

Společně využívané podzemní vody na česko-saském pomezí (GRACE)
Gemeinsam genutzte Grundwasserressourcen im tschechisch-sächsischen Grenzgebiet (GRACE)

Vliv klimatické změny na celkovou vodnost obou oblastí

ZÁVĚREČNÁ ZPRÁVA

Mgr. Marta Martínková





Vliv klimatické změny na celkovou vodnost obou oblastí

Mgr. Marta Martínková

Název a sídlo organizace:

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i.
Podbabská 30, 160 00 Praha 6

Ředitel:

Mgr. Mark Rieder

Zadavatel:

Saská rozvojová banka - dotační banka
Sächsisches Aufbaubank - Förderbank (SAB)

Zástupce zadavatele:

Centrum pro regionální rozvoj Chomutov

Zahájení a ukončení úkolu:

leden 2012 – prosinec 2013

Místo uložení zprávy:

SVTI VÚV TGM, v.v.i.

Náměstek pro výzkumnou a odbornou činnost:

Ing. Petr Bouška, Ph.D.

Hlavní koordinátorka úkolu GRACE:

Ing. Marie Kalinová

Řešitel:

Mgr. Marta Martínková

Zástupce projektového partnera:

Dr. Anna-Katarina Böhm

Spolupracovníci:

Ing. Kateřina Poláková, Ing. Roman Kožíň, Ing. Libuše Ramešová

Obsah:

1. Úvod.....	4
2. Motivace	6
3. Data	7
3.1 Úvod	7
3.2 Popis datové sady	7
3.3 Charakteristika klimatu zájmového území podle E-OBS	8
3.3.1 Teplota vzduchu	8
3.3.2 Srážky	12
4. Výsledky – pozorované trendy klimatických veličin	17
4.1 Teplota vzduchu.....	17
4.2 Srážky.....	21
4.3 Shrnutí a diskuse pozorovaných trendů.....	25
5. Projekce budoucího vývoje podle CMIP5.....	26
5.1 Úvod	26
5.2 Vývoj teploty vzduchu.....	27
5.3 Vývoj srážek	29
5.4 Vývoj evapotranspirace podle projekcí z CMIP5.....	32
6. Shrnutí výsledků a závěry pro podzemní vody.....	33
7. Seznam citované literatury	34
Poděkování	35

Seznam obrázků:

Obr. 1: Vymezení zájmového území pro Studii vlivu klimatu s přibližným vyznačením obou zájmových oblastí GRACE (Zdroj: www.mapy.cz).....	5
Obr. 2: Vybrané gridbody E-OBS.....	8
Obr. 3: Průměrná roční teplota [°C]	9
Obr. 4: Průměrná teplota v zimní části roku [°C]	9
Obr. 5: Průměrná teplota v letní části roku [°C]	10

Obr. 6: Průměrná teplota pro období prosinec–únor [°C].....	10
Obr. 7: Průměrná teplota pro období březem–květen [°C].....	11
Obr. 8: Průměrná teplota pro období červen–srpen [°C].....	11
Obr. 9: Průměrná teplota pro období září–listopad [°C].....	12
Obr. 10: Průměrný roční úhrn srážek [mm].....	12
Obr. 11: Průměrný úhrn srážek v zimní části roku [mm].....	13
Obr. 12: Průměrný úhrn srážek v letní části roku [mm].....	13
Obr. 13: Průměrný úhrn srážek pro období prosinec–únor [mm].....	14
Obr. 14: Průměrný úhrn srážek pro období březem–květen [mm].....	14
Obr. 15: Průměrný úhrn srážek pro období červen–srpen [mm].....	15
Obr. 16: Průměrný úhrn srážek pro období září–listopad [mm].....	15
Obr. 17: Změna průměrné roční teploty [°C], všechny hodnoty jsou statisticky významné.....	17
Obr. 18: Změna průměrné teploty v zimní části roku [°C], všechny hodnoty jsou statisticky významné.....	18
Obr. 19: Změna průměrné teploty v letní části roku [°C], všechny hodnoty jsou statisticky významné.....	18
Obr. 20: Změna průměrné teploty pro období prosinec–únor [°C], všechny hodnoty jsou statisticky významné.....	19
Obr. 21: Změna průměrné teploty pro období březem–květen [°C], všechny hodnoty jsou statisticky významné.....	20
Obr. 22: Změna průměrné teploty pro období červen-srpen [°C], všechny hodnoty jsou statisticky významné.....	20
Obr. 23: Změna průměrné teploty pro období září–listopad [°C], pouze hodnota gridbodu na sever od Oblasti 1 (0,09 °C) je bez statistické významnosti.....	21
Obr. 24: Změna průměrného ročního úhrnu srážek [%].....	21
Obr. 25: Změna průměrného úhrnu srážek v zimní části roku [%].....	22
Obr. 26: Změna průměrného úhrnu srážek v letní části roku [%].....	22
Obr. 27: Změna průměrného úhrnu srážek pro období prosinec–únor [%].....	23
Obr. 28: Změna průměrného úhrnu srážek pro období březem–květen [%].....	23
Obr. 29: Změna průměrného úhrnu srážek pro období červen–srpen [%].....	24
Obr. 30: Změna průměrného úhrnu srážek pro období září–listopad [%].....	24
Obr. 31: Vybraná povodí CMIP5.....	27
Obr. 32: Změna teploty mezi kontrolním obdobím a budoucím obdobím 2021–2050 podle scénářů CMIP5	28
Obr. 33: Změna teploty mezi kontrolním obdobím a budoucím obdobím 2071–2100 podle scénářů CMIP5	29
Obr. 34: Procentuální změna úhrnu srážek mezi kontrolním obdobím a budoucím obdobím 2021-2050 podle scénářů CMIP5.....	31

Obr. 35: Procentuální změna úhrnu srážek mezi kontrolním obdobím a budoucím obdobím 2071-2100 podle scénářů CMIP5	31
---	----

Seznam tabulek:

Tab. 1: Přehled výsledků zpracování datové sady E-OBS pro časové období 1. 1. 1950–31. 12. 2012	16
Tab. 2: Výsledky srovnání datových sad E-OBS pro období 1950–1981 a 1982–2012, hodnoty bez statistické významnosti jsou vyznačeny kurzívou	25
Tab. 3: Změna průměrné měsíční teploty pro jednotlivá vybraná povodí 1 až 4 podle CMIP5 [°C]	27
Tab. 4: Změna průměrného měsíčního úhrnu srážek pro jednotlivá vybraná povodí 1 až 4 podle průměru CMIP5 [%]	30
Tab. 5: Průměrné teploty pro jednotlivé měsíce kontrolního a dvou budoucích období podle CMIP5	32
Tab. 6: Vypočítané průměrné potenciální evapotranspirace pro jednotlivé měsíce kontrolního a dvou budoucích období podle CMIP5	32

1. Úvod

Tato zpráva uvádí výsledky prací provedených v dílčí studii **Vliv klimatické změny na celkovou vodnost oblastí** (Studie vlivu klimatu) v rámci projektu **Společně využívané podzemní vody na česko-saském pomezí (GRACE)**, podporovaného z Programu Cíl 3 na podporu přeshraniční spolupráce mezi Českou republikou a Svobodným státem Sasko Evropského fondu pro regionální rozvoj.

Projekt GRACE se zabývá dvěma přeshraničními zájmovými oblastmi, a to oblastí Hřensko–Křinice/Kirnitzsch a oblastí Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin.

Cílem projektu GRACE je především vytvoření Společné strategie ochrany vodních zdrojů podzemních vod v obou zájmových oblastech projektu (Strategie). Cílem Strategie je navrhnout taková opatření, která směřují k trvale udržitelnému užívání přírodních zdrojů vody pro zásobování pitnou vodou a přispět k realizaci Rámcové směrnice pro vodní politiku.

Hlavním nástrojem pro vytvoření Strategie jsou přeshraniční modely proudění podzemních vod. Tyto matematické modely pracují v ročním časovém kroku a s jejich pomocí jsou vytvářeny scénáře možného budoucího vývoje množství podzemních vod v obou zájmových oblastech (Scénáře). Scénáře jsou následně podkladem pro vytvoření Strategie.

Studie vlivu klimatu se zabývala možnými vlivy změn v klimatu na celkovou vodnost obou zájmových oblastí projektu GRACE.

Hlavním cílem Studie vlivu klimatu bylo především:

- 1) poskytnout vstupní data pro Scénáře o možných budoucích změnách v dotaci podzemních vod a
- 2) vyhodnotit relevantní dostupné datové a informační zdroje a z výsledků této analýzy vytvořit hypotézy o možném budoucím vývoji vlivu klimatu na vodnost obou zájmových oblastí.

Území, kterým se zabývá Studie vlivu klimatu, je zobrazeno na obr. 1. Vzhledem k tomu, že zájmové oblasti projektu GRACE se nacházejí relativně blízko sebe, je pro účely Studie vlivu klimatu zájmové území vymezeno jako společné. Zájmová oblast GRACE Hřensko–Křinice/Kirnitzsch je v dalším textu označována jako Oblast 1 a zájmová oblast GRACE Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin je dále označována jako Oblast 2.

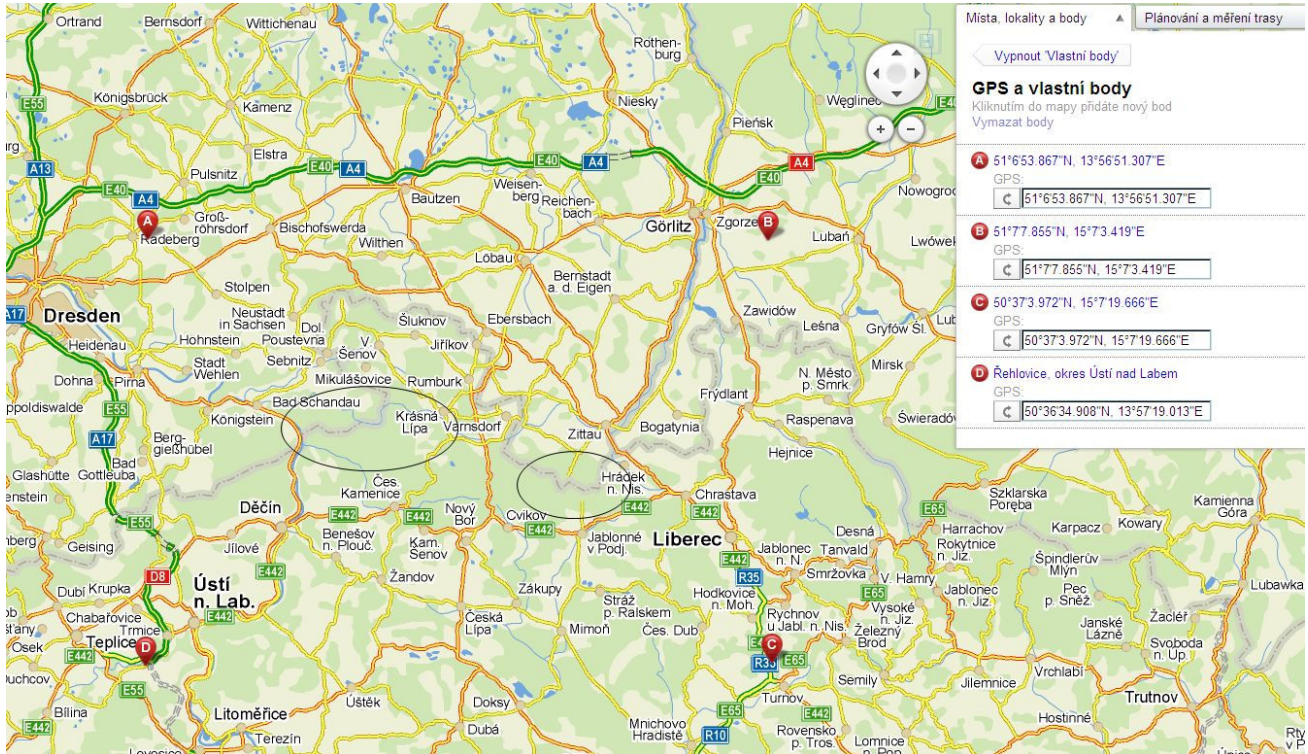
V obou zemích existují projekty zaměřené na možný vliv klimatické změny na vodní hospodářství, které většinou pracují s regionálními klimatickými scénáři. Jedná se o transienční klimatické modely, jejichž projekce popisují možný budoucí vývoj klimatu. Budoucí období těchto scénářů končí v roce 2050 či 2100. V současné době jsou často využívány regionální klimatické scénáře z projektu ENSEMBLES (<http://ensembles-eu.metoffice.com/>). Na saské straně se jedná např. o projekt KliWES (Klimaänderungen auf den Wasser- und Stoffhaushalt in den Einzugsgebieten der sächsischen Gewässer, <http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/wasser/8214.htm>).

V České republice proběhl projekt *Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny*

Společně využívané podzemní vody na česko-saském pomezí (GRACE)

Gemeinsam genutzte Grundwasserressourcen im tschechisch-sächsischen Grenzgebiet (GRACE)

v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření (Pretel et al., 2011).



Obr. 1: Vymezení zájmového území pro Studii vlivu klimatu s přibližným vyznačením obou zájmových oblastí GRACE (Zdroj: www.mapy.cz)

Dále je překládaná zpráva členěna následovně:

V druhé kapitole je popsána motivace k řešení a jsou zde popsány možné vlivy změn ve srážkách a v teplotě vzduchu na podzemní vodu.

V třetí kapitole je popsána datová sada E-OBS a charakteristika klimatu zájmového území podle obsahu této datové sady.

Trendy teploty vzduchu a úhrnů srážek, jak vyplynuly z analýzy datové sady E-OBS, jsou uvedeny ve čtvrté kapitole.

Budoucí vývoj klimatu, jak je projektován globálními klimatickými scénáři projektu CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5) pro relevantní povodí na českém území, je popsán v páté kapitole.

Shrnutí a nejdůležitější závěry relevantní pro vývoj množství podzemních vod v zájmových oblastech jsou uvedeny v šesté kapitole této zprávy.

Následující sedmá kapitola obsahuje seznam ve zprávě citované literatury.

2. Motivace

V rámci studia stavu podzemních vod v obou zájmových oblastech GRACE z hlediska jejich množství je nezbytné zabývat se i možnými vnějšími vlivy, mezi něž patří i vývoj klimatu.

