

## Odtokové poměry vybraných subpovodí Labe po Drážďany

**Martin Hanel a kol.**

**Název a sídlo organizace:**

Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí  
Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování  
Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 - Suchdol

**Zadavatel:**

Správa Národního parku České Švýcarsko Pražská 457/52, 407 46 Krásná Lípa

**Zahájení a ukončení úkolu:**

10/2018 - 12/2018

**Řešitelé:**

doc. Ing. Martin Hanel, Ph.D., Ing. Vojtěch Havlíček, Ph.D., Ing. Martin Heřmanovský, Ph.D.,  
doc. Ing. Petr Máca, Ph.D.

# Obsah

<b>1 Úvod</b>	<b>2</b>
<b>2 Zájmové území a data</b>	<b>3</b>
2.1 Geografická data . . . . .	4
2.2 Meteorologická data . . . . .	8
2.3 Hydrologická data . . . . .	8
2.4 Simulace klimatických modelů . . . . .	11
2.5 Scénáře změny klimatu . . . . .	14
<b>3 Modely hydrologické bilance</b>	<b>15</b>
3.1 Bilan . . . . .	15
3.2 GR4J . . . . .	16
3.3 Kalibrace a validace . . . . .	19
3.4 Vyhodnocení hydrologické bilance, sucha a vlivů klimatické změny . . . . .	19
<b>4 Výsledky</b>	<b>22</b>
4.1 Kalibrace a validace hydrologických modelů . . . . .	22
4.2 Hydrologická bilance a její změny . . . . .	32
4.3 Rozdíly mezi povodími . . . . .	46
4.4 Porovnání s předchozími projekcemi . . . . .	53
<b>5 Shrnutí a závěr</b>	<b>53</b>
<b>Literatura</b>	<b>55</b>
<b>6 Přílohy</b>	<b>59</b>
6.1 Přílohy - změny vybraných složek hydrologické bilance . . . . .	59
6.2 Přílohy - změny deficitních objemů . . . . .	113
6.3 Přílohy - změny minimálních sedmi denních průtoků . . . . .	153
6.4 Přílohy - změny meteorologických veličin . . . . .	167

# 1 Úvod

Studie Odtokové poměry vybraných subpovodí Labe po Drážďany je zaměřena na vyhodnocení odtokových poměrů a jejich budoucího vývoje na vybraných povodích s uzavíracími profily v úseku Ústí nad Labem – Drážďany. Budoucí vývoj odtokových poměrů je vyhodnocen v podmínkách klimatické změny.

Zvolený úsek odpovídá území zasaženému uvažovanou stavbou plavebního stupně Děčín. Tento plavební stupeň je navržen k výstavbě v říčním kilometru 737,12. Účelem stavby má být stabilizace plavebních podmínek ze Spolkové Republiky Německo do Děčína, zajištění dostatečného ponoru a zlepšení podmínek pro doplnutí až po zdymadlo Ústí n.L. - Střekov a do vnitrozemí ([Ředitelství vodních cest ČR](#)).

V souvislosti se stavbou stupně a diskuzí, která se v odborné i obecné rovině ohledně tohoto záměru vede, je často opomíjena otázka odtokových poměrů na dotčeném úseku Labe a to jak v současnosti, tak hlavně v budoucnosti. Smysluplné využití uvažované stavby a naplnění jejího účelu je totiž přímo závislé na odtokových poměrech na Labi a jeho přítocích.

Tato studie proto kvantifikuje dopady klimatické změny na odtok, výpar, zásobu vody v půdě a další složky hydrologické bilance v podmínkách projektovaných dvěma soubory klimatických modelů - CMIP5 a CORDEX pro povodí náležící do úseku Labe mezi Ústím nad Labem a Drážďany. Cílem studie je zhodnotit základní povahu změn hydrologické bilance jakožto hlavní okrajové podmínky pro odhad množství (hloubky) vody v toku. Na tuto studii budou navazovat práce spojené s tvorbou digitálního modelu toku, sestavení hydrodynamického modelu a vyhodnocení výšky hladin pro budoucí podmínky a období sucha.

## Studie dopadů klimatické změny v zájmovém území

Studie dopadů změny klimatu v zájmovém území publikovali (např. [Menzel a Bürger, 2002](#); [Krysanova et al., 2005](#); [Hesse a Krysanova, 2016](#), a další). V rámci nich byly potvrzeny souvislosti mezi klimatickou změnou, hydrologickým režimem území a extrémními hydrologickými jevy, které jsou tvořeny povodněmi a suchem .

