

ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV

UNIVERSITA KARLOVA, MATEMATICKO-FYZIKÁLNÍ FAKULTA

VÝZKUMNÝ ÚSTAV VODOHOSPODÁŘSKÝ T. G. M., v. v. i.

CENTRUM VÝZKUMU GLOBÁLNÍ ZMĚNY AV ČR, v. v. i.

VÝZKUMNÝ ÚSTAV ROSTLINNÉ VÝROBY, v. v. i.

**Zpřesnění dosavadních odhadů
dopadů klimatické změny v
sektorech vodního hospodářství,
zemědělství a lesnictví a návrhy
adaptačních opatření**

**TECHNICKÉ SHRNUÍ VÝSLEDKŮ
PROJEKTU 2007 – 2011**

Ministerstvo životního prostředí

Projekt VaV – SP/1a6/108/07

2011

ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV
UNIVERSITA KARLOVA, MATEMATICKO-FYZIKÁLNÍ FAKULTA
VÝZKUMNÝ ÚSTAV VODOHOSPODÁŘSKÝ T. G. M., V. V. I.
CENTRUM VÝZKUMU GLOBÁLNÍ ZMĚNY AV ČR, V. V. I.
VÝZKUMNÝ ÚSTAV ROSTLINNÉ VÝROBY, V. V. I.

Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření

TECHNICKÉ SHRNTÍ VÝSLEDKŮ PROJEKTU

v letech 2007–2011

Odpovědný řešitel projektu:

RNDr. Jan Pretel, CSc. (ČHMÚ)

Odpovědní řešitelé dílčích projektů:

RNDr. Ladislav Metelka, Ph.D. (ČHMÚ)
Ing. Oldřich Novický (VÚV)
RNDr. Jan Daňhelka, Ph.D. (ČHMÚ)
RNDr. Ing. Jaroslav Rožnovský, CSc. (ČHMÚ)
Doc. Ing. Dalibor Janouš, CSc. (CVGZ)

Řešitelé:

RNDr. Radim Tolasz, Ph.D.
Mgr. Stanislava Kliegrová, Ph.D.
Mgr. Jana Pechková
Ing. Bohuslava Kulasová
Ing. Pavla Řičicová
RNDr. Tomáš Vlasák, Ph.D.
Ing. Miloň Boháč
RNDr. Pavel Kukla
Ing. Hana Kourková
Ing. Libor Elleder, Ph.D.
Mgr. Václav Vajskebr
Ing. Libuše Bubeníčková
Ing. Radek Vlnas
RNDr. Theodor Fiala
RNDr. Mojmír Kohut
RNDr. Petr Štěpánek, Ph.D.
Mgr. Petr Hora
RNDr. Filip Chuchma
Ing. Bc. Hana Středová, Ph.D.
Ing. Tomáš Středa, Ph.D. (všichni ČHMÚ)

Ing. Jan Haberle, CSc.
Ing. Zdeněk Stražil, CSc. (oba VÚRV)

Doc. RNDr. Jaroslava Kalvová, CSc.
RNDr. Eva Holtanová, Ph.D.
Mgr. Jiří Mikšovský, Ph.D.
RNDr. Petr Pišoft, Ph.D.
RNDr. Aleš Raidl, Ph.D.
Mgr. Naděžda Zíková (všichni MFF UK)

Ing. Martin Hanel, Ph.D.
Ing. Ladislav Kašpárek, CSc.
Ing. Stanislav Horáček
Ing. Magdalena Mrkvičková
Ing. Adam Vizina
Ing. Renata Fridrichová
Ing. Michal Vaculík (všichni VÚV)

Doc. RNDr. Pavel Cudlín, CSc.
Mgr. Lenka Štěřbová
Ing. Tereza Müllerová
Ing. Radek Plch
RNDr. Magda Edwards, Ph.D. (všichni CVGZ)

Dr. Ing. Jaromír Macků (ÚHÚL)
Ing. Jakub Krejčí, Ph.D. (AquaLogic)

prosinec 2011

Obsah

Úvod	6
Cíle projektu a jeho zaměření	7
Hlavní cíle projektu	7
Zaměření výsledků a jejich využití	8
TS.1 Zpřesnění a aktualizace regionálních scénářů klimatické změny	12
TS.1.1 Metodika konstrukce scénáře	12
TS.1.2 Model ALADIN-CLIMATE/CZ	13
TS.1.3 Validace modelu ALADIN 25	14
TS.1.4 Postprocessing výstupů modelu ALADIN 25	16
TS.1.5 Scénář změny klimatu	17
TS.1.6 Zdroje nejistot	21
TS.1.7 Posouzení věrohodnosti regionálních scénářů klimatické změny	26
TS.2 Dopady změny klimatu na hydrologickou bilanci a vodní zdroje	27
TS.2.1 Odhad dopadů změn klimatu na hydrologickou bilanci povodí ČR a jeho nejistoty	27
TS.2.2 Možnosti adaptace na změnu klimatu ve vodním hospodářství	29
TS.2.3 Posouzení věrohodnosti odhadů dopadů klimatické změny	31
TS.2.4 Možnosti rámcového odhadu nákladů adaptačních opatření	32
TS.3 Dopady změny klimatu na extrémní hydrologické jevy	33
TS.3.1 Trendy vybraných charakteristik průtoků	33
TS.3.2 Simulace průtokových charakteristik pro hodnocená období	34
TS.3.3 Využití výsledků modelových simulací	36
TS.3.4 Posouzení věrohodnosti odhadů dopadů klimatické změny	37
TS.3.5 Experimentální povodí	38
TS.4 Dopady změny klimatu a návrhy adaptačních opatření v sektoru zemědělství	38
TS.4.1 Dopady změny klimatu na agroklimatologické podmínky	39
TS.4.2 Dopady změn teploty	40
TS.4.3 Dopady změn vláhových poměrů	42
TS.4.4 Posouzení věrohodnosti odhadů dopadů klimatické změny	43
TS.4.5 Možnosti adaptace na změnu klimatu v zemědělství	43
TS.4.6 Možnosti rámcového odhadu nákladů adaptačních opatření	45
TS.5 Dopady změny klimatu a návrhy adaptačních opatření v sektoru lesního hospodářství	45
TS.5.1 Odhad environmentálních rizik narušení vývoje stávajících lesních ekosystémů	46
TS.5.2 Zhodnocení současného stavu porostů a odhad jeho dalšího pravděpodobného vývoje	47
TS.5.3 Posouzení věrohodnosti odhadů dopadů klimatické změny	50
TS.5.4 Možnosti adaptace na změnu klimatu v lesnictví	51
TS.5.5 Možnosti rámcového odhadu nákladů adaptačních opatření	52
TS.D Vývoj základních klimatických indikátorů v období 1961–2010	54
TS.D.1 Teplota	54
TS.D.2 Srážky	58
TS.D.3 Shrnutí poznatků o stavu a vývoji základních klimatických indikátorů	61
Odkazy na zdrojové informace	64

Úvod

TECHNICKÉ SHRnutí VÝSLEDKŮ PROJEKTU vychází ze ZÁVĚREČNÉ ZPRÁVY O ŘEŠENÍ PROJEKTU VaV SP/1a6/108/07 „Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření“ v letech 2007–2011.

TECHNICKÉ SHRnutí VÝSLEDKŮ PROJEKTU (TS) je koncipováno jako přehledné shrnutí hlavních výsledků dosažených v průběhu řešení. Výsledky jsou uvedeny v pěti kapitolách TS.1 až TS.5, a ve formě dodatku (TS.D) je uveden přehled vývoje základních klimatických indikátorů na území ČR v období 1961–2010.

Na řešení projektu se kromě Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) jako příjemce finanční dotace, rovněž jako spolupříjemci dotace spolupodílely

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i. (VÚV);
Univerzita Karlova v Praze, Matematicko-fyzikální fakulta (MFF UK);
Centrum výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i. (dříve Ústav systémové biologie a ekologie AV ČR, v. v. i.) (CVGZ); a
Výzkumný ústav rostlinné výroby, v. v. i. (VÚRV).

Důraz TECHNICKÉHO SHRnutí VÝSLEDKŮ PROJEKTU je kladen na hlavní výstupy projektu, zaměřené na

- zpřesnění a aktualizace regionálních scénářů vývoje klimatu na území ČR pro období pro časové horizonty 2010–2039, 2040–2069 a 2070–2099;
- zpřesnění předpokládaných dopadů klimatické změny na sektory vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví; a
- podporu opatření na snižování rizik dopadů a formulace tezí relevantních sektorových adaptačních opatření.

Výsledky projektu budou poskytovatelem finanční dotace (Ministerstvo životního prostředí) využity zejména při přípravách Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR a Politiky ochrany klimatu v ČR a dále budou poskytovatelem prezentovány na evropské úrovni (např. při jednáních v souvislosti s implementací adaptačních opatření do domácích politik na národní, regionální a lokální úrovni) a při jednáních Rámcové úmluvy OSN o změně klimatu. TECHNICKÉ SHRnutí VÝSLEDKŮ PROJEKTU tak vytváří pro poskytovatele materiál k přímému využití pro shora uvedené účely.

TECHNICKÉ SHRnutí VÝSLEDKŮ PROJEKTU bude v upravené formě a pod pracovním názvem „Klimatická změna a její dopady na území ČR“ vydáno v roce 2012 ve Sborníku prací ČHMÚ, do jehož edičního plánu bylo zařazeno.

Cíle projektu a jeho zaměření

Jednou ze základních povinností České republiky, vyplývajících z přijetí Rámcové úmluvy OSN o změně klimatu a navazujícího Kjótského protokolu, je podpora základního i aplikovaného výzkumu v oblasti klimatické změny a pravidelné sledování těchto změn a jejich dopadů (čl. 5, upřesněný např. usnesením 9/CP.11).

Rámcová úmluva v definicích svých základních cílů mj. uvádí nutnost „...umožnit ekosystémům, aby se přirozenou cestou přizpůsobily změně klimatu...“ (čl. 2), „...formulovat, uplatňovat, zveřejňovat a pravidelně aktualizovat vnitrostátní a případně regionální programy obsahující opatření ke zmírnění změny klimatu ... a opatření, která by usnadnila přiměřenou adaptaci změně klimatu“ (čl. 4.1.b), „...spolupracovat při přípravě na adaptaci vůči dopadům změny klimatu, vyvíjet a rozpracovávat odpovídající a integrované plány...“ (čl. 4.1.e), apod. Z uvedených požadavků vyplývá důležitost adaptačních opatření v procesu snah o zmírňování dopadů změn klimatu na společnost a na nejméně významnější oblasti jejích činností.

V současné době je význam uplatňování adaptačních opatření na zmírňování dopadů změny klimatu stále více kladen na podobnou rovinu důležitosti jako význam opatření zaměřených na snižování úrovně koncentrací skleníkových plynů v atmosféře, a tedy snižování jejich emisí. Porovnávání přínosů obou typů opatření a jejich ekonomických nákladů je velmi obtížné. Přínosy adaptačních opatření mají v porovnání s přínosem snižování emisí skleníkových plynů většinou pouze lokální či regionální charakter, přesto jsou však v měřítku státu významným nástrojem pro snižování dopadů změny klimatu a proto je nelze opomíjet.

Hlavní cíle projektu

Cíle projektu jsou podrobně definovány ve Smlouvě o poskytnutí účelové podpory na řešení programového projektu formou dotace z výdajů státního rozpočtu na výzkum a vývoj podle zákona č. 130/2002 Sb., o podpoře výzkumu a vývoje z veřejných prostředků ze dne 27. 8. 2007 a byly zaměřeny zejména na

- (a) zpřesnění a aktualizace scénářů vývoje klimatu na území ČR pro časové horizonty 2021–2050 a 2071–2100;
- (b) upřesnění předpokládaných dopadů klimatické změny na sektory vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví;
- (c) komplexní vyhodnocení možnosti sestavování dlouhodobých scénářů klimatologických anomálií pro území ČR se zaměřením na anomálie teplot a srážek a upřesnění odhadů variability a četnosti výskytu extrémních povětrnostních a hydrologických jevů;
- (d) vytvoření podmínek pro dlouhodobé sledování dopadů klimatické změny na hydrologický režim ve vybraných povodích a zpracování doporučení pro dovybavení některých povodí technikou s příslušnými přenosy dat;
- (e) podporu opatření na řešení změny klimatu a snižování rizik jejich dopadů;
- (f) posouzení dříve doporučených sektorových adaptačních opatření, provedení jejich konkretizace a příp. doplnění, přípravu základního odhadu jejich účinnosti a posouzení jejich finanční náročnosti při zavádění;
- (g) provedení syntézy získaných poznatků pro území ČR v kontextu s posledními vědeckými výsledky a závěry Čtvrté hodnotící zprávy IPCC (2007) a doporučení opatření pro některé další sektory činnosti člověka, která by mohla přispět k eliminaci rizik v regionálním či národním měřítku;

- (h) podporu plnění Národního programu na zmírnění dopadů změny klimatu v České republice;
- (i) příspěvek k promítnutí základních pilířů dokumentu *Green Paper from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions* (Brussels, 29. 6. 2007, COM(2007) 354 final) "Adapting to climate change in Europe – options for EU action" do národní strategie v oblasti klimatické změny.

S ohledem na náplň řešení byl projekt členěn na šest úzce provázaných dílčích projektů, zaměřených na

- i. zpřesnění a aktualizace regionálních scénářů klimatické změny (DP 01 – odpovědný řešitel L. Metelka, ČHMÚ);
- ii. dopady změny klimatu na hydrologickou bilanci a vodní zdroje a návrhy adaptačních opatření v sektoru vodního hospodářství (DP 02 – odpovědný řešitel O. Novický, (VÚV);
- iii. dopady změny klimatu na extrémní hydrologické jevy (DP 03 – odpovědný řešitel J. Daňhelka, ČHMÚ);
- iv. dopady změny klimatu a návrhy adaptačních opatření v sektoru zemědělství (DP 04 – odpovědný řešitel J. Rožnovský, ČHMÚ);
- v. dopady změny klimatu a návrhy adaptačních opatření v sektoru lesního hospodářství (DP 01 – odpovědný řešitel D. Janouš, CVGZ); a
- vi. syntézu dopadů změny klimatu a vlivu adaptačních opatření a odhad ekonomických nákladů (DP 06 – odpovědný řešitel J. Pretel, ČHMÚ) a koordinaci řešení; hlavním výstupem je zejména předkládané TECHNICKÉ SHRNUÍ VÝSLEDKŮ PROJEKTU.

Zaměření výsledků a jejich využití

Řešení projektu orientováno zejména na:

- zpřesnění a aktualizace scénářů vývoje klimatu na území ČR s využitím regionálních klimatických modelů (RCM) s měsíčním a denním krokem pro časové horizonty 2010–2039, 2040–2069 a 2070–2099;
- vyhodnocení možnosti sestavování dlouhodobých scénářů klimatologických anomálií pro území ČR se zaměřením na anomálie teplot a srážek pomocí regionálních modelů s vysokým rozlišením;
- archivace a distribuce časových řad vybraných klimatologických charakteristik (teplota, srážky, vlhkost, globální záření, rychlost větru) s měsíčním a denním krokem pro budoucí klima;
- porovnání vytvořených scénářů s výsledky projektů EU CECILIA a EU ENSEMBLES;
- analýzu vývoje základních indikátorů klimatické změny (teplota a srážky) na území ČR v období 1961–2010;
- regionální analýzu dopadů klimatické změny na hydrologickou bilanci v ČR a hodnocení základních prvků hydrologické bilance, průměrných a minimálních průtoků a výskyt suchých období;
- metodiku hodnocení dopadů klimatické změny na vodní hospodářství, zejména ve vazbě na potřebu zásob vody v zemědělství a lesním hospodářství;
- analýzu změn hodnot parametrů hydrologických modelů při odlišných klimatických podmínkách a výpočty statistických charakteristik denních a ročních minimálních průtoků

na vybraných vodoměrných stanicích a zpracování trendů průměrných měsíčních a denních průtoků;

- analýzu očekávané změny povodňového režimu v důsledku klimatické změny;
- analýzu dlouhodobých řad vybraných agroklimatických prvků a jejich statistická vyhodnocení a regionální analýza dopadů klimatické změny na jejich další očekávaný vývoj;
- přípravu databáze lesnických dat dokumentujících vliv abiotických a biotických stresorů na lesní porosty pro vybrané přírodní lesní oblasti a shrnutí výsledků terénních průzkumů poškození, vitality a adaptačního potenciálu vybraných porostů s převládajícím smrkem ztepilým;
- zhodnocení újmy na životním prostředí v důsledku snížení hodnoty celospolečenských funkcí lesa za různých scénářů vývoje klimatu;
- pilotní řešení vlivu vybraných typů adaptačních opatření na změny vodního režimu krajiny, režimu odtoku z povodí a užívání vod v zemědělství a lesním hospodářství;
- návrhy vybraných typů adaptačních opatření v oblasti vodního hospodářství, zemědělství a pro jednotlivé typy vývoje lesa a pilotní cost-benefit analýza jejich účinnosti;
- analýzy nejistot výsledků odhadu dalšího vývoje projevů klimatické změny na území ČR v průřezových obdobích 2010–2039, 2010–2069 a 2070–2099 s ohledem na nejistotu vstupů a dalších parametrů.

ZÁVĚREČNÁ ZPRÁVA O ŘEŠENÍ PROJEKTU v rozsahu 137 str. obsahuje pět kapitol, které jsou zaměřeny na podrobný popis výsledků, dosažených v rámci DP 01 – DP 05 (každá obsahuje seznam relevantní literatury k daným tématům).

Šestá kapitola v členění podle jednotlivých témat obsahuje přehled publikací řešitelů z doby řešení projektu, které mají přímý vztah k řešené tématice. Jsou uvedeny publikace v impaktovaných, recenzovaných i nerecenzovaných časopisech a sbornících, resp. presentace na národních a mezinárodních konferencích či seminářích, příp. diplomové či disertační práce, zpracovávané na řešitelských pracovištích. K termínu dokončování projektu tento přehled obsahuje 137 publikačních aktivit ve vazbě na projekt.

V sedmé kapitole ZÁVĚREČNÉ ZPRÁVY O ŘEŠENÍ PROJEKTU je uveden seznam, resp. popis 22 příloh zprávy na DVD, které rozšiřují informace zahrnuté v textové části zprávy. Příloha 01–1 obsahuje časové řady hodnot analyzovaných meteorologických prvků pozorovaných a simulovaných modelem ALADIN 25 (korigovaných i nekorigovaných) pro jednotlivé uzlové body v textových souborech, které mohou uživatelům sloužit jako výchozí materiál pro další výzkum klimatické změny v regionálních podmínkách.

Podle Smlouvy o využití výsledků projektu SP/1a6/108/07 budou výsledky projektu poskytovatelem finanční dotace (Ministerstvo životního prostředí) využity zejména při přípravách Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR a Politiky ochrany klimatu v ČR a dále budou poskytovatelem prezentovány na evropské úrovni (např. při jednáních v souvislosti s implementací adaptačních opatření do domácích politik na národní, regionální a lokální úrovni, apod.) a při jednáních k Rámcové úmluvě OSN o změně klimatu.

Kromě ZÁVĚREČNÉ ZPRÁVY O ŘEŠENÍ PROJEKTU jsou výstupy projektu rovněž dílčí zprávy za jednotlivé roky řešení:

- Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření (I), Závěrečná zpráva o řešení projektu VaV SP/1a6/108/07 za rok 2007, ČHMÚ 2007;
- Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření (II), Závěrečná zpráva o řešení projektu VaV SP/1a6/108/07 za rok 2008, ČHMÚ 2008;
- Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření (III), Závěrečná zpráva o řešení projektu VaV SP/1a6/108/07 za rok 2009, ČHMÚ 2009;
- Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření (IV), Závěrečná zpráva o řešení projektu VaV SP/1a6/108/07 za rok 2010, ČHMÚ 2010.

TS.1 Zpřesnění a aktualizace regionálních scénářů klimatické změny

Před odhady dopadů změny klimatu je nejprve potřeba vytvořit pro zvolené území a budoucí časové horizonty tzv. scénáře změny klimatu, tedy specifikovat přijatelné alternativní stavy klimatu v budoucnosti, které mohou za předpokládaných okolností (růstu emisí skleníkových plynů a aerosolů v atmosféře podle určitých předpokladů – scénářů emisí) nastat. Scénáře mají pomoci najít rámec či meze budoucího vývoje klimatu. Dělat tyto výhledy pro malé území ČR není jednoduché. Pro konstrukci scénářů změny klimatu¹ jsou obecně k dispozici výstupy globálních, a v posledním desetiletí i regionálních klimatických modelů.

Do roku 2007 čerpala většina projektů zabývajících se odhady dopadů změny klimatu na různé sektory hospodářství v České republice² informace z globálních modelů (GCM). Použitelnost výstupů GCM pro vytváření scénářů změny klimatu v malých regionech je však omezena jejich hrubým rozlišením. GCM jsou schopny zachytit podstatné rysy průměrných klimatických charakteristik v makroměřítku, nelze od nich např. očekávat zachycení vlivu složité orografie ČR na atmosférické srážky či teplotu vzduchu.

Jednou z možností jak zvýšit horizontální rozlišení, je využít regionální klimatické modely (RCM) s vysokou rozlišovací schopností, pro které výstupy GCM slouží jako okrajové podmínky. Po roce 2000 se rozvoj regionálních modelů v Evropě urychlil, rozlišení modelů se z počátečních cca 50 km zvýšilo na 25 až 10 km. Dva z regionálních modelů, model HIRHAM (viz [9]) řízený globálním modelem ECHAM4/OPYC a model RCAO (viz [3]) řízený HadCM3 byly použity v ČR pro odhady dopadů změny klimatu na hydrologické a ekologické systémy [20].

Do regionálního klimatického modelování se zapojili i pracovníci Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ), Ústavu fyziky atmosféry AV ČR (ÚFA AV ČR) a Matematicko-fyzikální fakulty UK (MFF UK) vývojem českého regionálního modelu označovaného ALADIN-CLIMATE/CZ ([5], [4], [8]), který je provozován v ČHMÚ. Výstupy tohoto modelu integrovaného v horizontálním rozlišení 25 km pro SRES scénář emisí A1B (blíže viz část TS.1.2) tvořily základ scénáře změny klimatu ČR.

TS.1.1 Metodika konstrukce scénáře

Základ scénáře změny klimatu ČR tvoří výstupy regionálního klimatického modelu ALADIN-CLIMATE/CZ v rozlišení 25 km pro období 1961–2100 opravené (blíže viz část TS.1.4) o chyby modelu, které byly identifikovány při porovnávání modelové simulace pro referenční období 1961–1990 s naměřenými hodnotami (viz část TS.1.3). Jako základní prvky pro scénář byly vybrány: *průměrná denní teplota vzduchu, denní úhrn srážek, denní suma globálního záření, průměrná denní rychlost*

¹ Pro metodické postupy tvorby scénářů viz např. [7], [11], [10], [16], [18] v české literatuře např. [15], [12]).

² Přehled projektů a studií zabývajících se v ČR v letech 1993 – 2005 změnou klimatu, jejími dopady a adaptačními opatřeními lze najít např. v publikaci NKP [21].

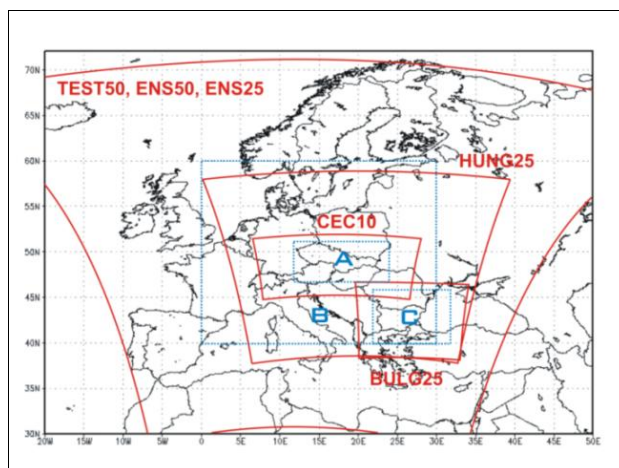
větru a relativní vlhkost vzduchu. Výběr základních klimatických prvků vyplýval z požadavků sektorů zabývajících se odhady dopadů a z dostupnosti výstupů regionálních klimatických modelů. Z denních hodnot je možné pomocí programu ProClimDB [22] vypočítat řadu dalších charakteristik, vyjadřujících mj. i extrémní rysy klimatu (například počet tropických dní, počet mrazových dní, počet dní s úhrnem srážek nad 20 mm). Kompletní seznam extrémních indexů lze nalézt v příloze k [26].

Změny klimatických prvků vypočítané modelem ALADIN-CLIMATE/CZ pro období 2010–2100 podle scénáře emisí SRES A1B jsou jen jednou z možných variant budoucího vývoje klimatu. Tyto změny je nutno zařadit do kontextu neurčitostí vyplývajících z použití různých regionálních modelů (RCM), řídicích globálních modelů (GCM) a scénářů emisí. Posouzení, jak výstupy modelu ALADIN-CLIMATE/CZ zapadají do spektra výstupů vybraných GCM a RCM je věnována část TS.1.6.

Při konstrukci scénáře jsme se zaměřili na tři třicetileté časové horizonty: 2010–2039, 2040–2069 a 2070–2099. Získal se tak první blízký horizont, který je důležitý pro bezprostřední aplikaci navržených opatření. Dalším důvodem bylo, že pro vybraná období byly v databázi PCMDI (<http://www-pcmdi.llnl.gov/>) k dispozici výstupy globálních modelů tzv. skupiny AR4, což umožnilo do jisté míry u teploty vzduchu a atmosférických srážek provést odhad neurčitostí odhadů změn spojených s použitím více GCM a SRES scénářů emisí. Konečně, u řady regionálních modelů z EU projektu ENSEMBLES jsou nyní k dispozici simulace podle scénáře A1B až do roku 2100 [24]. To umožňuje posoudit jak zapadají změny vypočítané modelem ALADIN-CLIMATE/CZ do spektra změn dalších současných RCM (blíže viz část TS.1.6).

TS.1.2 Model ALADIN-CLIMATE/CZ

Regionální klimatický model ALADIN-CLIMATE/CZ, na jehož integracích je scénář změny klimatu ČR založen, byl řízený globálním modelem Arpege-Climat, který má proměnné horizontální rozlišení od cca 50 km nad jižní Evropou po 300 km na protilehlé straně Země. Podrobnosti o vývoji modelu ALADIN lze najít např. ve [4]. V jiné konfiguraci byl model ALADIN-CLIMATE/CZ použit v projektu CECILIA (<http://www.cecilia-eu.org/>) a v projektu ENSEMBLES (<http://www.ensembles-eu.metoffice.com>). Každá z těchto integrací byla provedena na jiné oblasti a/nebo s jiným rozlišením. Pro projekt CECILIA v rozlišení 10 km jen pro ČR a nejbližší okolí, pro projekty ENSEMBLES a pro VaV-SP/1a6/108/07 v rozlišení 25 km, pro dvě různě velké oblasti, viz obr. TS.1.1. Integrace pro budoucí klima byly provedeny podle SRES scénáře emisí A1B. Na výstupy modelu ALADIN-CLIMATE/CZ v rozlišení 25 km, počítané na doméně HUNG25, bude dále zkráceně odkazováno jako na výstupy modelu ALADIN 25.

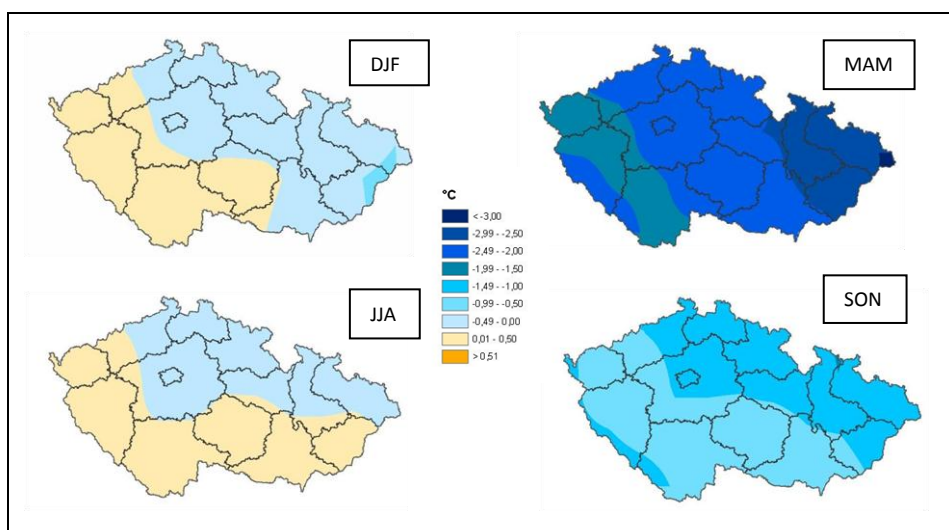


Obr. TS.1.1: Porovnání integračních domén modelu ALADIN-CLIMATE/CZ pro výpočty v rámci projektu VaV-SP/1a6/108/07 (oblast označena HUNG25), ENSEMBLES (oblast označena ENS25) a CECILIA (oblast CEC10).

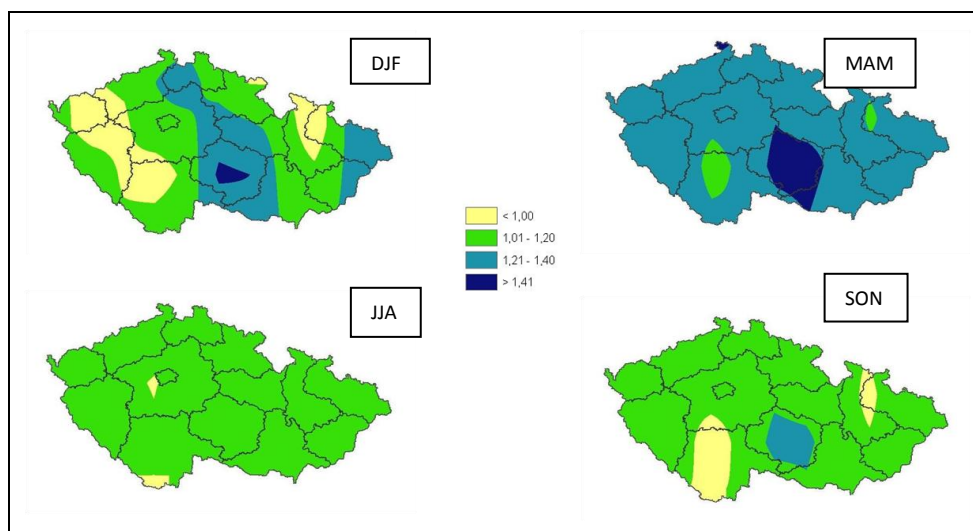
TS.1.3 Validace modelu ALADIN 25

Výstupy modelu ALADIN 25 ve formě řad pro období 1961–1990 v časovém rozlišení 6 hodin byly nejprve konvertovány na denní data. Vypočteny byly denní průměrné, maximální a minimální teploty vzduchu, denní úhrny srážek, denní průměrná relativní vlhkost vzduchu a denní suma globálního záření. Následně byla provedena validace získaných polí, a to porovnáním se souborem pozorování, získaným převedením dostupných staničních dat do pravidelné sítě modelu ALADIN 25 [23].