Projekt GRACE se zabývá hledáním příčin poklesů hladin podzemních vod. Klima je jeden z důležitých činitelů, který ovlivňuje podzemní vody. Otázky, na které se hledá ve Studii vlivu klimatu odpověď, znějí:

Existují indicie vedoucí k závěru, že dochází nebo docházelo ke změnám klimatu, které by mohly ovlivnit hladiny podzemních vod?

Jaký je další možný vývoj klimatických veličin a jak pravděpodobně může ovlivnit množství podzemních vod?

Klimatické veličiny, kterými se Studie vlivu klimatu zabývá, jsou teplota vzduchu a množství srážek. Pro účely odhadu budoucího vývoje dotace podzemních vod byla dále vypočítána potenciální evapotranspirace podle Thornthwaite (1948).

Obecně, s rostoucí teplotou roste výpar a zároveň může vzduch absorbovat více vodní páry, jak vyplývá z Clausius-Clapeyronovy rovnice, která charakterizuje fázový přechod mezi dvěma stavy hmoty. Z tohoto vztahu vyplývá, že nejvyšší možný obsah vlhkosti ve vzduchu stoupá o 7 % na jeden stupeň Celsia s tím, jak stoupá teplota. To pak ovlivňuje množství, intenzitu, frekvenci, délku trvání a typ srážek. V teplejším klimatu dochází tedy ke zvyšování intenzity a zkracování doby trvání srážkových událostí, což může negativně ovlivňovat dotaci podzemních vod. Pozitivní trend teploty vzduchu může také způsobit změnu formy srážek (sníh-děšť). Příkladem může být, když v zimě v období vegetačního klidu dojde ke srážkové události, záchyt rostlinami je nižší vzhledem k vegetačnímu klidu, většina srážek oteče z povodí povrchoвым odtokem a dotace podzemních vod pak může být snížena. Negativní trend v množství spadlých srážek má zjevně negativní vliv na doplňování zásob podzemních vod. Může ale nastat situace, kdy se množství srážek za určité časové období (např. roční úhrn) v delším časovém horizontu nemění, ale mění se časové rozložení srážek během tohoto období. K takové situaci může například dojít v důsledku zvyšování teploty vzduchu (viz výše).

Z projektu *Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření* (Pretel et al., 2011) vyplynuly pro obě zájmové oblasti GRACE následující důležité poznatky (pro území ČR):

Z porovnání průměrných teplot pro období 1961–1989 a 1990–2007 vyplývá, že v obou zájmových oblastech GRACE dochází k zvýšení průměrných ročních teplot. Ke zvýšení dochází na jaře, v létě a v zimě, průměrné teploty na podzim zůstávají beze změn (Pretel et al., 2011).

Z porovnání ročních a sezónních srážkových úhrnů (1961–1989 a 1990–2007) vyplývá, že roční srážkové úhrny zůstávají stejné nebo dochází k velmi malému nárůstu. Avšak sezónní změny jsou již výraznější. Na podzim dochází k mírnému zvýšení srážek, v zimních měsících stoupají srážky jen velmi mírně a na jaře dochází ke zvýšení srážek. Důležité je, že v létě dochází k mírnému úbytku srážek (Pretel et al., 2011).

3. Data

3.1 Úvod

Dostupnost dat pro vymezené přeshraniční území je různá v České Republice a v Německu. Německá meteorologická služba (Deutscher Wetter Dienst, DWD) poskytuje pozorovaná staniční data na vyžádání pro nekomerční účely zdarma. V České republice je situace odlišná. Obecně jsou datové sady pozorovaných staničních dat poskytovány za poplatek. Některé údaje jsou zveřejněny na webových stránkách ČHMÚ.

Vzhledem k této situaci a dále vzhledem k tomu, že se jedná o přeshraniční oblast, bylo rozhodnuto použít jako vstupní data Studie vlivu klimatu především datovou sadu, která bude konzistentní a bude rovnoměrně pokrývat přeshraniční zájmové území Studie vlivu klimatu. Tato kritéria nejlépe splňují data z projektu ECA&D dostupná pro nekomerční účely bezplatně.

European Climate Assessment & Dataset project (ECA&D, <http://eca.knmi.nl/>) je mezinárodní projekt, jehož hlavním cílem je vytvořit datovou sadu pozorování na meteorologických stanicích v denním kroku, dalšími cíli jsou kontrola kvality dat, analýza extrémů a šíření dat a výsledků analýzy dat. Nové verze dat v denním kroku jsou uveřejňovány v pravidelných intervalech.

3.2 Popis datové sady

Datová sada E-OBS obsahuje data ze stanic ECA&D, která jsou převedena do rovnoběžné sítě.

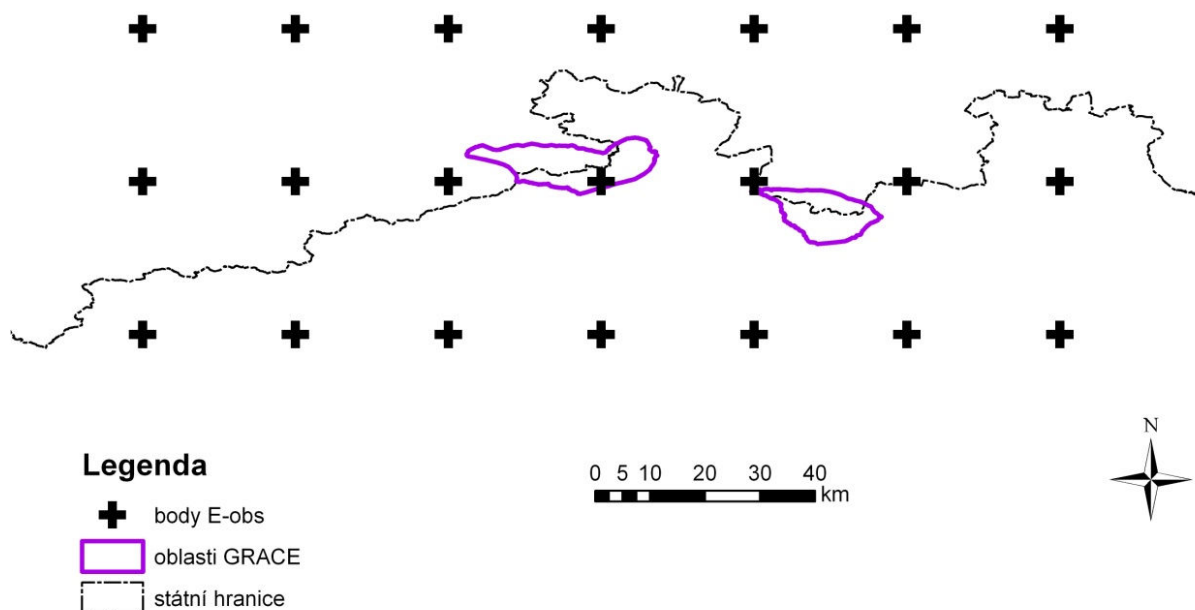
E-OBS obsahuje data o srážkách, tlaku vzduchu, minimální, průměrné a maximální teplotě. Data jsou k dispozici ve 4 různých verzích, v rozlišení 0.25 a 0.5 stupně zeměpisné šířky a délky pravidelné sítě a rotované sítě (0.22 a 0.44 stupně) se severním pólem v bodě 39.25N, 162W. Data pokrývají území 25N-75N x 40W-75E. Podrobnosti k převodu do rovnoběžné sítě a zpracování staničních dat uvádí Haylock et al. (2008) a dokument ATBD (ECA&D, 2013).

Pro účely Studie vlivu klimatu byla použita nejnovější verze E-OBS, která byla k dispozici. Jde o verzi 9.0 z října 2013 (<http://www.ecad.eu/download/ensembles/download.php>). Tato verze obsahuje data pro časové období od 1. 1. 1950 do 30. 6. 2013 v denním kroku. Bylo vybráno časové období od 1. 1. 1950 do 31. 12. 2012 pro veličiny průměrná denní teplota a denní úhrn srážek.

Z datové sady E-OBS byly vybrány gridy (buňky) sítě tak, aby bylo pokryto zájmové území Studie vlivu klimatu. Obr. 2 uvádí příslušné vybrané gridbody (centroidy buněk sítě) a jejich polohu vůči Oblasti 1 a Oblasti 2.

Společně využívané podzemní vody na česko-saském pomezí (GRACE)

Gemeinsam genutzte Grundwasserressourcen im tschechisch-sächsischen Grenzgebiet (GRACE)



Obr. 2: Vybrané gridbody E-OBS

3.3 Charakteristika klimatu zájmového území podle E-OBS

Zájmová území se nacházejí v mírném klimatickém pásu. Klima je zde přechodné mezi oceánským a kontinentálním se střídáním čtyř ročních období a převahou oceánského klimatu. Hlavní charakteristiky klimatu zájmového území jsou uvedeny na obr. 3 až 17 tak, jak vyplynuly ze zpracování datové sady E-OBS pro časové období od 1. 1. 1950 do 31. 12. 2012.

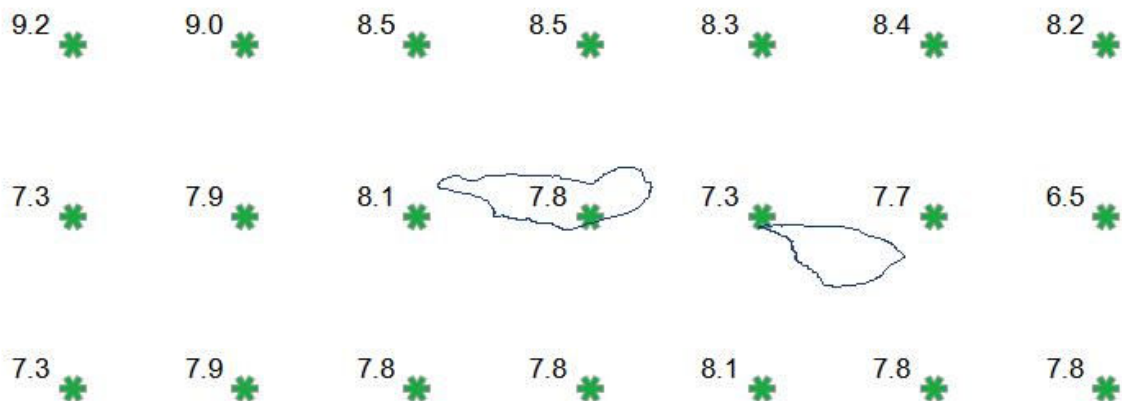
3.3.1 Teplota vzduchu

Nejprve je uvedena průměrná roční teplota vzduchu, pak průměrná sezónní teplota vzduchu pro zimní část roku (listopad–duben), průměrná teplota vzduchu pro letní část roku (květen–říjen) a nakonec průměrná teplota vzduchu pro čtyři roční období (prosinec–únor, březen–květen, červen–srpen a září–listopad). Teploty jsou uváděny ve stupních Celsia [°C]. Pro stejné časové jednotky jsou pak uvedeny i úhrny srážek. Úhrny srážek jsou uváděny v milimetrech [mm].

Společně využívané podzemní vody na česko-saském pomezí (GRACE)

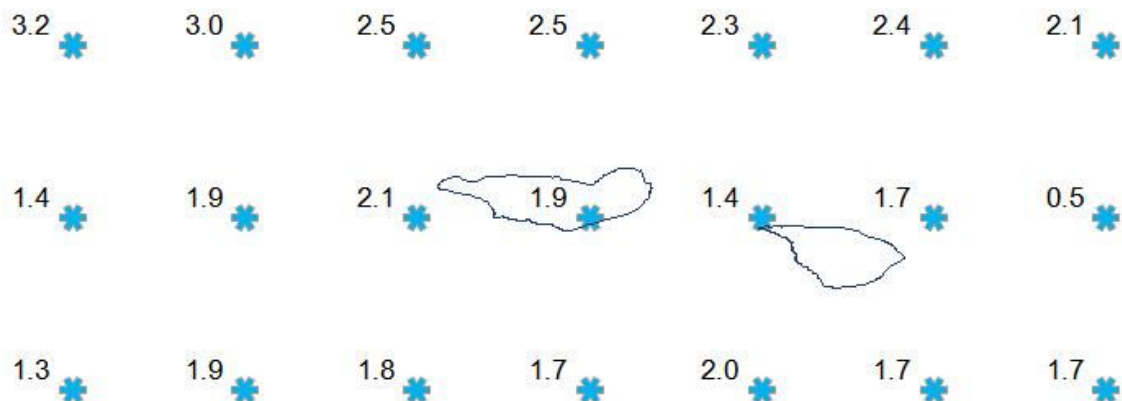
Gemeinsam genutzte Grundwasserressourcen im tschechisch-sächsischen Grenzgebiet (GRACE)

Průměrná roční teplota se v zájmovém území pohybuje mezi 6,5 a 9,2 °C, přičemž nejvyšší teploty jsou v severozápadním cípu zájmového území a nejnižší na východě zájmového území (obr. 3). Průměrná roční teplota za pozorované období pro Oblast 1 vychází 7,8 °C, pro západní část Oblasti 2 vychází 7,3 °C a pro východní část 7,7 °C.



Obr. 3: Průměrná roční teplota [°C]

Průměrná teplota v zimní části roku se v zájmovém území pohybuje mezi 0,5 a 3,2 °C, přičemž nejvyšší teplota je opět v severozápadním cípu zájmového území, a naopak nejnižší teplota je na východě zájmového území (obr. 4). Průměrná teplota v zimní části roku za pozorované období pro Oblast 1 vychází 1,9 °C, pro západní část Oblasti 2 vychází 1,4 °C a pro východní část 1,7 °C.



