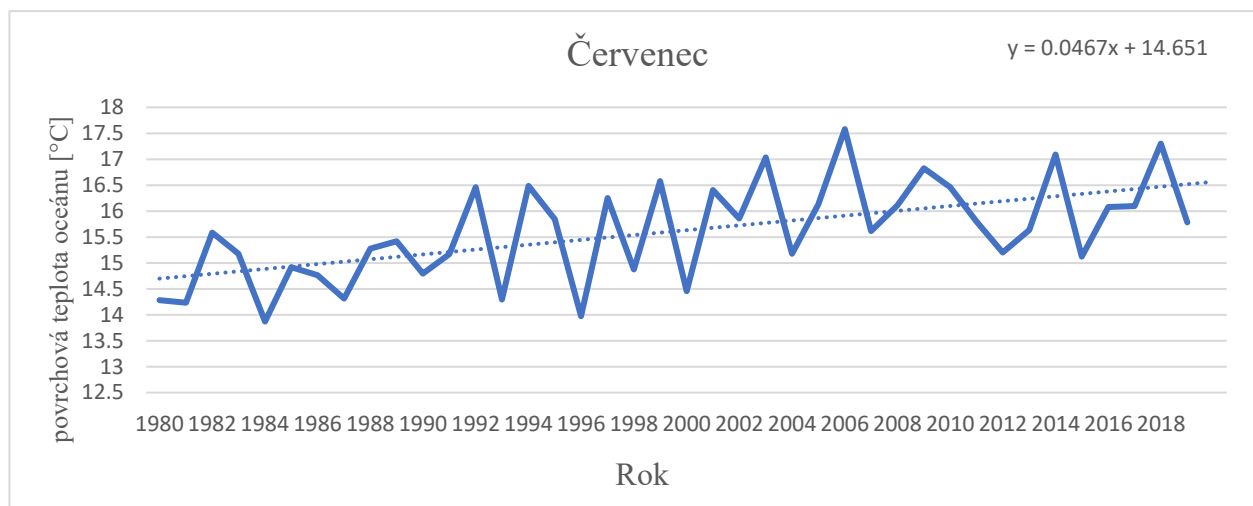
Zdroj vstupních dat: Met Office Hadley Centre observations datasets, vlastní zpracování

Příloha 6: Červnová časová řada průměrných teplot oceánu



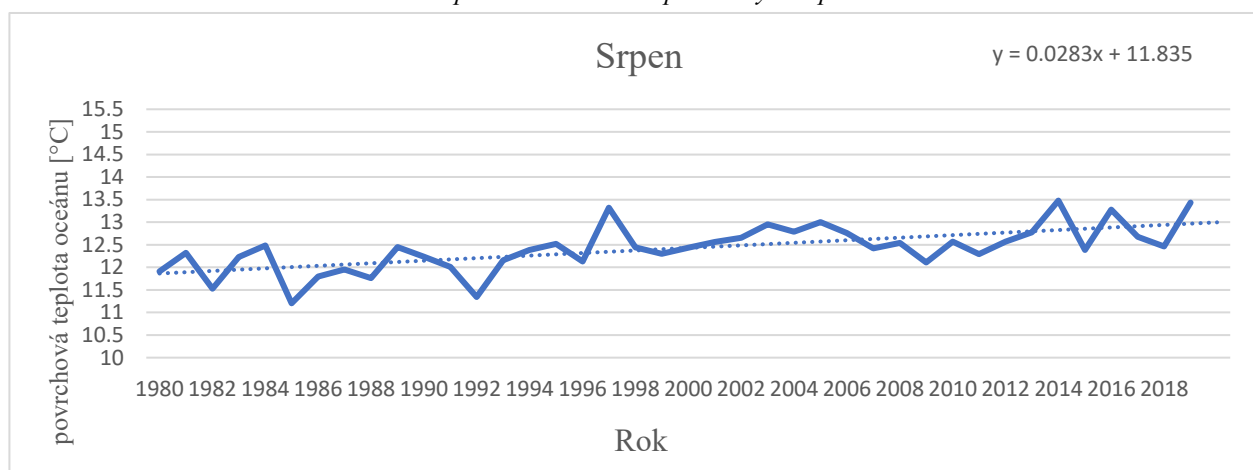
Zdroj vstupních dat: Met Office Hadley Centre observations datasets, vlastní zpracování