Odchytky simulovaných sezónních průměrů teploty vzduchu od pozorování v referenčním období se létě a v zimě na většině území pohybují do 1 °C, ale na jaře a na podzim je model podstatně chladnější než pozorování (na jaře místy i o více než 3 °C).



Obr. TS.1.2: Rozdíl průměrných denních teplot (°C) simulovaných modelem ALADIN 25 a teplot pozorovaných pro období 1961–1990 během zimy (DJF), jara (MAM), léta (JJA) a podzimu (SON).

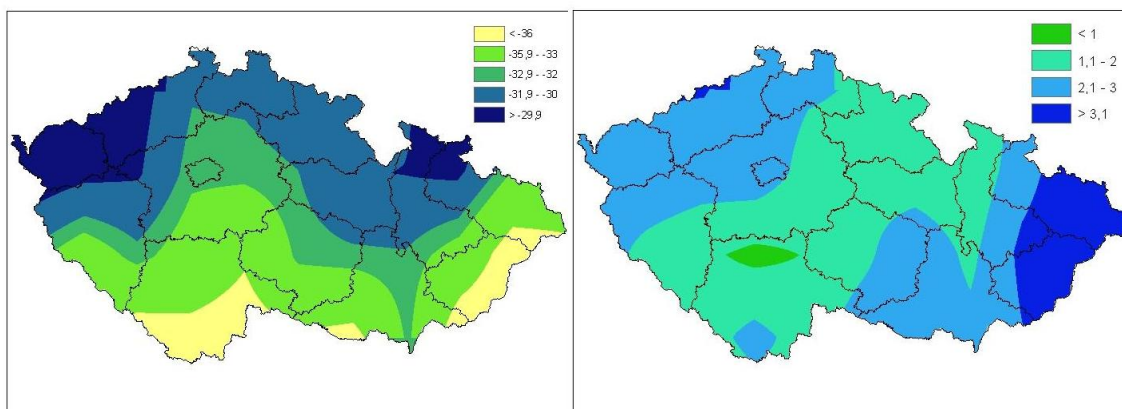


Obr. TS.1.3: Podíl srážkových úhrnů simulovaných modelem ALADIN 25 pro období 1961–1990 a srážek pozorovaných pro období 1961–1990 během zimy (DJF), jara (MAM), léta (JJA) a podzimu (SON).

Pokud se týká atmosférických srážek, tak ve všech ročních obdobích model pozorované srážkové úhrny v referenčním období v průměru nadhodnocuje, v zimě a na jaře místy až o 30–40 %. Na druhou stranu jsou ale v některých oblastech ČR srážky podhodnoceny, zejména v zimě a na podzim. Další podrobnosti viz [26], [27], [1], [25].

Velké odchylky od pozorování vykazuje zejména vlhkost vzduchu. Relativní vlhkost vzduchu model ALADIN 25 na většině území nadhodnocuje, místy až o 30 %. U globálního záření model nadhodnocuje letní hodnoty a spíše podhodnocuje hodnoty v zimních měsících. Rychlost větru v létě má model ALADIN 25 tendenci spíše podhodnocovat (v západních Čechách dokonce o více než 30 %), v zimě na většině území spíše pozorované hodnoty nadhodnocuje. ([27], [1]).

Kromě průměrných hodnot meteorologických prvků jsou při projevech klimatu důležité i tzv. extrémní hodnoty, které si sice vyskytují s malou četností, ale jejich dopady bývají značné. Proto byly validovány i některé speciální charakteristiky související s teplotou vzduchu a srážkami (konkrétně počet mrazových dní, tropických dní, 95. percentil srážek, maximální délka období beze srážek, počet dní se srážkami ≥ 20 mm). Na **obr. TS.1.4** je znázorněn rozdíl počtu mrazových dní mezi pozorovanými a simulovanými hodnotami (vlevo) a rozdíl v počtu dní se srážkami nad 20 mm (vpravo). Velký rozdíl v počtu mrazových dní, kdy model jich nasimuloval o 30 až 36 více než bylo naměřeno, souhlasí se zjištěným podhodnocováním průměrných teplot vzduchu na jaře a na podzim modelem. Další informace viz [27].



Obr. TS.1.4: Rozdíl počtu mrazových dní mezi pozorovanými a modelem ALADIN 25 simulovanými hodnotami (vlevo) a rozdíl v počtu dní se srážkami nad 20 mm (vpravo).

Schopnost modelu ALADIN 25, řízeného globálním modelem ARPEGE-Climat, zachytit základní rysy klimatu ČR byla porovnána i s úspěšností dalších simulací RCM, především z projektu EU ENSEMBLES. Analýza byla zaměřena na teplotu vzduchu, srážkové úhrny a relativní vlhkost vzduchu, pro bližší detaily viz [1]. S použitím vybraného typu skill skóre bylo vytvořeno pořadí regionálních modelů podle jejich úspěšnosti simulovat vybrané charakteristiky klimatu referenčního období. Model ALADIN 25 se v tomto pořadí u většiny hodnocených charakteristik umístil v první polovině skupiny vybraných RCM. Totéž potvrzují Taylorovy grafy³ pro sezónní průměry teploty vzduchu a úhrny atmosférických srážek [1]. Detailní pozornost byla dále zaměřena na schopnost modelu ALADIN 25 zachytit charakteristické rysy průměrného ročního chodu srážek na našem území. Zkoumáno bylo celkem 37 metrik [25], vedle klasických byly vyzkoušeny i charakteristiky, vyjadřující stupeň omrštěnosti

³ Taylorův graf hodnotí v jednom obrázku zároveň tři charakteristiky (směrodatnou odchylku, korelační koeficient a odmocninu z centrované střední kvadratické chyby) modelového a pozorovaného pole dané veličiny.

kontinentality jako např. doba polovičních srážek, index ombrické kontinentality, poloha těžiště srážek. Všechny tyto charakteristiky poukázaly na některé nedostatky modelu ALADIN 25, např. schopnost zachytit rozdíly mezi přechodným a kontinentálním typem klimatu.

Výše uvedené analýzy se týkaly experimentů, kdy RCM byly řízeny různými GCM. Abychom nemuseli uvažovat vliv neurčitostí spojených s vlivem různých řídicích GCM, bylo dále provedeno porovnání schopnosti RCM projektu ENSEMBLES a modelu ALADIN-CLIMATE/CZ simulovat průměrné měsíční a sezónní teploty a srážky na území ČR (průměrné hodnoty těchto veličin za období 1961–1990, směrodatné odchylky, meziroční variabilita) prostřednictvím experimentů, ve kterých byly všechny RCM řízeny reanalýzami ERA40 [6]. Z výsledků vyplývá, že model ALADIN-CLIMATE/CZ mírně podhodnocuje průměrnou roční teplotu vzduchu a zároveň nadhodnocuje průměrné roční srážkové úhrny. Roční chod teploty a srážek model simuluje relativně dobře, v tomto ohledu patří k nejlepším z 11 hodnocených modelů. Pokud se týká směrodatné odchylky a meziroční variability měsíčních srážkových úhrnů, tak i jejich roční chod model simuluje poměrně dobře. Problémy se ale objevily u ročního chodu směrodatné odchylky a meziroční variability teploty vzduchu.

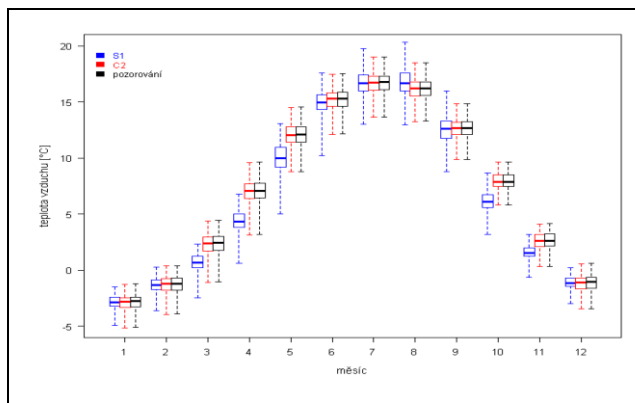
Vzhledem k tomu, že podstatným zdrojem neurčitosti odhadů budoucích změn klimatu jsou GCM a model ALADIN 25 byl řízen pouze globálním modelem ARPEGE-Climat a integrován za předpokladu jediného středního scénáře vývoje emisí A1B, zaměřili jsme se i na analýzu výstupů AR4 GCM [17]. Jednalo se o výstupy 23 GCM pro tři SRES scénáře emisí [19]: A1B (scénář s koncentracemi skleníkových plynů dosahujícími 700 ppm v roce 2100), A2 (820 ppm v roce 2100) a B1 (550 ppm). Rozlišení atmosférické části modelů se pohybuje od 4°–5° zeměpisné šířky/délky až po 1°–1,5°. Seznam modelů lze nalézt v [13], [14]. Uvedené modely byly posouzeny z hlediska schopnosti simulovat průměrné roční a měsíční teploty vzduchu a úhrny atmosférických srážek v oblasti ČR [13]. Ukázalo se, že globální modely vesměs výrazně nadhodnocují průměrné roční úhrny srážek. Průměrný roční chod teploty vzduchu většina modelů simuluje rozumně, u některých je ale roční chod buď příliš plochý, nebo je naopak amplituda ročního chodu příliš velká. U ročních chodů srážek je situace horší, řada modelů má roční chod příliš nevýrazný, některé dokonce simulují v podstatě opačný roční chod, než odpovídá pozorováním. Na základě provedeného hodnocení a požadavku, aby modelové simulace byly provedeny pro všechny tři zvolené časové horizonty a tři scénáře emisí, zůstalo pro kvantifikaci neurčitostí (viz část TS.1.6) spojených s řídicím GCM a SRES scénáři emisí pouze osm GCM [14].

TS.1.4 Postprocessing výstupů modelu ALADIN 25

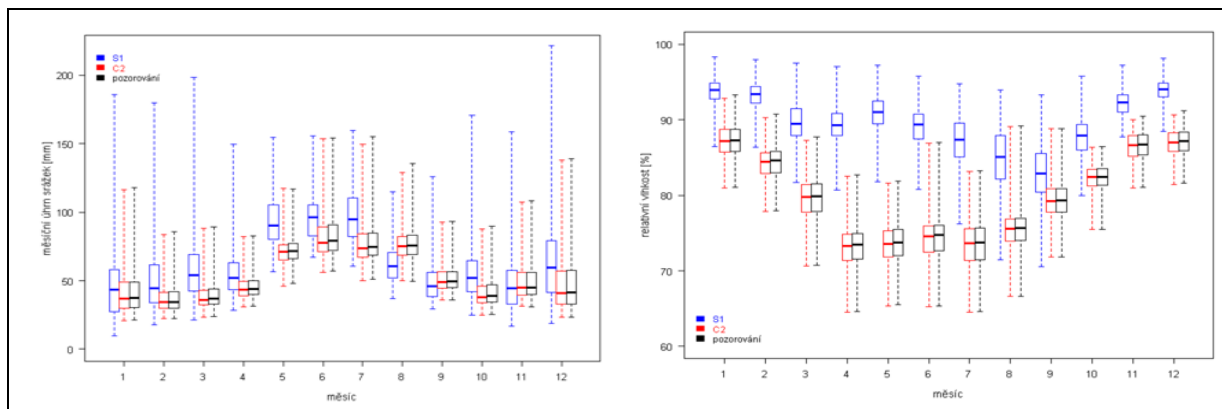
Vzhledem k tomu, že se při validaci modelu ALADIN 25 objevily systematické chyby v simulacích sledovaných klimatických prvků a charakteristik (viz část TS.1.3, [26], [27], [1], [25]), bylo doporučeno pro odhady dopadů buď použít výstupy modelů pro budoucí klima relativně, tj. u teploty vzduchu pracovat s rozdíly, u dalších prvků s podíly průměrných hodnot pro nové a referenční období, anebo použít data, která prošla tzv. postprocessingem, tj. aplikací statistických korektivních funkcí k redukci systematických chyb. Kodstranění hlavních rozdílů mezi modelem simulovanými hodnotami a „pozorováními“, je možné použít řadu postupů [2]. Vzhledem k malým rozdílům výsledků různých metod postprocessingu v porovnání s dalšími neurčitostmi byla v projektu použita kvantilová metoda [2]: pro každý klimatický prvek, den a gridový bod byly zkonstruovány kvantilové funkce měřených a simulovaných hodnot za období 1961–1990. Porovnáním hodnot odpovídajících si kvantilů pak byly vypočteny korekce, v aditivní formě pro teploty a relativní vlhkosti, v multiplikační formě pro srážky, globální záření a rychlosti větru. Tyto korekce byly pak aplikovány na období popisující budoucí klima.

Vliv postprocessingu a chyby modelu jsou dobře patrné na obr. TS.1.5 a TS.1.6, na kterých jsou uvedeny boxploty pro teplotu vzduchu, atmosférické srážky a relativní vlhkost vzduchu. S1 označuje

simulace modelu ALADIN 25, C2 jsou modelová data korigovaná kvantilovou metodou a „pozorování“ označuje pozorované hodnoty přepočtené do sítě modelu ALADIN 25. Boxploty jsou konstruovány jako medián, dolní a horní kvartil a maximální a minimální hodnota, vypočítané ze souboru průměrných měsíčních hodnot za referenční období v gridových bodech na území ČR. Korigovaná data se blíží pozorováním, a to jak mediány, tak mezikvartilová rozpětí i rozpětí hodnot na území ČR (nejvyšší a nejnižší hodnota na území ČR). Dobré přiblížení korigovaných hodnot pozorováním je vidět i u srážek, vlhkosti vzduchu a globálního záření. Obrázek o chybách modelu a vlivu korekcí dokresluje **tab. TS.1.1** (viz část TS.1.5) pro jednotlivé sezóny roku.



Obr. TS.1.5 :Boxploty 30letých (1961–1990) měsíčních průměrů teploty vzduchu na území ČR. Horní a spodní hrana obdélníku označují horní a dolní kvartil, uvnitř obdélníku je vyznačen medián souboru hodnot v uzlových bodech sítě ALADINA 25 na území ČR. Konce přerušovaných úseček označují minimum a maximum daného souboru.



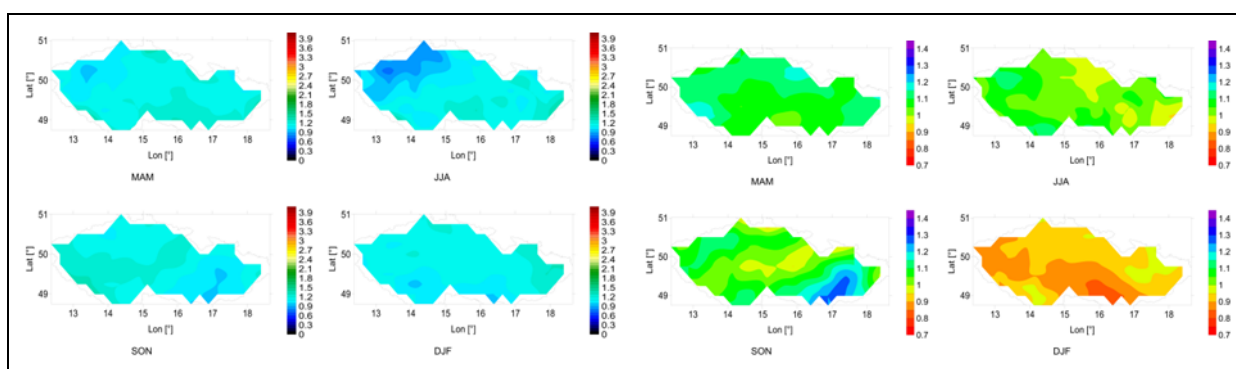
Obr. TS.1.6: Jako obr. TS.1.5, ale pro srážkové úhrny (vlevo) a vlhkost vzduchu (vpravo).

TS.1.5 Scénář změny klimatu

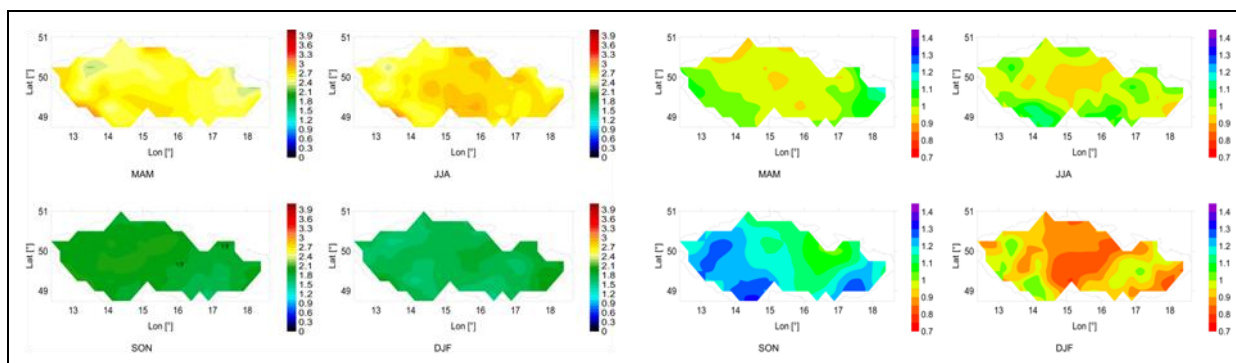
Modelem ALADIN 25 simulované změny sezónních průměrných teplot vzduchu, rychlostí větru, relativní vlhkosti vzduchu, úhrnů srážek a globální záření pro tři časové horizonty v průběhu 21. století jsou uvedeny v **tab. TS.1.1**. U teploty vzduchu se jedná o rozdíl, u ostatních prvků o podíl hodnot mezi budoucím a referenčním obdobím. Hodnoty představují průměr z hodnot ve všech gridových bodech ležících na území ČR. Uvedeny jsou údaje jak pro korigovaná (viz část TS.1.4) data (označení C), tak pro neupravené výstupy modelu ALADIN 25 (označení S). Časové řady korigovaných a nekorigovaných hodnot pro jednotlivé uzlové body byly pro řešitele projektu dostupné na FTP MFF UK. Mapy rozložení sezónních změn teploty vzduchu a atmosférických srážek pro korigovaná data pro všechny tři časové horizonty jsou na **obr. TS.1.7** až **TS.1.9**.

V prvním období 2010–2039 se teplota vzduchu na území ČR zvýší podle modelu ALADIN 25 cca o 1°C, oteplení v létě a zimě je jen o něco menší než na jaře a na podzim (**tab. TS.1.1**). Prostorové rozložení změn sezónních průměrů teplot je uvedeno na **obr. TS.1.7** vlevo. Patrné je systematické zvýšení teplot relativně málo proměnlivé v prostoru.

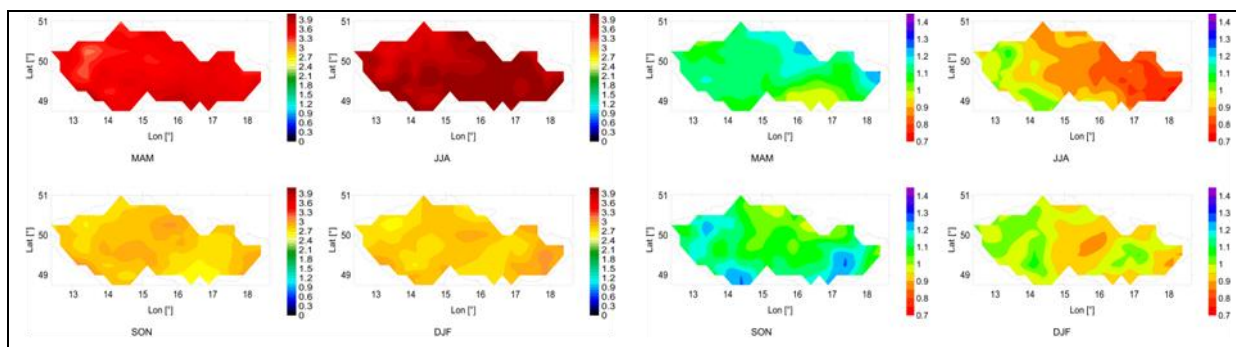
V období 2040–2069 (**obr. TS.1.8** vlevo) je již oteplení výraznější, nejvíce se zvýší teploty vzduchu v létě (o 2,7 °C), nejméně v zimě (o 1,8 °C). Za zmínku stojí zvýšení teplot v srpnu o téměř 3,9 °C. V jednotlivých gridových bodech ČR se oteplení může na jaře a v létě pohybovat od 2,3 °C po 3,2 °C, na podzim od 1,7 °C po 2,1 °C a v zimě od 1,5 °C po 2,0 °C. V posledním období 2070–2099 (**obr. TS.1.9** vlevo) oteplení v létě dosahuje 4 °C (na území ČR se mění od 3,5 do 4,7 °C), na podzim a v zimě činí „pouze“ 2,8 °C (v jednotlivých gridových bodech od 2,6 do 3,1 °C). Všechny uvedené údaje se týkají korigovaných dat.



Obr. TS.1.7: Rozdíl průměrných denních teplot (°C) (vlevo) a podíl sezónních srážek (vpravo) vypočítané z korigovaných dat modelu ALADIN 25 pro období 2010–2039 a 1961–1990 během zimy (DJF), jara (MAM), léta (JJA) a podzimu (SON)



Obr. TS.1.8: Jako obr. TS.1.7, ale pro období 2040–2069



Obr. TS.1.9: Jako obr. TS.1.7, ale pro období 2070–2099.

U změn sezónních úhrnů srážek je situace složitější. V prvním období je v zimě (**obr. TS.1.7** vpravo) ve většině uzlových bodů simulován pokles budoucích srážek (v závislosti na konkrétní lokalitě ČR do 20 %), na jaře jejich zvýšení (od 2 do cca 16 %), v létě a zejména na podzim se situace v různých částech území ČR liší (na podzim najdeme na několika místech ČR slabý pokles o několik procent, jinde zvýšení až o 20–26 %, v létě převládá slabý pokles, místy (např. západní Čechy) naopak zvýšení až o 10 %). Zároveň je patrná poměrně výrazná prostorová proměnlivost změn, je tudíž možné, že případný klimatický signál může být v tomto blízkém období překryt projevy přirozených (meziročních) fluktuací srážkových úhrnů. Pro období 2040–2069 (**obr. TS.1.8**) je již charakteristický pokles srážek v zimě (např. Krkonoše, Českomoravská Vysočina, Beskydy až o 20 %) a zvýšení na podzim. V létě začíná na území ČR dominovat pokles srážek, který je v období 2070–2099 (**obr. TS.1.9** vpravo) ještě výraznější, zatímco pokles zimních úhrnů srážek je oproti předchozímu období menší.

Změny relativní vlhkosti, odvozené z korigovaných a simulovaných dat, jsou navzájem velmi podobné, a menší než chyba simulovaných hodnot v referenčním období. Ve všech sezónách a ve všech třech časových horizontech dává model ALADIN 25 pokles relativní vlhkosti vzduchu. Změny v prvním časovém období (2010–2039) činí ale nejvýše 5 %, v průměru přes území ČR jen 1 %. V zimě jsou změny menší než 5 % i v obou zbývajících časových horizontech. V létě dosahuje pokles relativní vlhkosti ve vzdálenějších časových obdobích 5–10 %, na konci 21. století na některých místech až 15 % (část středních Čech, Vysočina), což je v souladu s přepokládaným zvýšením teploty vzduchu a snížením srážkových úhrnů.

Časové řady hodnot relativní vlhkosti pro všechny uzlové body v ČR byly sice do databáze na MFF UK přidány (soubory rhumi), vzhledem k rozdílu mezi modelovými a měřenými hodnotami relativní vlhkosti v referenčním období 1961–1990 a slabému signálu změn v 21. století, a v neposlední řadě i skutečnosti, že naměřené hodnoty relativní vlhkosti se v období 1961–2000 neměnily (osobní komunikace s autory Atlasu podnebí Česka), bylo doporučeno při odhadech dopadů pro první časový horizont pracovat s měřenými hodnotami relativní vlhkosti, v dalších s korigovanými daty nebo použít tzv. delta postup, tj. aplikovat relativní změny mezi budoucím a referenčním obdobím na časové řady pozorování v referenčním období 1961–1990 [2].

Tab. TS.1.1 Korigované (C) a nekorigované (S) sezónní průměry výstupů modelu ALADIN 25 pro referenční období a změny pro tři vybrané budoucí časové horizonty. U teploty vzduchu se jedná o rozdíl, u ostatních prvků o podíl mezi budoucím a referenčním obdobím.

Teplota vzduchu								
	1961–1990		2010–2039		2040–2069		2070–2099	
	C-Obs	S-Obs	Cbud-C(61–90)	Sbud-S(61–90)	Cbud-C(61–90)	Sbud-S(61–90)	Cbud-C(61–90)	Sbud-S(61–90)
jaře	-0,04	-2,26	1,16	0,98	2,59	2,12	3,54	2,87
léto	-0,03	0,03	1,09	0,90	2,68	2,32	3,96	3,47
podzim	-0,01	-1,02	1,16	1,23	1,92	2,04	2,83	3,04
zima	-0,04	-0,06	1,14	0,90	1,76	1,44	2,83	2,29

Atmosférické srážky								
	1961–1990		2010–2039		2040–2069		2070–2099	
	C/Obs	S/Obs	Cbud/C61-90	Sbud/S61-90	Cbud/C61-90	Sbud/S61-90	Cbud/C61-90	Sbud/S61-90
jaře	0,98	1,33	1,12	1,10	1,00	0,98	1,10	1,07
léto	0,99	1,07	1,03	1,01	0,99	0,96	0,88	0,86
podzim	0,99	1,10	1,08	1,04	1,18	1,13	1,12	1,06
zima	0,99	1,32	0,92	0,91	0,91	0,88	0,96	0,94

Relativní vlhkost								
	1961–1990		2010–2039		2040–2069		2070–2099	
	C/Obs	S/Obs	Cbud/C61-90	Sbud/S61-90	Cbud/C61-90	Sbud/S61-90	Cbud/C61-90	Sbud/S61-90
jaro	1,00	1,19	1,00	1,00	0,97	0,98	0,97	0,98
léto	1,00	1,17	0,99	0,99	0,94	0,95	0,91	0,92
podzim	1,00	1,06	0,99	0,99	0,98	0,97	0,95	0,94
zima	1,00	1,08	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99

Větr								
	1961–1990		2010–2039		2040–2069		2070–2099	
	C/Obs	S/Obs	Cbud/C61-90	Sbud/S61-90	Cbud/C61-90	Sbud/S61-90	Cbud/C61-90	Sbud/S61-90
jaro	0,99	0,90	1,02	1,02	0,99	0,99	1,02	1,02
léto	0,99	0,80	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01	1,01
podzim	0,99	0,96	0,98	0,98	1,01	1,01	0,97	0,97
zima	1,00	1,07	0,98	0,98	0,96	0,95	0,98	0,97

Globální záření								
	1961–1990		2010–2039		2040–2069		2070–2099	
	C/Obs	S/Obs	Cbud/C61-90	Sbud/S61-90	Cbud/C61-90	Sbud/S61-90	Cbud/C61-90	Sbud/S61-90
jaro	1	0,99	0,99	0,99	1,04	1,04	1	0,99
léto	1	1,04	0,99	0,99	1	1,01	1,04	1,01
podzim	1	1,02	0,99	1	0,98	0,97	1,04	1,00
zima	1	0,91	1,13	1,09	1,16	1,10	1,15	1,10

Ve všech třech časových horizontech jsou simulované změny sezónních průměrů denních sum globálního záření největší v zimě (až o více než 10 %), v ostatních sezónách se na většině míst pohybují do 4%. Ve srovnání s chybami modelu jsou změny globálního záření dopadajícího na zemský povrch malé. Časové řady denních sum globálního záření jsou rovněž v databázi na MFF UK (soubory solfx). Pro práci s těmito soubory platí doporučení uvedené u relativní vlhkosti.

U změn průměrné rychlosti větru stojí za zmínku pokles rychlosti o 5–10 % v zimě v období 2040–2069, jinak jsou sezónní změny do 5 % (viz **tab. TS.1.1**). V porovnání s chybou simulovaných hodnot oproti pozorováním v referenčním období jsou tedy hodnoty změn malé a neprůkazné. Změny odvozené ze simulovaných a korigovaných dat se navzájem liší jen velmi málo. Pro odhady dopadů platí stejné doporučení jako pro relativní vlhkost, časové řady jsou opět na ftp serveru MFF UK (soubory winds).

V **tab. TS.1.2** jsou uvedeny průměrné roční změny vybraných extrémních indexů (počet tropických dní, počet mrazových dní a počet dní se srážkami ≥ 20 mm). Popis se shoduje s **tab. TS.1.1**.

Změna počtu mrazových a tropických dní odpovídá postupnému zvyšování průměrné teploty vzduchu v uvedených budoucích obdobích. Velký rozdíl mezi simulovanými a korigovanými hodnotami ukazuje vliv postprocessingu na tvar rozdělení, který se výrazně promítá právě do extrémních hodnot. Nadhodnocování počtu mrazových dní modelem koresponduje s výrazným podhodnocováním průměrných jarních a podzimních teplot vzduchu oproti pozorování. Počet dní se srážkami ≥ 20 mm nevykazuje v průměrných hodnotách žádný jednoznačný trend.

Tab. TS.1.2 : Změny počtu tropických dní, mrazových dní a počtu dní se srážkami ≥ 20 mm.