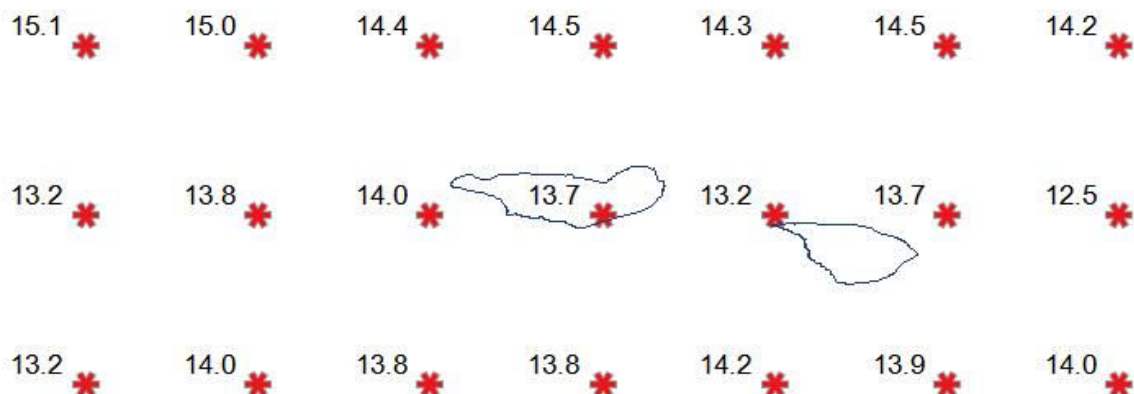
Obr. 4: Průměrná teplota v zimní části roku [°C]

Tomu také odpovídá průměrná teplota v letní části roku, která se pohybuje mezi 12,5 a 15,2 °C, přičemž nejvyšší teplota je opět v severozápadním cípu zájmového území, a naopak nejnižší

Společně využívané podzemní vody na česko-saském pomezí (GRACE)

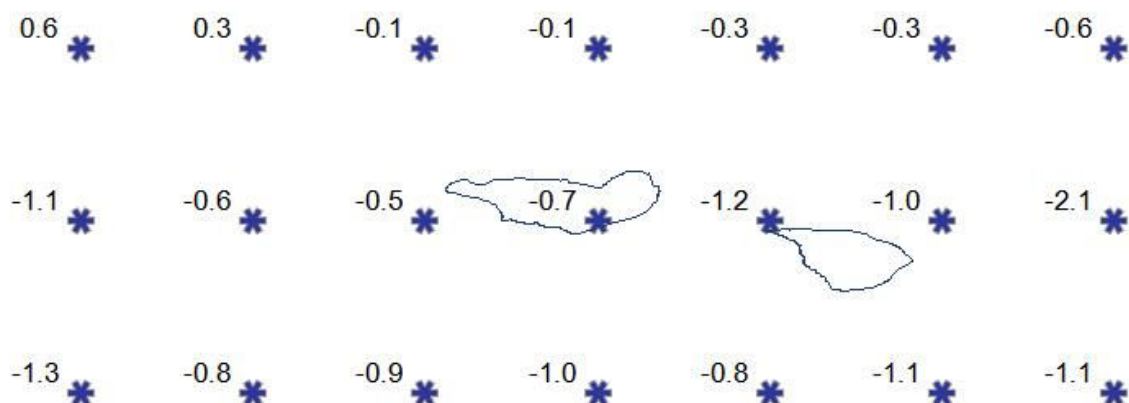
Gemeinsam genutzte Grundwasserressourcen im tschechisch-sächsischen Grenzgebiet (GRACE)

teplota je na východě zájmového území (obr. 5). Průměrná teplota v letní části roku za pozorované období pro Oblast 1 vychází 13,7 °C, pro západní část Oblasti 2 vychází 13,2 °C a pro východní část 13,7 °C.



Obr. 5: Průměrná teplota v letní části roku [°C]

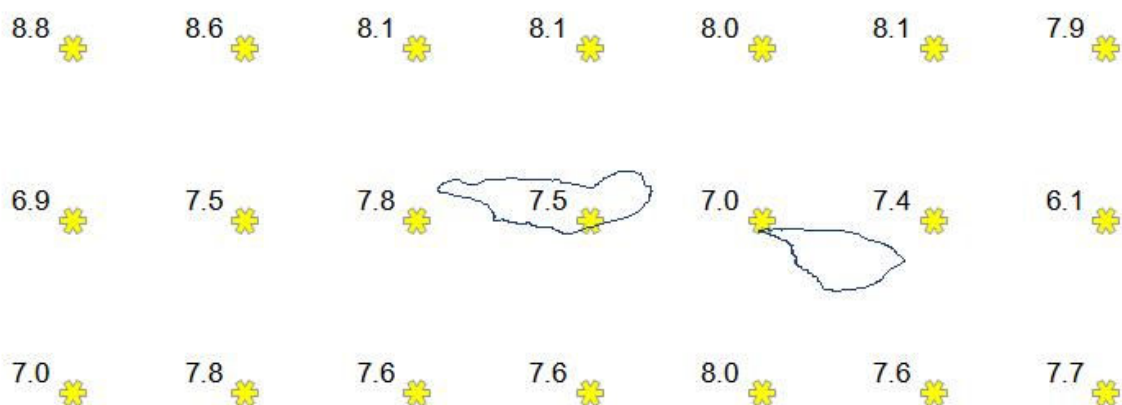
Průměrná teplota pro období prosinec–únor má podobné prostorové rozložení: nejvyšší teplota v severozápadním cípu území a nejnižší na jihozápadě zájmového území (obr. 6). Nejnižší teplota je pro toto období 2,1 °C a nejvyšší 0,6 °C. Průměrná teplota pro období prosinec–únor za pozorované období pro Oblast 1 vychází -0,7 °C, pro západní část Oblasti 2 vychází -1,2 °C a pro východní část -1,0 °C.



Obr. 6: Průměrná teplota pro období prosinec–únor [°C]

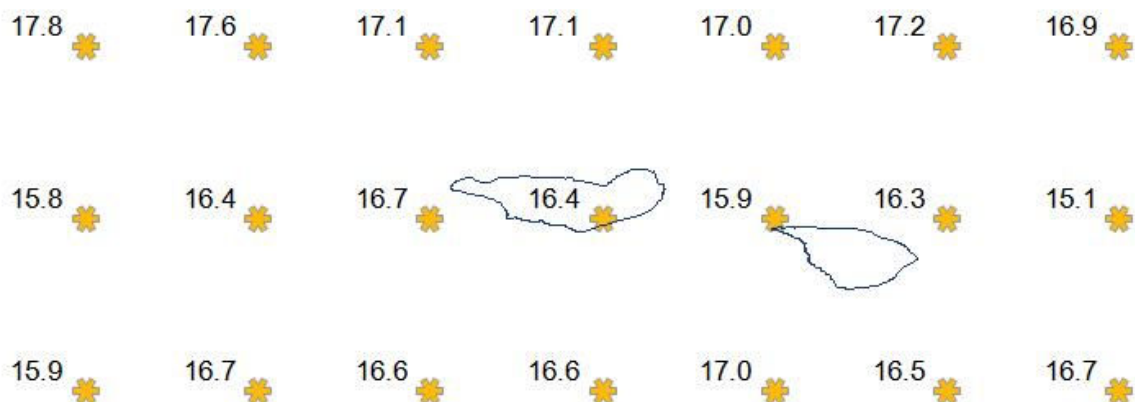
Průměrná teplota pro období březen–květen má obdobné prostorové rozložení: nejvyšší teplota je opět v severozápadním cípu území, ale nejnižší je na východě zájmového území (obr. 7). Nejnižší

teplota je pro toto období 6,1 °C a nejvyšší 8,8 °C. Průměrná teplota pro období března–květen za pozorované období pro Oblast 1 vychází 7,5 °C, pro západní část Oblasti 2 vychází 7,0 °C a pro východní část 7,4 °C.



Obr. 7: Průměrná teplota pro období března–květen [°C]

Průměrná teplota pro období června–srpen má obdobné prostorové rozložení: nejvyšší teplota je v severozápadním cípu území a nejnižší je na východě zájmového území (obr. 8). Nejnižší teplota je pro toto období 15,1 °C a nejvyšší 17,8 °C. Průměrná teplota pro období června–srpen za pozorované období pro Oblast 1 vychází 16,4 °C, pro západní část Oblasti 2 vychází 15,9 °C a pro východní část 16,3 °C.



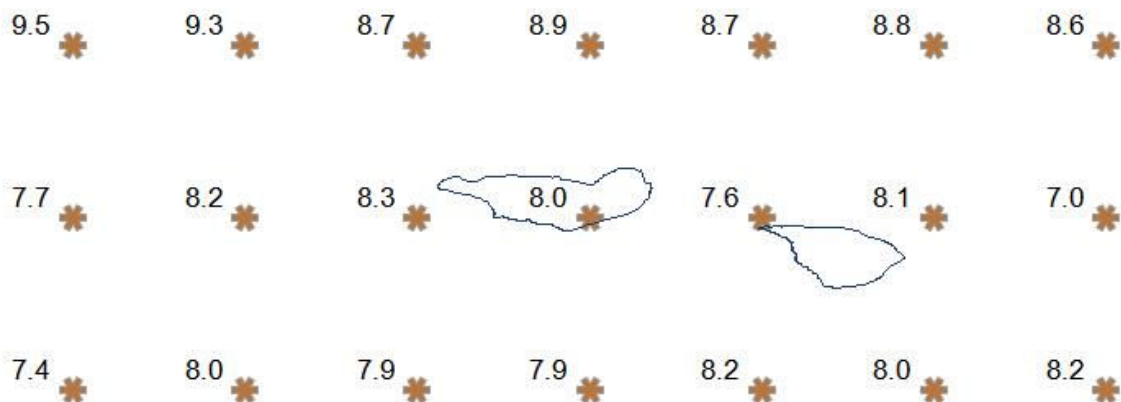
Obr. 8: Průměrná teplota pro období června–srpen [°C]

Průměrná teplota pro období září–listopad má také obdobné prostorové rozložení: nejvyšší teplota je v severozápadním cípu území a nejnižší je na východě zájmového území (obr. 9). Nejnižší

Společně využívané podzemní vody na česko-saském pomezí (GRACE)

Gemeinsam genutzte Grundwasserressourcen im tschechisch-sächsischen Grenzgebiet (GRACE)

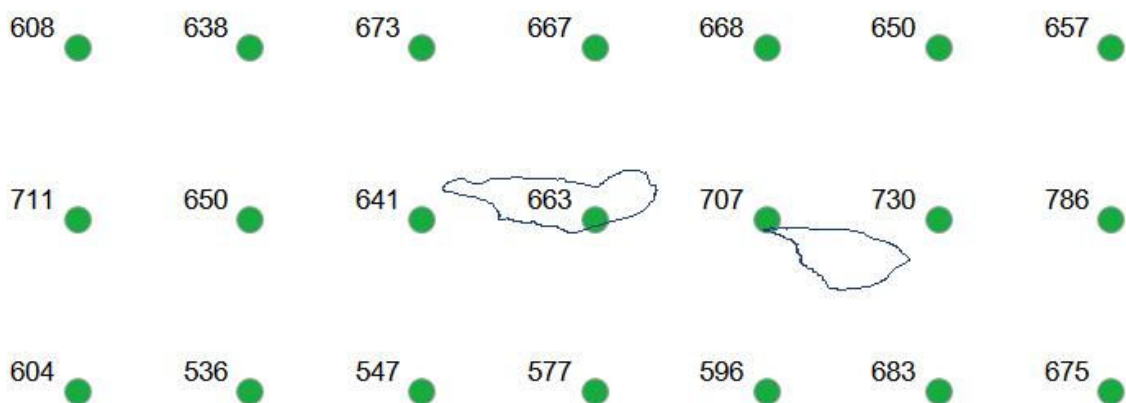
teplota je pro toto období 7,0 °C a nejvyšší 9,5 °C. Průměrná teplota pro období září–listopad za pozorované období pro Oblast 1 vychází 8,0 °C, pro západní část Oblasti 2 vychází 7,6 °C a pro východní část 8,1 °C.



Obr. 9: Průměrná teplota pro období září–listopad [°C]

3.3.2 Srážky

Průměrné roční úhrny srážek jsou relativně nízké na jihozápadě zájmového území a nejvyšší jsou na východě zájmového území, což odpovídá hodnotám teploty vzduchu. Nejnižší roční úhrn srážek je 536 mm a nejvyšší je 786 mm (obr. 10). Průměrný roční úhrn srážek za pozorované období pro Oblast 1 je 663 mm, pro západní část Oblasti 2 je 707 mm a pro východní část 730 mm.



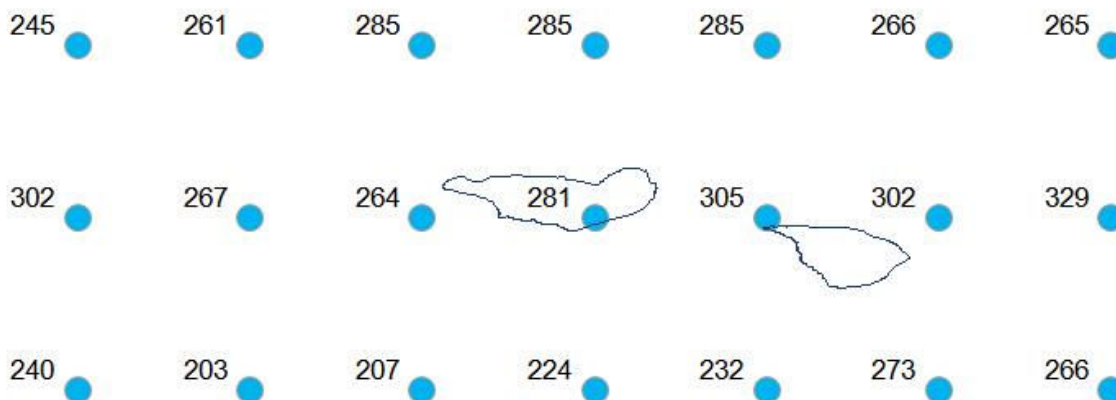
Obr. 10: Průměrný roční úhrn srážek [mm]

Průměrné úhrny srážek v zimní části roku jsou opět relativně nízké na jihozápadě zájmového území a nejvyšší jsou na východě zájmového území. Nejnižší průměrný úhrn srážek v zimní části

Společně využívané podzemní vody na česko-saském pomezí (GRACE)

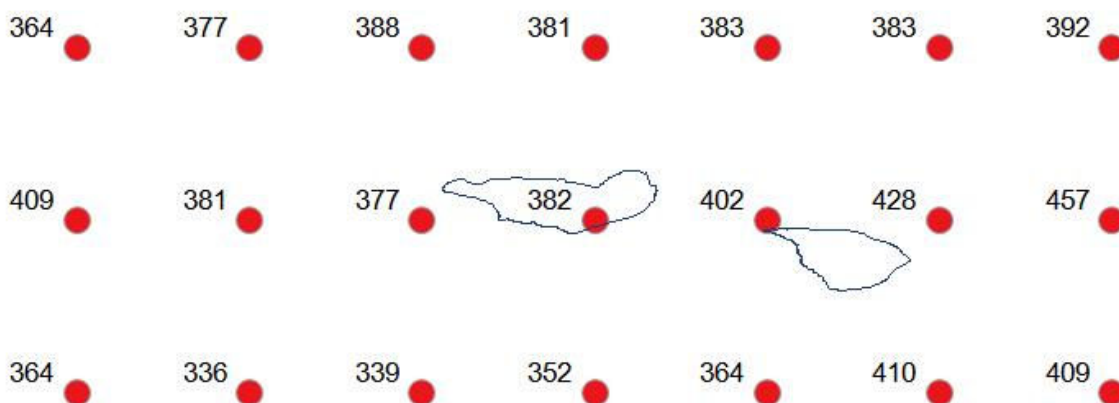
Gemeinsam genutzte Grundwasserressourcen im tschechisch-sächsischen Grenzgebiet (GRACE)

roku je 203 mm a nejvyšší je 329 mm (obr. 11). Průměrný úhrn srážek v zimní části roku za pozorované období pro Oblast 1 je 281 mm, pro západní část Oblasti 2 je 305 mm a pro východní část 302 mm.