Příloha 7: Červencová časová řada průměrných teplot oceánu



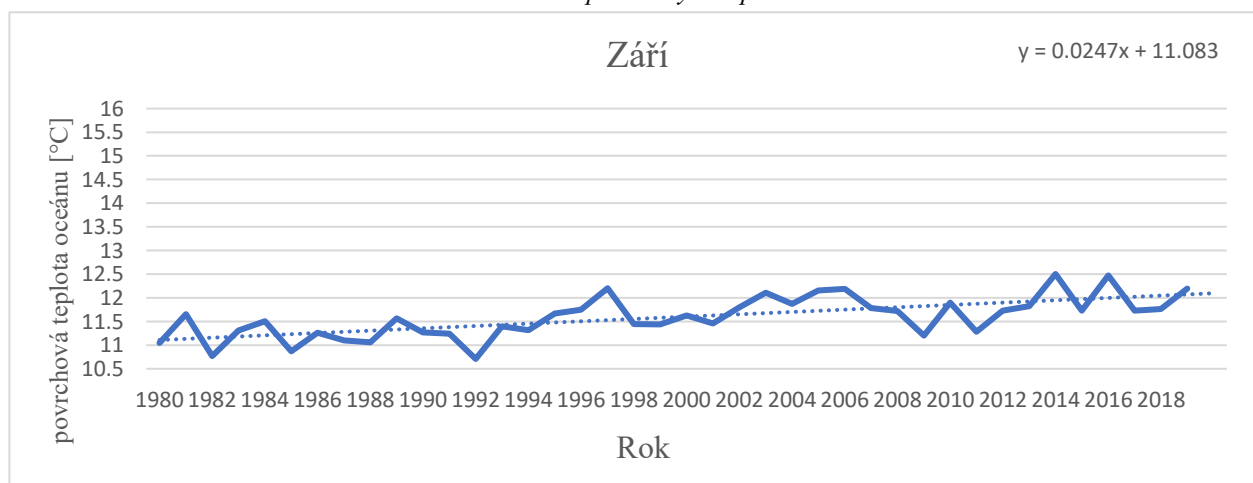
Zdroj vstupních dat: Met Office Hadley Centre observations datasets, vlastní zpracování

Příloha 8: Srpnová časová řada průměrných teplot oceánu



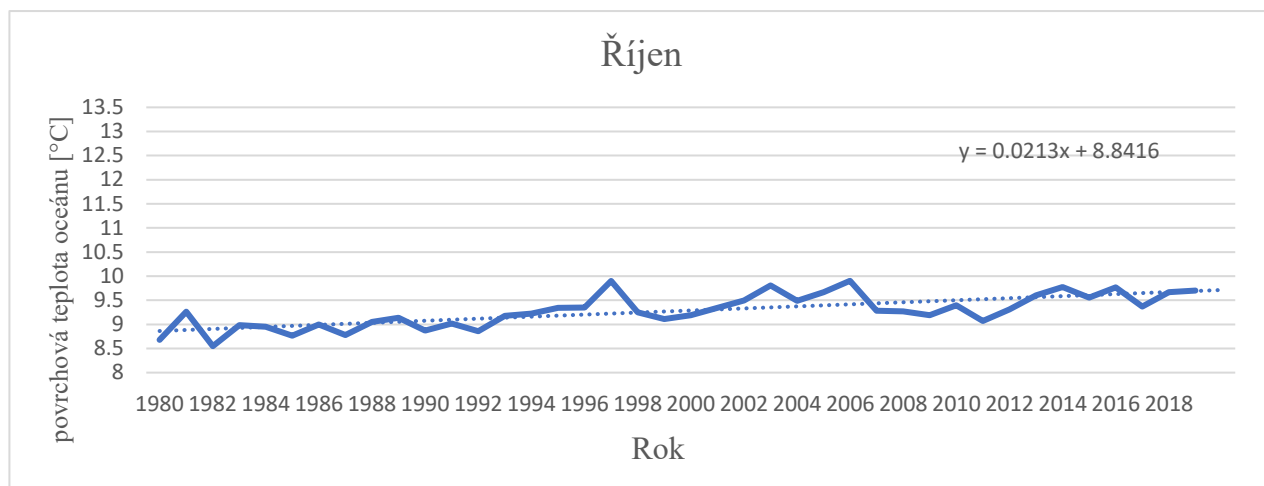
Zdroj vstupních dat: Met Office Hadley Centre observations datasets, vlastní zpracování