Počet tropických dní								
	1961–1990		2010–2039		2040–2069		2070–2099	
	C-Obs	S-Obs	Cbud-C(61–90)	Sbud-S(61–90)	Cbud-C(61–90)	Sbud-S(61–90)	Cbud-C(61–90)	Sbud-S(61–90)
rok	-1	-3	4	1	14	8	23	13
Počet mrazových dní								
	1961–1990		2010–2039		2040–2069		2070–2099	
	C-Obs	S-Obs	Cbud-C(61–90)	Sbud-S(61–90)	Cbud-C(61–90)	Sbud-S(61–90)	Cbud-C(61–90)	Sbud-S(61–90)
rok	1	33	-17	-19	-30	-35	-43	-50
Počet dní s úhrnem ≥ 20 mm								
	1961–1990		2010–2039		2040–2069		2070–2099	
	C-Obs	S-Obs	Cbud-C(61–90)	Sbud-S(61–90)	Cbud-C(61–90)	Sbud-S(61–90)	Cbud-C(61–90)	Sbud-S(61–90)
rok	0	-2	1	1	1	3	1	3

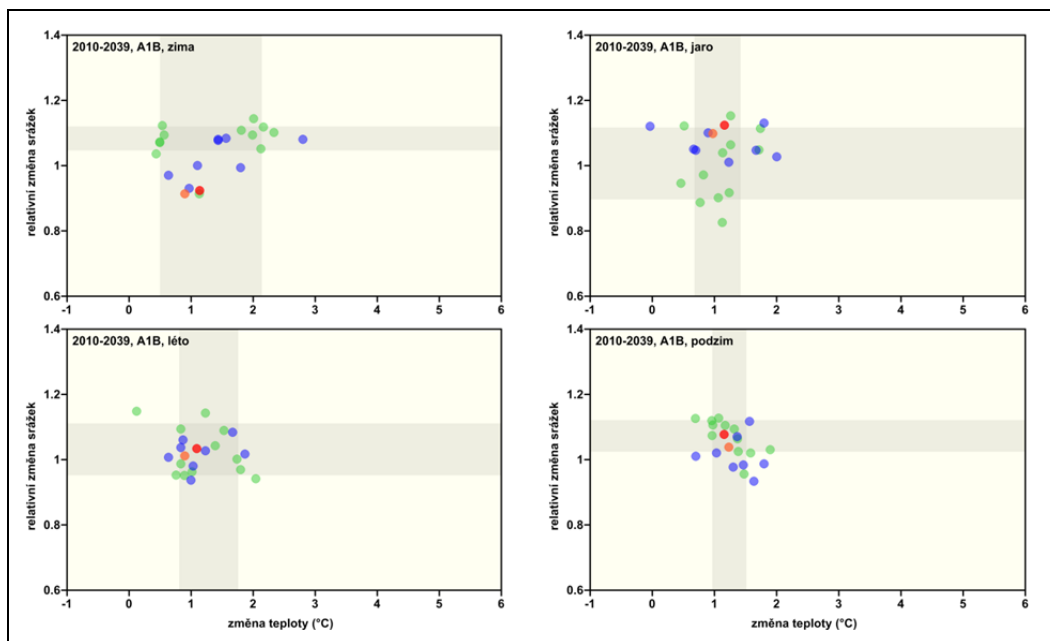
TS.1.6 Zdroje nejistot

Základ scénáře vytvořeného pro odhady dopadů (viz TS.1.5) představovaly simulace regionálního klimatického modelu ALADIN 25. Odhady změn teplot vzduchu, úhrnů atmosférických srážek a dalších klimatických veličin se však v závislosti na použitém regionálním modelu a řídicím globálním modelem mohou výrazně lišit. S rozptylem výsledků klimatických modelů se tudíž musí počítat i při odhadech dopadů na různé sektory hospodářství. Zaměřili jsme se proto na posouzení, jak změny simulované modelem ALADIN25 zapadají do odhadů daných 12 experimenty provedenými s regionálními modely projektu EU ENSEMBLES a osmi vybranými globálními modely. Bližší podrobnosti o výběru globálních modelů viz [13], o změnách teploty a atmosférických srážek podle vybraných GCM viz [14], o změnách teploty vzduchu a srážek podle RCM viz [28]. Dále jsou většinou diskutovány nekorigované hodnoty (průměrná hodnota pro ČR) modelu ALADIN 25 vzhledem k tomu, že výstupy ostatních modelů nebyly korigovány.

TS.1.6.1 Období 2010–2039

Změny sezónních průměrů teploty vzduchu simulované modelem ALADIN 25 nevybočují z hodnot uváděných sledovanými RCM i GCM (**obr. TS.1.10**). Nejvíce se modely v odhadech očekávaných změn teploty vzduchu liší v zimě, nejméně na podzim.

Zvýšení atmosférických srážek na jaře (**obr. TS.1.10**) o cca 10 %, simulované modelem ALADIN 25, leží na horní hranici hodnot modelových odhadů udávajících zvýšení srážek, v zimě naopak ALADIN 25 patří do méně početné skupiny modelů, které simulují pokles sezónních srážkových úhrnů. Na jaře a v zimě je rozpětí odhadovaných změn srážkových úhrnů větší než v létě a na podzim. Ve všech sezónách se modely liší i ve „znaménku“ změny, některé modely dávají pokles srážek, jiné jejich nárůst.



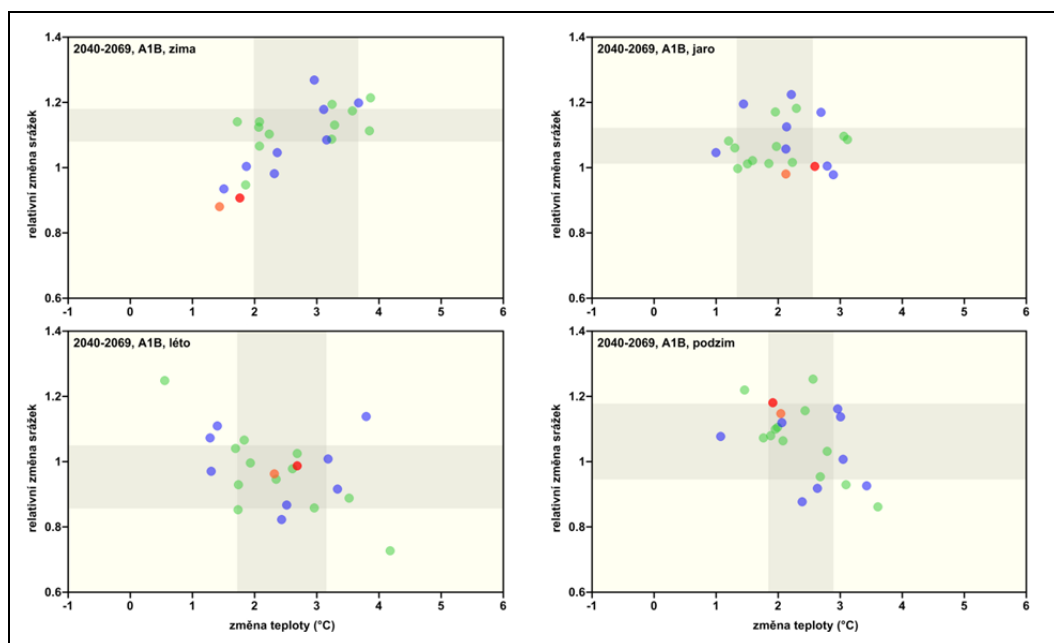
Obr. TS.1.10: Rozdíly průměrných sezónních teplot (horizontální osa) a podíly sezónních úhrnů srážek (vertikální osa) mezi období 2010–2039 a 1961–1990. Uvedeny jsou průměrné hodnoty pro ČR. Zeleně jsou označeny hodnoty RCM modelů, modře hodnoty globálních modelů. Červeně, resp. oranžově, jsou označeny korigované, resp. nekorigované, hodnoty modelu ALADIN 25. Šedé pásy vyznačují oblast mezi 15 a 85% kvantily vypočítanými z multimodelového souboru RCM.

TS.1.6.2 Období 2040–2069

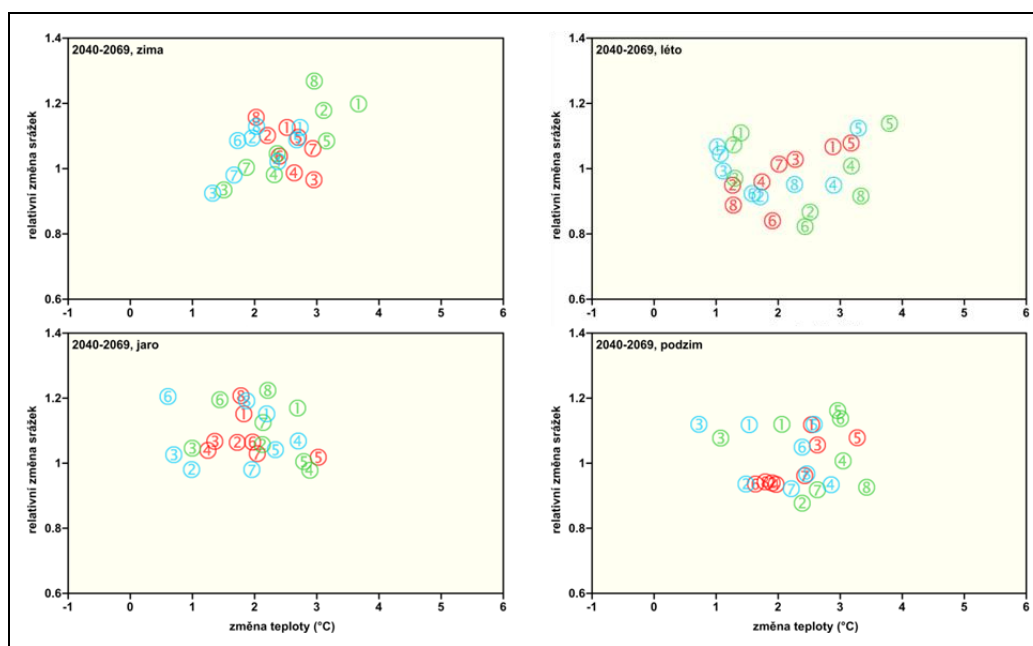
V tomto a následujícím období (**obr. TS.1.11** a **TS.1.13**) se výstupy modelů mohou navíc lišit i v závislosti na SRES scénářích emisí. Regionální klimatické modely projektu ENSEMBLES a model ALADIN 25 počítaly pouze se scénářem SRES A1B, globální modely i se scénáři B1 a A2. Proto byly výstupy modelu ALADIN začleněny alespoň do výstupů GCM pro tři scénáře emisí (**obr. TS.1.12** a **TS.1.14**).

TS.1.6.2.1 Scénář A1B (**obr. TS.1.11**)

Zvýšení sezónních průměrů teplot je v období 2040–2069 ve srovnání s předchozím obdobím větší, větší je ale i rozpětí modelových výsledků. **Model ALADIN 25 dává v zimě nejmenší zvýšení teploty vzduchu (o 1,4 °C) ze všech analyzovaných modelů**, u 6 modelů oteplení v zimě představuje 3 až 4 °C. Na jaře, v létě a na podzim hodnoty simulované modelem ALADIN zapadají lépe do rozmezí změn daných sledovanými RCM i GCM. U atmosférických srážek je nyní rovněž rozpětí odhadovaných změn vyšší než pro předchozí období. Sezónní úhrny srážek na jaře zůstávají podle modelu ALADIN pro období 2040–2069 téměř na úrovni úhrnů pro referenční období (je zajímavé, že v předchozím období byly cca o 10 % vyšší), ostatní RCM i GCM se shodují na zvýšení srážkových úhrnů. **Změny jarních úhrnů srážek modelu ALADIN 25 tedy leží na spodním okraji změn daných vybranými GCM.** V létě dávají modely nárůst i pokles srážek, model ALADIN pokles o 4 %. Na podzim převažují modely s nárůstem srážek, k nim patří i ALADIN se zvýšením podzimních úhrnů o 15 % (pouze 3 modely dávají vyšší nárůst podzimních srážek); pokles srážek najdeme pouze u 4 modelů. Rovněž **v zimě se modely na znaménku změny neshodují, pouze 4 modely včetně modelu ALADIN však dávají pokles srážek, největší pak model ALADIN, a to až o 10 %.**



Obr. TS.1.11: Jako obr. TS.1.10, ale pro období 2040–2069



Obr. TS.1.12: Změny teploty vzduchu a atmosférických srážek dané 8 GCM pro SRES scénář emisí B1 (modře), A2 (červeně), A1B (zeleně). Jednotlivé GCM jsou označeny čísly: (1) CGCM3.1(T47), (2) CNRM-CM3, (3) CSIRO-Mk3.0, (4) IPSL-CM4, (5) MIROC3.2(medres), (6) ECHAM5/MPI-OM, (7) MRI-CGCM2.3.2, (8) UKMO-HadCM3, další podrobnosti o GCM viz tab. TS.1.3.

TS.1.6.2.2 Scénáře B1, A1B a A2 u GCM (obr. TS.1.12):

Změny sezónních průměrů teploty vzduchu na jaře, v létě a na podzim simulované modelem ALADIN 25 pro scénář A1B zapadají do hodnot daných osmi GCM pro uvedené tři SRES scénáře. **V zimě však zvýšení teploty vzduchu dané modelem ALADIN 25 pro scénář A1B představuje spodní odhad očekávaných změn. Změny jarních a zimních úhrnů srážek daných modelem ALADIN 25 představují v tomto porovnání spodní odhad změn, na podzim naopak horní.** V létě zapadá změna srážek daná

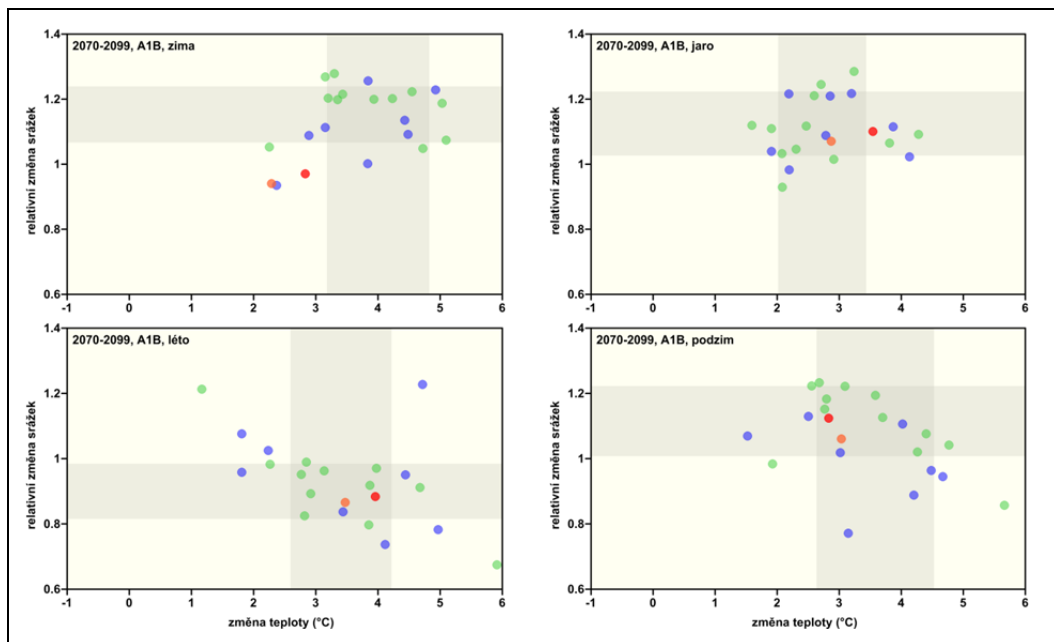
modelem ALADIN do změn odvozených ze simulací GCM. Opět je ale dobře patrné, že GCM se neshodují ve znaménku změny, což platí pro všechny tři SRES scénáře. Podobně je tomu i na podzim. Na jaře a v zimě dává více GCM nárůst srážek.

Tab. TS.1.3: Použité GCM. Rozlišení atmosférické části modelu (poslední sloupec) je uvedeno ve formátu zeměpisná šířka x zeměpisná délka.

Číslo modelu	Provozovatel modelu	Stát	Označení v databázi PCMDI	Rozlišení atm. části
1	Canadian Centre for Climate Modelling & Analysis	Kanada	CGCM3.1(T47)	2,8°x2,8°
2	Météo-France / Centre National de Recherches Météorologiques	Francie	CNRM-CM3	1,9°x1,9°
3	CSIRO Atmospheric Research	Austrálie	CSIRO-Mk3.0	1,9°x1,9°
4	Institut Pierre Simon Laplace	Francie	IPSL-CM4	2,5°x3,75°
5	Center for Climate System Research (The University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies, and Frontier Research Center for GlobalChange (JAMSTEC)	Japonsko	MIROC3.2(medres)	2,8°x2,8°
6	Max Planck Institute for Meteorology	Německo	ECHAM5/MPI-OM	1,9°x1,9°
	Meteorological Research Institute	Japonsko	MRI-CGCM2.3.2	2,8°x2,8°
8	Hadley Centre for Climate Prediction and Research / Met Office	Velká Británie	UKMO-HadCM3	2,5°x3,75°

TS.1.6.3 Období 2070–2099

Pod toto období spadají modelové simulace, které zaujímají buď období 2069-2098, nebo období o rok posunutě (2070–2099), tak jak byly experimenty provedeny. Vzhledem k tomu, že se hodnotí 30leté průměry, je posun o 1 rok nepodstatný.



Obr. TS.1.13: Jako obr. TS.1.10, ale pro časový horizont 2070–2099 (resp. 2069–2098)

TS.1.6.3.1 Scénář A1B (obr. TS.1.13)

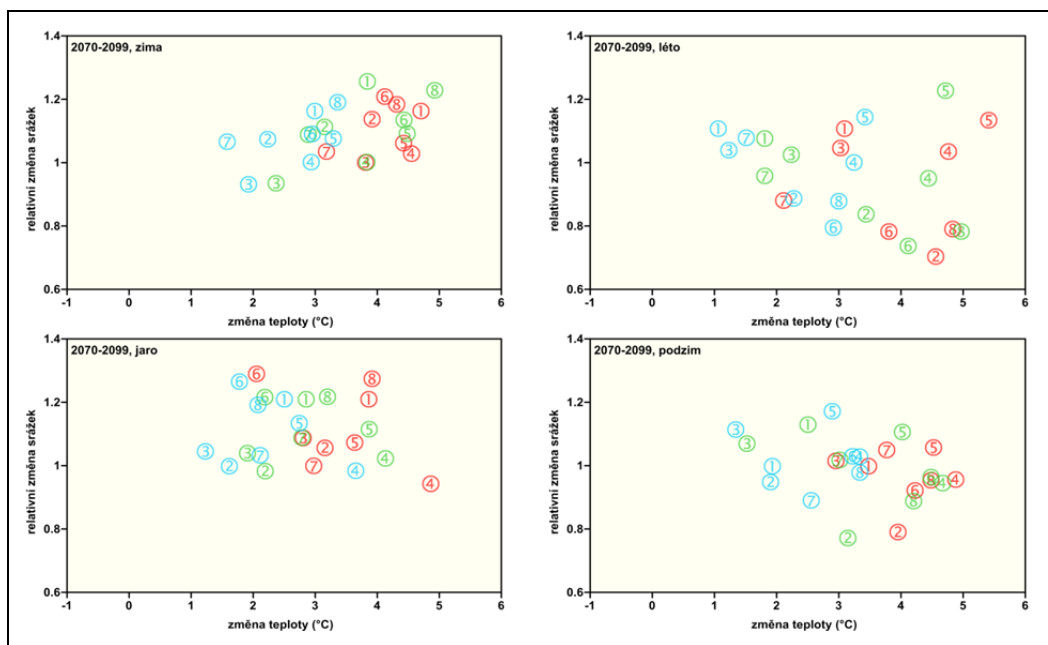
Pro všechny sezóny je charakteristický další růst teploty vzduchu, největší oteplení je v zimě. **Podobně jako v předcházejícím období 2040–2069 dává i nyní ALADIN 25 malou změnu průměrné zimní teploty, její hodnota je menší než hodnota 15% kvantilu souboru RCM.** V ostatních sezónách leží hodnoty změn teploty, simulované modelem ALADIN 25 v rozmezí, ve kterém leží hodnoty 70 %

RCM. Pokud se týká sezónních úhrnů srážek, s výjimkou léta dává většina RCM zvýšení srážkových úhrnů, v létě převládá pokles srážek. **Model ALADIN 25 vybočuje z obecného chování RCM v zimě, kdy simuluje, na rozdíl od většiny modelů, pokles srážek.**

Změny teploty vzduchu a atmosférických srážek (průměrné hodnoty pro ČR), simulované pro toto období modelem ALADIN-CLIMATE/CZ v rozlišení 10 km, se od hodnot vypočítaných verzí modelu s rozlišením 25 km téměř neliší, u sezónních průměrů teploty vzduchu činí rozdíl maximálně 0,3 °C, u podílů srážkových úhrnů 0,02.

TS.1.6.3.2 Scénáře B1, A1B a A2 u GCM (obr. TS.1.14):

Podobně jako v období 2040–2069, zapadají na jaře, v létě a na podzim změny sezónních průměrů teploty vzduchu simulované modelem ALADIN 25 pro scénář A1B do hodnot daných osmi GCM pro uvedené tři SRES scénáře. **V zimě představuje zvýšení teploty vzduchu dané modelem ALADIN 25 pro scénář A1B opět spodní odhad očekávaných změn. Většina GCM dává pro tři scénáře emisí v zimě zvýšení srážek (podobně je tomu na jaře), model ALADIN 25 dává naopak pokles srážek. V létě a na podzim, bez ohledu na scénář emisí, simulují některé GCM pokles, jiné zvýšení srážkových úhrnů. Česká republika leží na rozhraní oblastí zvýšeného množství srážek ve vyšších zeměpisných šířkách a poklesu srážek v subtropích.**



Obr. TS.1.14: Jako obr. TS.1.12, ale pro časový horizont 2070–2099 (resp. 2069–2098).

Analýzy tedy ukázaly, že v některých případech představují sezónní změny očekávané podle modelu ALADIN 25 spíše spodní, resp. horní odhad změn ve srovnání s dalšími analyzovanými regionálními a globálními modely. Totéž potvrzuje i **tab. TS.1.4**, ve které jsou pro jednotlivé sezóny roku nekorigované změny modelu ALADIN 25 porovnány s 15 a 85% kvantily multimodelového souboru 12 experimentů RCM projektu ENSEMBLES.

Tab. TS.1.4: Změny teploty vzduchu (rozdíl ve °C), a podíly srážkových úhrnů, relativní vlhkosti vzduchu, průměrné rychlosti vzduchu a úhrnu globálního záření mezi daným budoucím časovým horizontem a referenčním obdobím 1961–1990 na území ČR. Uvedeny jsou 85% a 15% kvantily odvozené ze souboru 12 simulací ENSEMBLES RCM a hodnoty simulované modelem ALADIN 25 (AL 25). Barevně označeny jsou případy, kdy hodnoty modelu ALADIN 25 vybočují z rozmezí uvedených kvantilů souboru RCM modelů projektu ENSEMBLES, tučně jsou pak zvýrazněny hodnoty, které vybočují výrazněji (modře ty, které vybočují pod a růžově ty, které vybočují nad rozmezí uvedených kvantilů).

	Změny	teploty vzduchu			úhrnu srážek			globálního záření			vlhkosti vzduchu			rychlosti větru		
		85%	15%	AL 25	85%	15%	AL 25	85%	15%	AL 25	85%	15%	AL 25	85%	15%	AL 25
2010–2039	jaro	1,42	0,68	0,98	1,12	0,90	1,10	1,03	0,97	0,99	1,03	0,97	1,00	1,02	0,98	1,02
	léto	1,76	0,81	0,90	1,11	0,95	1,01	1,02	0,98	0,99	1,03	0,96	0,99	1,00	0,98	1,00
	podzim	1,51	0,96	1,23	1,12	1,02	1,04	1,01	0,97	1,00	1,01	0,98	0,99	1,03	0,99	0,98
	zima	2,14	0,50	0,90	1,12	1,05	0,91	0,99	0,92	1,09	1,01	0,99	0,99	1,03	0,99	0,98
2040–2069	jaro	2,56	1,33	2,12	1,12	1,01	0,98	0,99	0,93	1,04	1,04	0,98	0,98	1,02	0,98	0,99
	léto	3,15	1,72	2,32	1,05	0,86	0,96	1,04	0,98	1,01	1,01	0,90	0,95	1,01	0,97	1,00
	podzim	2,90	1,84	2,04	1,18	0,95	1,13	1,02	0,96	0,97	1,02	0,97	0,97	1,01	0,97	1,01
	zima	3,67	1,99	1,44	1,18	1,08	0,88	0,95	0,87	1,10	1,01	0,98	0,99	1,04	0,99	0,95
2070–2099	jaro	3,44	2,02	2,87	1,22	1,03	1,07	0,98	0,90	1,01	1,06	0,98	0,98	1,03	0,97	1,02
	léto	4,22	2,59	3,47	0,98	0,81	0,86	1,05	0,98	1,03	1,01	0,88	0,92	1,00	0,97	1,01
	podzim	4,53	2,64	3,04	1,22	1,01	1,06	1,02	0,93	1,00	1,02	0,95	0,94	1,01	0,97	0,97
	zima	4,83	3,18	2,29	1,24	1,07	0,94	0,91	0,83	1,10	1,02	0,97	0,99	1,05	0,96	0,97

Co se týče změn vybraných teplotních a srážkových speciálních charakteristik (počet tropických dní, počet mrazových dní, 95% kvantil srážkových úhrnů, počet dní s úhrnem srážek ≥ 20 mm, maximální délka období beze srážek) byly výsledky modelu Aladin 25 porovnávány s výsledky 6 RCM, pro které byly tyto indexy k dispozici. Lze konstatovat, že výsledky modelu Aladin 25 nevybočují z výsledků ostatních RCM.

TS.1.7 Posouzení věrohodnosti regionálních scénářů klimatické změny

Nejistoty scénářových modelových simulací, provedených v rámci tohoto projektu, mají v zásadě 3 zdroje:

- nejistota emisního scénáře
- nejistota řídicího globálního modelu
- nejistota vnořeného regionálního modelu.

Simulace pomocí modelu ALADIN-CLIMATE/CZ byly prováděny pro scénář SRES A1B, který je považován za jeden ze středních a realistických scénářů. V modelových výstupech se navíc rozdíly mezi scénáři pro období 2010–2039 a do značné míry i 2040–2069 příliš neprojevují, závislost na emisním scénáři je patrná až pro období 2070–2099, a to prakticky jen v teplotách (největší změny z posuzovaných scénářů pro A2, menší pro A1B a nejmenší pro B2). U změn srážek patrnější závislost na emisním scénáři není (posuzováno pomocí výstupů GCM).

Rozptyl změn mezi jednotlivými RCM, podobně jako mezi jednotlivými GCM, s časovým horizontem postupně roste. Většina nárůstu rozptylu se projevuje podobně jak u RCM, tak i u GCM (pro emisní scénář A1B), což naznačuje převažující vliv nejistoty GCM na nejistotu výstupů RCM. GCM tedy vnáší do scénářů větší nejistotu, než navazující RCM.

Ve srovnání s dalšími regionálními modely pro scénář A1B lze konstatovat, že model ALADIN 25 pro období 2010–2039 příliš nevybočuje z kontextu ostatních regionálních modelů, pouze v zimě indikuje, na rozdíl od většiny ostatních modelů, mírný pokles srážek. Pro období 2040–2069 a 2070–2099 se však zejména v zimním období odlišuje více od charakteristik ostatních modelů. Dává systematicky

menší vzestup teplot, spíše pokles srážek a nárůst globálního záření, což nezapadá zcela do kontextu ostatních modelů. Příčinou může být velká simulovaná anticyklonalita v zimním období ve srovnání s ostatními regionálními modely. Z tohoto důvodu lze konstatovat, že scénáře modelu ALADIN 25 pro zimu vykazují větší nejistotu, než v ostatních ročních obdobích, zatímco pro ostatní roční období většinou dobře zapadají do kontextu ostatních RCM.

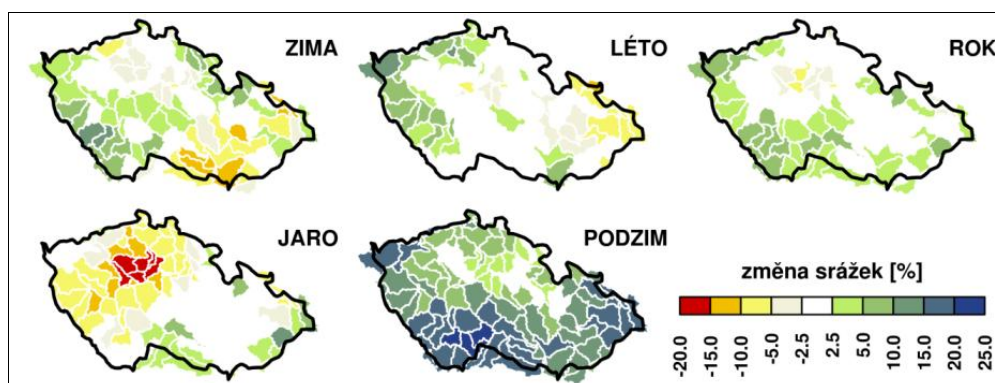
TS.2 Dopady změny klimatu na hydrologickou bilanci a vodní zdroje

TS.2.1 Odhad dopadů změn klimatu na hydrologickou bilanci povodí ČR a jeho nejistoty

Změny klimatu ovlivňující hydrologický režim lze v České republice pozorovat již řadu let. Nejmarkantněji jsou změny patrné na teplotách vzduchu, které např. mezi obdobími 1961–1980 a 1981–2005 vzrostly v ročním průměru o cca 0,6–1,2 °C. Tyto změny jsou nejvíce patrné v letním období nejvíce na jihu a jihovýchodě, v zimě a na jaře zejména v západní části republiky. Naopak na podzim dochází pouze k minimálním změnám.

Teplota je zásadní faktor ovlivňující hydrologickou bilanci zejména z toho důvodu, že s rostoucí teplotou roste potenciální evapotranspirace (a pokud je v povodí dostupná voda tak i územní výpar). Dochází tedy k rychlejšímu úbytku vody z povodí. Pozorovaný růst teploty vede k růstu potenciální evapotranspirace v ročním průměru přibližně o 5–10 %, stejný růst lze konstatovat i pro jaro a léto. K nejvýraznějšímu růstu evapotranspirace dochází v zimě a to až o více než 20 %, což je způsobeno větším počtem dní s kladnými teplotami vzduchu. Naopak na podzim k zásadním změnám potenciální evapotranspirace nedochází, neboť není pozorováno zvyšování teploty vzduchu.

Růst potenciální evapotranspirace je nicméně na velké části našeho území kompenzován růstem srážek (viz obr. TS.2.1). V roční bilanci činí tento nárůst až 10 %. V ročním chodu můžeme konstatovat výraznější nárůst u podzimních srážek (až 20 %, zejména v jižní části ČR). Výjimkou je oblast středních Čech, kde namísto zmiňovaného růstu srážek, dochází k jejich poklesu, na jaře až o 20 %. Z rozdílu změn srážek a potenciální evapotranspirace je zřejmé, že v roční bilanci dochází na velké části našeho území k účinné kompenzaci růstu potenciální evapotranspirace zvýšenými srážkami, nicméně ve střední části ČR se nacházejí povodí, pro která změny srážek nejsou schopny kompenzovat zvýšení potenciální evapotranspirace, takže hydrologická bilance je v těchto oblastech dlouhodobě pasivní.