Obr. 11: Průměrný úhrn srážek v zimní části roku [mm]

Průměrné úhrny v letní části roku jsou vyšší než v zimním období. Jsou opět relativně nízké na jihozápadě zájmového území a nejvyšší jsou na východě zájmového území. Nejnižší průměrný úhrn srážek v zimní části roku je 336 mm a nejvyšší je 457 mm (obr. 12). Průměrný úhrn srážek v letní části roku za pozorované období pro Oblast 1 je 382 mm, pro západní část Oblasti 2 je 402 mm a pro východní část 428 mm.



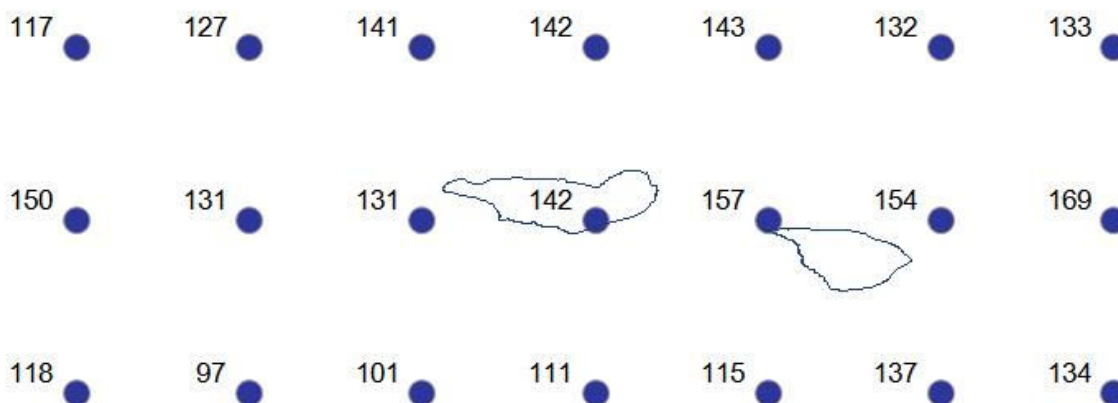
Obr. 12: Průměrný úhrn srážek v letní části roku [mm]

Prostorové rozložení průměrných srážkových úhrnů v zimě odpovídá hodnotám uvedeným výše. Nejnižší srážkové úhrny jsou na jihu zájmového území a nejvyšší jsou na východě. Nejnižší průměrný úhrn srážek v zimě je 97 mm a nejvyšší je 169 mm (obr. 13). Průměrný úhrn srážek

Společně využívané podzemní vody na česko-saském pomezí (GRACE)

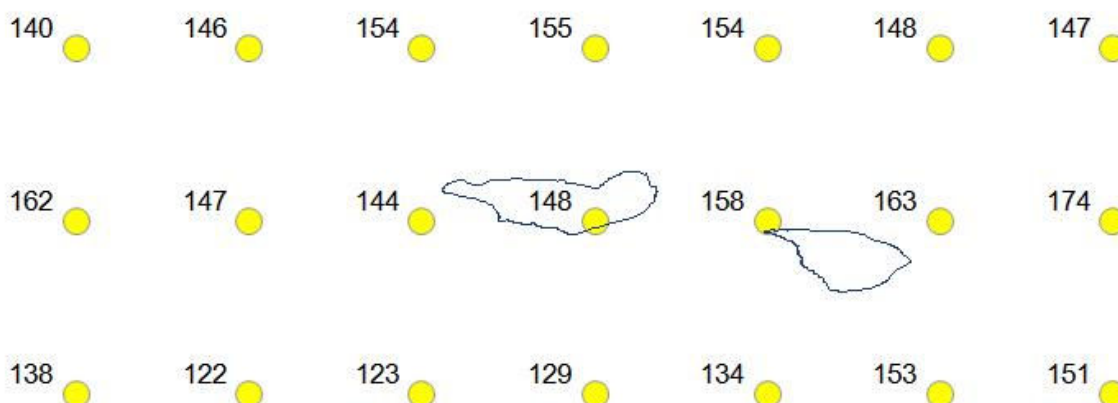
Gemeinsam genutzte Grundwasserressourcen im tschechisch-sächsischen Grenzgebiet (GRACE)

pro období prosinec–únor za pozorované období pro Oblast 1 je 142 mm, pro západní část Oblasti 2 je 157 mm a pro východní část 154 mm.



Obr. 13: Průměrný úhrn srážek pro období prosinec–únor [mm]

Prostorové rozložení průměrných srážkových úhrnů na jaře také odpovídá hodnotám uvedeným výše. Nejnižší srážkové úhrny jsou na jihu zájmového území a nejvyšší jsou na východě. Na jaře jsou srážkové úhrny v zájmovém území vyšší než v zimě, přičemž jejich nejnižší hodnota je 122 mm a nejvyšší 174 mm (obr. 14). Průměrný úhrn srážek pro období březec–květen za pozorované období pro Oblast 1 je 148 mm, pro západní část Oblasti 2 je 158 mm a pro východní část 163 mm.



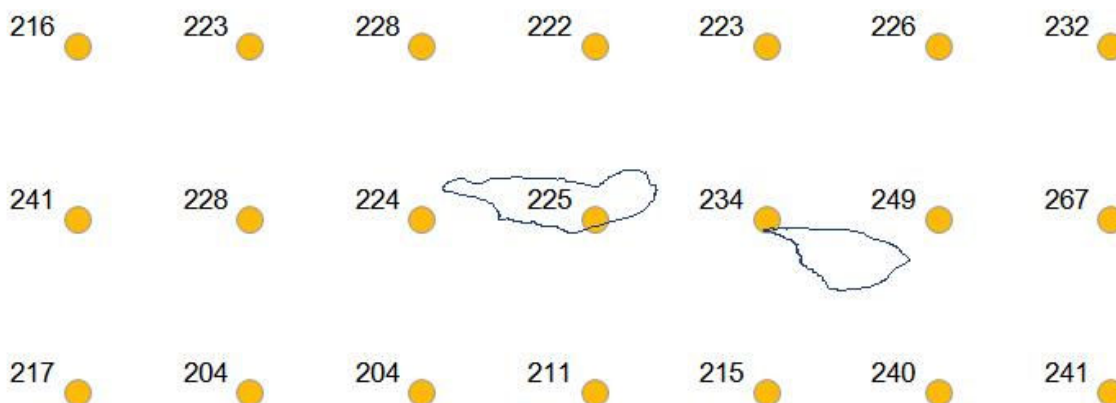
Obr. 14: Průměrný úhrn srážek pro období březec–květen [mm]

V létě jsou průměrné srážkové úhrny pro zájmové území nejvyšší a jejich prostorové rozložení odpovídá hodnotám uvedeným výše. Nejnižší srážkové úhrny jsou na jihu zájmového území a nejvyšší jsou na východě. Nejnižší hodnota srážkového úhrnu v létě je 204 mm a nejvyšší je

Společně využívané podzemní vody na česko-saském pomezí (GRACE)

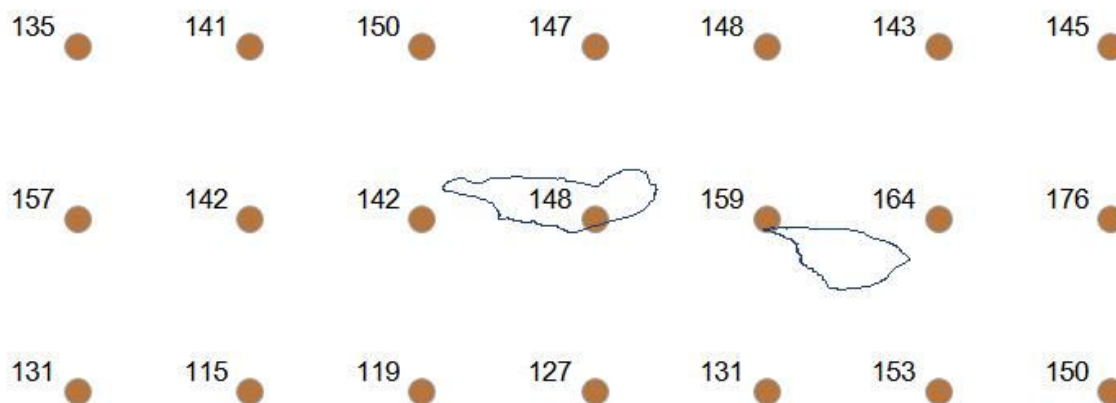
Gemeinsam genutzte Grundwasserressourcen im tschechisch-sächsischen Grenzgebiet (GRACE)

267 mm (obr. 15). Průměrný úhrn srážek pro období červen–srpen za pozorované období pro Oblast 1 je 225 mm, pro západní část Oblasti 2 je 234 mm a pro východní část 249 mm.



Obr. 15: Průměrný úhrn srážek pro období červen–srpen [mm]

Na podzim vycházejí pro zájmové území srážkové úhrny obdobně jako pro jaro a jejich prostorové rozložení odpovídá hodnotám uvedeným výše. Nejnižší srážkové úhrny jsou na jihu zájmového území a nejvyšší jsou na východě. Nejnižší hodnota srážkového úhrnu na podzim je 115 mm a nejvyšší je 176 mm (obr. 16). Průměrný úhrn srážek pro období září–listopad za pozorované období pro Oblast 1 je 148 mm, pro západní část Oblasti 2 je 159 mm a pro východní část 164 mm.



Obr. 16: Průměrný úhrn srážek pro období září–listopad [mm]

Zjištěné hodnoty odpovídají pro české území hodnotám, které uvádí Atlas podnebí Česka (Tolasz et al., 2007). Tabulka 1 uvádí přehledně výsledky pro obě oblasti.

Společně využívané podzemní vody na česko-saském pomezí (GRACE)

Gemeinsam genutzte Grundwasserressourcen im tschechisch-sächsischen Grenzgebiet (GRACE)

Tab. 1: Přehled výsledků zpracování datové sady E-OBS pro časové období 1. 1. 1950–31. 12. 2012

Veličina		Jednotka	Oblast 1	Oblast 2	
				západní část	východní část
Průměrná teplota	roční	[°C]	7,8	7,3	7,7
	zimní	[°C]	1,9	1,4	1,7
	letní	[°C]	13,7	13,2	13,7
	prosinec–únor	[°C]	-0,7	-1,2	-1,0
	březen–květen	[°C]	7,5	7,0	7,4
	červen–srpen	[°C]	16,4	15,9	16,3
	září–listopad	[°C]	8,0	7,6	8,1
Průměrný úhrn srážek	roční	[mm]	663	707	730
	zimní	[mm]	281	305	302
	letní	[mm]	382	402	428
	prosinec–únor	[mm]	142	157	154
	březen–květen	[mm]	148	158	163
	červen–srpen	[mm]	225	234	249
	září–listopad	[mm]	148	159	164

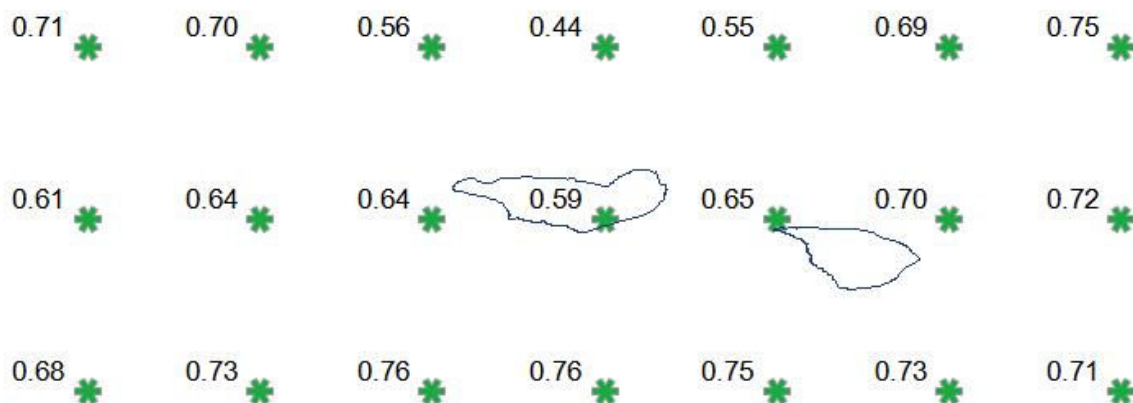
4. Výsledky – pozorované trendy klimatických veličin

Pro posouzení trendu ve vývoji teploty vzduchu a srážek byla datová sada získaná z E-OBS rozdělena na 2 časová období, a to 1950–1981 a 1982–2012. Pro obě období byly vypočteny průměrné teploty a úhrny srážek analogicky pro stejné časové jednotky, jako byly vypočteny pro celkovou charakteristiku klimatu zájmového území Studie vlivu klimatu. Zjištěné hodnoty pro obě období byly pak porovnány a z porovnání byly zjištěny hodnoty trendu vývoje teploty vzduchu a množství srážek pro jednotlivé gridbody, které patří do zájmového území Studie vlivu klimatu. Změny teploty jsou uváděny ve stupních Celsia [°C]. Pro stejné časové jednotky jsou pak uvedeny i změny úhrnů srážek. Změny úhrnů srážek jsou uváděny v procentech [%].