Příloha 9: Časová řada průměrných teplot oceánu v září



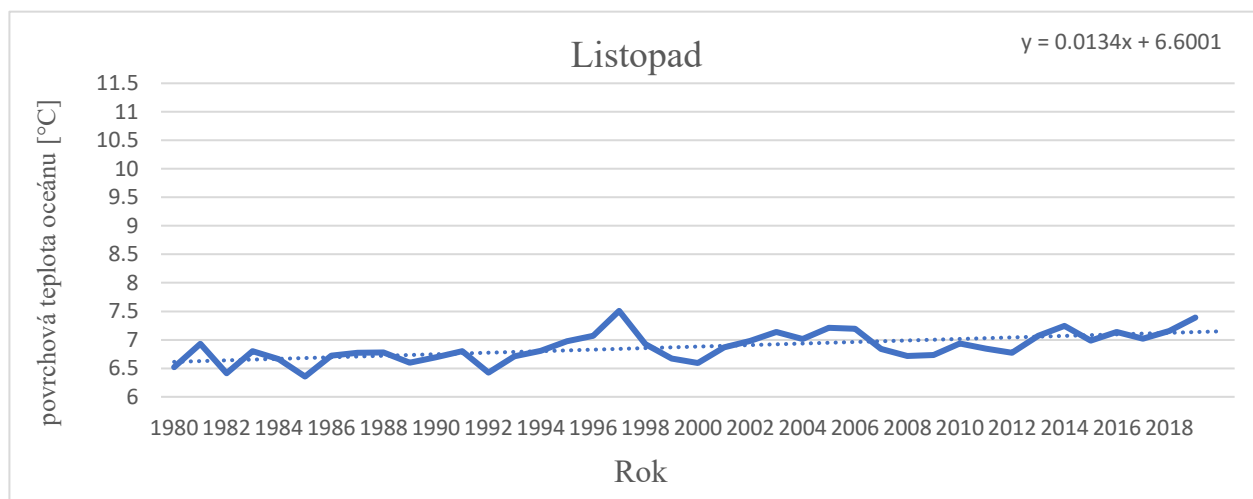
Zdroj vstupních dat: Met Office Hadley Centre observations datasets, vlastní zpracování

Příloha 10: Říjnová časová řada průměrných teplot oceánu



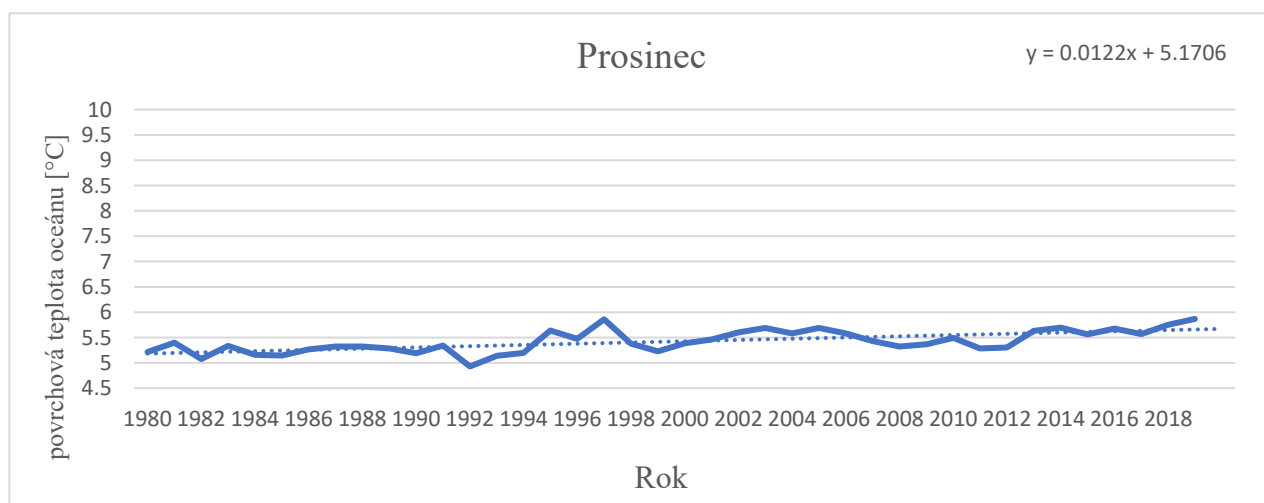
Zdroj vstupních dat: Met Office Hadley Centre observations datasets, vlastní zpracování

Příloha 11: Listopadová časová řada průměrných teplot oceánu



Zdroj vstupních dat: Met Office Hadley Centre observations datasets, vlastní zpracování

Příloha 12: Prosincová časová řada průměrných teplot oceánu



Zdroj vstupních dat: Met Office Hadley Centre observations datasets, vlastní zpracování