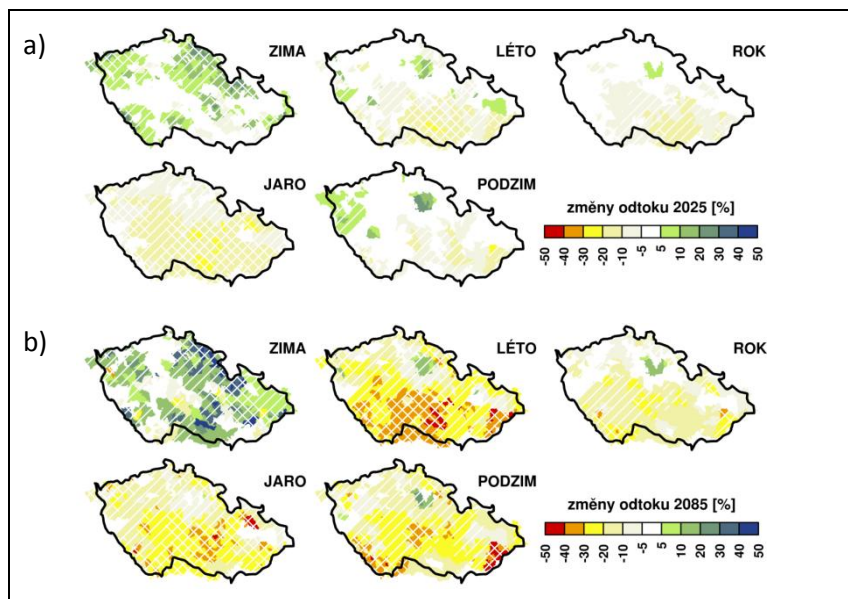
Obr. TS.2.1 Pozorované změny srážek mezi obdobími 1961–1980 a 1981–2005

Právě v těchto oblastech se nacházejí povodí, která již v současnosti pociťují negativní dopady změn klimatu v podobě nedostatku vodních zdrojů v některých letech. Příkladem jsou povodí Rakovnického potoka, Srpiny, Blšanky a další. V současnosti jde zejména o povodí přirozeně chudá na srážky, nicméně v budoucnu (naplní-li se projekce klimatických modelů) můžeme očekávat podobné problémy i v jiných oblastech České republiky.

Pro účely projektu bylo provedeno rozsáhlé modelování dopadů změn klimatu na hydrologický režim pomocí hydrologického modelu BILAN [7] na 250 povodích v ČR. Metodika tvorby scénářů v měsíčním kroku je podrobně popsána např. v [6]. Pro celkové vyhodnocení možných dopadů změn klimatu byla uvažována konzistentní sada patnácti simulací regionálních klimatických modelů, jež mají srovnatelné horizontální rozlišení (cca 25 km x 25 km) a pokrývají stejný časový úsek (1961–2099). Regionální modely byly řízeny různými globálními klimatickými modely podle emisního scénáře SRES A1B. Hydrologická bilance je modelována pro současné podmínky a podmínky klimatické změny dle všech uvažovaných simulací regionálních klimatických modelů. Následně byly odvozeny změny vybraných ukazatelů hydrologické bilance a jako střední odhad těchto změn byl dále uvažován průměr nebo medián změn ze sady modelů. Posuzovány byly změny mezi obdobími 1961–1990 a 2010–2039, 2040–2069 a 2070–2099. Tyto časové horizonty jsou dále označovány pomocí jejich středů jako 2025, 2055 a 2085.

Základní podstata možných změn hydrologické bilance na našem území je známa již řadu let. Vyplývá z projekcí srážek a teploty pro Evropu, tj. postupné zvyšování teplot během celého roku a pokles letních, růst zimních a stagnace ročních srážek [3]. Poloha České republiky v oblasti přechodu mezi předpokládaným růstem srážek na severu a jejich poklesem na jihu Evropy přispívá k nejistotě odhadu změn roční bilance srážek, respektive odtoku a ostatních složek hydrologického cyklu. Nerovnoměrné rozložení projektovaných změn srážek během roku patří mezi jevy společné pro velkou řadu simulací klimatických modelů. Princip změn hydrologické bilance může být shrnut následovně: V období od začátku podzimu do začátku léta dochází k růstu srážek, jenž je doprovázen řádově stejným růstem územního výparu způsobeným růstem teploty. V letním období dochází k poklesu srážek a v důsledku úbytku zásob vody v povodí nemůže docházet k výraznému zvyšování územního výparu. Důležitým faktorem ovlivňující změny odtoku je posun doby tání v důsledku vyšší teploty přibližně z dubna na leden–únor. Změny odtoku v období leden–květen jsou tedy dominantně určeny právě odlišnou dynamikou sněhové zásoby, změny v letním období zejména úbytkem srážek.

Průměrné změny odtoku z uvažované sady regionálních klimatických modelů pro jednotlivá roční období pro časové horizonty 2025 a 2085 jsou uvedeny na **obr. TS.2.2**. Změny odtoků jsou konzistentní pro všechny časové horizonty – zpravidla můžeme konstatovat růst odtoků v zimním období a jejich pokles po zbytek roku a pro velkou část našeho území i v roční bilanci. K větším poklesům zpravidla dochází v jižní polovině našeho území. Mírně se vymyká nejbližší časový horizont (**obr. TS.2.2a**), pro který se i v letním období a na podzim vyskytují povodí, na kterých odtoky stagnují, případně výjimečně dokonce rostou. V roční bilanci tak můžeme pro toto období očekávat stagnaci odtoků v severní a západní části našeho území a pokles (většinou do 10 %) v jižní a jihovýchodní části republiky. Pro časové horizonty 2055 a 2085 (jež jsou do značné míry srovnatelné, proto ilustrujeme výsledky pouze pro vzdálenější období na **obr. TS.2.2b**) je možno jasně rozlišit období růstu odtoků v zimě (většinou 5–10 %, místy až 20 %) a poklesu v ostatních obdobích, nejvíce v létě (20–40 %), v roční bilanci zpravidla 5–20 %). Na **obr. TS.2.2** jsou zároveň šrafovaním vyznačena povodí, pro která se 9 (jednoduché šrafování) respektive 12 (dvojitě šrafování) simulací klimatických modelů shodne na znaménku změny. Je evidentní, že zejména změny roční bilance odtoku jsou pro všechny časové horizonty na většině území relativně nejisté.



Obr. TS.2.2 Průměrné změny odtoku pro období (a) 2010–2039 a (b) 2070–2099 dle uvažované sady klimatických modelů. Jednoduchým šrafováním jsou znázorněna povodí, pro která více než 9 modelů z 15 indikuje stejné znaménko změny, dvojitě šrafování odpovídá povodím, pro něž více než 12 modelů vykazuje souhlasné změny

TS.2.2 Možnosti adaptace na změnu klimatu ve vodním hospodářství

Klimatická změna může způsobit nebo zvětšit potíže zejména v obou extrémech hydrologického režimu, v obdobích hydrologického sucha i při výskytu povodní. V obou případech se jedná o situaci, kdy nejsou splněny požadavky lidí, v případě sucha zejména na odběry vody a ředění vypouštěných odpadních vod, v případě povodní požadavky na ochranu lidí a všeho co využívají (v dosahu účinku povodně). Oba extrémy mohou poškozovat ekosystémy v plošném měřítku krajiny, zejména však ekosystémy přímo spojené s vodními toky. Podstatné je že, výskyt období s nedostatkem vody je podle dosud provedených výzkumů očekáván s větší pravděpodobností, než zvětšení intenzity a četnosti přívalových srážek, které jsou příčinou povodní.

Adaptační opatření vedoucí k předcházení a zmenšení negativních dopadů změn klimatu jsou založena buď na zmenšování požadavků (na vodní zdroje, zábor půdy apod.) nebo zmenšování účinků (kompenzace nedostatku vodních zdrojů, protipovodňová opatření). Na evropské úrovni byla vypracována řada více či méně podrobných katalogizací možných adaptačních opatření. Nicméně ne všechna z možných adaptačních opatření jsou vhodná a aplikovatelná na území České republiky. V rámci projektu byl proto vypracován přehled zásadních adaptačních opatření, jež je možno uvažovat pro naše podmínky. Podrobně jsou tato opatření rozvedena a shrnuta v závěrečné zprávě o řešení projektu [5] a v připravované publikaci [1]. Zde uvádíme zjednodušený výtah (**tab. TS.2.1**).

V rámci projektu byla pozornost věnována zejména následujícím negativním jevům:

- dopady na průtoky – možný pokles průměrných a minimálních průtoků, případně úplné vyschnutí toku, zvýšení maximálních průtoků;
- dopady v krajině – zvýšení přímého odtoku, vodní a větrné eroze, zhoršení mikroklimatu a ohrožení stávajících ekosystémů;
- ohrožení odběrů vody; a
- zhoršení kvality vody.

Z možných adaptačních opatření lze uvažovat zejména:

- opatření v krajině – organizační (podpora plošné rozmanitosti v rámci komplexních pozemkových úprav, podpora zalesnění a zatravnění, omezení plodin, pod nimiž se vytváří nepropustná kůra, např. kukuřice), agrotechnická (osevní postupy podporující infiltraci atp.), biotechnická (průlehy, zasakovací pásy atd.);
- opatření na tocích a v nivě – revitalizace toků (úpravy řečišť zpomalující odtok vody a zlepšující komunikaci s přípovrchovou zvodní), uvolnění nivy pro rozlivy;
- opatření v urbanizovaných územích – zvýšení infiltrace dešťové vody (retenční a vsakovací objekty), jímání a využívání srážkových vod;
- obnova starých či zřízení nových vodních nádrží;
- zefektivnění hospodaření s vodními zdroji – převody vody mezi povodími a vodárenskými soustavami, zpětné převody vody uvnitř povodí, dočasné využití statických zásob podzemní vody, umělé infiltrace, vícenásobné využití vody, zhodnocení a přerozdělení kapacit vodních zdrojů;
- zmenšení spotřeby vody – minimalizace ztrát ve vodárenských soustavách, racionalizace stanovení minimálních průtoků, stanovení priorit pro kritické situace nedostatku vody; a
- dokonalejší čištění odpadních vod.

Tab. TS.2.1 Zjednodušené shrnutí dopadů změn klimatu a možných adaptačních opatření včetně rámcového vyhodnocení účinnosti a omezujících faktorů

			Adaptační opatření							
			v krajině	na toku a v nivě	v urbanizovaném území	obnova/zřízení vodních nádrží	hospodaření s vodními zdroji	zmenšování spotřeby vody	legislativní opatření	lepší čištění odpadních vod
Dopady	v krajině	nedostatek	+	-	+	+	-	-	-	-
		přivalové srážky	++	-	++	-	-	-	-	-
	na průtoky	minima	-	+	-	+++	+++	-	++	-
		maxima	+	++	+	+++	+++	-	-	-
	na odběry		-	-	+	+++	+++	++	++	-
na kvalitu vody		-	+	-	+	+++	-	-	+++	
Omezení	Velikost území, na němž je možno realizovat opatření		xx	x	xx	-	-	-	-	-
	Morfologie toku		-	xx	-	x	-	-	-	-
	Hydrogeologické podmínky		x	x	x	-	x	-	-	-
	Srážko-odtokové poměry		xx	xx	xx	xx	x	-	-	x
	Majetkoprávní vztahy		xx	xx	-	xx	-	-	-	-
	Vůle zavádět nové technologie, normy a legislativu		-	-	xx	-	xx	xx	xx	xx

+++ vysoce účinné, ++ účinné, + s pozitivním efektem, - s možným negativním efektem, - nevýznamný efekt

xx klíčový význam, x význam, - bez významu

Zjednodušeně je účinek jednotlivých opatření na zmírnění vybraných dopadů znázorněn v tab. TS.2.1. Význam opatření v krajině spočívá zejména ve zlepšení vodního režimu krajiny a zmenšení

povodňového odtoku z přívalových povodní a s tím spojených negativních jevů (např. eroze). Na druhou stranu, lepší uplatnění vody v krajině vede ke zvětšení územní evapotranspirace, takže na odtok ze srážek v období sucha zůstane vody méně. Pro zvětšení průtoků a zásob podzemní vody v období hydrologického sucha nemají reálně proveditelná opatření v krajině (zejména vzhledem k rozloze pozemků, na nichž je možno tato opatření realizovat) tedy znatelný význam. Podobně i opatření na toku a v nivě mají vliv zejména na snížení odtoků za povodní, jejich význam pro zlepšení hydrologických podmínek v období sucha je marginální. Velký potenciál z hlediska opatření vedoucích ke zmírnění dopadů hydrologického sucha mají zejména vodohospodářská opatření různých typů a to jak opatření již známá a využívaná (využití vodních nádrží, převodů vody), tak opatření, jejichž efekt je sice slibný, nicméně doposud nebyl komplexně kvantifikován (recyklace průtoků, řízené vícenásobné využití vody). Z hlediska snížení odtoku z urbanizovaných území nelze pominout potenciál jímání a následného užití dešťových vod. Prostředky racionalizace využívání a ochrany vodních zdrojů je nutné spatřovat i v legislativních opatřeních a snižování požadavků na odběr vody.

Každé z vybraných adaptačních opatření je aplikovatelné a má dostatečnou účinnost za jiných podmínek. Mezi zásadní omezení účinnosti/realizovatelnosti adaptačních opatření patří zejména problémy s řešením majetkových vztahů, omezení přírodními podmínkami (např. srážko-odtokovými poměry, ale i hydrogeologií apod.), nevhodná morfologie koryta a velikost plochy, na které je možno realizovat adaptační opatření. Vodítkem k výběru může být rámcové posouzení účinnosti a limitů jednotlivých opatření (**tab. TS.2.1** či podrobněji v [1] a [5]). Další zobecnění naráží na jedinečnost každého řešení. Stejně tak není možné obecně kvantifikovat finanční náročnost jednotlivých opatření či jejich kombinace a je nutné každý jednotlivý návrh adaptačních opatření posuzovat samostatně.

Hypoteticky by bylo možné na základě regionální diverzifikace předpokládaných dopadů změn klimatu identifikovat vhodná adaptační opatření pro dané oblasti. V klasické analýze rizika je riziko součinem pravděpodobnosti negativního jevu (např. povodní, hydrologického sucha) a zranitelnosti. Z hlediska projekcí klimatických modelů nelze regionálně vymezit oblasti s větší pravděpodobností zvýšení intenzity či četnosti extrémních srážek [2] ani přívalových povodní. V případě hydrologického sucha je situace obdobná, nicméně simulace klimatických modelů naznačují, že poklesy odtoků budou vyšší a pravděpodobnější v jižní části republiky, spíše v Čechách než na Moravě. Pokud bude pokračovat dosavadní trend oteplování a stagnace srážek ve středních Čechách, lze v této oblasti v nejbližším období očekávat prohlubování a rozšiřování problémů s nedostatkem vody. Na druhé straně, hydrologické sucho je jev plošný a v případě velkého sucha bude pravděpodobně zasažena významná část republiky. Rizika jsou tedy i pro budoucí období podstatnou měrou určena zranitelností jednotlivých povodí spíše než zvyšováním pravděpodobnosti negativních jevů. (Nicméně se jak v případě povodní, tak zejména v případě hydrologického sucha do budoucna zvyšují). S tím souvisí i výběr adaptačních opatření.

TS.2.3 Posouzení věrohodnosti odhadů dopadů klimatické změny

Obecně je možno věrohodnost jednotlivé projekce klimatického modelu hodnotit ze dvou různých hledisek: (1) dle schopnosti simulovat kontrolní klima a (2) dle odchylky projekcí daného klimatického modelu od projekcí ostatních klimatických modelů pro budoucí klima.

Odchylky srážek a teploty mezi simulacemi klimatických modelů a pozorovanými daty nejsou zanedbatelné – v uvažované sadě modelů se průměrná chyba v teplotě pohybuje pro jednotlivá roční období v rozmezí 0–1 °C, přičemž v případě jednotlivých modelů může být v rozmezí -2 – 5 °C. Srážky jsou v klimatických modelech typicky nadhodnoceny (mimo letní období). V zimě dosahuje chyba až

50 %, nejmenší rozdíly jsou v případě letních srážek. Z uvedeného je evidentní, že nekorigované simulace nemohou být přímo použity pro (hydrologické) modelování. Z toho důvodu se používají různé formy tzv. post-processingu – např. korekce systematických chyb (viz TS.1) nebo přírůstková (delta) metoda.

Rozpětí projekcí mezi jednotlivými simulacemi klimatických modelů je značné a vede k výrazné nejistotě závěrů navazujících na hydrologické modelování dopadů změn klimatu. Tato nejistota pochází z různých zdrojů. Jednak modelování klimatu samo o sobě zahrnuje řadu nejistot spojených zejména s počátečními a okrajovými podmínkami klimatických modelů (emisní scénář, množství dopadajícího slunečního záření apod.) a s jejich strukturou a parametry [8]. Při použití výstupů klimatických modelů pro hydrologické modelování se k těmto nejistotám přidávají další – zejména nejistoty spojené s volbou metody pro převedení výstupu klimatického modelu do měřítka jednotlivých povodí (downscaling), metodikou tvorby scénářů změn klimatu a strukturou hydrologického modelu a jeho parametry. Ze studií porovnávajících podíl jednotlivých zdrojů nejistot na celkovou nejistotu v hydrologickém modelování [4] vyplývá, že nejistota pramenící z modelování budoucího klimatu (tj. s volbou klimatického modelu) značně převyšuje nejistotu spojenou s volbou emisního scénáře nebo nejistotu vyplývající z hydrologického modelování. V měřítku jednotlivých povodí můžeme zpravidla konstatovat, že pokles odtoků v období od dubna do října je společný valné většině modelů a míra i pravděpodobnost tohoto poklesu se směrem do budoucna zvyšuje. Růst odtoku v zimních měsících je nejistý pro všechny časové horizonty. S tím souvisí i nejistota spojená se změnami roční bilance odtoků.

TS.2.4 Možnosti rámcového odhadu nákladů adaptačních opatření

Obecný odhad nákladů adaptačních opatření ve vodním hospodářství (byť rámcový) je značně složitý a zpravidla každý problém vyžaduje specifickou studii řešící konkrétní podmínky v dané lokalitě s přihlédnutím k primárnímu účelu posuzovaných adaptačních opatření. Obecně, z hlediska přímých nákladů, lze za nejefektivnější považovat opatření vedoucí k optimalizaci hospodaření s vodními zdroji, jelikož tato opatření nemusí vyžadovat enormní investice. Nicméně zjednodušeně lze konstatovat, že náklady na opatření jsou do jisté míry přinejmenším řádově úměrné účinnosti opatření a jeho rozsahu, tzn. mezi nejnákladnější (a zároveň nejúčinnější) opatření patří budování nových vodních nádrží a jiné rozsáhlé vodohospodářské infrastruktury. Proto je nezbytné vždy jasně definovat účel a priority adaptačních opatření a na jejich základě zvažovat jejich potenciál a finanční únosnost.

V dalším textu pro ilustraci předkládáme příklady studií rámcových návrhů adaptačních opatření pro povodí již v současnosti negativně ovlivněna změnou klimatu, jež v minulých letech řešil Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i. Uvedené příklady mohou sloužit pro rámcovou představu o možných nákladech na různé varianty adaptačních opatření.

TS.2.4.1 Povodí Rakovnického potoka

Povodí Rakovnického potoka nad Rakovníkem leží v nadmořských výškách cca 315–600 m n.m. Významná je velká míra zemědělského využití povodí a nerovnoměrné rozmístění zalesněných částí povodí, 59 % plochy povodí je využito jako orná půda, 18 % je zalesněno. Na nepříznivý stav hydrologické bilance, která se v povodí Rakovnického potoka projevuje nejen v odtokových poměrech, ale i nedosahováním optimálních výnosů zemědělských plodin v důsledku sucha, upozornila představitel ministerstva zemědělství a následně i VÚV T.G.M., v.v.i. Zemědělská agentura Rakovník. Z provedeného porovnání charakteristik hydrologické bilance vyplývá, že při

relativně malém poklesu srážek je pokles průměrného průtoku extrémní, při porovnání období 1988–2008 s obdobím 1931–1980 poklesl průtok na 53 %. Příčinou je jednak zvyšování teploty, jednak změna časové struktury srážek, kdy podstatná část ročního úhrnu spadne v podobě srážek s nízkou intenzitou a z velké části se vypaří.

Posuzována byla řada opatření. Z výsledků hydrologického modelování dopadů vlivu využití pozemků na kulminační průtoky a dotaci zásob podzemní vody vyplynulo, že zejména vzhledem k malé ploše, na níž je možné reálně se změnami využití pozemků počítat, je význam těchto opatření poměrně malý (v řádu jednotek procent) v případě obou extrémů. Jako opatření reálně vedoucí k zlepšení hydrologické bilance (byť finančně relativně náročná) bylo identifikováno zřízení nových či obnova zaniklých vodních nádrží. Souhrnné nalepšení průtoku by v průměru mohlo být v řádu 20 % dlouhodobého průměru a i v případě pokračujícího extrémního oteplování (o 4 °C) by bylo pravděpodobně možné průtoky nalepšit o řádově 5 %. Jako další slibná varianta se jeví převod vody z Ohře (cca 30 km), jenž by pravděpodobně byl realizovatelný i v případě pokračujících změn klimatu. Z hrubého ekonomického porovnání nákladů na realizaci a provoz jednotlivých opatření (za předpokladu stejného nalepšení průtoků) vyplývá, že náklady na obě uvedená opatření jsou řádově stejná (vodní nádrže cca 150 mil. Kč, převod vody cca 91 mil. Kč), přičemž spolehlivost zajištění vodních zdrojů pomocí převodu by mohla být vyšší než v případě nádrží. Jako alternativní možnost nahrazující, či doplňující tato dvě základní opatření je dále uvažováno o převodu vody z ČOV Rakovník do vyšších částí povodí (do toku nebo vodní nádrže). Kvantifikace nákladů a účinnosti těchto opatření vyžaduje další výzkum.

TS.2.4.2 Povodí Horní Srpiny

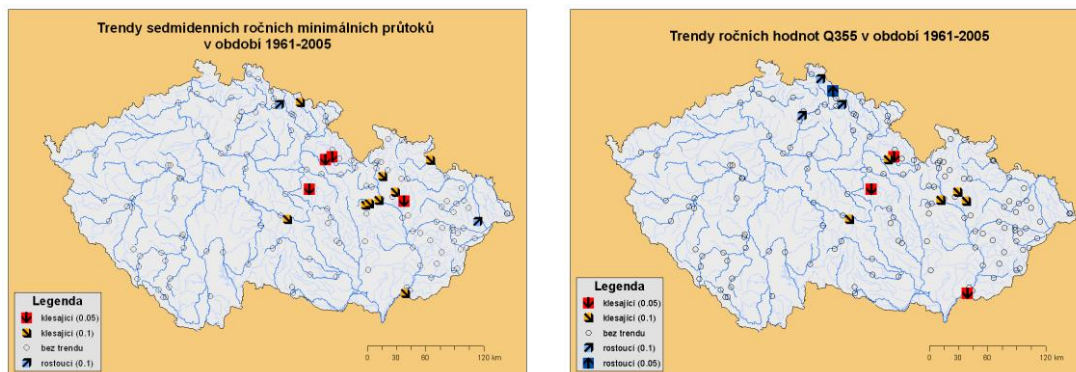
Srpina je přítok Bíliny pramenící mezi Mostem a Chomutovem v oblasti výrazně ovlivněné důlní činností. Horní povodí Srpiny leží v oblasti přirozeně chudé na srážky. V současné době, kvůli zvyšování teploty dochází v některých letech k výraznému poklesu průtoků, jenž znemožňuje obecné užívání vody. Vzhledem k špatným srážkovým poměrům byla jako jediná opatření s reálným účinkem posuzována opatření technická – zejména čerpání z vrtů v kombinaci s převody vody a tvorba nebo zvýšení kapacity vodních nádrží. Další výpočty ukázaly, že efekt vodních nádrží je vzhledem ke srážkovým, ale i geomorfologickým podmínkám nejistý. Jako finančně nejvýhodnější vzhledem k pořizovacím a provozním nákladům a spolehlivosti daného řešení se ukázal být převod vody z Průmyslového vodovodu Nechanice (jenž vede jen několik kilometrů od toku). Celkové náklady na realizaci tohoto opatření jsou do 10 mil. Kč a skládají se zejména z nákladů na zdvojené vodovodní potrubí, výústní a rozdělovací objekty a z malé části i jednoduché technické úpravy na toku vedoucí k zúžení průtočného profilu koryta.

TS.3 Dopady změny klimatu na extrémní hydrologické jevy

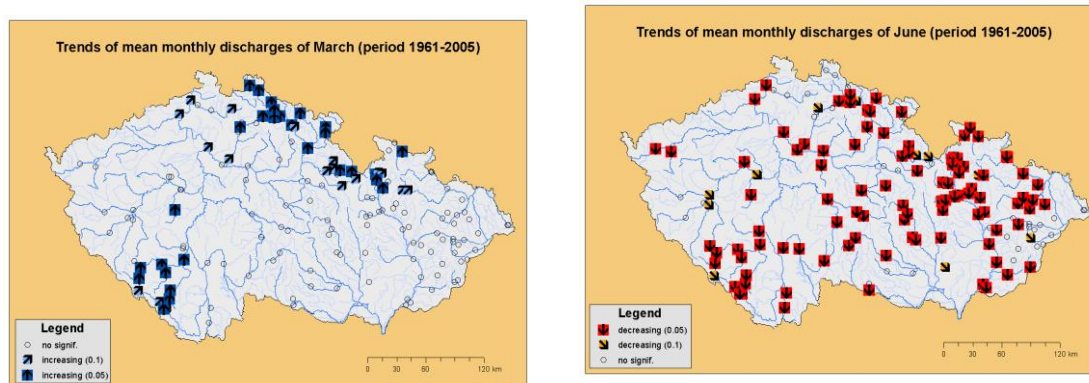
TS.3.1 Trendy vybraných charakteristik průtoků

Pro 150 vodoměrných stanic zpracovány trendy vybraných charakteristik průtoků (průměrných a minimálních průtoků) za období 1961–2005. Analyzovány byly pozorované řady denních průměrných průtoků především ve stanicích, které nejsou průtokově významně ovlivněny provozem vodních nádrží. Hodnoceny přitom byly různé charakteristiky minimálních průtoků – byly vyhodnoceny M-denní průtoky stanovené z řad denních průměrných průtoků (běžný přístup používaný v ČR) a navíc i

z řad denních průtoků vyrovnaných klouzavými průměry za 7 dní (přístup používaný v některých evropských zemích). K podrobnější analýze trendů minimálních průtoků byly vybrány průtoky Q_{330d} , Q_{355d} a Q_{364d} , jejichž hodnoty, vypočítané oběma přístupy, byly vzájemně porovnány. Dále bylo pro vybrané profily provedeno i hodnocení velikosti a délky trvání nedostatkových objemů pod hranicí Q_{330} . Hodnoceny byly trendy z pohledu celého roku i jednotlivých kalendářních měsíců.



Obr. TS.3.1 Trendy 7denních minimálních průtoků a průtoků Q_{355}



Obr. TS.3.2 Trendy průměrných červnových měsíčních průtoků

Výsledky ukázaly, že i když v průměrném ročním odtoku nedochází k výrazným změnám, určité změny jsou pozorovány u průměrných měsíčních průtoků, statisticky významný rostoucí trend vykazuje leden, únor a březen a naopak měsíce květen a červen vykazují statisticky významný trend klesající, viz **obr. TS.3.1** a **obr. TS.3.2**. V případě charakteristik minimálních průtoků a nedostatkových objemů však byly významné trendy identifikovány jen výjimečně.

TS.3.2 Simulace průtokových charakteristik pro hodnocená období

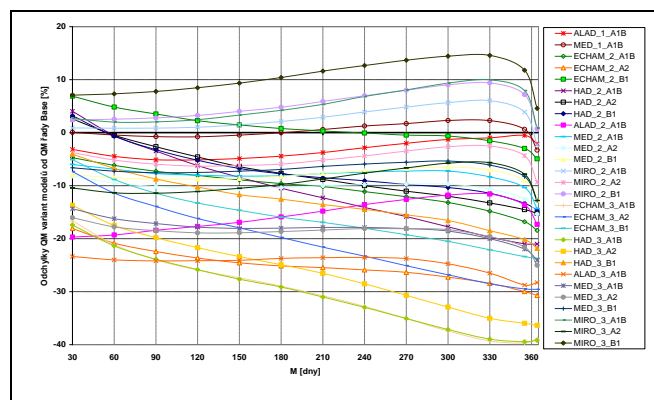
Simulace budoucích průtokových řad (pro povodí Orlice, Výrovky, Jizery, horní Vltavy, Otavy, Smědé a Bečvy a pro tři časová období 2010–2039, 2040–2069 a 2070–2099 a emisní scénáře A1B, A2 a B1) byly založeny na vybraných klimatických scénářích nejlépe hodnocených klimatických modelů (MIROC3_2_M; MPI_ECHAM5; UKMO_HADCM3; ALADIN-CLIMATE/CZ) a také střed ansámbly osmi nejúspěšnějších hodnocených GCM modelů (dále označován jako MED).

Pro zjištění citlivosti povodí na změnu klimatických vstupů byly jako protiváha vytvořeny také tři scénáře reprezentující chladnější období (1861 až 1890), a to na základě vyhodnocení měsíčních

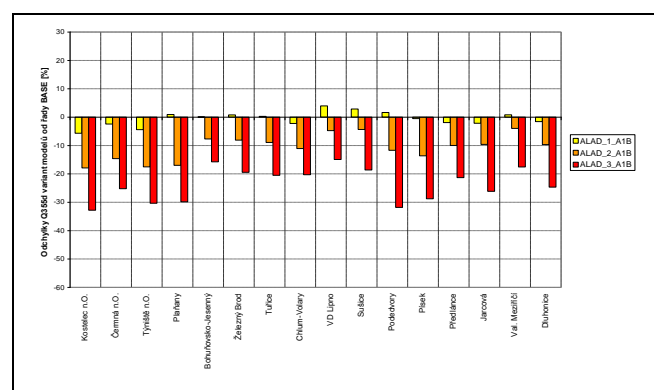
změn průměrné teploty vzduchu a srážek ve stanici Praha-Klementinum (scénáře označeny jako CHLAD).

Na základě pozorovaných dat byly vytvořeny řady průměrných denních srážek (MAP) a průměrné teploty vzduchu přepočtené na nadmořskou výšku 500 m. Na základě takto zpracovaných dat a měsíčních změn klimatických charakteristik z použitých scénářů byly pro vybraná zkoumaná povodí stochastickým generátorem LARS-WG (Semenov, 2008) vytvořeny syntetické 1000leté řady denních hodnot maximální denní teploty vzduchu, minimální denní teploty vzduchu a denního srážkového úhrnu odpovídající výše uvedeným scénářům.