Pro všechny výsledky byla testována statistická významnost, výsledky s hodnotou $p < 0,05$ jsou považovány za statisticky významné. Z tohoto hodnocení vyšly zjištěné trendy teplot jako statisticky významné. Zjištěné trendy srážek vyšly povětšinou bez statistického významu.

4.1 Teplota vzduchu

Průměrná roční teplota vzduchu vykazuje nárůst pro celé zájmové území Studie vlivu klimatu, nejvyšší změna je 0,76 °C na jihu zájmového území a nejnižší změna je 0,44 °C na severu zájmového území uprostřed v západovýchodním směru (obr. 17). Změna průměrné roční teploty mezi oběma pozorovanými obdobími pro Oblast 1 vychází 0,59 °C, pro západní část Oblasti 2 vychází 0,65 °C a pro východní část 0,70 °C. Všechny hodnoty jsou statisticky významné.



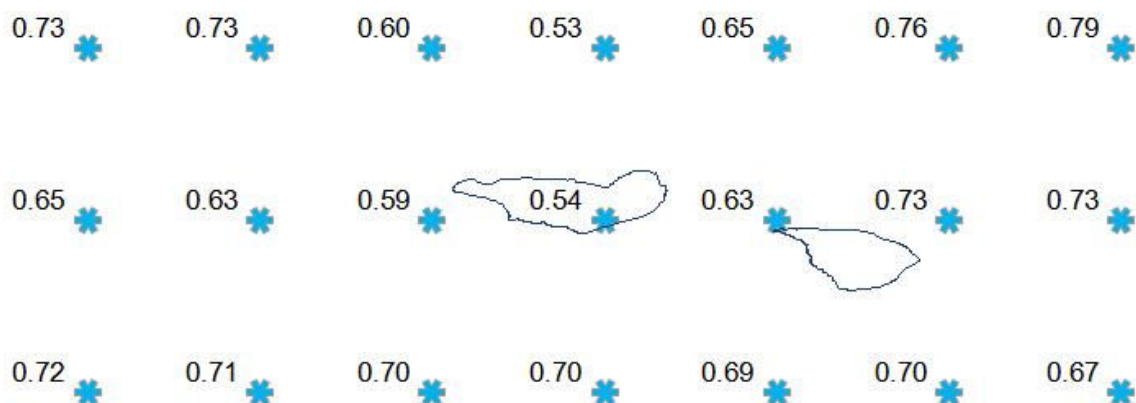
Obr. 17: Změna průměrné roční teploty [°C], všechny hodnoty jsou statisticky významné

Průměrná teplota vzduchu v zimní části roku roste pro celé zájmové území Studie vlivu klimatu, nejvyšší změna je 0,79 °C v severovýchodním cípu zájmového území a nejnižší – 0,53 °C – je ve střední části zájmového území na sever od Oblasti 1 (obr. 18). Změna průměrné teploty v zimní

Společně využívané podzemní vody na česko-saském pomezí (GRACE)

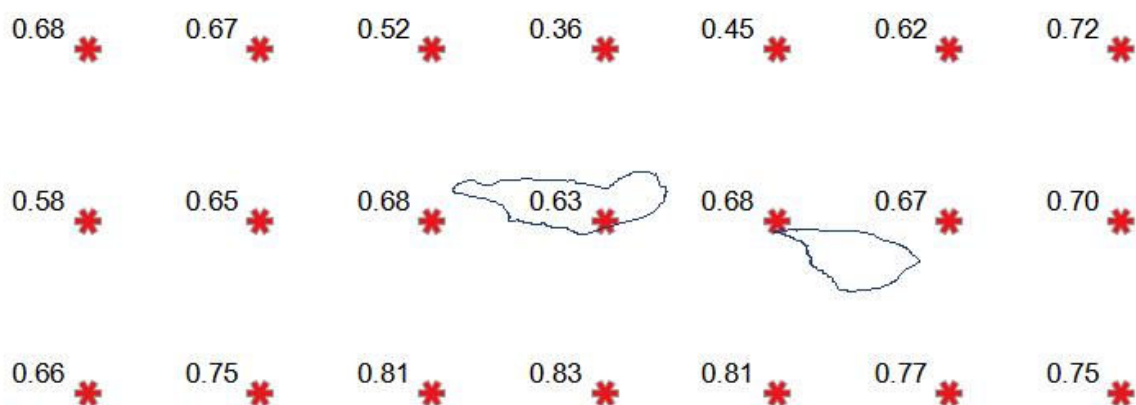
Gemeinsam genutzte Grundwasserressourcen im tschechisch-sächsischen Grenzgebiet (GRACE)

části roku mezi oběma pozorovanými obdobími pro Oblast 1 vychází 0,54 °C, pro západní část Oblasti 2 vychází 0,63 °C a pro východní část 0,73 °C. Všechny hodnoty jsou statisticky významné.



Obr. 18: Změna průměrné teploty v zimní části roku [°C], všechny hodnoty jsou statisticky významné

Průměrná teplota vzduchu v letní části roku roste pro celé zájmové území Studie vlivu klimatu, nejvyšší změna je 0,83 °C na jih od Oblasti 1 a nejnižší je naopak na sever od Oblasti 1 (obr. 19). Změna průměrné teploty v letní části roku mezi oběma pozorovanými obdobími pro Oblast 1 vychází 0,63 °C, pro západní část Oblasti 2 vychází 0,68 °C a pro východní část 0,67 °C. Všechny hodnoty jsou statisticky významné.

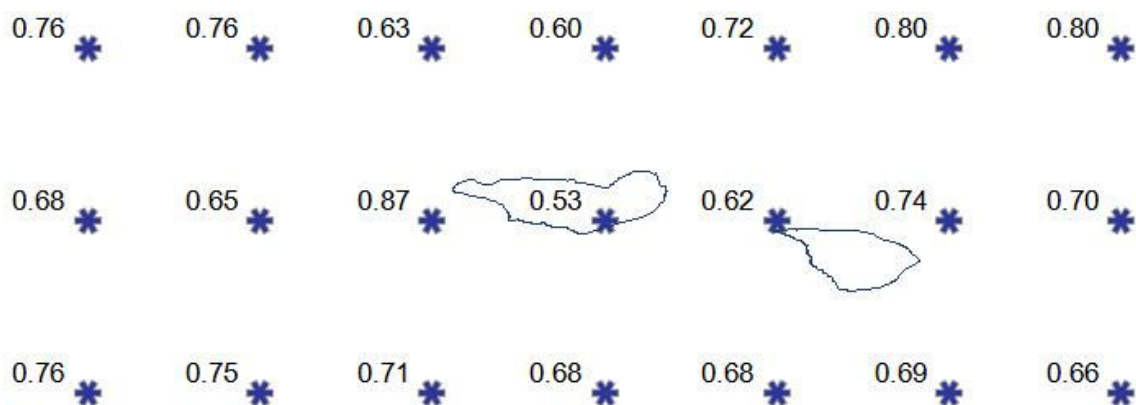


Obr. 19: Změna průměrné teploty v letní části roku [°C], všechny hodnoty jsou statisticky významné

Společně využívané podzemní vody na česko-saském pomezí (GRACE)

Gemeinsam genutzte Grundwasserressourcen im tschechisch-sächsischen Grenzgebiet (GRACE)

Průměrná teplota vzduchu v zimě roste pro celé zájmové území Studie vlivu klimatu, nejvyšší změna je 0,80 °C v severovýchodním cípu zájmového území a nejnižší 0,53 °C v Oblasti 1 (obr. 20). Změna průměrné teploty pro období prosinec–únor mezi oběma pozorovanými obdobími pro Oblast 1 vychází 0,53 °C, pro západní část Oblasti 2 vychází 0,62 °C a pro východní část 0,74 °C. Všechny hodnoty jsou statisticky významné.

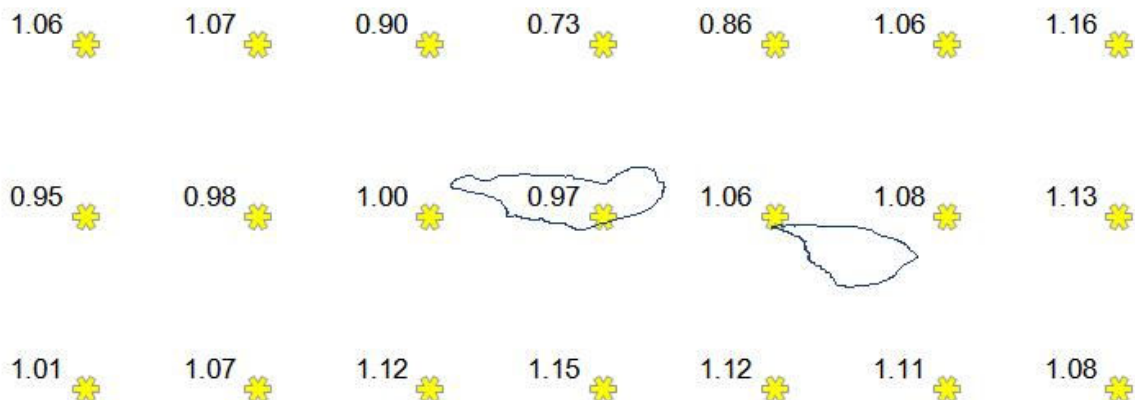


Obr. 20: Změna průměrné teploty pro období prosinec–únor [°C], všechny hodnoty jsou statisticky významné

Průměrná teplota vzduchu na jaře roste také pro celé zájmové území Studie vlivu klimatu, nejvyšší změna je 1,16 °C v severovýchodním cípu zájmového území a nejnižší 0,73 °C na sever od Oblasti 1 (obr. 21). Změna průměrné teploty pro období březen–květen mezi oběma pozorovanými obdobími pro Oblast 1 vychází 0,97 °C, pro západní část Oblasti 2 vychází 1,06 °C a pro východní část 1,08 °C. Všechny hodnoty jsou statisticky významné.

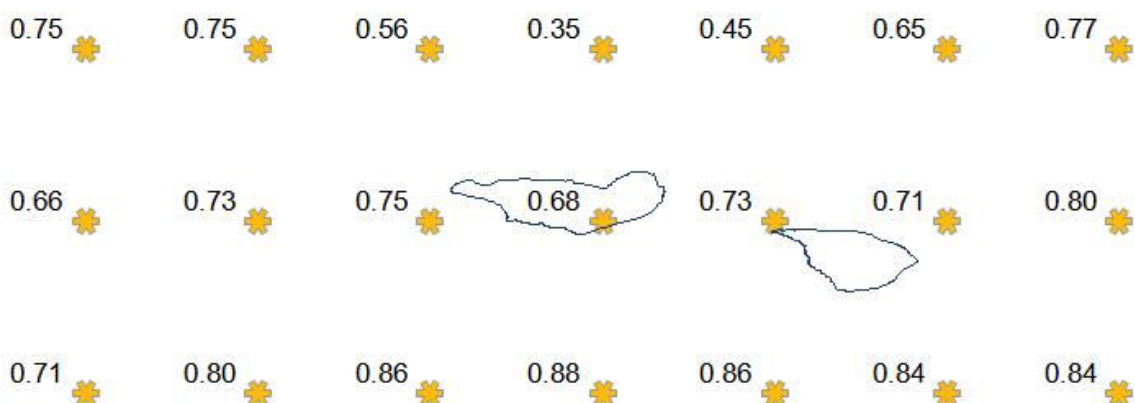
Společně využívané podzemní vody na česko-saském pomezí (GRACE)

Gemeinsam genutzte Grundwasserressourcen im tschechisch-sächsischen Grenzgebiet (GRACE)



Obr. 21: Změna průměrné teploty pro období března–květen [°C], všechny hodnoty jsou statisticky významné

Průměrná teplota vzduchu v létě roste pro celé zájmové území Studie vlivu klimatu, nejvyšší změna je 0,88 °C na jih od Oblasti 1 a nejnižší 0,35 °C na sever od Oblasti 1 (obr. 22). Změna průměrné teploty pro období červen–srpen mezi oběma pozorovanými obdobími pro Oblast 1 vychází 0,68 °C, pro západní část Oblasti 2 vychází 0,73 °C a pro východní část 0,71 °C. Všechny hodnoty jsou statisticky významné.



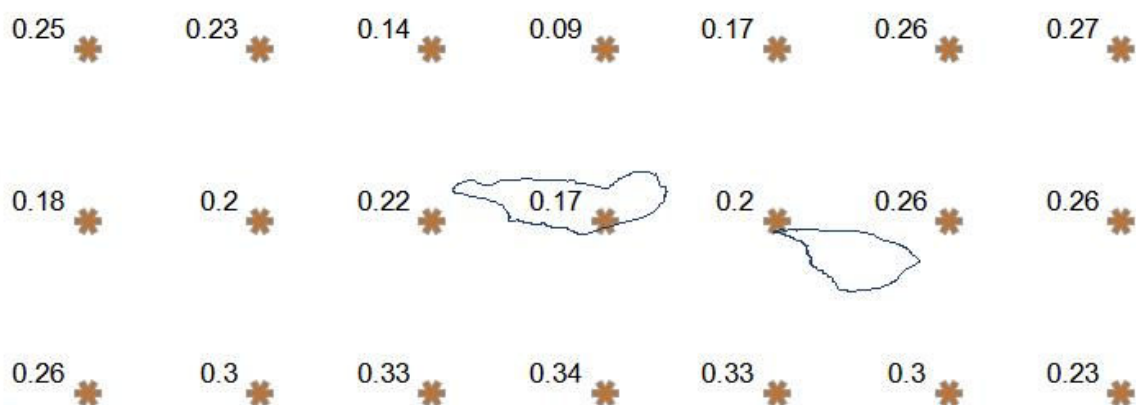
Obr. 22: Změna průměrné teploty pro období červen–srpen [°C], všechny hodnoty jsou statisticky významné

Průměrná teplota vzduchu na podzim roste také pro celé zájmové území Studie vlivu klimatu, nejvyšší změna je 0,34 °C na jih od Oblasti 1 a nejnižší 0,09 °C na sever od Oblasti 1 (obr. 23).