Modelování hydrologické odezvy na řídicí klimatické proměnné bylo řešeno za použití hydrologického modelovacího systému AquaLog. Pro potřeby simulací byly upraveny parametry jednotlivých modelů s cílem, nejen dosáhnout dobré shody simulovaného a pozorovaného odtoku v kalibračním a verifikačním období 2000–2008, ale rovněž co nejvěrněji vystihnout hydrologickou bilanci včetně míry evapotranspirace.



Obr. TS.3.3 Relativní odchyly průtoku Q_{355d} variant modelů od řady Base ve stanici Písek.



Obr. TS.3.4 Relativní odchyly průtoku Q_{355d} modelu Aladin od řady Base na 16 stanicích

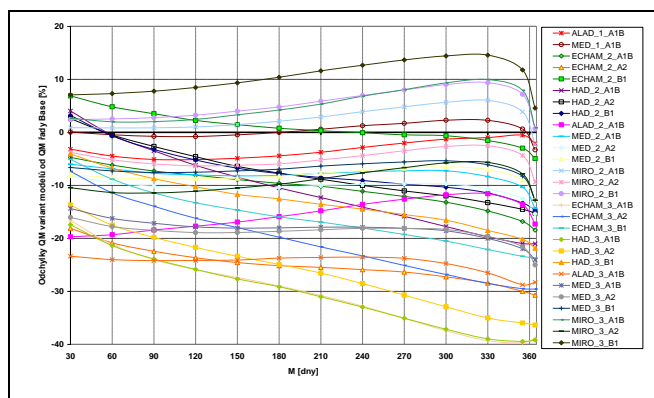
Následně byly provedeny simulace ve výpočetním kroku 6 hodin a 1 den o délce 1 000 let. Přitom plošný rozpočet byl realizován upravenou metodikou Schaake shuffle na základě náhodného výběru historických analogů, tedy situací s podobným celkovým srážkovým úhrnem MAP. Pro účely podrobnějšího hydrologického modelování pak bylo přistoupeno rovněž k náhodnému rozdělení srážek do 6h intervalů na základě výběru historických analogů, nebo dříve odvozeného třístupňového náhodného generátoru.

Pro simulace byla vybrána následující povodí: Orlice po Týniště nad Orlicí (1 554 km²), Výrovky po Plaňany (265 km²), Jizery po Předměřice (2 159 km²), Vltavy po VD Lipno (948 km²), Otavy po Písek (2 914 km²), Smědě po Předlance (244 km²) a Bečvy po Dluhonice (1 593 km²).

Simulované 1000leté řady průměrných denních průtoků byly použity pro analýzu minimálních průtoků z čáry překročení M-denních průtoků (Q_a , Q_{330d} , Q_{355d} a Q_{364d}) a minimálních sedmidenních průtoků a spolu se simulací v 6hodinovém kroku pro analýzu změn empirických křivek dob opakování povodňových průtoků.

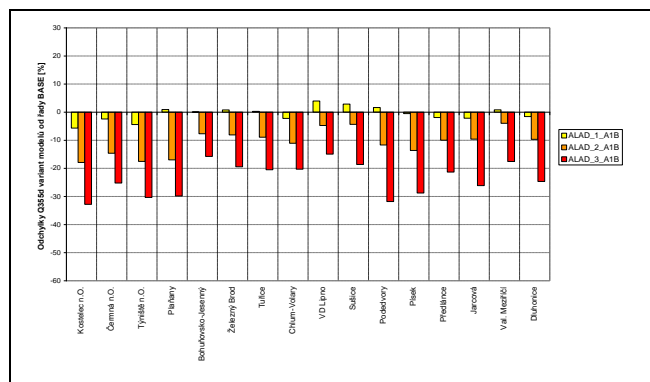
TS.3.3 Využití výsledků modelových simulací

Z výsledků analýzy je patrné, že charakteristiky řad namodelovaných průměrných i minimálních průtoků mají výrazný rozptyl a tedy nejistotu. Přesto je patrný převažující signál směrem k poklesům (výjimkou jsou scénáře založené na MIROC3_2_M, které předpokládají navyšování srážek v letním období a tím i minimálních průtoků). Pro nejbližší časové období 2010–2039 vycházejí relativně malé odchylky průtoků Q_a , Q_{330d} , Q_{355d} a Q_{364d} , a to do -5%. Ve druhém časovém období 2040–2069 dosahují průtoky výraznějších poklesů. Průměrná hodnota poklesu průtoků Q_a je cca -5%, pro průtok Q_{355d} cca -13%. Pro nejvzdálenější časové období 2070–2099 jsou zjištěny ještě výraznější poklesy průtoků. Průměrná hodnota poklesu průtoků Q_a je cca -13%, pro průtok Q_{355d} činí cca -23%.



Obr. TS.3.3 Relativní odchylky průtoků Q_{355d} variant modelů od řady Base ve stanici Písek.

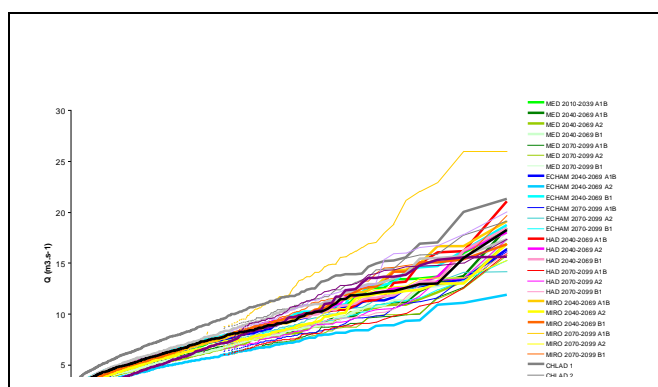
Porovnáme-li mezi sebou chování průměrných hodnot relativních odchylek minimálních průtoků Q_{330d} , Q_{355d} a Q_{364d} , zjistíme, že ve většině stanic dochází ve sledovaných obdobích k nejvýraznějším poklesům směrem k minimálnímu průtoků Q_{364d} .



Obr. TS.3.4 Relativní odchylky průtoků Q_{355d} modelu Aladin od řady Base na 16 stanicích

U hodnocení minimálních sedmidenních průtoků (průměrů i 100-letých sedmidenních minim $Q_{100\min7d}$) oproti referenčnímu období se ze všech hodnocených stanic a variant modelů v nejbližším časovém horizontu průměry téměř neliší (+0,2%) a $Q_{100\min7d}$ klesají o 2%, v druhém horizontu průměr klesá o 7,9 % a $Q_{100\min7d}$ o 11,0%, v nejbližším horizontu průměr klesá o 15,5 % a $Q_{100\min7d}$ o 18,2%.

U hodnocení minimálních průtoků z čáry překročení M-denních průtoků a minimálních sedmidenních průtoků vycházejí v průměru ze všech hodnocených stanic a variant modelů poklesy průtoků, které jsou výraznější ve vzdálenějších časových horizontech.



Obr. TS.3.5 Vyhodnocení změny empirické křivky překročení průtoku pro Výrovku v Plaňanech.

Výsledky ukazují, že předpokládaná reakce povodňového režimu na změněné klimatické podmínky se výrazně liší v závislosti na použitém řídicím klimatickém scénáři. Zatímco scénáře založené na modelu MPI_ECHAM5 všeobecně pro všechny zkoumané časové periody udávaly zmenšení velikosti povodňových průtoků, scénáře vycházející z modelu MIROC3_2_M odhadovaly naopak většinou významné zvýšení rizika povodní. Přitom se zdá, že zásadní vliv na simulovaný povodňový režim, zejména v oblasti delších dob opakování průtoků, má předpokládané množství srážek v letním období.

Simulace pro referenční období 1961–1990 je blízka středu rozptylu ansámblu všech provedených simulací. Nelze proto identifikovat jednoznačný trend, avšak většina simulací, zejména scénář A1B, ukazuje spíše pokles velikosti povodní pro vzdálenější časové horizonty, zatímco pro nejbližší simulované období (do roku 2039) jsou získané signály nejednoznačné a objevují se ve vyhodnocených profilech jak nárůsty, tak také poklesy velikosti povodní. Pouze u emisního scénáře A2 převládá nárůst směrem k pozdějšímu období.

Simulované rozdíly jsou vůči referenčnímu scénáři většinou relativně malé, průměrná změna dosahuje do +/-5 %. Nejednoznačnost trendu jde na vrub antagonistickému působení vlivu srážek (méně časté, ale extrémnější) a menšího průměrného počátečního nasycení půdy (v důsledku vyšší potenciální evapotranspirace a delšího období výskytu suchých epizod v letním půlroce).

Rovněž byly provedeny simulace odtoku při celkově nižší průměrné teplotě vzduchu než v referenčním období, které většinou signalizovaly větší průtoky v celém rozsahu křivky překročení.

TS.3.4 Posouzení věrohodnosti odhadů dopadů klimatické změny

Vzhledem k výsledkům řešení pro nejbližší časový horizont (2010–2039), kdy poklesy průtoků v porovnání s referenčním obdobím vycházejí relativně malé, nenavrhujeme při poskytování dlouhodobých průměrných a M-denních průtoků zvláštní opatření. Zatím je dostačujícím opatřením, že ČHMÚ bude poskytovat v blízké budoucnosti (od roku 2013) tyto průtoky za nové referenční

období (1981–2010), které lépe charakterizuje současný hydrologický režim, než dosud používané období 1931–1980.

Protože nebyl prokázán jednoznačný a robustní trend změn ve velikosti povodní v budoucím období 21. století, lze se domnívat, že případný dopad klimatických změn na povodňový režim ve střední Evropě nebude znamenat zásadní změny ve velikosti návrhových průtoků. Z hlediska adaptačních opatření proto může být pravděpodobným vhodným opatřením například při odvození návrhových průtoků se započtením možného vlivu klimatických změn snížení spolehlivosti daných údajů (spíše než jejich změna).

TS.3.5 Experimentální povodí

Během celého období probíhal terénní monitoring hydrometeorologických veličin v experimentálních povodích ČHMÚ se zvláštním důrazem na měření výšky a vodní hodnoty sněhové pokrývky. Jedná se o exp. povodí Uhlířská (povodí Lužické Nisy), Blatný potok, Kristiánov, Jezdecká, Jizerka (povodí Jizery), Bílá a Černá Smědá (povodí Smědé). Experimentální povodí byla postupně vybavena dalšími automatickými srážkoměry a limnigrafy s dálkovým on-line přenosem sloužícími též prognózním účelům. Pozorovaná data byla kontrolována a ukládána do databáze ČHMÚ.

Bylo provedeno vyhodnocení pozorovaných klimatických a hydrologických dat z hlediska identifikace trendů v časových řadách, přičemž jen výjimečně byly identifikovány trendy v odtoku v některých měsících, zatímco byl ověřen trend nárůstu teploty vzduchu.

Pro povodí Smědé byl následně proveden výpočet hydrologické bilance modelem BILAN pro referenční období 1986–2008, byly zjišťovány trendy v modelovaných prvcích hydrologické bilance. Modelována byla rovněž očekávaná změna hydrologické bilance na základě simulovaných klimatických scénářů z RCM ALADIN-CLIMATE/CZ a středu ansáblu 20ti RCM (PRUDENCE) pro cílová 30letá období se středem v roce 2025 a 2085. Dosažené výsledky odpovídaly všeobecným předpokladům nárůstu evapotranspirace, nárůstu odtoku v zimním období spolu s úbytkem sněhové pokrývky a naopak poklesu průměrného odtoku v letním období.

TS.4 Dopady změny klimatu a návrhy adaptačních opatření v sektoru zemědělství

Výnosy zemědělských plodin jsou významně limitovány přírodními podmínkami. Počasí v interakci s půdními a agrotechnickými faktory je hlavní příčinou meziročníkové variability jejich výše. Mimořádné jsou vlivy extrémních jevů, u teplot se jedná převážně o výskyt minimálních teplot vzduchu, zvláště holomrazů, u srážek jde o výskyty sucha, velké škody působí též povodně. Tento vliv “ročníku” se projevuje u jednotlivých zemědělských plodin a jejich odrůd odlišně a je dále modifikován fytopatologickými vlivy. Definovat a interpretovat vliv jednotlivých meteorologických prvků na výnosy v provozních podmínkách je mimořádně obtížné. Nejde jen o přímý vliv podnebí na plodiny, ale také o ovlivnění dalších podmínek, např. škůdců, uplatnění ekologicky zaměřených technologií apod. Dokladem je vysoká proměnlivost výnosů zemědělských plodin v posledních letech.

Je však nutné zdůraznit, že souběžně roste výnosový potenciál nových odrůd, zlepšováním efektivity hnojení, ochranou rostlin a uplatněním látek regulační povahy, významné jsou též změny technologie zpracování půdy a setí.

Predikované změny klimatu budou mít vliv nejen na zemědělskou produkci, ale na celou krajinu, kde neprobíhá jen zemědělská činnost [1]. Zvláště se jedná o oběh vody v krajině a její retenční kapacitu, dynamiku vláhové bilance, vlhkosti půdy, uvolňování látek do ovzduší a půdy apod. V rámci zachování rozmanitosti naší krajiny je nutné propojení mezi návrhy opatření též v lesnictví a vodním hospodářství.

S ohledem na hledání vhodných adaptačních opatření je nutné zajistit rozvoj zemědělského výzkumu a šíření informací o nejnovějších poznatcích zemědělské vědy k zemědělcům, tzn. vytvoření struktury zemědělského další vzdělávání. Proces adaptačních opatření musí být podporován rozvojem agrometeorologických služeb a další vhodnou podporou hospodařících subjektů, např. dotačními tituly, systémem zemědělského pojištění na extrémní počasí apod. výzkum směřující ke konkrétním doporučením, která budou poradci distribuovat a adaptovat na konkrétní podmínky; pro správné fungování tohoto systému je potřeba zejména iniciovat vhodné rozšíření působnosti stávajících institucí o operační monitoring extrémních meteorologických jevů (např. ČHMÚ, případně ve spolupráci s klimatologickými ústavami univerzit) a také podpořit vývoj predikčních nástrojů pro vylepšení sezónních prognóz.

Podkladem pro závěrečnou zprávu jsou i roční závěrečné zprávy za období 2007 až 2010, které obsahují literární přehled včetně citací a metodickou část, které v této zprávě nejsou uváděny ([5], [6], [7], [8]).

TS.4.1 Dopady změny klimatu na agroklimatologické podmínky

Zvýšení průměrné roční teploty vzduchu mezi obdobími 1961–1990 a 2070–2099 činí 3,3°C (**tab. TS.4.1**). Průměrná roční teplota normálového období je 7,3°C, průměrná roční teplota období 2070–2099 je 10,6°C (**obr. TS.4.1**).

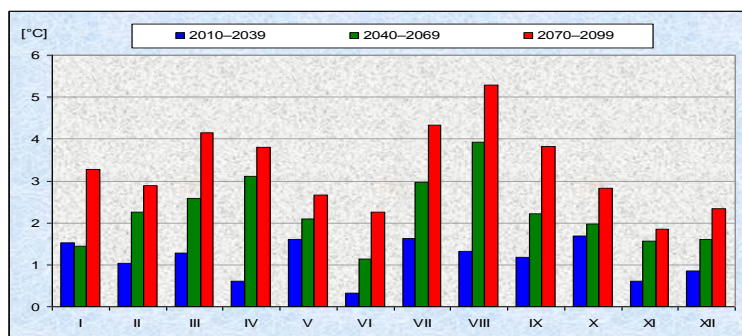
Zvyšování teploty vzduchu způsobí prodloužení vegetačního období. Předpokládá se, že délka velkého vegetačního období v celé České republice bude v letech 2070–2099 o 41 dní delší než v období 1961–1990 (**tab. TS.4.2**). V období 2010–2039 (nadmořské výšky 300–400 m) bude délka vegetačního období 234 dní, v období 2040–2069 246 dní.

Tab. TS.4.1 **Teplota vzduchu, dlouhodobé měsíční a roční průměry [°C] v referenčním a ve scénářových obdobích**

období	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	rok
1961–1990	-2,9	-1,3	2,3	7,0	12,1	15,2	16,7	16,2	12,7	7,9	2,6	-1,1	7,3
2010–2039	-1,3	-0,2	3,6	7,6	13,7	15,6	18,4	17,5	13,8	9,6	3,2	-0,3	8,5
2040–2069	-1,4	1,0	4,9	10,2	14,2	16,4	19,7	20,1	14,9	9,9	4,2	0,5	9,6
2070–2099	0,4	1,6	6,5	10,9	14,8	17,5	21,1	21,5	16,5	10,8	4,5	1,2	10,6

Tab. TS.4.2 **Délka velkého vegetačního období, jednotlivá vertikální pásma dlouhodobé roční úhrny [dny] v referenčním a ve scénářových obdobích**

období	nadmořská výška [m]								celá ČR
	pod 200	200–300	300–400	400–500	500–600	600–700	700–800	nad 800	
1961–1990	230	225	220	214	209	207	205	191	215
2010–2039	245	239	234	227	225	224	219	208	229
2040–2069	263	254	246	239	234	233	231	218	241
2070–2099	275	265	259	254	251	249	247	237	256

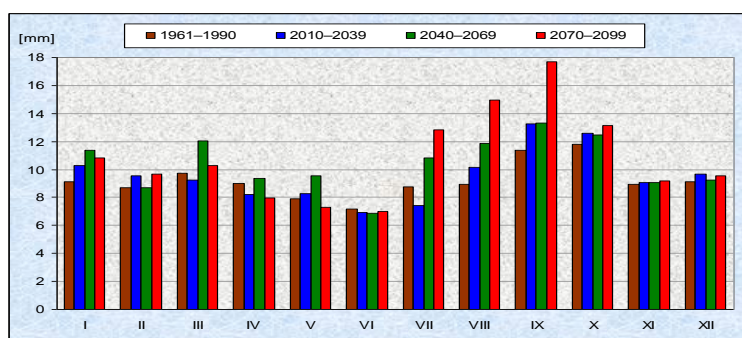


Obr. TS.4.1 Teplota vzduchu, dlouhodobé rozdíly jednotlivých scénářových období k období referenčnímu ve °C

Predikované úhrny srážek uváděné v **tab. TS.4.3** vykazují vyšší variabilitu. Vychází, že bude narůstat počet dnů bezsrážkového období (**obr. TS.4.2**).

Tab. TS.4.3 Úhrn srážek, dlouhodobé měsíční a roční úhrny [mm] v referenčním a ve scénářových obdobích

období	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	rok
1961–1990	41,3	37,2	39,3	46,0	71,7	81,7	77,1	77,0	51,7	42,0	49,4	47,1	661,5
2010–2039	35,0	43,0	45,0	56,6	71,5	90,9	74,8	77,8	52,3	43,9	56,4	36,2	683,3
2040–2069	37,6	33,8	38,5	47,7	70,7	96,4	71,1	67,1	57,9	50,2	59,3	40,9	671,1
2070–2099	41,4	37,0	38,6	53,7	83,1	94,1	57,9	57,1	40,1	55,0	61,3	41,4	660,6



Obr. TS.4.2 Počet dnů bezsrážkového období, dlouhodobé měsíční úhrny [dny] v referenčním a ve scénářových obdobích

Roční potencionální vláhová bilance travního porostu ve vertikálním pásmu 301–400 m n. m. (**tab. TS.4.4**) je v období 1961–1990 stanoveno na 119,8 mm a v období 2070–2099 -14,9 mm, tzn., poklesne o 137,7 mm.

Tab. TS.4.4 Potenciální vláhová bilance travního porostu, vertikální pásmo 301-400 m n.m., dlouhodobé měsíční a roční úhrny [mm] v referenčním a ve scénářových obdobích

Období	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	rok
1961–1990	31,4	24,0	11,6	-6,1	-4,0	-4,2	-11,8	1,3	2,3	10,3	31,6	33,3	119,8
2010–2039	24,0	28,3	14,5	0,5	-9,9	9,9	-18,4	-5,5	-0,6	6,8	37,6	23,2	110,4
2040–2069	26,5	17,9	3,5	-15,9	-19,4	9,3	-32,1	-31,1	-1,5	14,2	39,3	26,0	36,6
2070–2099	28,9	20,0	0,5	-12,2	-4,8	3,2	-55,6	-52,9	-27,5	18,1	41,8	25,3	-14,9

TS.4.2 Dopady změn teploty

Vyšší teplota vzduchu, ale i půdy přináší celý komplex vlivů na agroklimatologické podmínky. Průběh teplot určuje vývoj plodin a tím i načasování většiny agrotechnických operací. Nárůst teploty přináší

jak nové možnosti, tak rizika pro určité skupiny plodin. Vyšší teploty vyvolávají rychlejší vývoj plodin, který též ovlivní organizace práce, například výsev řepky je limitován včasnou sklizní předplodiny. Současně se vyskytují určitá rizika, jako kratší doba růstu, předčasný vývoj ozimů na podzim s vyšším rizikem chorob (viróz), nedostatečné otužení ozimů a poškození epizodami vpádu studeného vzduchu v zimě a na jaře. Dále možné problémy s fertilitou pylu a vlivem epizod vysokých teplot na vývoj semen, pravděpodobné změny některých kvalitativních znaků, a odlišná dynamika vývoje chorob, škůdců rostlin a plevelů – např. přežívání dříve běžně vymrzajících druhů. Predikované zvýšení variability teplot je pro zemědělství jednoznačně nepříznivý jev, kterému bude nutné přizpůsobit agrotechniku, plánování a organizaci práce v zemědělských podnicích. Operativní řízení na základě místních podmínek, podmínek ročníku a prognózy počasí musí být více flexibilní, s technickou rezervou pro zvládnutí agrotechnických operací v krátkém období. Předností bude rozšíření nových druhů teplomilných plodin (C4 i C3), zelenin a ovocných dřevin, zlepšené podmínky pro celoroční pastvu.

V zimním období se bude zmenšovat hloubka promrzaní od 20 cm v referenčním období 1961–1990 po 15 cm v polovině 21. století a v posledním studovaném období 2070–2099 by se dokonce termoizopleta 0 °C v nejteplejších oblastech ani neměla vyskytovat. Zároveň by mělo postupovat zkracování období se zápornou teplotou půdy. Následkem této skutečnosti se v rozložení teploty v půdním profilu prodlouží období s letním režimem, to znamená s výrazným poklesem teploty od povrchu k hloubce 100 cm.

Růst, a tím i výnosy rostlin, ovlivňuje teplota půdy často odlišným způsobem od působení teploty vzduchu na nadzemní orgány. Vyšší teplota půdy (nad bodem mrazu) umožní příjem vody a živin déle na podzim, v teplých oblastech a letech i v zimě a zvláště v předjaří, kdy relativně vysoké teploty a evaporační požadavek způsobují zvýšený požadavek na vodu, který kořenový systém v chladné/zmrzlé půdě není schopen saturovat. Teplota půdy je v přímé souvislosti s rychlostí rozkladu půdní organické hmoty a posklizňových zbytků (snadno rozložitelných frakcí), tj. i mineralizací dusíku a dalších živin. Je otázkou jaký bude mít vliv zvýšení teploty na bilanci organické hmoty, zvláště v lehčích půdách ve vyšších polohách, emise NO_x a CO₂. Vyšší teplota (při dostatečné vlhkosti) půdy na podzim a v zimě bude zvyšovat i obsah nitrátů a tím i riziko vyplavení do vod. Opačně bude působit nižší vlhkost půdy a vysychání povrchových vrstev v důsledku nižších srážek, absence nebo krátké doby trvání sněhové pokrývky a vyšší evapo(transpi)race. Delší vegetační doba a teploty nad bodem mrazu umožní delší dobu aktivního pokryvu půdy, příjem a zadržení nitrátu a vyšší protierozní účinnosti díky prodloužení doby trvání listové plochy u ozimů, strniskových meziplodin, krátkodobých i trvalých travních porostů.

S vyšší teplotou dojde k posunutí začátku velkého vegetačního období z 31. března až na 1. března a ke změně konce hlavního vegetačního období 30. října až na 10. listopadu. Délka vegetačních období a jejich geografické rozložení je ukazatelem pro delimitaci plodin a různých zemědělských aktivit na území ČR. Rajonizace plodin, odrůd a agrotechniky (např. systémů zpracování půdy) vychází z výrobních oblastí a klimatických regionů, a bude ji třeba častěji aktualizovat. Z délky vegetační doby, spolu s dalšími ukazateli, lze určit, které druhy teplotně náročnějších plodin bude u nás možné výhledově pěstovat. Delší vegetační doba naznačuje možnost pěstování dvou kultur za rok, ale tento potenciál bude zásadně limitován množstvím dostupné vody, včetně potřeby tvorby zásoby vody na půdách s vyššími hodnotami VVK pro plodinu v následující sezóně (zvláště u pozdě sklizených plodin a vysokou spotřebou vody v létě – cukrovka, kukuřice, slunečnice, vojtěška).

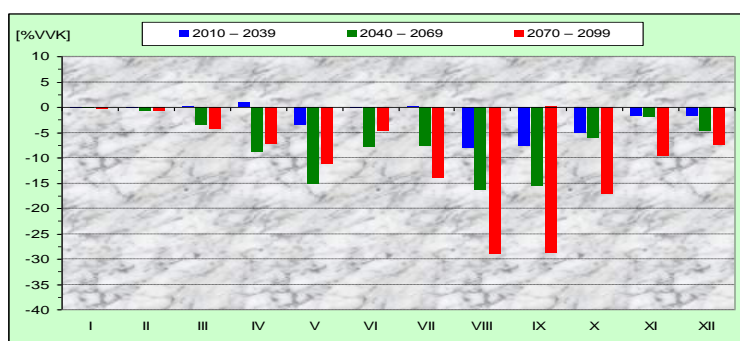
TS.4.3 Dopady změn vláhových poměrů

V podstatě jediným zdrojem vody pro zemědělství jsou srážky. Jejich množství by v blízké budoucnosti mělo být mírně vyšší, ve vzdálenější budoucnosti zhruba srovnatelné s množstvím srážek v normálovém období. V mnohem větší míře než u teploty vzduchu můžeme u srážek vidět v budoucnosti větší variabilitu srážkových úhrnů, tedy nárůst bezsrážkových období.

Vyšší srážky na jaře a počátku léta budou výhodné pro ozimy a časně seté jařiny, nízké srážky v létě vytvářejí méně příznivé podmínky pro pozdě seté druhy a plodiny s vysokou celkovou spotřebou vody, nižší srážky zhoršují rozklad posklizňových zbytků a statkových hnojiv, a tím podmínky pro setí následných plodin, horší kvalita a energetická náročnost zpracování půdy za sucha, menší riziko utužení nadměrně vlhké půdy, mění se dynamika mineralizace živin z organické hmoty, zvýšená variabilita srážek a nemožnost je dlouhodobě predikovat bude přinášet řadu problémů souvisejících s různými agrotechnickými operacemi, nižší srážky mohou snížit infekční tlak houbových a bakteriálních chorob. Predikovaná zvýšená meziročníková variabilita srážek i variabilita srážek v rámci vegetační doby (s dopadem na dostupnost vody) způsobují řadu problémů v plánování, především výběru druhů a odrůd plodin, vhodných systémů zpracování půdy a hnojení, organizaci porostu, aplikace regulátorů růstu a chemických prostředků, při výběru vhodné mechanizace.

Vláhové podmínky zemědělských půd budou odpovídat rozdílu mezi srážkami a evapotranspirací [2]. Použitý scénář budoucí klimatické změny poukazuje na skutečnost, že v budoucích obdobích bude docházet k úbytku vody v půdě a tím ke snižování její vlhkosti. Deficit vody v půdě se bude stávat kritickým zvláště v době vrcholícího léta. Rovněž v době začínajícího podzimu, tedy v době osevu ozimými odrůdami zemědělských plodin, by měla být půda v budoucnosti výrazněji sušší než v období normálovém (referenčním). Zřetelně zhoršující se podmínky pro pěstování zemědělských plodin lze očekávat asi ve druhé polovině našeho století, jak dokládají hodnoty zásoby využitelné vody v půdě (obr. TS.4.3).

V nižších vertikálních pásmech se podmínky pro zemědělskou produkci s ohledem na sucho obecně zhorší. Pozitivem bude dřívější nástup vegetačního období zvýšením teplot. V této době bude převažovat i příznivý obsah vody v půdě. V době vrcholného léta však podmínky pro pěstování většiny zemědělských plodin budou značně nepříznivé. Rovněž v podzimní době bude sucho trvat významněji déle než v současnosti. Danou situaci bude možné uspokojivě vyřešit pouze pravidelným zavlažováním. Ve vyšších vertikálních pásmech se podmínky pro zemědělskou produkci mohou zlepšit. Teploty vzduchu mohou umožnit pěstování teplomilnějších kultur, vlhkostní podmínky přitom mohou být v těchto vertikálních pásmech obecně příznivější, než jsou vlhkostní podmínky současných nížinných oblastí.



Obr. TS.4.3 Zásoba využitelné vody v půdě pod travním porostem, bez vertikálního rozlišení, dlouhodobé rozdíly scénářových období k období referenčnímu v %VVK

TS.4.4 Posouzení věrohodnosti odhadů dopadů klimatické změny

Vývoj produkce zemědělských plodin nezávisí jen na klimatických podmínkách, ale na vývoji dalších faktorů, jako je výskyt chorob a škůdců nebo rezistentních plevelů, dále na výsledcích šlechtění a vývoji technologických postupů, objevech v oblasti fyziologie rostlin (otázka vlivu zvýšení koncentrace CO₂).

Jednoznačně jistým poznatkem stávajících studií je skutečnost, že klesá rozmanitost pěstovaných zemědělských plodin, snižuje se obsah organických látek v půdě a narůstá její eroze. V tomto lze konstatovat, že navrhovaná adaptační opatření jsou nutná i při nejistotě výskytu predikované změny klimatu. S jejím dopadem podle našich výpočtů a vyhodnocení jejich negativní dopad narůstá.

Z hlediska mechanismu vlivu různých meteorologických faktorů na růst a tvorbu výnosu generuje nejistoty odhadu nejen predikce průměrných a sumárních hodnot, ale i jejich extrémy, variabilita a rozdělení v průběhu roku nebo vzhledem ke kritickým obdobím u jednotlivých plodin. Nicméně přímý i nepřímý vliv meteorologických faktorů na plodiny je dobře prozkoumaný takže nejistoty dalšího vývoje odpovídají nejistotám v predikci budoucího klimatu. Vysoce pravděpodobný je nedostatek vody v krajině, tzn. i v půdě. S využitím „principu aktuálnosti“ bude se výskyt sucha v závěru století vyskytovat takřka každý druhý rok. V tomto pohledu je jednoznačně nutné věnovat veškerá opatření ke zvýšené retenční kapacitě krajiny.

Pokud jde o produkci potravin, dojde s nejvyšší pravděpodobností ke zvýšení rozdílů v úrodách v jednotlivých letech. Pozitivní roli, tedy zajištění vyrovnanosti výnosů, může sehrát šlechtění zemědělských plodin.

TS.4.5 Možnosti adaptace na změnu klimatu v zemědělství

Výzkum změn klimatu včetně jeho možných dopadů a navrhovaných adaptačních opatření probíhá v naší zemi takřka dvacet roků. Na řešení této problematiky bylo zaměřeno několik desítek různě rozsáhlých výzkumných projektů. Z dosavadních poznatků lze uvést následující návrhy adaptačních opatření pro zemědělství. Podrobné rozpracování struktury adaptačních opatření u agrotechnických operací na orné půdě uvádí **tab. TS.4.4**.

TS.4.5.1 Úprava zemědělské činnosti

Zemědělskou činnosti je třeba zaměřit zejména na pěstování plodin tak, aby se neztrácela rozmanitost. Při zohlednění nových cílových půdních a klimatických podmínek je třeba podporovat souběžný výběr odrůd a druhů nejen polních plodin, ale i technických druhů, zelenin a okrasných rostlin, včetně jejich šlechtění pro změněné podmínky. V této souvislosti je nutná i podpora zpracovatelských oborů založených na nových produktech. Významná změna bude spočívat ve větším rozšíření druhů C4, pro energetické účely, jako zdroj surovin i potravin (čirok, laskavec). Větší pozornost je třeba věnovat i dopadům introdukce nových druhů a změně struktury plodin na velkých plochách na biologickou diverzitu agroekosystému. Nutné je rovněž zlepšení postupů rajonizace odrůd a druhů, stejně jako rajonizace systémů zpracování půdy, hnojení minerálními i organickými hnojivy a dalších operací, na základě jejich biologických vlastností a komplexního popisu podmínek prostředí.

TS.4.5.2 Využívání agrotechnické technologie

Je třeba, aby agrotechnické technologie vycházely z predikovaného zvyšování suchosti našeho podnebí. V této souvislosti je nutné volit postupy snižující ztráty půdní vláhy, např. minimalizací zpracování půdy. Zdánlivě jednoduchým adaptačním opatřením jsou změny systémů pěstování,

především termínů setí nebo jednotlivých ošetření v průběhu vývoje, a modifikace organizace porostu. Úpravy dlouhodobě ověřených postupů (např. posun termínu setí) však přinášejí pro pěstitele značná rizika, vyplývající z meziročníkové variability podmínek. Na tyto adaptační změny pěstebních systémů musí navazovat i šlechtění vhodných odrůd, např. ozimých pšenic pro výsev v pozdním podzimu nebo i v průběhu zimy.

TS.4.5.3 Udržení úrodnosti půdy

Udržení nebo zvýšení úrodnosti půdy s ohledem na klesající dostupnost hnojení organickými hnojivy, zejména chlévského hnoje, je nezbytnou základnou adaptace na změněné podmínky. Vyrovnávání poklesu přirozené úrodnosti zvýšenými vstupy (energeticky náročná minerální hnojiva a ochranné prostředky, pomocné látky) je ekonomicky dlouhodobě neudržitelné a vede k rozkolísání systému. Je potřeba získat nové vědecké poznatky o dopadu vyšších teplot a změny srážek v interakci se změnou struktury plodin a změnami v organickém hnojení na půdní úrodnost, zvláště množství a kvalitu organické půdní hmoty.

Rizikovým faktorem bude trvalá snaha využít organickou hmotu pro energetické účely (spalování, bioplynové stanice), zde bude nutné využít poměrně razantní administrativní opatření (viz GAEC), aby nedošlo k nepřímé těžbě energie z půdy. Na druhou stranu, správné zacházení s posklizňovými zbytky při určité struktuře plodin a agrotechnice, je dostačující pro zachování půdní úrodnosti.

TS.4.5.4 Změna pěstebních postupů

Rozhodujícím opatřením omezení rizika větrné eroze a snížení aridizace krajiny jsou větrolamy. Experimentální měření rychlosti větru v horizontálním profilu na návětrné a závětrné straně vybraných typů větrolamů dokazují snížení rychlost pohybu vzduchu. Příznivě také ovlivňují mikroklima prostředí zvýšenou tvorbou rosy, zachycením sněhu, snížením neproduktivního výparu a vyrovnáním teplotních rozdílů. Primární funkcí větrolamů v krajině je ochrana půdního povrchu před erozním působením větru. Vhodně situované větrolamy vykazují výrazný protideflační účinek, který se mění v závislosti na fenologické fázi dominantních dřevin v době výskytu erozně nebezpečných větrů. Půdy jsou k větrné erozi nejnáchylnější v době, kdy jejich povrch je nedostatečně kryt vegetací a kdy větrolamy z důvodu vysoké porózy nevykazují ideální protideflační účinky. Větrnou erozí jsou primárně postihovány výsušné písčité půdy.

Vhodná lokalizace větrolamů v území spolu s volbou optimálních druhů dřevin je jedním z významných adaptačních opatření agrárního sektoru na změnu klimatu, kdy se v souladu s výstupy emisních scénářů a klimatických modelů předpokládá významné zvýšení výskytu suchých období. Při nevhodném umístování těchto prvků do krajiny mohou být výše uvedené pozitivní účinky větrolamů převáženy jejich nepříznivým působením, zejména odčerpáním živin a vláhy kořeny stromů v blízkém okolí, zastiňováním pěstovaných zemědělských kultur a částečně také omezením možnosti využití mechanizace. Udržované a funkční větrolamy se podílí na zvýšení zemědělských výnosů, jsou významným přínosem pro hospodaření na přilehlých pozemcích i pro venkovskou krajinu jako celek.

TS.4.5.5 Optimalizace závlahových systémů a stanovení závlahových dávek

Ve větší míře je třeba využít automatických systémů indikace podmínek (rostlina, půda, atmosféra) ve spojení s inteligentními systémy (předpovědní modely) a technologickým vybavením (např. kapková závlaha, metody částečné závlahy kořenové zóny) na základě znalosti o vlivu stresu, efektivnosti využití vody apod. Adaptace zaměřené na zlepšené hospodaření vodou v rámci porostu jsou současně jedním z nástrojů pro zlepšení odolnosti rostlin k epizodám vysokých teplot, které při působení v kritické fázi počátku tvorby semen mají velmi nepříznivé dopady na výnos.

TS.4.5.6 Ochrana před zvýšeným tlakem infekčních chorob a škůdců

Dopady možné změny klimatu spočívají i ve změně podmínek pro výskyt chorob a škůdců, přičemž jejich nároky jsou druhově velmi specifické. Obecně však lze říci, že zvyšující se teploty vzduchu i půdy jejich rozšíření a četnost výskytu zvyšují. Nutná rostoucí chemická ochrana je zátěží pro životní prostředí, proto je žádoucí snižovat počet chemických ošetření. Cestou je rozvoj stávajících agrometeorologických modelů, převážně vycházejících z výpočtů teplotních sum jak aktivních, tak efektivních. Vhodné je, aby potřebná meteorologická měření probíhala přímo v porostech. K úspěšnému využití agrometeorologických modelů je nutné dále rozvíjet výzkum teplotních a dalších nároků škůdců. S ohledem na možné rozšiřování dosud neznámých druhů škůdců na našem území je nutné přebírat operativně poznatky o jejich výskytu v zemích jejich původu.

TS.4.6 Možnosti rámcového odhadu nákladů adaptačních opatření

Adaptační opatření vyžadují finanční prostředky, které tvoří jednak jejich příprava, ale hlavně použití v praxi [4]. V mnoha případech je obtížné prokázat, že náklady na jejich zavedení budou prokazatelně navraceny snížením výše škod, vyvolaných negativními dopady změny klimatu. Protože pro dané ekonomické vyhodnocení je nutné mít podklady o finančních nákladech před jejich zaváděním, lze v současné době jen velmi obtížně uvést jejich ekonomický přínos.

Určitým pokusem může být příklad zavedení agrometeorologických modelů předpovědi výskytu škůdců. Kalkulovat můžeme, že jeden postřik chemickou ochranou látkou má náklady v průměru 2000 Kč za chemikálii a 500,- Kč za provedení postřiku včetně mzdy, opotřebení mechanizace apod. Pokud dojde aplikací předpovědi výskytu škůdce k úspoře jednoho postřiku, při 100 ha výměře ošetřované plodiny, činí úspora 250 tis. Kč. Ovšem do nákladů je potřeba započítat vynaložené finance na získání pokladů k řízení ochrany. Buď jde o platbu za tyto služby, které se začínají rozvíjet nebo za vlastní vybavení meteorologickou stanicí, příslušným programem a zajištěním vypracování postupu ošetření, např. agronomek. Tyto náklady s ohledem na stávající ceny mohou být v daném roce 10 až 15 tis. Kč. Z této jednoduché studie získané dotazy v zemědělských podnicích vyplývá vysoká návratnost využívání agrometeorologických modelů. Ovšem je nutné zdůraznit, že jejich vývoj zatím probíhá a výstupy je nutné zpřesňovat.

Analogicky je možné provést rámcový odhad například pro náklady na hnojení, zvláště pro pozdní kvalitativní dávky, které jsou při výskytu letního sucha, zcela neúčinné. Typickým příkladem nákladů je adaptace cestou změny systémů zpracování půdy, které vyžaduje značné prostředky na výzkum změn v půdě, plevelů a půdních organismů, a současně náklady v zemědělských podnicích na mechanizaci, modifikaci technologie hnojení apod.

TS.5 Dopady změny klimatu a návrhy adaptačních opatření v sektoru lesního hospodářství

Výstupy zaměřené na sektor lesního hospodářství poskytují komplexní metodický postup pro odhad současných i budoucích environmentálních rizik narušení stávajících lesních ekosystémů s převahou smrku a odhad jejich dalšího pravděpodobného vývoje, zhodnocení změn v hodnotě služeb lesních ekosystémů v důsledku jejich narušení a návrh strukturovaných adaptačních opatření pro zvyšování adaptačního potenciálu lesů, včetně odhadu jejich finanční náročnosti.

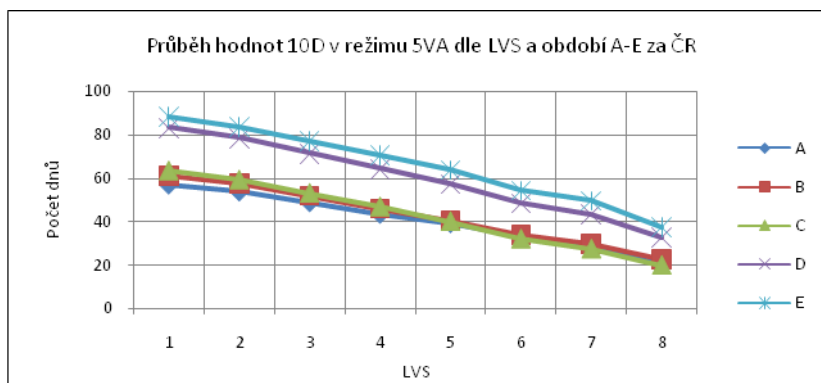
Použité metody jsou aplikovatelné na různá prostorová měřítka, od celé republiky, přes jednotlivé přírodní lesní oblasti (PLO) až po jednotlivé lesní revíry, případně až po porostní jednotky, konkrétně až po porostní skupinu. Postupy řešení jsou dokumentovány dílčími výsledky v různých prostorových měřících, které jsou z větší části shrnuty v [13] a podrobně uvedeny v přílohách závěrečné zprávy [14].

Výstupy jsou zaměřené zejména na

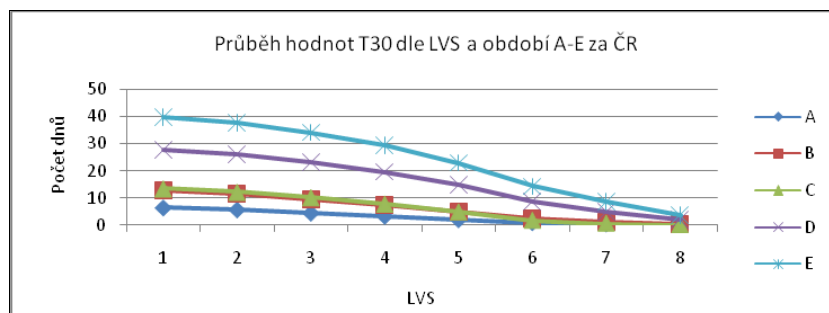
- odhady environmentálních rizik narušení vývoje stávajících lesních ekosystémů s převahou smrku pro vybraný scénář vývoje klimatu a odhad jejich dalšího pravděpodobného vývoje;
- zhodnocení současného stavu porostů lesních dřevin (adaptační potenciál porostů, rizika houbových patogenů a hmyzích konzumentů, aj.) a odhad jeho další pravděpodobného vývoje;
- návrhy strukturovaných adaptačních opatření pro zvyšování adaptačního potenciálu lesů na základě druhové, genové a věkové diverzifikace porostů;
- zhodnocení změn v hodnotě služeb lesních ekosystémů v důsledku snížení hodnoty ekosystémových funkcí lesa a navrhovaných adaptačních opatření, včetně odhadu jejich finanční náročnosti; a
- posouzení věrohodnosti odhadů dopadů klimatické změny na procesy ovlivňující lesní ekosystémy a plnění jejich ekosystémových funkcí pro období 2010–2099.

TS.5.1 Odhad environmentálních rizik narušení vývoje stávajících lesních ekosystémů

Při provádění odhadu environmentálních rizik narušení vývoje stávajících lesních ekosystémů s převahou smrku pro vybraný scénář vývoje klimatu včetně odhadu jejich dalšího pravděpodobného vývoje byl kladen hlavní důraz na odhad vývoje klimatických stresových faktorů do konce tohoto století. Ve spolupráci s pracovníky Pb ČHMÚ v Brně byly spočítány prostorové průměry základních klimatických charakteristik (průměrná denní teplota, denní úhrn srážek, průměrná denní rychlost větru, vlhkost vzduchu a sluneční záření) pro všechny lesní vegetační stupně (LVS), vyskytující se v jednotlivých přírodních lesních oblastech (PLO) a pro menší modelové oblasti (pro území LS Jablunkov a horní část povodí Stropnice). Kromě těchto základních charakteristik byl zjišťován i výskyt tří klimatických extrémů – počet dní s denním úhrnem srážek menším než 1 mm, které se ve vegetačním období vyskytly v obdobích delších než 10 dnů za sebou (D10) (**obr. TS.5.1**), počet dnů ve vegetačním období, kdy byla průměrná denní teplota vyšší než 30°C (T30) (**obr. TS.5.2**) a počet teplotních zvrátů v předjaří (T zlom) - (období, kdy se v zimních měsících vyskytla alespoň 5 dnů po sobě průměrná denní teplota vyšší než 5°C a pak opět klesla pod bod mrazu).



Obr. TS.5.1 Průběh hodnot stresového faktoru 10D (počet dnů v suchých obdobích vegetační sezóny) dle lesních vegetačních stupňů (LVS) v obdobích 1961–1990 (A), 1991–2009 (B), 2010–2039 (C), 2040–2069 (D) a 2070–2099 (E) na území ČR.



Obr. TS.5.2 Průběh hodnot stresového faktoru počtu tropických dnů (T30) dle LVS v obdobích A-E na území ČR. Vysvětlivky viz obr. 5.1.

Výpočet daného teplotního a srážkového pole probíhal na podkladě bodových pozorování a uplatnění regresní závislosti dané veličiny na nadmořské výšce. Pro výpočet byly použity technické řady stanic, tzn., že původní staniční řady byly podrobeny kontrole kvality, homogenizaci a byly doplněny chybějící hodnoty v měřeních [10]. Vypočítané hodnoty byly poté interpolovány v ploše metodou univerzálního lineárního krigingu. V loňském roce byly provedeny obdobné výpočty ze 131 gridových bodů poskytnutých z DP 1. Z výše popsaných, homogenních a doplněných staničních řad byly vypočteny nové technické řady ve vybraných bodech (odpovídajících polohám původních stanic nebo gridových bodů modelu). Samotný výpočet technických řad vychází z metody IDW, kdy použité údaje okolních stanic jsou nejprve standardizovány na nadmořskou výšku bodu, pro který počítáme novou řadu a po té je váženým průměrem spočtena nová hodnota. Nastavení parametrů výpočtů se lišilo pro každý meteorologický prvek [11]. Pro potřeby validace a korekce výstupů RCM byl odladěn software ProClimDB. Celý postup je podrobně popsán v [14, Příloha 05-2].

Odhady vývoje působení environmentálních rizikových faktorů na lesní ekosystémy s převahou smrku pro vybrané přírodní lesní oblasti (PLO) pro období 2010–2039, vypracované na základě změn ve vývoji zdravotního stavu lesních porostů v obdobích 1961–1990 a 1991–2009 byly postupně upřesňovány na základě výše popsaných prostorových průmětů základních i odvozených klimatických parametrů pro jednotlivé lesní vegetační stupně (LVS) v rámci jednotlivých PLO, odvozených ze scénářových dat pro období 2010–2039, připravených v rámci řešení DP 01.

TS.5.2 Zhodnocení současného stavu porostů a odhad jeho dalšího pravděpodobného vývoje

Tato část zprávy je zaměřena na hodnocení dřevin zejména z hlediska adaptačního potenciálu porostů, rizika houbových patogenů a hmyzích konzumentů, apod. Synergické působení extrémních klimatických výkyvů, dlouhodobé přirozené acidifikace půdy a antropogenních vlivů, především imisní zátěže a hospodářských zásahů, má na téměř celém území Střední Evropy v posledních desetiletích za následek snižování vitality lesních porostů. Naprosto zásadní význam mají v procesu chřadnutí smrku abiotické, především klimatické stresové faktory jako predispoziční, případně iniciační stresory. K nejvýznamnějším abiotickým stresorům náleží sucho, především v předjaří a jarních měsících. Letní přísušky se uplatňují jako významný predispoziční faktor pro vznik kořenových hnilob. Významným rizikem je u smrku kombinace abiotických stresorů, kterými jsou letní přísušky a vysoká teplota v kombinaci s vysokou vzdušnou vlhkostí, které mohou jako mortalitní stresor zapříčinit přehřátí pletiv. Klimatické extrémy v zimě jsou pro smrk rizikové především narušením dormance relativně teplým obdobím a náhlým poklesem teplot pod bod mrazu. Biotické faktory se uplatňují především

jako iniciační stresory (např. savý a listožravý hmyz). V kombinaci s působením abiotických predispozičních stresorů mohou působit jako mortalitní stresory. V případě lýkožrouta smrkového a větru poskytují polomy vhodné podmínky pro nastartování jeho gradací a ohrožení okolních porostů.

Na základě celé řady poznatků o dopadu klimatické změny na evropské lesy lze vyslovit hypotézu, že genetická variabilita převážné většiny hospodářských dřevin je širší než očekávaná změna klimatu [4]. To nepřímo potvrdily i výsledky vícerozměrné analýzy RDA v programu CANOCO, zjišťující míru vysvětlené variability nahodilých těžeb různými faktory. Nejvíce variability, dané samotným porostem a jeho stanovištěm, vysvětlily stanovištní podmínky zahrnuté do klasifikace lesního typu (10,5 %), potom ostatní stanovištní a porostní charakteristiky, jako sklon, expozice, věk porostu a zásoba dřeva v porostu (8,2 %), klimatická data vysvětlila jenom 3,7% (podrobněji viz [13], Příloha 05–2). Ovšem při současné úrovni intenzifikace lesní výroby v České republice není možné na to spoléhat. I když variabilita hospodářských dřevin je široká, ve významném měřítku jsou některé dřeviny pěstovány na hranici své tolerance (zejména smrk ztepilý), a proto i relativně malá změna klimatu může mít významné negativní ekonomické důsledky.

Metodika pro odhad pravděpodobného vývoje lesních porostů s převahou smrku ztepilého byla vypracována pro úroveň PLO či větších agregovaných jednotek (např. do klimaticko-vegetačních oblastí či až po celou ČR, zahrnující 41 PLO), resp. pro úroveň porostu (resp. jeho nejmenší plošné jednotky – porostní skupiny) či jejich agregace (např. lesní revír či lesní hospodářský celek).

TS.5.2.1 Úroveň přírodní lesní oblasti (PLO)

Pro jak velká území, jaká jsou pokrývána PLO, je téměř nemožné pracovat s charakteristikami jednotlivých porostních skupin. Jednou možností je využít údaje z Oblastních plánů rozvoje lesů (OPRL) vypracovaných po roce 2000, kde lze nalézt jak údaje o druhové skladbě, věku a zdravotním stavu porostů, tak i o působení abiotických i biotických činitelů a o jimi způsobených nahodilých těžbách. Z těchto údajů byly pro vybrané PLO sestaveny odhady působení deseti nejvýznamnějších abiotických i biotických stresových faktorů a z nich byl odvozen faktor ohrožení porostů s převahou smrku pro nejvíce zastoupené cílové hospodářské soubory (HS). Tyto faktory ohrožení byly nakonec modifikovány pomocí základních i odvozených klimatických parametrů, získaných ze scénářových dat, zpracovaných formou prostorových průměrů pro lesní vegetační stupně vybraných přírodních lesních oblastí.

Druhou možností je pracovat s agregovanými typologickými jednotkami, jako jsou skupiny lesních typů (SLT) nebo cílové hospodářské soubory (HS) – v našem pojetí typy vývoje lesa (TVL), v kombinaci s porostními typy (PT). Zatímco SLT a TVL informují o stanovištních podmínkách, PT charakterizuje současnou dřevinnou skladbu.

Ohrožené porosty s převahou smrku ztepilého, vyskytující se v určitých typologických jednotkách TVL, lesním vegetačním stupni a v konkrétní PLO byly vytipovány na základě srovnání základních i odvozených klimatických parametrů (viz kap. 5.1) mezi všemi pěti sledovanými obdobími A až E (1961–2099). Pro období (1961–1990) a B (1991–2009) byla použita data z klimatických a srážkoměrných stanic, pro období C (2010–2039), D (2040–2069) a E (2070–2099) data vypočtená na základě klimatického scénáře v rámci DÚ 01. Použity byly především průběhy průměrných denních teplot a denních úhrnů srážek, včetně jejich minimálních a maximálních hodnot pro jednotlivé měsíce a vegetační sezónu a stresových parametrů, vyjadřujících celkovou délku suchých období (10D) a počet tropických dnů (T30) ve vegetační sezóně. Všechny klimatické parametry byly extrapolovány pro jednotlivé lesní vegetační stupně (LVS) v rámci dané PLO. Začátek a konec vegetační sezóny byl stanoven pomocí „pětistupňové konvence“.

Analýzy stresových faktorů 10D (**obr. TS.5.1**) a T30 (**obr. TS.5.2**) byly zpracovány v prvním kroku pro jednotlivé lesní vegetační stupně (LVS) na celém území ČR pro období A-E. Pak byl porovnáván jejich průběh za období C, D a E k současnému stavu – období B (1991–2009), resp. trendu jejich vývoje od období A. Na tomto základě byl pak odhadnut možný „posun“ LVS.

V druhém kroku byl porovnáván průběh veličin stresových faktorů 10D a T30 v obdobích A až E po jednotlivých přírodních lesních oblastech (PLO). Srovnávacím kritériem byly jejich hodnoty v období B, resp. A dle LVS, a to jak za celou republiku, tak i pro srovnávací období v dané PLO. Tento přístup umožnil rozdělit PLO na PLO s „normálním“ tedy „standardním“ průběhem stresových faktorů, dále pak na PLO s charakterem „studeného“ klimatu, tj. min. pohybem LVS v analyzovaných obdobích a na PLO s charakterem „teplého“ klimatu, resp. „super teplého“ klimatu s posunem LVS až do dubového, respektive pseudodubového stupně.

Stresové klimatické faktory diferencují jednak tzv. „teplé“ PLO, resp. jejich LVS, nesplňující kritéria ekologické valence smrku v současném období B, a jednak „studené“ PLO, které podle scénářů vyhovují ekologické valenci smrku. Jsou to především horské PLO od LVS 6 výše (PLO 13, 21, 22, 27 a 40). Obecně se dá konstatovat, že období D a E v PLO pahorkatinného až vrchovinného typu nebudou vyhovovat kritériím odpovídajícím ekologické valenci smrku ztepilého.

Výčet porostů nacházejících se na stanovištích TVL a v PLO, potenciálně ohrožených očekávanými změnami klimatu, vyplývajícími z analýz na základě scénářových dat pro období 2010-2099, je uveden v [14], **Příloha 05-02**.

TS.5.2.2 Úroveň porostu

Pro odhad dalšího vývoje porostů v síti trvalých či polotrvalých pokusných ploch byla v rámci projektu vypracována metoda zjišťování adaptačního potenciálu porostů s převládajícím smrkem ztepilým. Ověřena byla na dlouhodobě sledovaných plochách na lesní správě Jablunkov ve Slezských Beskydech a v PLO Orlické hory.

Adaptační potenciál porostu souvisí se schopností stromu odolávat komplexnímu působení stresových faktorů, (zjišťuje se pomocí odolnostního potenciálu), a jeho schopností regenerace asimilačních orgánů cestou tvorby sekundárních výhonů [6], (zjišťuje se pomocí regeneračního potenciálu). Samotný adaptační potenciál, (v našem pojetí), není vlastností stromu a především závisí na tom, na co se má strom adaptovat. Podrobná metodika jeho zjišťování je popsána v [14, **Příloha 05–1**]. Upřesnění procenta pravděpodobnosti rozpadu studovaných porostů ve Slezských Beskydech v následujícím období 2010–2039 bylo provedeno na základě prostorových průměrů klimatických parametrů odvozených ze scénářových dat [14, **Příloha 05-2**].

Jiným způsobem, jak odhadnout riziko rozpadu porostu s převahou smrku ztepilého je využít údajů z LHP o stanovištních a porostních podmínkách jednotlivých porostních skupin a údajů o nahodilých těžbách z lesní hospodářské evidence (LHE) a tyto údaje dosadit do regresní rovnice. V rámci projektu byly srovnávány výpočty pomocí binomiální a polynomiální regrese, vícenásobné regrese a časových řad. Každá z těchto metod je vhodná pro určité podmínky a jejich možnost použití závisí především na dostupných datech. Pro některé výpočty je nutné mít ještě údaje z trvalých či polotrvalých ploch. Pokud jsou pro část porostů k dispozici údaje o jejich zdravotním stavu, je nejvhodnější použít metody logistické regrese a exponenciální-polynomiální regrese s následnou aplikací stepwise procedury, která blíže specifikuje významnost navržených parametrů modelu. Když jsou k dispozici pro porostní skupiny kromě dat z LHP jen data o nahodilých těžbách, lze použít polynomiální regresi s aplikací stepwise procedury na stanovení signifikance jednotlivých parametrů. Hlavní závisle proměnnou může být ve většině případů procento nahodilých těžeb v jednotlivých letech, nejlépe za jedno a půl pořizovacího období LHP (cca 15 let). Tímto způsobem lze spočítat pravděpodobnost

rozpadu jednotlivých porostních skupin v rámci menšího (revír) či většího (lesní hospodářský celek) území. Výpočet koeficientů rizika rozpadu porostů metodou obecných lineárních modelů, založený na logistické regresi je dokumentován v [13, Příloha 05–3]; hlavní použité přístupy s výsledky jsou uvedeny v [14, Příloha 05-2].

Predikované hodnoty pravděpodobnosti silného poškození a následného rozpadu porostů s převahou smrku ztepilého, stejně tak jako hodnoty pravděpodobnosti rozpadu porostů, získané při zjišťování adaptačního potenciálu porostů, mohou být použity jako vstupy do „stresového modulu“ růstového simulátoru Sibyla pro odhad vývoje konkrétního porostu podle scénářů klimatické změny, včetně změny v biomase lesních porostů, a tím i změny v poskytování hlavních služeb lesních ekosystémů. Použití modelu pro tyto účely je uvedeno v [13, Příloha 05–4].

TS.5.3 Posouzení věrohodnosti odhadů dopadů klimatické změny

Hlavní analýza nejistot byla provedena v rámci tohoto projektu pro scénářová data v rámci DP 01. V rámci DP 05 byla provedena korekce modelových výstupů pro polohy stanic. V případě teploty vzduchu byla provedena korekce výstupů modelu ALADIN pro 9 nejbližších bodů dané stanici, v případě srážkových úhrnů byly vybrány k dané stanici 4 nejbližší gridové body. Pro ohodnocení míry nejistoty byla z korigovaných měsíčních řad spočtena směrodatná odchylka, která byla použita pro vymezení intervalů spolehlivosti. Průměry rozdílů mezi scénářovými daty a naměřenými hodnotami pro jednotlivé gridové body v období 1961–2009 se pro denní úhrny srážky pohybovaly od -2,362 do 3,414 a pro průměrnou denní teplotu od -4,552 do 3,305, měsíční průměry pro všechny body se pohybovaly v rozmezí -0,1 až 0,6 u srážek a -2,264 až -1,29 u teploty. Pokud porovnáme výsledné korigované řady pro stanice (medián z několika okolních bodů) s původními staničními údaji, pro roční hodnoty se v rámci celé ČR pohybují rozdíly od -0,037 do 0,012°C u průměrné denní teploty vzduchu a od -0,202 do -0,013 mm u denních srážkových úhrnů. Samozřejmě i další práce s klimatickými daty, např. tvorba prostorových průměrů, vnáší do výsledků další nejistoty; ty by však neměly být pro interpretaci výsledků zásadní.

Již samotné modelování vývoje lesních porostů v tak dlouhém časovém horizontu jako je 100 let, je záležitostí vysoce hypotetickou. Proto je kladen důraz spíše na porovnání obou modelů obnovy (s navrženými adaptačními opatřeními a se zachováním současné druhové skladby), než na interpretaci vlastních vypočtených hodnot zásob hroubí pro jednotlivá desetiletí. Nepřesnosti modelu vyplývají také ze vstupních dat LHP, která jsou přirozeně zatížena chybou (uvádí se max. 20%). Další nejistotu ve vývoji lesa představují kalamitní situace (vítr, podkorní hmyz...), které nelze v horizontu desítek let dopředu předvídat a tím nelze spolehlivě určit ani výši kalamitních těžeb v jednotlivých obdobích. Zároveň je potřeba vzít v úvahu nerovnoměrné zastoupení jednotlivých věkových stupňů v lesních porostech, které je navíc různé pro každou PLO, což v průběhu 100 let způsobuje nevyrovnanost v plochách mýtně zralých porostů (velká plocha mýtně zralých porostů, které se ani během obnovní doby nestihnou vytěžit versus příliš málo mýtně zralých porostů v jiných obdobích). Počítalo se se situací, kdy celkový běžný přírůst (CBP) nebude již dále stoupat a zůstane na současné úrovni. Ve starších modelech se počítalo s variantou postupného poklesu CBP po roce 2000 na úroveň poloviny 19. Století, což se ale momentálně nejeví jako příliš pravděpodobné. Proto v našem modelu počítáme se zachováním CBP na současné úrovni. Je však obtížné předvídat, jakým způsobem se bude CBP v následujících 100 letech skutečně vyvíjet.