Společně využívané podzemní vody na česko-saském pomezí (GRACE)

Gemeinsam genutzte Grundwasserressourcen im tschechisch-sächsischen Grenzgebiet (GRACE)

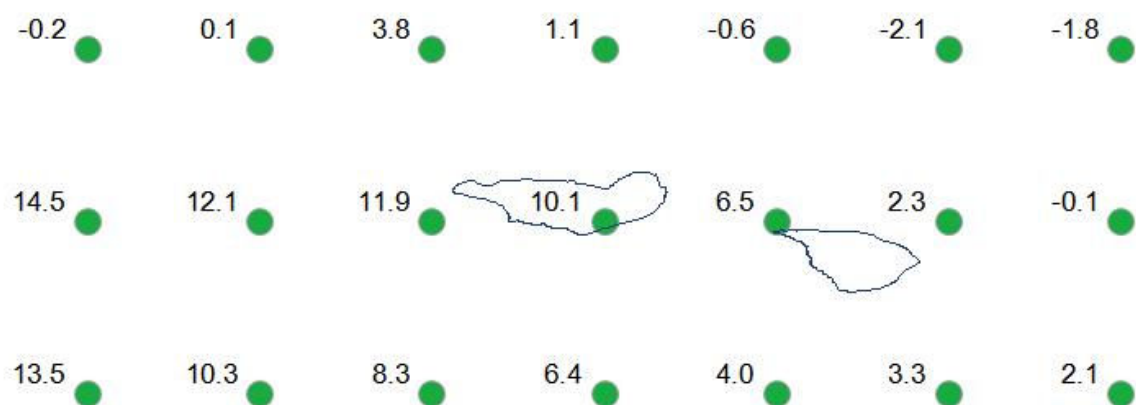
Změna průměrné teploty pro období září–listopad mezi oběma pozorovanými obdobími pro Oblast 1 vychází 0,17 °C, pro západní část Oblasti 2 vychází 0,20 °C a pro východní část 0,26 °C. Pouze hodnota gridbodu na sever od Oblasti 1 (0,09 °C) je bez statistické významnosti.



Obr. 23: Změna průměrné teploty pro období září–listopad [°C], pouze hodnota gridbodu na sever od Oblasti 1 (0,09 °C) je bez statistické významnosti

4.2 Srážky

Roční průměrné úhrny srážek vykazují převážně pozitivní trend s velkými rozdíly mezi jednotlivými gridbody. Nejvyšší změna vychází na západě zájmového území 14,5 %. Slabý negativní trend ve srážkách je vidět naopak např. v severovýchodním cípu území, a to -2,1 % (obr. 24). Změna průměrného ročního úhrnu srážek mezi oběma pozorovanými obdobími pro Oblast 1 je 10,1 %, pro západní část Oblasti 2 je 6,5 % a pro východní část 2,3 %.

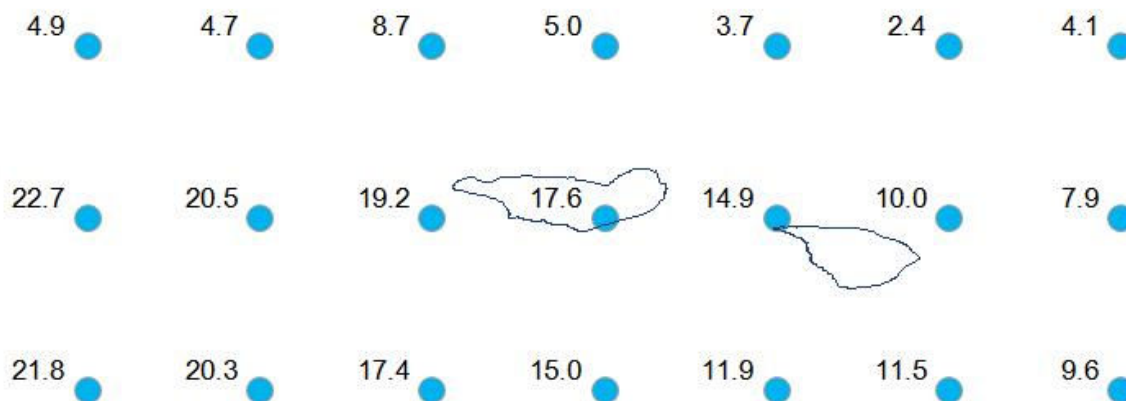


Obr. 24: Změna průměrného ročního úhrnu srážek [%]

Společně využívané podzemní vody na česko-saském pomezí (GRACE)

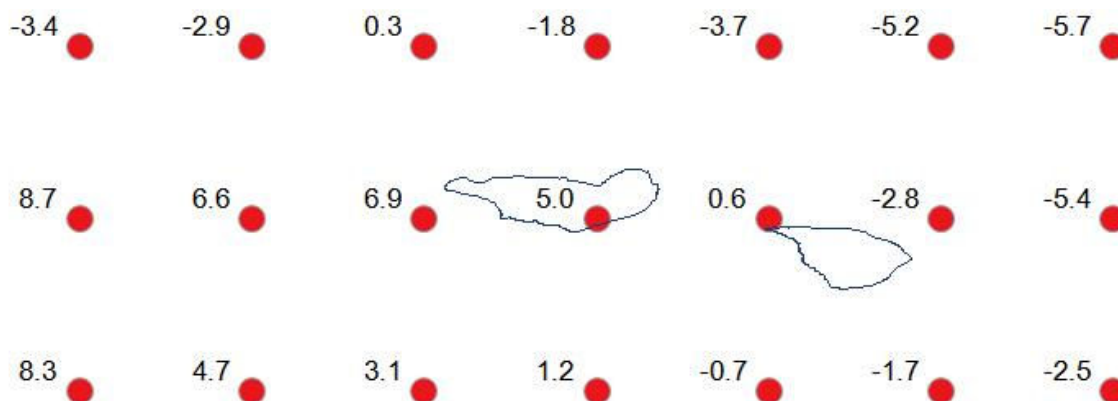
Gemeinsam genutzte Grundwasserressourcen im tschechisch-sächsischen Grenzgebiet (GRACE)

Průměrné úhrny srážek v zimní části roku vycházejí pozitivní pro celé zájmové území. Nejvyšší změna vychází na západě zájmového území, a to 22,7 %. Nejnižší změna je v jeho severovýchodním cípu, a to 4,1 %. Změna průměrného úhrnu srážek v zimní části roku mezi oběma pozorovanými obdobími pro Oblast 1 je 17,6 %, pro západní část Oblasti 2 je 14,9 % a pro východní část 10,0 % (obr. 25).



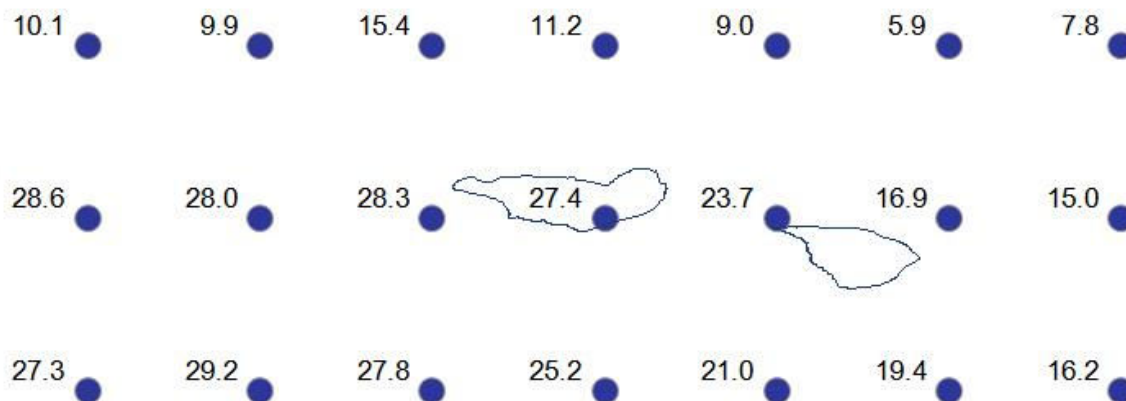
Obr. 25: Změna průměrného úhrnu srážek v zimní části roku [%]

Průměrné úhrny srážek v letní části roku vykazují převážně pozitivní trend s velkými rozdíly mezi jednotlivými gridbody (obr. 26). Nejvyšší pozitivní změna vychází na západě a jihozápadě zájmového území 8,7 a 8,3 %. Naopak nejvyšší negativní trend je vidět v severovýchodním cípu zájmového území, a to -5,7 %. Změna průměrného úhrnu srážek v letní části roku mezi oběma pozorovanými obdobími pro Oblast 1 je 5,0 %, pro západní část Oblasti 2 je 0,6 % a pro východní část -2,8 %.



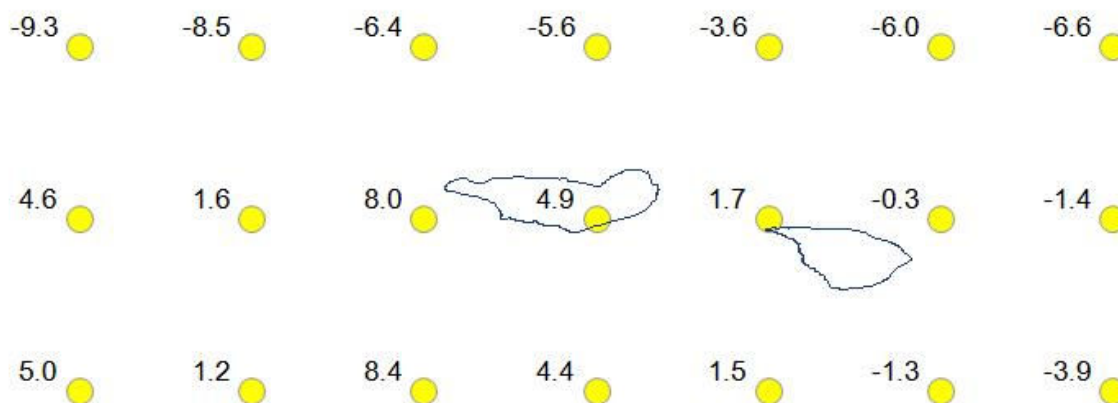
Obr. 26: Změna průměrného úhrnu srážek v letní části roku [%]

Změny průměrných úhrnů srážek v zimě jsou pozitivní pro celé zájmové území. Nejvyšší změna je vidět ve střední části zájmového území na jeho západě 28,6 % (obr. 27). Nejnižší změna je vidět na severovýchodě zájmového území 5,9 %. Změna průměrného úhrnu srážek pro období prosinec–únor mezi oběma pozorovanými obdobími pro Oblast 1 je 27,4 %, pro západní část Oblasti 2 je 23,7 % a pro východní část 16,9 %.



Obr. 27: Změna průměrného úhrnu srážek pro období prosinec–únor [%]

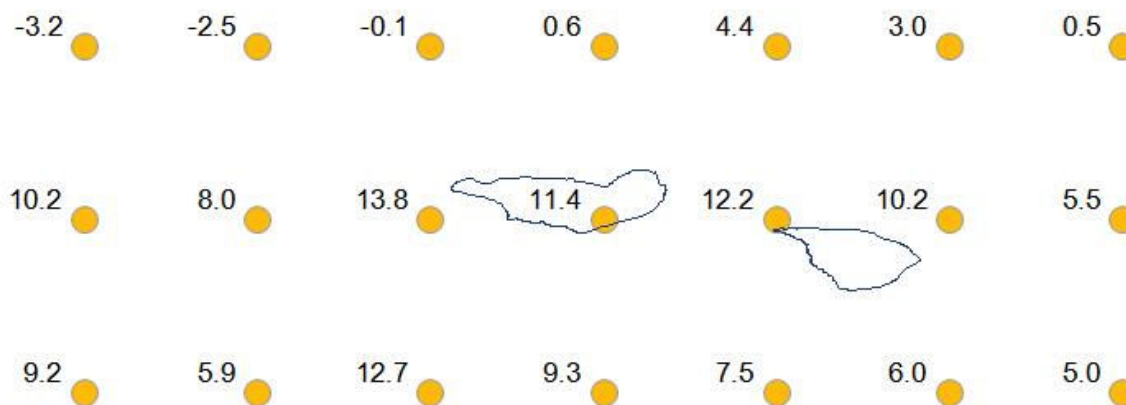
Průměrné úhrny srážek na jaře vykazují převážně pozitivní trend s velkými rozdíly mezi jednotlivými gridbody. V severní části území došlo k poklesům srážek, naopak na jihozápadě a ve středu zájmového území došlo ke zvýšení srážkových úhrnů. Nejvyšší pozitivní změna je 8,4 % na jihozápad od Oblasti 1 a nejvyšší negativní změna je v severozápadním cípu zájmového území, a to -9,3 %. Změna průměrného úhrnu srážek pro období březen–květen mezi oběma pozorovanými obdobími pro Oblast 1 je 4,9 %, pro západní část Oblasti 2 je 1,7 % a pro východní část -0,3 % (obr. 28).



Obr. 28: Změna průměrného úhrnu srážek pro období březen–květen [%]

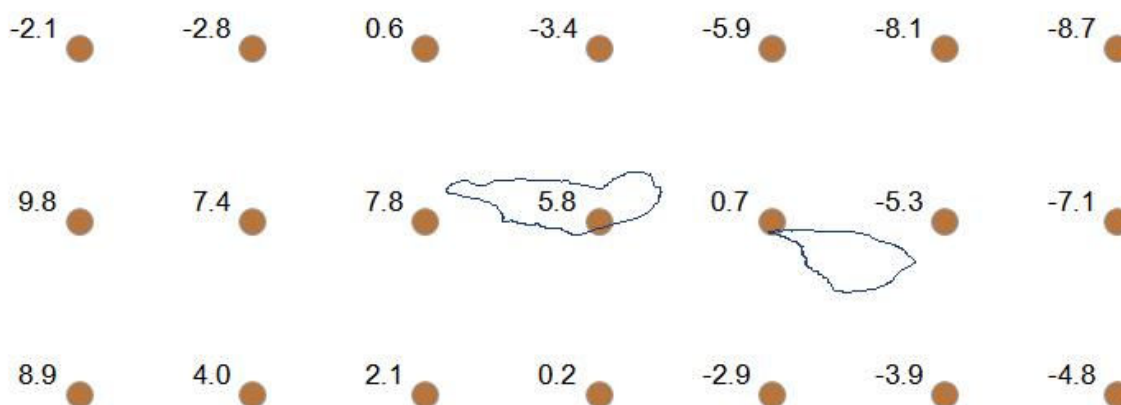
Změny průměrných úhrnů srážek v létě jsou převážně pozitivní. Pouze v severozápadním cípu

zájmového území je vidět negativní trend -3,2 %. Nejvyšší pozitivní změna je 13,8 % na západ od Oblasti 1. Změna průměrného úhrnu srážek pro období červen–srpen mezi oběma pozorovanými obdobími pro Oblast 1 je 11,4 %, pro západní část Oblasti 2 je 12,2 % a pro východní část 10,2 % (obr. 29).