Též při odhadu finanční náročnosti zavádění strukturovaných adaptačních opatření pro zvyšování adaptačního potenciálu lesů bylo třeba odhadnout produkci dřeva v celém studovaném období. Byla využita data z růstových a taxačních tabulek České republiky, ve kterých je pro stanovení zásob významným faktorem určení bonit dřevin. Pro budoucí vývoj porostu je nutné využít růstové modely,

kteří jsou vhodné pro porosty v ČR. Významným faktorem ovlivňujícím celkovou výši zisku je též tržní cena dřeva, která je určována poptávkou a nabídkou na trhu. Pro výpočet ekonomických nákladů byly použity průměrné hodnoty přímých nákladů z literárních zdrojů; skutečné náklady budou tedy o něco vyšší.

TS.5.4 Možnosti adaptace na změnu klimatu v lesnictví

Ve spolupráci s dr. Jaromírem Macků z ÚHÚL Brno byl v posledním roce řešení projektu vypracován návrh adaptačních opatření pro sedm v ČR nejrozšířenějších typů vývoje lesa (TVL). Současný stav druhové skladby lesů ČR je oproti skladbě na úrovni přirozené potenciální vegetace značně rozdílný, a to jak po stránce druhové skladby, (např. původní zastoupení SM činilo 11,2 % oproti současnému stavu 55,8 %), tak po stránce prostorové a zejména po stránce genetické. Předpokladem úspěšných adaptačních opatření je především kvantifikace citlivosti, zranitelnosti a adaptability reprezentativních porostních typů (PT) v jednotlivých TVL v porovnání s přirozenou potenciální vegetací na základě analýz stupně přirozenosti s přihlédnutím k očekávaným změnám klimatických parametrů.

Pro návrh adaptačních opatření je potřeba zvolit takovou typizační jednotku, která agreguje přírodní podmínky ještě s dostatečnou vypovídací schopností na straně jedné a umožňuje navrhnout a realizovat dané opatření v provozních podmínkách na straně druhé. Jako vhodnou syntetickou typizační jednotkou se jeví koncepce TVL. TVL lze definovat jako vývojový cyklus lesních porostů na souboru stanovišť s podobně probíhající dynamikou přírodního lesa [13] a podobným funkčním zaměřením. Podle současné porostní skladby, vyjádřené porostním typem (PT) můžeme současný porost z hlediska obtížnosti jeho přeměny na les přírodě blízký zařadit do segmentu porostního typu modelového, modifikovatelného nebo vzdáleného. Na základě znalosti porostních typů a jejich segmentů (vývojových stádií) byla navržena opatření pro cílový stav daného TVL (modelového porostního typu) a současně jak se cílového stavu dopracovat, je-li aktuální stav porostů odlišný od definovaného cíle.

Na základě klimatických údajů popsaných v části 5.1 této zprávy byly posouzeny růstové podmínky smrkových porostních typů, rostoucích v LVS 3–6 na stanovištích se SLT náležejících k zonálním lesním vegetačním stupňům, které se vyskytují na edafických (půdních) kategoriích S, B, K, okrajově D, M, I, H, N a kategorii Z, resp. 8Z – jeřábová smrčina.

K lokalizaci LVS v jednotlivých přírodních lesních oblastech (PLO) byla využita Mapa LVS ČR (ÚHÚL Brandýs n. L.). Srovnávacím materiálem pro II. klimatický normál byla studie [4]. Návrh rámcových směrnic hospodaření byl zpracován pro smrkové PT ve vybraných TVL (TVL 43, 45, 47, 53, 55, 57, 73), reprezentujících 68 % porostů v ČR. Návrhy cílové druhové porostní skladby (CDBS) pro porostní typy a jejich segmenty výše zmíněných sedmi TVL a podrobné návrhy adaptačních opatření pro tyto TVL jsou uvedeny v [14, **Příloha 05-3**].

Významným specifickým ovlivňujícím zastoupením dřevin CDPS je adaptace dřevin na změnu klimatických podmínek. I když je ekologická valence dřevin přirozené druhové skladby velmi široká, rozhodujícím kritériem je jejich zdravotní stav, zejména vazba na houbové patogeny. Tato skutečnost zásadně eliminuje zastoupení smrku v LVS 3 a částečně i LVS 4. Neméně podstatnou roli však hraje otázka nevratné degradace některých stanovišť na úroveň paraklimaxu či pseudozonality. Jedná se např. o záměnu buku za smrk v LVS 7 v souvislosti se změnou klimatu a dlouhodobými dopady imisního zatížení.

Rámcové teze pro výběr a přípravu adaptačních opatření jsou uvedeny v [13], podrobná metodika navrhování adaptačních opatření a příklad pro PLO 14 Novohradské hory v [12, **Příloha 05-5**] a v [14, **Příloha 05-3**].

TS.5.5 Možnosti rámcového odhadu nákladů adaptačních opatření

V návaznosti na návrhy adaptačních opatření byly ohodnoceny změny biodiverzity [8] a biomasy lesních porostů, a tím i změny v poskytování vybraných služeb lesních ekosystémů [9], na základě vývoje konkrétního porostu v současných klimatických podmínkách a v podmínkách klimatické změny. V posledním roce řešení projektu byl učiněn pokus o odhad finanční náročnosti navrhovaných adaptačních opatření.

Vývoj současných lesních porostů byl modelován pomocí dat LHP v zájmové oblasti horní části povodí Stropnice, na části PLO 12 (Podhůří Šumavy a Novohradských hor), která zahrnuje většinu typů vývoje lesa, pro která byla navržena adaptační opatření. Vývoj lesních porostů byl simulován pro 1140 ha porostů v kroku 10 let na dobu 100 let od momentálně platného lesního hospodářského plánu (LHP), pomocí předpokládané mýtné zásoby, délky obmýetí, obnovní doby a současně platných limitů těžby. Z posledního platného LHP (2004–2013) byly vypočteny průměrné růstové charakteristiky, zejména celkový běžný přírůstek (CBP) pro jednotlivé dřeviny (BK, BO, DB, JD, SM), věkové stupně a zastoupené lesní vegetační stupně. Model počítá s variantou, kdy CBP momentálně dosahuje svého maxima a do budoucna jeho hodnoty zůstanou na podobné výši jako dnes. Výše ročních probírek byla stanovena pomocí růstových a taxačních tabulek hlavních dřevin ČR [1] a příslušné bonity dřevin. Tabulkové hodnoty probírek byly navýšeny o 4–6 % v každém desetiletí, tak aby se hodnoty přiblížily modelu s konstantním CBP, neboť výše zmíněné taxační tabulky počítají s modelem, kdy CBP bude od r. 2000 klesat. Zásoby hroubí pro obnovované porosty byly vypočteny pomocí CBP a probírek pro jednotlivé věkové stupně. Simulace těžeb se odvíjela od dosažené mýtné zásoby a mýtného věku (obmýetí a obnovní doba). V modelovém příkladu těžba nepřevyšuje celkový průměrný přírůstek. Následná obnova porostů byla simulována jak pro model zachování současné druhové skladby dřevin, tak i pro navržená adaptační opatření pro jednotlivé typy vývoje lesa, typologické jednotky a typy porostů. Odhad vývoje přírůstu biomasy lze získat i pomocí modelu Sibyla, jak bylo pro modelové porosty v zájmové oblasti Slezských Beskyd dokumentováno v [13, Příloha 05-4].

Z porovnání obou variant obnovy vyplývá, že navržená opatření budou mít různý dopad v LVS 4 a LVS 5. V LVS 4 a u porostů vzdálených cílovému stavu by se hektarové zásoby v mýtném věku snížily v průměru o 12 % při uplatnění adaptačních opatření namísto obnovy se zachováním současné druhové skladby. U porostů modifikovatelných by se hektarové zásoby naopak zvýšily v průměru o 3 %, nebo až o 7 % u porostů blízkých cílovému stavu, pokud by se skladba dřevin přiklonila k maximálnímu možnému navrženému zastoupení smrku. Nyní jsou v těchto porostech již relativně hojně zastoupeny listnáče a dle navržených adaptačních opatření by podíl listnáčů mohl i klesnout.

Celkově pro porosty v modelované části PLO 12 by se uplatněním adaptačních opatření ve 4. LVS snížily hektarové zásoby hroubí o cca 2% (počítáno 100 let od začátku obnovy). V 5. LVS by zásoby hroubí mohly zůstat stejné jako dnes, nicméně pokud by se využilo maximálního možného podílu smrku a jedle v těchto porostech, které by nahradily některé listnáče, mohla by se zásoba i zvýšit, a to až o 8 % oproti nynější skladbě dřevin.

Pro obě varianty obnovy porostů v PLO 12 byly vypočteny na základě porostní plochy, druhové skladby a věkové struktury porostů v každém decéniu ekosystémové funkce: biodiverzita, evapotranspirace, podpora malého vodního cyklu, produkce biomasy a fotosyntéza [10]. K určení ekosystémových funkcí v jednotlivých věkových stupních listnatých a jehličnatých dřevin byly použity hodnoty plnosti ekosystémových funkcí pro věkové stupně dle [9]. Změny v plnění ekosystémových funkcí u lesních porostů by byly při uplatnění adaptačních opatření velmi pozvolné a spíše by hodnoty jejich plnění stoupaly. Podrobnější zhodnocení změn v hodnotě služeb lesních ekosystémů při současném stavu porostů, při rozpadu části porostů vlivem klimatické změny a pro navrhovanou změnu druhové skladby je uvedeno v [14, Příloha 05-4]. Pro provedení odhadu finanční náročnosti

adaptačních opatření bylo provedeno srovnání odhadů ekonomické bilance (nákladů a výnosů) smrkového a borového hospodářství s navrhovanou modelovou dřevinnou skladbou podle typu vývoje lesa. Pro výpočet odhadů ekonomické bilance lesnického hospodaření byly využity dva základní zdroje o lesních porostech: (1) růstové a taxační tabulky hlavních dřevin České republiky [1] a (2) data z lesního hospodářského plánu pro Novohradské hory.

Ekonomické náklady (jen přímé náklady) byly rozčleněny na semenářství a školkařství, založení a zajištění výsadeb, pěstební činnost a těžební činnost. Pro jejich kvantifikaci byly využity hlavní literární zdroje [3], [8]. Tržní cena dřeva byla zjištěna z Českého statistického úřadu. Bonita dřevin byla stanovena na základě bonitního stupně dřevin [6]. Ekonomická bilance byla spočtena za celý životní cyklus lesa od pěstování sazenic po těžbu mýtného porostu. Náklady a výnosy jsou uvedeny v průměrných aktuálních cenách k roku 2010. V ekonomické bilanci vypočtené s využitím dat z lesního hospodářského plánu bylo nutné rozdělit vynaložené náklady do jednotlivých časových intervalů (10 let) v závislosti na věku porostu, jeho druhovém složení, zásobě atd. Z lesního hospodářského plánu byl zjištěn aktuální stav lesního porostu – výměra, % složení, věk, zásoby, těžby. Modelový vývoj porostu v Novohradských horách byl proveden pro dvě varianty: i) při zachování stávající druhové struktury a ii) při změně druhové struktury podle navrhované modelové skladby podle Macků [14].

Ve všech sledovaných mýtních porostech poskytuje monokultura smrku nejvyšší ekonomický výnos z 1 ha. Ekonomická bilance lesnického hospodaření byla kvantifikována pro TVL 53 – kyselá jedlová bučina se smrkem a TVL 57 – jedlová bučina a bukové jedliny na pseudoglejích se smrkem. Varianta se zachováním současné druhové skladby v zájmovém území dosáhla vyšších průměrných nákladů, výnosů a zisku (v Kč/rok) při porovnání s variantou změny druhové skladby. Pokles průměrných ekonomických nákladů byl přibližně o 10%, průměrných výnosů přibližně o 13% a průměrného zisku přibližně o 16%. Porovnání ekonomické bilance pro různé, přirozené druhové skladbě různě vzdálené porostní typy pro vybrané TVL 53 a 57 je uvedeno v [14, **Příloha 05-4**]. Do této ekonomické bilance však nejsou nijak započítána rizika smrkového hospodářství, která jsou mnohem vyšší než u smíšených porostů přírodě blízkých.

TS.D Vývoj základních klimatických indikátorů v období 1961–2010

Teplota vzduchu a srážkové úhrny jsou dvě základní klimatologické charakteristiky, které patří k nejvýznamnějším indikátorům vývoje regionálního klimatu a jeho změn.

Vývoj uvedených základních indikátorů na území ČR v posledních padesáti letech byl vyhodnocen zejména na základě analýzy řad tzv. územních teplot a srážkových úhrnů, které představují jejich charakteristické hodnoty, beroucí v úvahu výsledky měření z celé staniční sítě ČR (teplota je redukována na střední nadmořskou výšku).

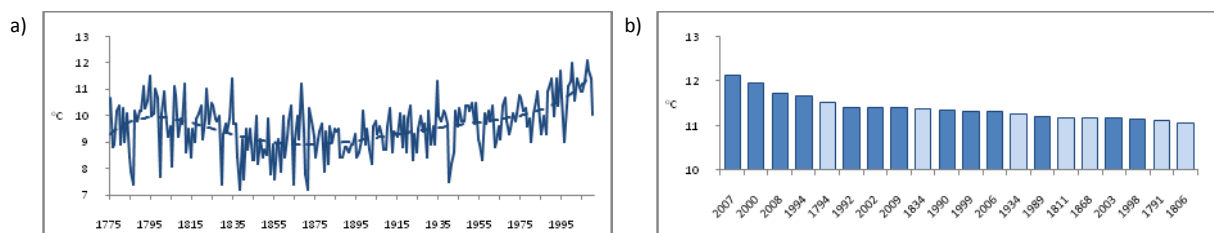
Pro odhady proměnlivosti indikátorů a jejich změn byly použity řady denních teplotních, resp. srážkových hodnot z 30 stanic na území ČR z období 1961–2010.

Jako doplňkovou informaci uvádíme rovněž výsledky zpracování řady měření průměrných měsíčních a ročních teplot vzduchu a srážkových úhrnů na stanici Praha-Klementinum⁴. Tato stanice má k dispozici nejdelší řady pozorování v ČR (v případě teploty od roku 1775, v případě srážek od roku 1805) a jedny z nejdelších řad v Evropě a lze jich s jistým omezením využít i pro rámcový popis dlouhodobého vývoje klimatu na území ČR.

TS.D.1 Teplota

TS.D.1.1 Klementinská řada

Průběh průměrné roční teploty vzduchu v období 1775–2010 ukazuje, že konec 18. století byl provázen nárůstem teploty, který byl v první polovině 19. století vystřídán jejím poklesem; od druhé poloviny 19. století se teplota postupně zvyšovala. V polovině 20. století byl nárůst zpomalen (v kontextu obdobného poklesu zaznamenaného v Evropě i ve světě), ale od počátku osmdesátých let minulého století začala teplota narůstat výrazněji (obr. TS.D.1a). Např. během posledních 150 let byla v období 1861–1910 průměrná roční teplota 9,1 °C, v období 1911–1960 9,6 °C a v období 1961–2010 10,4 °C, apod.



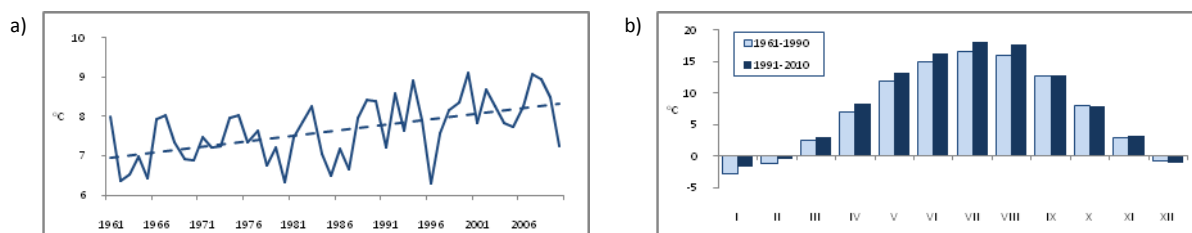
Obr. TS.D.1 Průběh průměrné roční teploty vzduchu ve °C v období 1775–2010 (a) a pořadí dvaceti nejteplejších roků podle průměrné roční teploty v období 1775–2010, Praha-Klementinum

⁴ Vzhledem k poloze stanice v centru města a s ohledem na rozvoj urbanizace v průběhu 19. a v první polovině 20. století je tato teplotní řada ovlivněna fenoménem tzv. tepelného ostrova města a jeho časovým vývojem. Přesto však tato řada může přispět k dokumentaci dlouhodobého vývojového trendu na našem území (srážková řada je tímto fenoménem ovlivněna pouze zanedbatelně). Z porovnání naměřených hodnot na stanici Praha-Klementinum s hodnotami na stanicích ležících na okraji města lze rámcově odhadnout, že intenzita tepelného ostrova během roku kolísá v rozpětí ca 2,0 – 2,4 °C. Zvýrazněn je zejména v letních, potlačen v podzimních měsících; v posledních dvou desetiletích jeví v teplé polovině roku tendenci k zesilování, zatímco v chladné polovině roku jsou změny minimální.

Z pořadí dvaceti nejteplejších roků v celé historii pozorování je zřejmé, že 13 roků ze dvaceti (zvýrazněné na **obr. TS.D.1b**) spadá do období po roce 1980 a osm z nich pak již do 21. století. Nejteplejším rokem v celé historii měření teploty na této stanici byl rok 2007 (průměrná roční teplota 12,1 °C), následovaný roky 2000 a 2008, atd.

TS.D.1.2 Územní teploty

Průběh průměrné roční územní teploty vzduchu v období 1961–2010 (**obr. TS.D.2a**) ukazuje na výrazné meziroční změny (průměrná směrodatná odchylka 0,76 °C) i na celkový trend jejího postupného nárůstu (lineární trend 0,28 °C/dek). Průměrná roční územní teplota byla v hodnoceném období 7,6 °C, nejchladnějším byl rok 1996 (6,3 °C), nejteplejším rok 2000 (9,1 °C).



Obr. TS.D.2 Průběh průměrných ročních územních teplot vzduchu ve °C (a) změny průměrných měsíčních územních teplot mezi obdobími 1961–1990 a 1991–2010 (b) na území ČR

V posledních dvou desetiletích (1991–2010) se průměrná roční teplota oproti standardnímu období (1961–1990) zvýšila o 0,8 °C, jak v Čechách, tak i na Moravě. Největší změny byly zaznamenány v letních měsících, nejnižší na podzim; průměrné prosincové teploty v období 1991–2010 dokonce poklesly o 0,2 (v Čechách), resp. o 0,4 °C (na Moravě) – viz **obr. TS.D.2b** a **tab. TS.D.1**.

Tab. TS.D.1 Roční chody průměrné územní teploty (°C) na území ČR v období 1961–2010 a jejich změny

		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	ROK
1961–1990	ČR	-2,7	-1,1	2,4	7,0	11,9	15,0	16,5	16,0	12,6	8,0	2,9	-0,7	7,3
	Čechy	-2,6	-1,1	2,4	6,8	11,7	14,9	16,3	15,8	12,5	7,9	2,8	-0,6	7,2
	Morava	-2,9	-1,1	2,5	7,4	12,3	15,2	16,7	16,3	12,8	8,3	3,1	-0,8	7,5
1991–2010	ČR	-1,7	-0,5	3,0	8,2	13,2	16,3	18,2	17,7	12,8	7,9	3,2	-1,1	8,1
	Čechy	-1,5	-0,4	3,0	8,1	13,1	16,1	18,0	17,5	12,7	7,8	3,0	-1,1	8,0
	Morava	-1,9	-0,6	2,9	8,5	13,5	16,6	18,6	18,1	13,1	8,2	3,4	-1,3	8,3
změna mezi oběma obdobími	ČR	1,1	0,7	0,5	1,2	1,4	1,3	1,6	1,7	0,3	0,0	0,2	-0,3	0,8
	Čechy	1,1	0,8	0,6	1,3	1,4	1,2	1,5	1,7	0,3	0,0	0,1	-0,2	0,8
	Morava	1,0	0,6	0,3	1,2	1,3	1,4	1,8	1,8	0,3	0,1	0,3	-0,4	0,8

Z porovnání trendů změn územních teplot je patrné, že v průběhu posledních 50 let se teplota nejvýrazněji zvyšovala v létě (0,40 °C/dek), nejpomaleji na podzim (0,07 °C/dek). V letních měsících se teplota zvyšovala nepatrně rychleji na Moravě, v zimě a na jaře v Čechách, přičemž rozdíly mezi oběma částmi ČR jsou minimální (0,02 – 0,05 °C/dek, podzimní rozdíly jsou nulové).

Tab. TS.D.2 Průměrné sezónní a roční lineární trendy změn územních teplot (°C/dek) v období 1961–2010

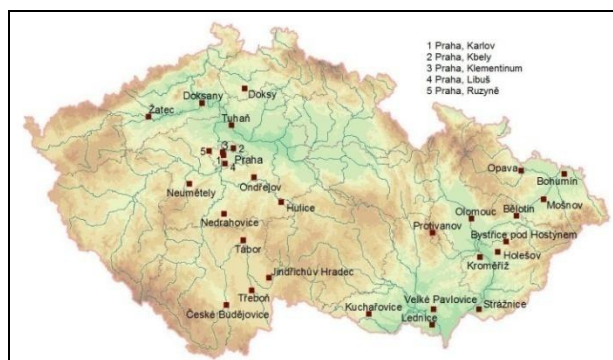
		jaro	léto	podzim	zima	rok
1961–2010	ČR	0,35	0,40	0,07	0,30	0,28
	Čechy	0,36	0,38	0,07	0,31	0,28
	Morava	0,31	0,42	0,07	0,29	0,27
1961–1990	ČR	0,25	0,04	-0,14	0,61	0,19
	Čechy	0,27	0,07	-0,09	0,62	0,22
	Morava	0,22	-0,02	-0,24	0,60	0,14
1991–2010	ČR	0,47	0,27	0,59	-0,17	0,29
	Čechy	0,41	0,26	0,54	-0,25	0,24

	Morava	0,54	0,26	0,66	-0,05	0,35
změna mezi obdobími	ČR	0,22	0,23	0,73	-0,78	0,10
	Čechy	0,13	0,19	0,63	-0,86	0,02
	Morava	0,33	0,28	0,90	-0,65	0,21

Porovnání rozdílů v průměrných lineárních trendech teplotních změn mezi obdobími 1991–2010 a 1961–1990 (**tab. TS. D.2**) ukazuje, že i když se průměrné roční teploty v posledním dvacetiletí celkově zvýšily, změny trendů nebyly v průběhu roku rozloženy rovnoměrně – k rychlejším změnám docházelo na podzim (zejména v listopadu), zatímco zimní měsíce (zejména prosinec a leden) vykazovaly tendenci zpomalování nárůstu; v prosinci se teploty dokonce snižovaly.

TS.D.1.3 Extremalita teplot

Pro hodnocení stávající extremality teplot a jejího vývoje byla zpracována data ze souboru vybraných stanic na území republiky, které se nacházejí ve srovnatelné nadmořské výšce a mají dostatečně homogenní řadu měření (**obr. TS.D.3**).



Obr. TS.D.3 Vybrané stanice použité pro odhady změn teplotního a srážkového režimu v období 1961–2010

Pro hodnocení teplotních extrémů byly z vybraných stanic použity počty dní, kdy maximální (TMA) nebo minimální teplota vzduchu (TMI) překročila, resp. nedosáhla stanovenou mezní hodnotu (letní, tropické, mrazové, ledové a arktické dny a tropické noci) a dále byly doplněny o dny, kdy TMA $\geq 35^{\circ}\text{C}$ (někdy nazývané „vlny vysokých teplot“ či „heat waves“).

Tab. TS.D.3 Průměrné počty dní s mezními teplotami za rok v období 1961–2010 a jejich změny na území ČR

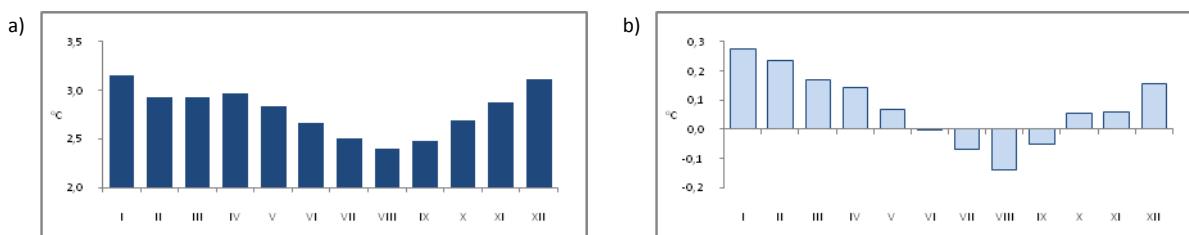
	1961–1990	1991–2010	rozdíl mezi oběma obdobími
letní dny	45	57	12
tropické dny	8	14	6
dny s TMA $\geq 35^{\circ}\text{C}$	0,2	1,0	0,8
tropické noci	0,1	0,4	0,3
mrazové dny	112	106	-6
ledové dny	30	28	-2
arktické dny	1,1	0,6	-0,5

Průměrné roční počty jednotlivých dní s mezními teplotami v období 1961–2010 (**tab. TS.D.3**) ukazují, že v posledních dvou desetiletích došlo na území ČR na jedné straně ke zvýšení průměrných počtů dní s vysokými (letní a tropické dny, tropické noci a dny s TMA $\geq 35^{\circ}\text{C}$), na druhé straně ke snížení průměrných počtů dní s nízkými teplotami (mrazové, ledové a arktické dny), což je v souladu s postupným nárůstem teplot na našem území a se zvyšující se teplotní extremalitou. Významnější rozdíly mezi Čechami a Moravou v teplé polovině roku nebyly zaznamenány, v chladném období došlo k nepatrně vyššímu poklesu počtu mrazových dní na území Čech.

TS.D.1.4 Variabilita teplotního režimu

Jedním z parametrů teploty jako klimatologické charakteristiky je i její časová variabilita. Variabilita průměrných denních teplot pro 28 technických řad denních teplot (výběr stanic na **obr. TS.D.3** byl veden i snahou o zjištění příp. rozdílů mezi Čechami a Moravou) byla analyzována pomocí průměrné odchylky od středních hodnot v období 1961–2010.

Časová variabilita průměrných denních teplot (**obr. TS.D.4a**) vykazuje zřetelný roční chod – zvyšuje se v chladné polovině roku (maxima v prosinci a lednu) a snižuje se v teplé polovině roku (minima červenec až září) v rozpětí kolem $\pm 15\%$ průměrné roční variability. V chladné polovině roku je časová variabilita teplot nepatrně vyšší na Moravě, v letním období naopak v Čechách, nicméně rozdíly se pohybují nejvýše v intervalu $\pm 5\%$ průměrných měsíčních hodnot variability v ČR.



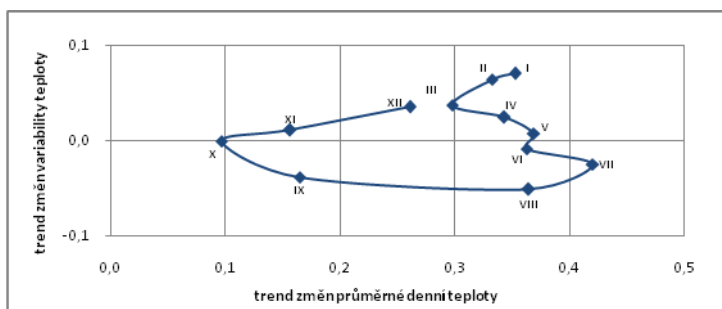
Obr. TS.D.4 Roční chody variability průměrných denních teplot ve °C (a) a jejich změn mezi obdobími 1991–2010 a 1961–1990 (b) na území ČR

V souvislosti se změnami ročních chodů průměrných územních teplot, resp. se změnami extrémních teplot v obdobích 1961–1990 a 1991–2010, dochází k podobným změnám i ve variabilitě (**obr. TS.D.4b**). V chladné polovině roku se variabilita průměrných denních teplot zvyšuje (zřetelněji na Moravě) s maximy v obou částech ČR v lednu, v teplé polovině roku naopak snižuje (na Moravě v období květen až září, v Čechách červenec až září) s minimy v obou částech ČR v srpnu.

Velikosti teplotních změn úzce souvisí i se změnami variability teploty. Trendy změn průměrných denních teplot v jednotlivých měsících velmi dobře odpovídají změnám hodnot územních teplot (**obr. TS.D.2**, resp. **tab. TS.D.1**) v období 1961–2010.

Prostorová proměnlivost časové variability teploty i jejích změn se během roku na území ČR výrazně nemění a nelze identifikovat ani významné rozdíly mezi Čechami a Moravou.

Vzájemná provázanost (lineárních) trendů změn variability teploty a průměrných denních teplot je zřejmá z **obr. TS.D.5**. Během celého roku a na celém území ČR vykazují průměrné denní hodnoty teploty v období 1961–2010 nárůst. Ten je v chladné části roku doprovázen zvýšením variability teploty, zatímco zejména v teplejší části roku je i výraznější teplotní nárůst doprovázen naopak poklesem variability teploty (v Čechách k poklesu dochází v období červen až říjen, na Moravě v období duben až září; v obou částech ČR připadá maximum poklesu variability na srpen, resp. září).

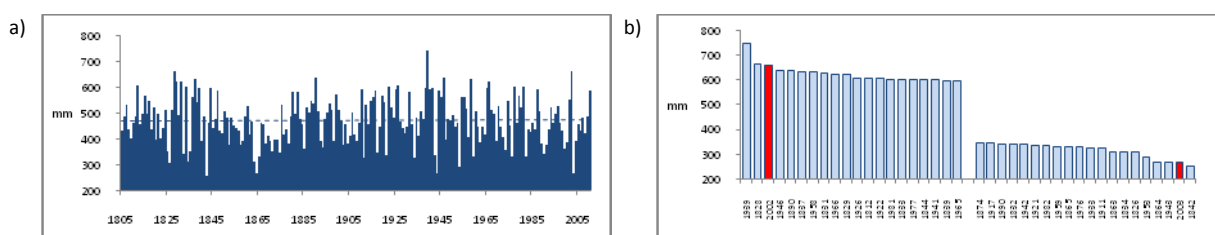


Obr. TS.D.5 Lineární trendy změn průměrných denních teplot a jejich variability ($^{\circ}\text{C}/10$ let) v jednotlivých měsících období 1961–2010 na území ČR

TS.D.2 Srážky

TS.D.2.1 Klementinská řada

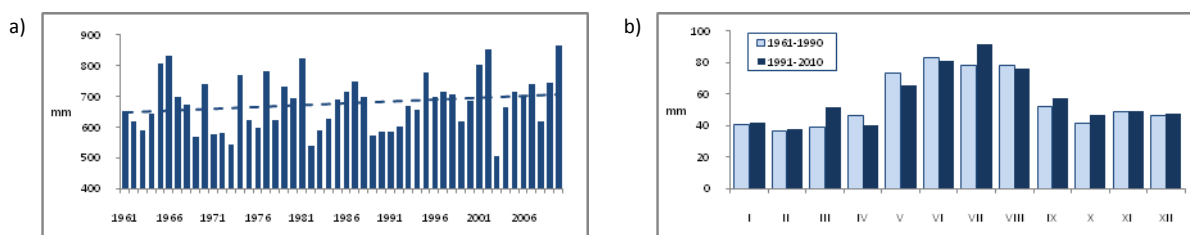
Průběh průměrných ročních srážkových úhrnů v období 1805–2010 (obr. TS.D.6a) dokumentuje výraznou meziroční proměnlivost srážkových úhrnů, přičemž řada jako celek nevykazuje žádné významné časové změny. Např. v roce 2002 byl zaznamenán v pořadí třetí nejvyšší roční úhrn srážek za celou dobu měření, ale již v následujícím roce 2003 byl roční úhrn srážek v pořadí druhý nejnižší (obr. TS.D.6b).



Obr. TS.D.6 Průběh ročních úhrnů srážek v mm (a) a pořadí dvaceti na srážky nejbohatších, resp. nejchudších roků (b) v období 1805–2010, Praha-Klementinum

TS.D.2.2 Územní srážky

Průběh průměrných ročních úhrnů územních srážek v období 1961–2010 (obr. TS.D.7a) vykazuje (stejně jako u klementinské řady) velmi vysokou meziroční proměnlivost (průměrná směrodatná odchylka 88 mm). Průměrné roční srážkové úhrny se v posledním padesátiletí velmi nevýrazně zvýšily (o méně než 2 %/dek). Průměrný roční úhrn srážek na území ČR byl 677 mm, srážkově nejbohatším z hlediska celého území ČR byl rok 2002 (855 mm), srážkově nejchudším rok 2003 (505 mm).



Obr. TS.D.7 Průběh průměrných ročních úhrnů územních srážek v mm (a) a změny měsíčních srážkových úhrnů mezi obdobími 1961–1990 a 1991–2010 (b) na území ČR

Z porovnání ročního chodu srážek v obdobích 1961–1990 a 1991–2010 (obr. TS.D.7b) vyplývá, že průměrný roční srážkový úhrn se v období 1991–2010 zvýšil oproti období 1961–1990 přibližně o 5 %. Hlavní rysy ročního chodu srážek zůstaly zachovány – maximum srážkových úhrnů připadá na letní období, minimum se vyskytuje v zimě. Dochází však k jisté redistribuci měsíčních srážkových úhrnů během roku. Pokles srážek v období od dubna do června je do značné míry kompenzován nárůstem srážkových úhrnů v červenci, resp. v březnu a září (tab. TS.D.4).

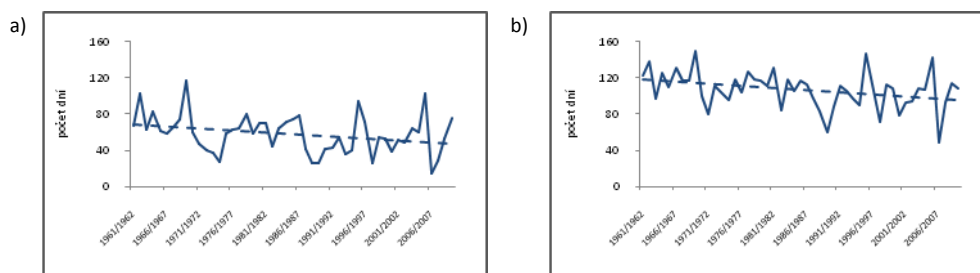
Z porovnání trendů změn územních srážek je patrné, že v hodnoceném období se srážkové úhrny nejvýrazněji zvyšovaly zejména v období od července do září, naopak pro období od dubna do června byl charakteristický pokles srážek; v prosinci a lednu, ale také v březnu, srážkové úhrny vykazují nárůst. Rozdíly mezi Čechami a Moravou (s výjimkou srpna a září) nebyly významné. Z uvedeného je

patrné, že k výraznějším změnám srážkového režimu v obou směrech dochází zejména na přelomech mezi létem a podzimem, resp. zimou a jarem.

Tab. TS.D.4 Roční chody průměrných územních srážek (mm) na území ČR v období 1961–2010 a jejich změny

		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	ROK
1961–1990	ČR	41	37	39	46	73	83	78	78	52	42	49	46	665
	Čechy	42	37	41	46	71	80	77	78	52	41	48	48	662
	Morava	38	37	36	46	77	89	82	77	51	42	50	44	670
1991–2010	ČR	42	38	51	40	69	81	93	80	59	45	50	48	696
	Čechy	43	39	52	38	67	80	92	82	56	46	49	50	694
	Morava	38	36	49	44	73	82	96	75	64	45	51	46	702
změna mezi obdobími (%)	ČR	103	102	131	87	94	97	119	102	114	109	103	104	105
	Čechy	103	105	128	82	94	99	120	105	108	110	104	105	105
	Morava	101	97	137	96	95	92	118	97	126	107	101	104	105

Porovnání průměrných trendů změn srážkových úhrnů mezi obdobími 1991–2010 a 1961–1990 naznačuje, že v posledních dvou dekádách se objevuje náznak změn v ročním rozložení srážek – k rychlejším změnám průměrných srážkových úhrnů dochází ve druhé polovině jara a v létě, naopak na podzim jsou změny minimální. Pro dubnové srážkové úhrny je z hlediska trendů charakteristický jejich další pokles, což i výhledově může zvyšovat míru rizika výskytu jarního sucha.



Obr. TS.D.8 Průběh průměrného sezonního (říjen – březen) počtu dní se sněhovou pokrývkou 1 cm a více v polohách do 600 m n.m. (a) a nad 600 m n.m (b) v ČR v sezonách 1961/1962 – 2009/2010

Obecně je teplé období roku k větším změnám srážkového režimu zřetelněji „náchylnější“ než období chladné, obdobně i území Moravy vykazuje větší sklon k výraznějším změnám ve prospěch vyšších srážkových úhrnů než území Čech.

V zimním období v našich zeměpisných šířkách často vypadávají srážky ve formě sněhu. Charakteristiky popisující sněhovou pokrývkou úzce souvisí s teplotními charakteristikami a pokles počtu dní s teplotami pod bodem mrazu se odráží i v poklesu počtu dní se sněhovou pokrývkou. Počet dní se sněhovou pokrývkou 1 cm a více je meziročně značně proměnlivý jak v nižších, tak i vyšších polohách, nicméně v posledním padesátiletí jejich počet klesá (obr. TS.D.8).

TS.D.2.3 Extremalita srážek

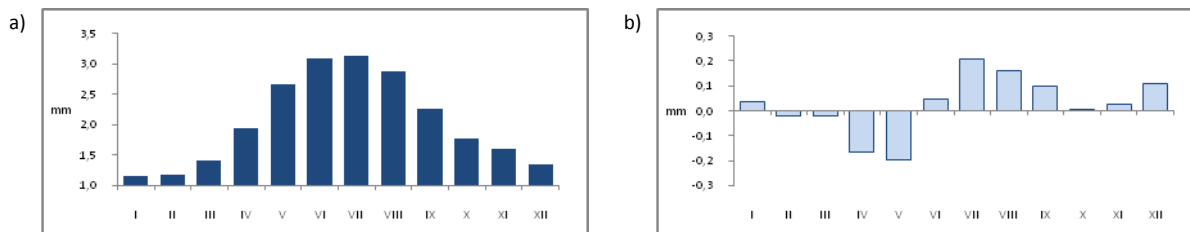
Počty dní se srážkovými úhrny nad určitou hranicí jsou jednou z charakteristik, dokreslujících srážkový režim sledovaného území. Srážkové dny s úhrny srážek 5 mm, resp. 10 mm a více se vyskytují v ČR v průběhu celého roku a jejich průměrné měsíční počty odpovídají ročnímu chodu srážek – nejčetnější výskyty jsou zaznamenány v létě, nejnižší v zimě. Dny se srážkovými úhrny 20 mm a více se převážně vyskytují v teplé polovině roku a jejich výskyt v chladném období je ojedinělý. Srážkové dny s úhrnem alespoň 50 mm se vyskytují na našem území pouze ojediněle v teplé polovině roku.

Z porovnání průměrných počtů dnů s nadlimitními denními srážkovými úhrny v obdobích 1961–1990 a 1991–2010 na vybraných stanicích nevyplyvají pro jednotlivé stanice žádné statisticky významné rozdíly, podobně nelze vysledovat ani rozdíly mezi jednotlivými částmi ČR. Hlavní příčinou této skutečnosti je velmi vysoká časová i prostorová proměnlivost srážkového režimu, která se v zejména posledních dvou desetiletích, a zvláště v letních a zimních měsících, spíše zvyšuje (odst. TS.D.2.4)

TS.D.2.4 Variabilita srážkového režimu

Přestože ve změnách počtu srážkových dnů s limitními úhrny nebyly vysledovány žádné statisticky významné rozdíly, pokusili jsme se, podobně jako u teploty (odst. TS.D.1.4), vysledovat pro vybrané stanice vývoj míry variability průměrných denních srážek v období 1961–2010.

Časová variabilita průměrných denních srážek vykazuje ještě výraznější roční chod než v případě teploty (**obr. TS.D.9a**) – zvyšuje se v teplé polovině roku (maxima v červnu až srpnu) a snižuje v chladné polovině roku (minima prosinec až únor) v rozpětí kolem $\pm 50\%$ průměrné roční variability. Během celého roku je časová variabilita srážek vyšší na Moravě (v průběhu roku o zhruba 5 % v létě, resp. o 20 % v zimě v porovnání s průměrnými měsíčními hodnotami pro ČR.



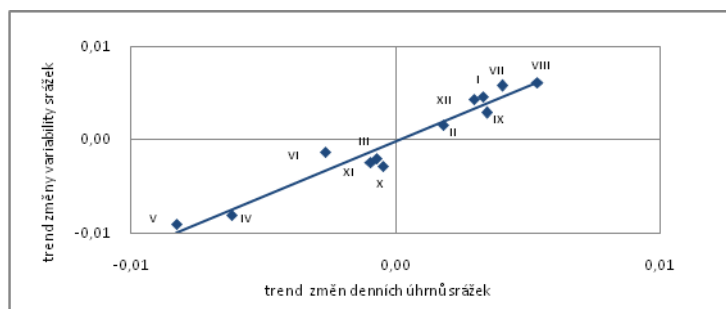
Obr. TS.D.9 Roční chody variability průměrných denních srážek v mm (a) a jejich změn (b) mezi obdobími 1991–2010 a 1961–1990 na území ČR

V souvislosti se změnami ročních chodů průměrných územních srážek v obdobích 1961–1990 a 1991–2010, dochází k rovněž ke změnám ve variabilitě srážek (**obr. TS.D.9b**). V letních měsících (zejména červenec a srpen) se variabilita srážkového režimu zvyšuje, v jarních měsících (duben a květen) se naopak snižuje. Mezi oběma částmi ČR jsou však značné rozdíly – režim změn je výrazně zřetelnější v Čechách, kde se jarní pokles variability pohybuje kolem 15 %, zatímco její letní nárůst kolem 10 %. Na Moravě jsou roční změny vyrovnanější a pohybují se v intervalu $\pm 5\%$ průměrných měsíčních hodnot.

Prostorová proměnlivost časové variability srážek i jejich změn je na území ČR v porovnání s teplotou výrazně vyšší (až trojnásobná; největší od června do srpna, nejmenší v únoru a březnu). Ani u srážkového režimu však nelze vysledovat významnější rozdíly mezi Čechami a Moravou.

Změny celkového srážkového režimu úzce souvisí i se změnami variability srážek. Trendy změn průměrných denních srážkových úhrnů v jednotlivých měsících velmi odpovídají změnám hodnot územních srážek (**obr. TS.D.7b**, resp. **tab. TS.D.4**) v období 1961–2010.

Vzájemná provázanost (lineárních) trendů změn variability srážek a průměrných denních srážkových úhrnů je zřejmá z **obr. TS.D.10**. Průměrné denní srážkové úhrny vykazují v obdobích červenec až září a prosinec až únor nárůst, který doprovázen i celkovým zvýšením časové variability srážkového režimu. Naopak ve zbylé části roku (a zvláště v dubnu a květnu) jsou klesající srážkové úhrny doprovázeny poklesem časové variability srážkového režimu. I v tomto případě jsou případné rozdíly mezi Čechami a Moravou zcela zanedbatelné.



Obr. TS.D.10 Lineární trendy změn průměrných denních srážek a jejich variability (mm/10 let) v jednotlivých měsících období 1961-2010 na území ČR

TS.D.3 Shrnutí poznatků o stavu a vývoji základních klimatických indikátorů

Na základě analýzy padesátileté řady hodnot územních teplot a srážek a s podporou řad měření teploty (od roku 1775) a srážek (od roku 1805) na stanici Praha-Klementinum, lze formulovat následující rámcové závěry o vývoji dvou základních indikátorů vývoje regionálního klimatu a jeho změn.

Teplota

- průměrná roční teplota vykazuje dlouhodobě vzestupný trend, který se v posledních několika desetiletích zvyšuje;
- z dvaceti nejteplejších roků v celé historii pozorování na stanici Praha-Klementinum spadá 13 roků do období po roce 1980 a osm z nich do období po roce 2000; přestože je tato stanice do jisté míry ovlivněna fenoménem tepelného ostrova města, lze zjištěné poznatky brát jako kvalitativní (ale nikoliv kvantitativní) důkaz vzestupného trendu teploty na našem území;
- průměrné roční územní teploty podléhaly v posledním padesátiletí výrazným meziročním změnám, nicméně vykazují trend postupného nárůstu (necelé 0,3 °C/10 let); výrazněji se teplota zvyšuje v létě (0,4 °C/10 let), pomaleji na podzim (méně než 0,1 °C/10 let);
- v posledních dvou desetiletích se průměrná roční teplota oproti standardnímu období (1961–1990) zvýšila o 0,8 °C, větší změny byly zaznamenány v letních měsících, menší na podzim; v letních měsících se teplota zvyšuje nepatrně rychleji na území Moravy, v zimě a na jaře na území Čech, nicméně rozdíly jsou minimální;
- v souladu s postupným nárůstem teplot a se zvyšující se teplotní extremalitou v posledních dvou desetiletích, se zvyšuje průměrný počet dní s vysokými teplotami (letní a tropické dny, tropické noci a dny s TMA $\geq 35^{\circ}\text{C}$) a snižuje průměrný počet dní s nízkými teplotami (mrazové, ledové a arktické dny); rozdíly mezi Čechami a Moravou nejsou výrazné;
- časová variabilita průměrných denních teplot vykazuje zřetelný roční chod (vyšší v zimě a nižší v létě) a zvyšuje se v chladné polovině, resp. snižuje v teplé polovině roku; rozdíly ve změnách na územích Čech a Moravy nejsou výrazné;
- prostorová proměnlivost časové variability průměrných denních teplot i jejich změn se během roku výrazně nemění.

Srážky

- průměrné roční srážkové úhrny vykazují velmi výraznou meziroční proměnlivost (např. v celé historii pozorování na stanici Praha-Klementinum byl v roce 2002 zaznamenán v pořadí třetí nejvyšší roční úhrn srážek, zatímco v roce 2003 druhý nejnižší), ale je velmi nepatrný trend časové změny; podobný vývoj vykazují v posledních 50 letech i průměrné roční úhrny územních srážek;

- v posledních dvou desetiletích se průměrný roční srážkový úhrn oproti standardnímu období (1961–1990) zvýšil přibližně o 5 %;
- hlavní rysy ročního chodu srážek zůstávají zachovány (maximum v létě, minimum v zimě), dochází však k redistribuci měsíčních srážkových úhrnů během roku (pokles od dubna do června, nárůst od července do září); rozdíly mezi Čechami a Moravou nejsou výrazné;
- teplé období roku je k výraznějším změnám srážkového režimu zřetelněji „náchylnější“ než období chladné a k výraznějším změnám v obou směrech dochází zejména na přelomech mezi létem a podzimem, resp. zimou a jarem; území Moravy obecně vykazuje větší sklon k změnám ve prospěch vyšších srážkových úhrnů než území Čech;
- počet dní se sněhovou pokrývkou 1 cm a více je meziročně značně proměnlivý jak v nižších, tak i vyšších polohách, nicméně v posledním padesátiletí jejich počet zejména v souvislosti s nárůstem průměrné teploty klesá;
- časová variabilita průměrných denních srážkových úhrnů vykazuje ještě výraznější roční chod než variabilita průměrných denních teplot (vyšší v létě, nižší v zimě); obecně je vyšší na území Moravy;
- v posledních dvou desetiletích se časová variabilita průměrných denních srážkových úhrnů v teplé polovině roku zvyšuje, v chladné polovině roku snižuje; režim změn je výrazně zřetelnější na území Čech, zatímco na území Moravy jsou změny vyrovnanější;
- prostorová proměnlivost časové variability srážek je v porovnání s teplotou výrazně vyšší, což je hlavní příčinou statisticky nevýznamných rozdílů ve výskytech průměrných počtů dnů s nadlimitními denními srážkovými úhrny na jednotlivých stanicích; významnější rozdíly v prostorové proměnlivosti mezi územím Čech a Moravy nelze vysledovat.

Odkazy na zdrojové informace

Kapitola TS.1

- [1] Crhová, L. (2011), Posouzení schopnosti regionálních klimatických modelů simulovat klima na území ČR. Praha: MFF UK, 100 s.
- [2] Déqué M. (2007), Frequency of precipitation and temperature extremes over France in an anthropogenic scenario: Model results and statistical correction according to observed values. *Global and Planetary Change*, 57, 16–26.
- [3] Döscher, R., Willén, U., Jones, C., Rutgersson, A., Meier, H.E.M. a kol. (2002), The development of the coupled regional ocean-atmosphere model RCO. *Boreal Environment Research*, 7, 183–192.
- [4] Farda, A., Déué, M., Somot, S., Horányi, A., Spiridonov, V., Tóth, H. (2010), Model ALADIN as regional climate model for Central and Eastern Europe. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 54, 313–332.
- [5] Farda, A., Štěpánek, P., Halenka, T., Skalák, P., Belda, M. (2007), Model ALADIN in climate mode forced with ERA– 40 reanalysis (coarse resolution experiment). *Meteorological Journal*, 10, 123–130.
- [6] Holtanová, E., Mikšovský, J., Kalvová, J., Pišoft, P., Motl, M., 2011: Performance of ENSEMBLES regional climate models over Central Europe using various metrics. *Theoretical and Applied Climatology*, posláno do redakce.
- [7] Hulme, M., Wigley, T.M.L., Barrow, E.M., Raper, S.C.B., Centella, A. a kol. (2000), Using a climate scenario generator for vulnerability and adaptation assessments: MAGICC and SCENGEN Version 2.4 Workbook. Climatic Research Unit, Norwich, 22 s.
- [8] Huth, R., Metelka, L., Halenka, T., Mládek, R., Huthová, Z. a kol. (2003), Regionální klimatické modelování v České republice – projekt ALADIN–Climate. *Meteorologické Zprávy*, 56, 97–104
- [9] Christensen, J.H., Christensen, O.B., Lopez, P., van Meijgaard, E., Botzet, M. (1996), The HIRHAM4 regional atmospheric climate model, DMI Scientific Report 96-4, Copenhagen: DMI, 51 s.
- [10] IPCC – TGICA, 2007, General Guidelines on the Use of Scenario Data for Climate Impact and Adaptation Assessment. Version 2. Prepared by T.R. Carter on behalf of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Assessment, 66 s.
- [11] IPCC, 2007, Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 s. ISBN: 978 0521 70596–7.
- [12] Kalvová, J. a kol. (1999), Analýza aktuálnosti dosavadních scénářů klimatické změny na území ČR a vypracování podkladů pro zpřesnění těchto scénářů pro území ČR. Závěrečná zpráva zakázky MŽP „Výzkum dopadů klimatické změny vyvolané zesílením skleníkového efektu na Českou republiku – přípravná fáze pravidelného sledování změn klimatu a jejich dopadů“. MFF UK, Praha, 116 s.
- [13] Kalvová, J., Holtanová, E., Mikšovský, J., Motl, M., Pišoft, P., a kol. (2009), Výběr globálních klimatických modelů pro posouzení neurčitostí odhadů budoucích změn klimatu v oblasti ČR. *Meteorologické zprávy*, 62, 97–106
- [14] Kalvová, J., Holtanová, E., Motl, M., Mikšovský, J., Pišoft, P., Raidl, A. (2010), Odhady rozsahu změn klimatu na území České republiky pro tři časová období 21. století na základě výstupů AR4 modelů. *Meteorologické zprávy*, 63, 57–66
- [15] Kalvová, J., Kašpárek, L., Janouš, D., Žalud, Z., Kazmarová, H. (2002), Scénáře změny klimatu na území České republiky a odhady dopadů klimatické změny na hydrologický režim, sektor zemědělství, sektor lesního hospodářství a na lidské zdraví v ČR. MSM 113200004, SJ/740/1/00, Národní klimatický program ČR, ČR, 141 s.
- [16] Mearns, L.O., Giorgi, F., Whetton, P., Pabon, D., Hulme, M. (2003), Guidelines for Use of Climate Scenarios Developed from Regional Climate Model Experiments. Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Assessment, 38 s.
- [17] Meehl, G.A., Covey, C., Delworth, T., Latif, M., McAvaney, B. et al. (2007) The WCRP CMIP3 multi-model dataset: A new era in climate change research, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 88, 1383–1394
- [18] Mote, P., Brekke, L., Duffy, P.B., Maurer E. (2011), Guidelines for constructing climate scenarios, *EOS*, 92, 31, 257–258 .

- [19] Nakićenović, N., Swart, R. (Eds.) (2000), Emissions Scenarios. Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
- [20] Novický, O., Vyskoč, P., Vizina, A., Kašpárek, L., Pícek, J. (2008), Klimatická změna a vodní zdroje v povodí Vltavy. Výzkumný ústav vodohospodářský, 29 s.
- [21] Rožnovský, J., Kašpárek, L., Buchtele, J., Janouš, D., Jankovský, L., Cudlín, P., Kohut, M., Kyselý, J., Macková, J., Středa, T., Krátká, M., Chládková, Z., Míková, T., (2005), Podklady o realizovaných a probíhajících projektech a studiích v ČR v oblasti změny klimatu, dopadů a adaptačních opatření od roku 1993 dosud. Národní klimatický program České republiky, Praha, 64 str.
- [22] Štěpánek, P., Zahradníček, P. (2008), Experiences with quality control and homogenization of daily series of various meteorological elements in the Czech Republic, 1961-2007. In: Proceedings of the Sixth seminar for homogenization and quality control in climatological databases (Budapest, 25. - 30. May 2008), WCDMP, WMO
- [23] Štěpánek, P., Zahradníček, P., Huth, R. (2011), Interpolation techniques used for data quality control and calculation of technical series: an example of Central European daily time series. Időjárás, Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service, 115/1-2, 87-98.
- [24] van der Linden, P., Mitchell, J.F.B. (eds.), 2009. ENSEMBLES: Climate Change and its impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project. Met Office Hadley Centre, FitzRoy Road, Exeter EX1 3PB, UK. 160 s.
- [25] Zíková, N., 2009: Prostorová variabilita ročních chodů atmosférických srážek. Diplomová práce. Praha: MFF UK. 100 s.
- [26] Pretel, J. et al. (2008) Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření (II), Závěrečná zpráva o řešení projektu VaV SP/1a6/108/07 za rok 2008, ČHMÚ
- [27] Pretel, J. et al. (2009) Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření (III), Závěrečná zpráva o řešení projektu VaV SP/1a6/108/07 za rok 2009, ČHMÚ
- [28] Pretel, J. et al. (2010) Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření (IV), Závěrečná zpráva o řešení projektu VaV SP/1a6/108/07 za rok 2010, ČHMÚ

Kapitola TS.2

- [1] Hanel, M., Kašpárek L. et al. (2012) Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny na hydrologickou bilanci a možná adaptační opatření. Publikace VUV T.G.Masaryka. V přípravě.
- [2] Hanel, M., Vizina, A. (2010) Změny srážkových extrémů dle simulací regionálních klimatických modelů pro Českou republiku. Workshop Adolfa Patery 2010 - Extrémní hydrologické jevy.
- [3] Christensen, J.H. et al. (2007) Regional Climate Projections. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA.
- [4] Kay, A.L. et al. (2009) Comparison of uncertainty sources for climate change impacts: flood frequency in England. Climatic Change, 92, 41-63.
- [5] Pretel, J. et al. (2011), Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření (V), Závěrečná zpráva o řešení projektu VaV SP/1a6/108/07 za období 2007-2011
- [6] Pretel, J. et al. (2010), Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření (IV), Závěrečná zpráva o řešení projektu VaV SP/1a6/108/07 za rok 2010, ČHMÚ
- [7] Talaksen, L., van Lanen, H.A.J. (2004) Hydrological Drought. Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater. Elsevier, Amsterdam.
- [8] [Tebaldi, C., Knutti, R. (2007) The use of the multi-model ensemble in probabilistic climate projections. Philosophical Transactions of the Royal Society A, 365, 2053-2075.

Kapitola TS.3

- [1] Pretel, J. et al. (2007), Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření (II), Závěrečná zpráva o řešení projektu VaV SP/1a6/108/07 za rok 2007, ČHMÚ
- [2] Pretel, J. et al. (2008) Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření (II), Závěrečná zpráva o řešení projektu VaV SP/1a6/108/07 za rok 2008, ČHMÚ
- [3] Pretel, J. et al. (2009) Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření (III), Závěrečná zpráva o řešení projektu VaV SP/1a6/108/07 za rok 2009, ČHMÚ
- [4] Pretel, J. et al. (2010) Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření (IV), Závěrečná zpráva o řešení projektu VaV SP/1a6/108/07 za rok 2010, ČHMÚ

Kapitola TS.4

- [1] Brázdil, R., Rožnovský, J. et al.: Impacts of a Potential Climate Change on Agriculture of the Czech Republic - Country Study of Climate Change for the Czech Republic, Element 2. Národní klimatický program ČR, svazek 21, Český hydrometeorologický ústav, 146 p., Praha 1996.
- [2] Novák, V.: Water Evaporation in Nature and Methods of its Determination (in Slovak). Veda, 260 p., Bratislava 1995.
- [3] Středa, T., Rožnovský, J., Pokladníková, H., 2009: Monitoring teplot půdy pro predikci aktivity dospělců bázilvice kukuřičného (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte). In sborník „MZLU pěstitelům 2009“, 11.6.2009, MZLU v Brně. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2009, s. 94-97.
- [4] Svoboda, P., Haberle, J.: (2006): The effect of nitrogen fertilization on root distribution of winter wheat, *Plant Soil Environ.* 52, 308-313.
- [5] Pretel, J. et al. (2007), Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření (II), Závěrečná zpráva o řešení projektu VaV SP/1a6/108/07 za rok 2007, ČHMÚ
- [6] Pretel, J. et al. (2008), Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření (II), Závěrečná zpráva o řešení projektu VaV SP/1a6/108/07 za rok 2008, ČHMÚ
- [7] Pretel, J. et al. (2009), Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření (III), Závěrečná zpráva o řešení projektu VaV SP/1a6/108/07 za rok 2009, ČHMÚ
- [8] Pretel, J. et al. (2010), Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření (IV), Závěrečná zpráva o řešení projektu VaV SP/1a6/108/07 za rok 2010, ČHMÚ

Kapitola TS.5

- [1] Černý, M., Pařez, J., Malík, Z. (1996), Růstové a taxační tabulky hlavních dřevin České republiky (smrk, borovice, buk, dub). IFER, 1996 Jílové u Prahy
- [2] Kalousek, F., Foltánek, V. (2010), Přestavba smrkových monokultur a její ekonomické aspekty, Mendelova univerzita v Brně
- [3] Kellomaki, S., Karjalainen, T., Mohren, F., Lapvetelainen, T. (eds.), 2000, Expert assessments on the likely impacts of climate change on forests and forestry in Europe. *EFI Proceedings* 34
- [4] Macků, J. (2009), Makroklimatické charakteristiky LVS v Klimaticko-vegetačních oblastech a jejich variantách, ÚHÚL Brandýs n.l., 40 str.
- [5] Plíva, K. (2000), Trvale udržitelné obhospodařování lesů podle souborů lesních typů, ÚHÚL Brandýs nad Labem
- [6] Polák, T., Cudlín, P., Moravec, I., Albrechtová, J. (2007), Macroscopic indicators for the retrospective assessment of Norway spruce crown response to stress in the Krkonoše Mountains. *Trees* 21, 23-35
- [7] Pulkrab, K., Remeš, J., Sloup, M. (2010), Modelová studie přímých nákladů holosečného a podroštního hospodářského způsobu, Zprávy lesnického výzkumu, svazek 55-speciál

- [8] Seják, J., Dejmal, I., Petříček, V., Cudlín, P., Míchal, I., Černý, K., Kučera, T., Vyskot, I., Strejček, J., Cudlínová, E., Cabrnch, J., Šindlar, M., Prokopová, M., Kovář, J., Kupka, M., Sčasný, M., Šafařík, M., Roušarová, Š., Stejskal, V., Zapletal, J. (2003), Hodnocení a oceňování biotopů České republiky, Český ekologický ústav, MŽP, Praha
- [9] Seják, J., Cudlín, P., Pokorný, J., Zapletal, M., Petříček, V., Guth, J., Chuman, T., Romportl, D., Skořepová, I., Vacek, V., Vyskot, I., Černý, K., Hesslerová, P., Burešová, R., Prokopová, M., Plich, R., Engstová, B., Stará, L. (2010), Hodnocení funkcí a služeb ekosystémů České republiky, FŽP UJEP, Ústí n. L.
- [10] Štěpánek, P., Skalák, P. and Farda, A. (2008), RCM ALADIN-Climate/CZ simulation of 2020-2050 climate over the Czech Republic. In: Rožnovský, J., Litschmann, T. (eds): Bioklimatologické aspekty hodnocení procesů v krajině (Mikulov 9. – 11.9.2008). CD-ROM. ISBN 978-80-86690-55-1
- [11] Vrška, T. (2002), Návrh směrnic hospodaření. Předběžná zpráva pro základní šetření LHP NP Podyjí
- [12] Pretel, J. et al. (2009), Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření (III), Závěrečná zpráva o řešení projektu VaV SP/1a6/108/07 za rok 2009, ČHMÚ
- [13] Pretel, J. et al. (2010), Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření (IV), Závěrečná zpráva o řešení projektu VaV SP/1a6/108/07 za rok 2010, ČHMÚ
- [14] Pretel, J. et al. (2011), Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření (V), Závěrečná zpráva o řešení projektu VaV SP/1a6/108/07 za období 2007-2011