Obr. 29: Změna průměrného úhrnu srážek pro období červen–srpen [%]

Průměrné úhrny srážek na podzim vykazují pozitivní trend na jihozápadě zájmového území a převážně negativní trend pro zbytek území, negativní trend je nejvýraznější na severovýchodě zájmového území. Nejvyšší pozitivní změna je vidět na západě zájmového území 9,8 %. Nejvyšší negativní změna je vidět v severovýchodním cípu zájmového území -8,7 %. Změna průměrného úhrnu srážek pro období září–listopad mezi oběma pozorovanými obdobími pro Oblast 1 je 5,8 %, pro západní část Oblasti 2 je 0,7 % a pro východní část -5,3 % (obr. 30).



Obr. 30: Změna průměrného úhrnu srážek pro období září–listopad [%]

Zjištěné trendy srážek jsou povětšinou v oblasti bez statistické významnosti. Konkrétní výsledky pro oblasti GRACE jsou uvedeny v tabulce 2 s vyznačením jejich statistické významnosti.

4.3 Shrnutí a diskuse pozorovaných trendů

Z porovnání průměrných teplot pro období 1950–1981 a 1982–2012 datové sady E-OBS vyplynulo zvýšení průměrné roční teploty, přičemž k nejméně výraznějšímu zvýšení dochází na jaře, a naopak na podzim jsou změny velmi malé. To je v souladu se závěry, které uvádí Pretel et al. (2011) pro porovnání období 1961–1989 a 1990–2007 pro území ČR.

Z porovnání ročních a sezónních srážkových úhrnů pro období 1950–1981 a 1982–2012 vyplývají následující poznatky: roční srážkové úhrny stoupají na jihozápadě a ve středu zájmového území, naopak na severovýchodě vykazují velmi slabý negativní trend.

Sezónní změny ve srážkách jsou ale rozdílné. V zimě došlo ke zvýšení srážek, na jaře dochází k jejich poklesu na severu zájmového území, a naopak ke zvýšení na jihozápadě zájmového území. V létě se srážky zvyšují také na jihozápadě zájmového území, a naopak na severovýchodě dochází k jejich velmi malému poklesu. Na podzim dochází k nárůstu srážek na jihozápadě území, a naopak k poklesu na severu a severovýchodě zájmového území.

Výsledky pro roční srážkové úhrny souhlasí se závěry, které uvádí Pretel et al. (2011). Navýšení srážek v zimě je také v souladu stejně jako mírné navýšení srážek na jihozápadě zájmového území (území ČR) na jaře.

Tabulka 2 uvádí přehledně výsledky srovnání datových sad E-OBS pro období 1950–1981 a 1982–2012 pro obě oblasti GRACE s vyznačením jejich statistické významnosti.

Tab. 2: Výsledky srovnání datových sad E-OBS pro období 1950–1981 a 1982–2012, hodnoty bez statistické významnosti jsou vyznačeny kurzívou

Změna veličiny	Jednotka	Oblast 1	Oblast 2		
			západní část	východní část	
Průměrná teplota	roční	[°C]	0,59	0,65	0,70
	zimní	[°C]	0,54	0,63	0,73
	letní	[°C]	0,63	0,68	0,67
	prosinec–únor	[°C]	0,53	0,62	0,74
	březen–květen	[°C]	0,97	1,06	1,08
	červen–srpen	[°C]	0,68	0,73	0,71
	září–listopad	[°C]	0,17	0,20	0,26
Průměrný úhrn srážek	roční	[%]	10,1	6,5	2,3
	zimní	[%]	17,6	14,9	10,0
	letní	[%]	5,0	0,6	-2,8
	prosinec–únor	[%]	27,4	23,7	16,9
	březen–květen	[%]	4,9	1,7	-0,3
	červen–srpen	[%]	11,4	12,2	10,2
	září–listopad	[%]	5,8	0,7	-5,3

5. Projekce budoucího vývoje podle CMIP5

5.1 Úvod

Jako klimatické scénáře budoucího vývoje klimatu byly vybrány globální klimatické scénáře z projektu CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5). CMIP představuje standardní experimentální protokol pro globální modely cirkulace systému oceán-atmosféra.

Cíle CMIP5 jsou následující (Taylor et al., 2012):

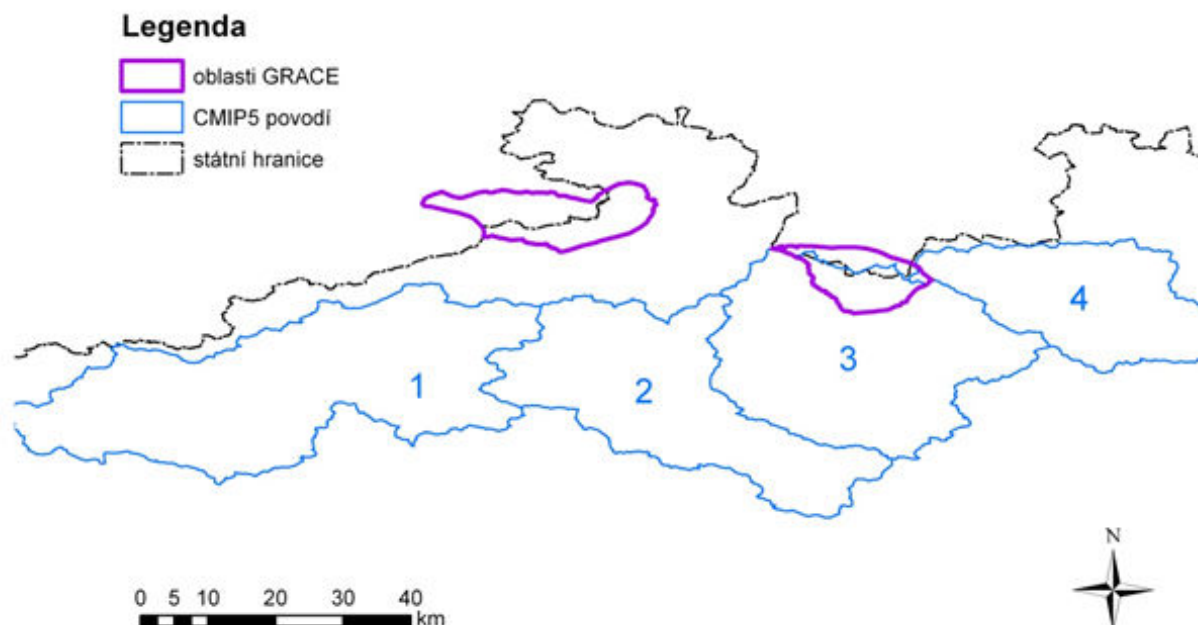
- 1) posouzení mechanismů, které jsou zodpovědné za modelované rozdíly mezi doposud málo poznanými zpětnými vazbami spojenými s cyklem uhlíku a oblačností,
- 2) analýza “předpověditelnosti” klimatu a výzkum kapacit předpovědních systémů předpovídat v měřítku desítek let a obecněji a
- 3) zjištění důvodů, proč mají modely s podobnými vnějšími podmínkami rozdílné výsledky.

V rámci projektu TA02020320 *Podpora dlouhodobého plánování a návrhu adaptačních opatření v oblasti vodního hospodářství v kontextu změn klimatu* financovaného Technologickou agenturou ČR (TA02020320) byly časové řady objemu srážek a teploty vzduchu transformovány do 129 povodí pokrývajících území ČR (Hanel et al., v přípravě).

Pro korekci dat z CMIP5 globálních klimatických modelů byla použita tzv. pokročilá přírůstková metoda (van Pelt et al., 2012).

Pro potřeby projektu GRACE byly poskytnuty výstupy pro povodí, která leží nejbližší zájmovým oblastem GRACE. Vybraná povodí a jejich poloha vůči zájmovým oblastem GRACE je uvedena na obr. 31. Projektovaný budoucí vývoj klimatu je analyzován na základě porovnání dvou budoucích projektovaných období 2021–2050 a 2071–2100 s kontrolním obdobím 1961–1990.

Porovnávány byly průměrné měsíční teploty a průměrné měsíční úhrny srážek pro celou sadu 199 scénářů CMIP5.



Obr. 31: Vybraná povodí CMIP5

5.2 Vývoj teploty vzduchu

Tabulka 3 uvádí přehled výsledků pro průměr scénářů CMIP5 pro jednotlivé měsíce v roce. Projektovaný budoucí vývoj klimatu je analyzován na základě porovnání dvou budoucích projektovaných období (2021–2050 s rokem 2035, tzv. horizontem, který se nachází uprostřed 30letého projektovaného období, a 2071–2100 s horizontem 2085) s kontrolním obdobím 1961–1990 s horizontem 1975. Z tabulky je zjevné, že podle projekcí CMIP5 bude pokračovat trend zvyšující se teploty.

Protože mezi hodnotami pro jednotlivá povodí existují jen velmi malé rozdíly, budou dále komentovány pouze hodnoty pro povodí 1 (obr. 31).

Tab. 3: Změna průměrné měsíční teploty pro jednotlivá vybraná povodí 1 až 4 podle CMIP5 [°C]

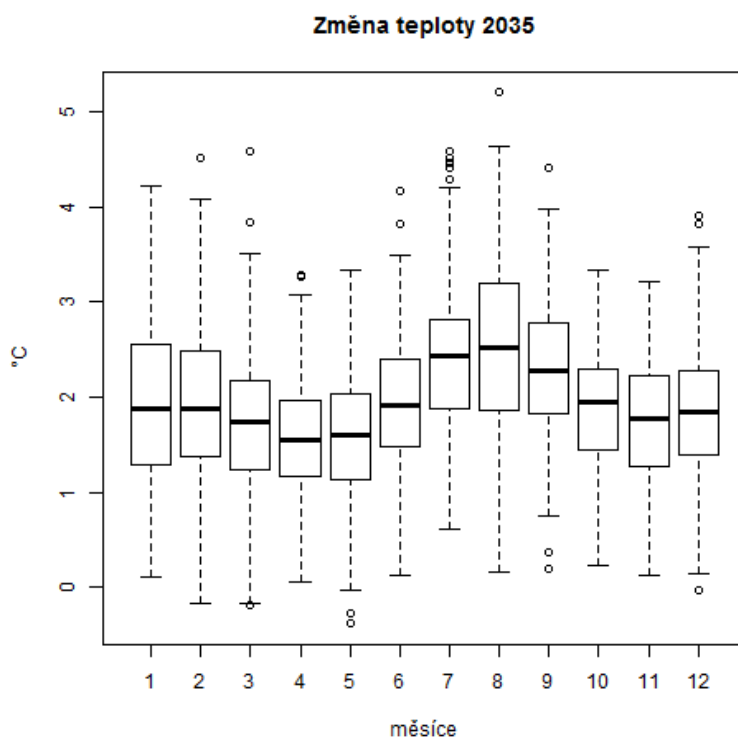
Změna průměrné měsíční teploty [°C]												
Horizont	Měsíc v roce											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Povodí 1												
2035	1.918	1.931	1.703	1.570	1.630	1.924	2.431	2.545	2.303	1.891	1.753	1.843

Společně využívané podzemní vody na česko-saském pomezí (GRACE)

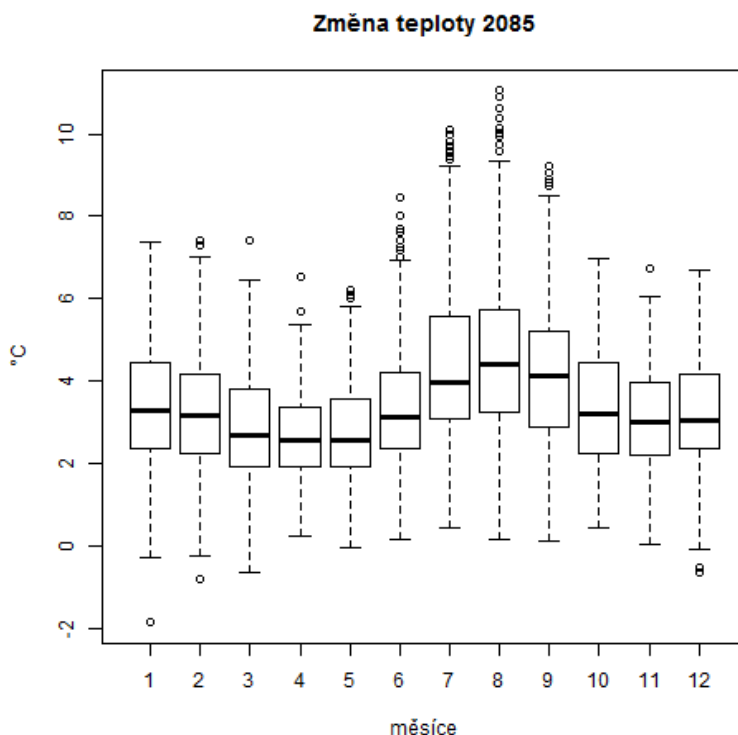
Gemeinsam genutzte Grundwasserressourcen im tschechisch-sächsischen Grenzgebiet (GRACE)

Změna průměrné měsíční teploty [°C]												
Horizont	Měsíc v roce											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2085	3.448	3.249	2.882	2.693	2.793	3.405	4.358	4.766	4.339	3.413	3.154	3.275
Povodí 2												
2035	2.037	2.068	1.810	1.628	1.684	1.970	2.491	2.613	2.340	1.920	1.792	1.941
2085	3.650	3.451	3.035	2.776	2.846	3.465	4.398	4.801	4.374	3.470	3.220	3.429
Povodí 3												
2035	2.037	2.068	1.810	1.628	1.684	1.970	2.491	2.613	2.341	1.920	1.792	1.941
2085	3.650	3.451	3.035	2.776	2.846	3.465	4.398	4.801	4.374	3.470	3.220	3.429
Povodí 4												
2035	2.040	2.070	1.810	1.630	1.680	1.970	2.490	2.610	2.340	1.920	1.790	1.940
2085	3.650	3.450	3.030	2.780	2.850	3.460	4.400	4.800	4.370	3.470	3.220	3.430

Projekce vývoje teploty vzduchu podle průměru sady 199 scénářů CMIP5 pro povodí 1 jsou uvedeny pro jednotlivé měsíce na obr. 32 a 33.



Obr. 32: Změna teploty mezi kontrolním obdobím a budoucím obdobím 2021–2050 podle scénářů CMIP5



Obr. 33: Změna teploty mezi kontrolním obdobím a budoucím obdobím 2071–2100 podle scénářů CMIP5

Z obr. 32 a 33 jsou zjevné velké rozdíly mezi jednotlivými scénáři, jejichž naprostá většina projektuje pokračování trendu zvyšující se teploty pro všechny měsíce v roce. Nejvyšší růst projektují scénáře pro červenec a srpen, a naopak nejnižší pro březen a duben.

5.3 Vývoj srážek

Tabulka 4 uvádí přehled procentuálních rozdílů srážek mezi kontrolním obdobím a oběma budoucími obdobími pro průměr scénářů CMIP5 pro jednotlivé měsíce v roce. Z tabulky je zjevný zvyšující se trend srážek v zimě a na jaře.

Protože mezi hodnotami pro jednotlivá povodí existují jen velmi malé rozdíly, budou dále komentovány hodnoty opět pouze pro povodí 1 (obr. 31).

Tab. 4: Změna průměrného měsíčního úhrnu srážek pro jednotlivá vybraná povodí 1 až 4 podle průměru CMIP5 [%]

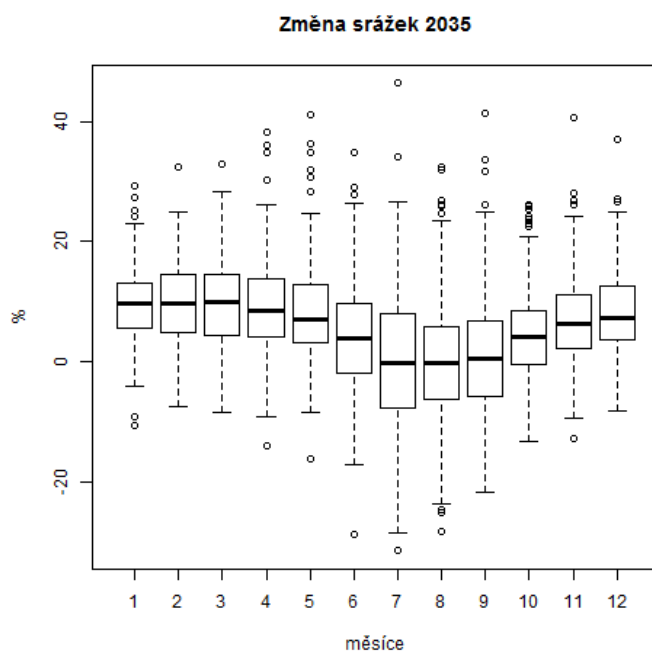
Změna průměrného měsíčního úhrnu srážek [%]												
Horizont	Měsíc v roce											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Povodí 1												
2035	9.2	9.3	9.5	9.2	8.0	4.4	0.7	-0.6	0.3	5.0	7.4	1.1
2085	16.4	16.8	16.3	13.8	9.9	2.0	-4.6	-6.7	-4.0	7.1	12.8	15.0
Povodí 2												
2035	9.2	9.2	9.5	9.2	7.9	4.5	0.8	-0.3	0.6	5.2	7.4	8.3
2085	16.4	16.8	16.3	13.9	9.8	2.3	-4.3	-6.3	-3.3	7.5	12.0	15.0
Povodí 3												
2035	9.1	9.3	9.5	9.2	8.0	4.5	0.8	-0.4	0.6	5.2	7.4	8.3
2085	16.4	16.8	16.3	13.9	9.9	2.3	-4.4	-6.5	-3.3	7.6	12.8	15.0
Povodí 4												
2035	9.2	9.3	9.5	9.2	8.0	4.4	0.7	-0.6	0.3	5.0	7.4	1.1
2085	16.4	16.8	16.3	13.8	9.9	2.0	-4.6	-6.7	-4.0	7.1	12.8	15.0

Projekce vývoje teploty vzduchu podle průměru sady 199 scénářů CMIP5 pro povodí 1 jsou uvedeny pro jednotlivé měsíce na obr. 34 a 35.

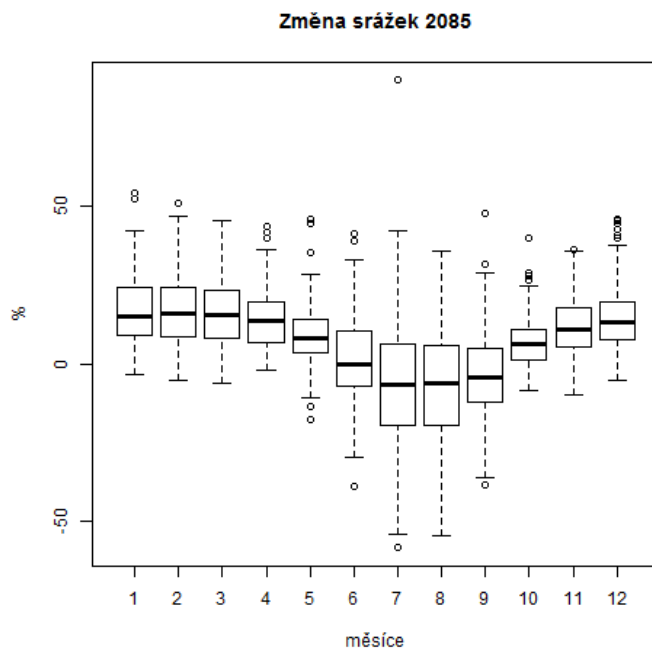
Na uvedených obrázcích jsou vidět značné rozdíly mezi jednotlivými scénáři CMIP5, přičemž pozdější období je zatíženo větší nejistotou. Obecně vychází ze scénářů CMIP5 mírné zvýšení srážek v zimě, na jaře a na podzim, přičemž pro pozdější budoucí období vychází vyšší růst srážek. V létě vychází bližší projektované období podle průměru scénářů CMIP5 téměř bez změny ve srážkových úhrnech v létě. Pro pozdější období vychází podle průměru scénářů v létě mírný pokles srážek (tab. 2, obr. 35).

Společně využívané podzemní vody na česko-saském pomezí (GRACE)

Gemeinsam genutzte Grundwasserressourcen im tschechisch-sächsischen Grenzgebiet (GRACE)



Obr. 34: Procentuální změna úhrnu srážek mezi kontrolním obdobím a budoucím obdobím 2021-2050 podle scénářů CMIP5



Obr. 35: Procentuální změna úhrnu srážek mezi kontrolním obdobím a budoucím obdobím 2071-2100 podle scénářů CMIP5

5.4 Vývoj evapotranspirace podle projekcí z CMIP5

Pro všechna tři období byla vypočítána průměrná potenciální evapotranspirace pro jednotlivé měsíce metodou podle Thornthwaite (1948). Průměrná roční potenciální evapotranspirace pro kontrolní období (1961–1990 s horizontem 1975) byla pak porovnána s průměrnou roční potenciální evapotranspirací pro obě budoucí období (2021–2050 s horizontem 2035 a 2071–2100 s horizontem 2085).

Z tohoto porovnání vyplynulo, že potenciální evapotranspirace se bude zvyšovat pro obě zájmové oblasti GRACE přibližně o 1 mm za rok. Tato hodnota byla použita ve scénářích budoucího vývoje množství podzemních vod jako hodnota, o kterou se pravděpodobně bude snižovat dotace podzemních vod. Scénáře pracují v ročním časovém kroku a jsou vytvořeny pro 30 let se startovacím rokem 2012.

Tabulka 5 uvádí přehled průměrných měsíčních teplot a vypočtené evapotranspirace pro kontrolní období (1961–1990) a dvě budoucí období (2021–2050 a 2071–2100). Z uvedeného vyplývá jednoznačný trend zvyšování potenciální evapotranspirace ve všech měsících.

Tab. 5: Průměrné teploty pro jednotlivé měsíce kontrolního a dvou budoucích období podle CMIP5

Teplota [°C]												
Horizont	Měsíc v roce											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1975	-2.0	-0.9	2.9	7.5	12.4	15.6	17.5	16.8	12.9	7.9	2.8	-0.5
2035	-0.1	1.1	4.6	9.0	14.0	17.6	19.9	19.3	15.2	9.8	4.5	1.3
2085	1.4	2.4	5.8	10.2	15.2	19.0	21.8	21.5	17.2	11.3	5.9	2.8

Tab. 6: Vypočítané průměrné potenciální evapotranspirace pro jednotlivé měsíce kontrolního a dvou budoucích období podle CMIP5

Potenciální evapotranspirace [mm]												
Horizont	Měsíc v roce											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1975	0.0	0.0	14.8	43.0	82.5	105.9	119.7	105.0	67.7	36.2	10.4	0.0
2035	0.0	2.7	18.8	45.4	86.2	113.1	131.7	116.3	74.5	39.6	13.5	3.2
2085	2.6	5.1	20.3	46.3	88.4	119.2	142.9	128.3	81.6	42.2	15.4	5.6

6. Shrnutí výsledků a závěry pro podzemní vody

Z porovnání průměrných teplot pro období 1950–1981 a 1982–2012 datové sady E-OBS vyplynulo zvýšení průměrné roční teploty, přičemž k nejméně výraznějšímu zvýšení dochází na jaře (a v létě), a naopak na podzim jsou změny velmi malé.

Ze scénářů CMIP5 pro relevantní povodí na území ČR vyplynul také stoupající trend pro průměrnou teplotu vzduchu.

Z porovnání ročních a sezónních srážkových úhrnů pro období 1950–1981 a 1982–2012 datové sady E-OBS vyplývají následující poznatky:

Roční srážkové úhrny stoupají na jihozápadě a ve středu zájmového území, naopak na severovýchodě vykazují velmi slabý negativní trend.

V zimě dochází ke zvýšení srážek.

Na jaře dochází k jejich poklesu na severu zájmového území, a naopak ke zvýšení na jihozápadě zájmového území.

V létě se srážky zvyšují také na jihozápadě zájmového území, a naopak na severovýchodě dochází k jejich velmi malému poklesu.

Na podzim dochází k nárůstu srážek na jihozápadě území, a naopak k poklesu na severu a severovýchodě zájmového území.

Ze scénářů CMIP5 pro relevantní povodí na území ČR vyplynul velmi mírný pokles v létě, a naopak mírné zvýšení po zbytek roku.

Z těchto výsledků vyplývají následující důsledky pro podzemní vody:

Zvyšující se teplota způsobuje zvyšování evapotranspirace a následné snížení dotace podzemních vod infiltrací. Podle scénářů CMIP5 pro relevantní povodí na území ČR vyplývá možné zvyšování potenciální evapotranspirace přibližně o 1 mm za rok pro zájmové oblasti GRACE.

Protože nejvyšší možný obsah vlhkosti ve vzduchu stoupá s tím, jak stoupá teplota, dá se předpokládat, že může dojít ke zvyšování intenzity a zkracování doby trvání srážkových událostí, srážky v létě mohou mít pak častěji přívalový charakter. V důsledku toho může docházet ke zvýšení povrchového odtoku a dalšímu snížení dotace podzemních vod infiltrací.

Zvyšování teploty v zimě může ovlivnit i změnu formy srážek (místo sněhu déšť). To může také nepřímo negativně ovlivnit dotaci podzemních vod.

7. Seznam citované literatury

ECA&D (2013): EUMETNET/ECSN optional programme: 'European Climate Assessment & Dataset (ECA&D)' Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD). On-line 10.2. 2014
<http://eca.knmi.nl/documents/atbd.pdf>

Haylock, M.R., N. Hofstra, A.M.G. Klein Tank, E.J. Klok, P.D. Jones, M. , 2008: A European daily high-resolution gridded dataset of surface temperature and precipitation. J. Geophys. Res (Atmospheres), 113, D20119, doi:10.1029/2008JD10201

Pretel, J., (Ed.), 2011. Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření, Ministerstvo životního prostředí, dostupné on-line 10. 2. 2013
http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/klimazmena/files/vav_TECHNICKE_SHRNUTI_2011.pdf

van Pelt, S. C., Beersma, J. J., Buishand, T.A., van den Hurk, B. J. J. M., Kabat, P., 2012: Future changes in extreme precipitation in the Rhine basin based on global and regional climate model simulations. Hydrol. Earth Syst. Sci., 16, 4517–4530, www.hydrol-earth-syst-sci.net/16/4517/2012/, doi:10.5194/hess-16-4517-2012

Taylor, K.E., Stouffer, R.J., Meehl, G.A., 2012: An Overview of CMIP5 and the Experiment Design, BAMS 2012, 485-488, On-line 8.1. 2014 <http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/BAMS-D-11-00094.1>

Thornthwaite, C. W., 1948: An approach toward a rational classification of climate. Geographical Review 38: 55–94. doi:10.2307/2107309.

TOLASZ, R. (Ed.), 2007: Atlas podnebí Česka [kartografický dokument]. 1. vyd. Praha : Český hydrometeorologický ústav ; Olomouc : Univerzita Palackého v Olomouci, 255 s, il., tab., mapy. ISBN 9788086690261 (ČCHMU). ISBN 9788024416267

Poděkování

Pro vytvoření této zprávy byla použita data z datové sady E-OBS z projektu EU-FP6 ENSEMBLES (<http://ensembles-eu.metoffice.com>) a od poskytovatelů dat projektu ECA&D (<http://www.ecad.eu>).

Dále byly použity výstupy projektu TA02020320 *Podpora dlouhodobého plánování a návrhu adaptačních opatření v oblasti vodního hospodářství v kontextu změn klimatu* financovaného Technologickou agenturou ČR.