[Krysanova et al. \(2005\)](#) ve své studii dokumentuje projekce poklesu celkového odtoku a základního odtoku v povodí Labe způsobené změnou klimatu. Nicméně poukazuje na vyšší nejistotu stanovení hydrologické reakce povodí na očekávanou změnu klimatických podmínek.

[Stepanek et al. \(2016\)](#) vyhodnotili analýzou souboru dat Euro-CORDEX s rozlišením 0.11 stupně s RCP 4.5 a 8.5 (viz podrobný popis v kapitole 2.4) parametry událostí sucha související s dopady klimatické změny na území České republiky. Jejich závěry ukazují na budoucí růst doby trvání událostí sucha a zvyšování četností výskytu událostí sucha. Součástí očekávaných změn je také růst teplot vzduchu, srážkových úhrnů jednotlivých dešťových událostí spolu s dalším zvyšováním extrémů dalších klimatických veličin: např. počet tropických dnů a horkých vln.



V rámci vyhodnocení půdního sucha v simulacích v souboru dat CMIP5 pro 21 století byl zjištěn nárůst četností výskytu zemědělského sucha ve střední Evropě pro období léta a podzimu. Klimatické projekce na území České republiky dále potvrdili růst četností výskytu událostí sucha, které se vyskytují v průměru jednou za 10 let (Ruosteenoja et al., 2018). Růst pravděpodobností výskytu extrémních zemědělských such souvisejících s poklesem zásob půdní vody byl také prokázán analýzou trendů historických dat v České republice (Trnka et al., 2015).

Výsledky analýzy dopadů klimatické změny na parametry srážkových událostí v České republice, ukazují na zvyšování úhrnů extrémních srážkových událostí spolu s poklesem doby trvání dešťů (Svoboda et al., 2016). Uvedená analýza byla založena na vyhodnocení souboru 30 regionálních klimatických modelů s hodinovým krokem a různým prostorovým rozlišením.

S růstem teplot lze očekávat také zvyšování četností výskytu konvektivních srážkových událostí (Berg et al., 2013). Dle poznatků o vzájemném propojení zvyšujících se teplot a srážkových extrémů lze očekávat návazný nárůst četností výskytu extrémních povodňových událostí. Regulace říčního systému lidskou činností jsou jedním z rozpoznávaných faktorů, které podporují vznik povodňového rizika v oblastech střední Evropy (Kundzewicz et al., 2005), nicméně změna klimatu je faktorem dominantním (Hattermann et al., 2013).

Vyhodnocením dopadů změny klimatu na hydrologický režim 250 povodí v České republice se zabývali Hanel et al. (2012). Pro vyhodnocení použili soubor 15 regionálních klimatických modelů a konceptuální hydrologický model Bilan (Tallaksen a van Lanen, 2004; Kašpárek et al., 2016). Převážná část projekcí poukazuje na růst odtoku v zimě zvláště v horských povodích. Dále je očekáváno snižování odtoku v jarních a letních obdobích na většině povodích. Snižování odtoku v letních měsících souvisí se snižováním zásob půdní vody a rostoucí intenzitou půdního (zemědělského) sucha (Trnka et al., 2015; Ruosteenoja et al., 2018).

## 2 Zájmové území a data

Zájmovým územím jsou povodí s uzavíracími profily v úseku od Ústí nad Labem po Drážďany. Uzavírací profily povodí byly zvoleny k vybraným vodoměrným stanicím v daném úseku. Hlavním požadavkem bylo, aby zvolené vodoměrné stanice měly k dispozici dostatečně dlouhé záznamy měření průtoků.

Přímo na Labi byly vybrány čtyři uzavírací profily – Ústí nad Labem, Děčín, Hřensko a Drážďany. Na ostatních tocích bylo vybráno šest profilů – Trmice pro Bílinu, Hřensko pro Kamenici, Porsdorf pro Lachsbach, Elbersdorfu pro Wesenitz, Dohna pro Müglitz a Kreischa pro Lockwitzbach. Mimo celá povodí byla stanovena ještě tři mezipovodí na Labi. Jednalo se o mezipovodí od Ústí nad Labem po Děčín (DC-UL), mezipovodí od Děčína po Hřensko (HR-DC) a mezipovodí od Hřenska po Drážďany (DR-HR).

Stanovená povodí jsou uvedena na obr. 1 a detail je na obr. 2. Přehled geografických charakteristik

povodí je uveden v tab. 1.

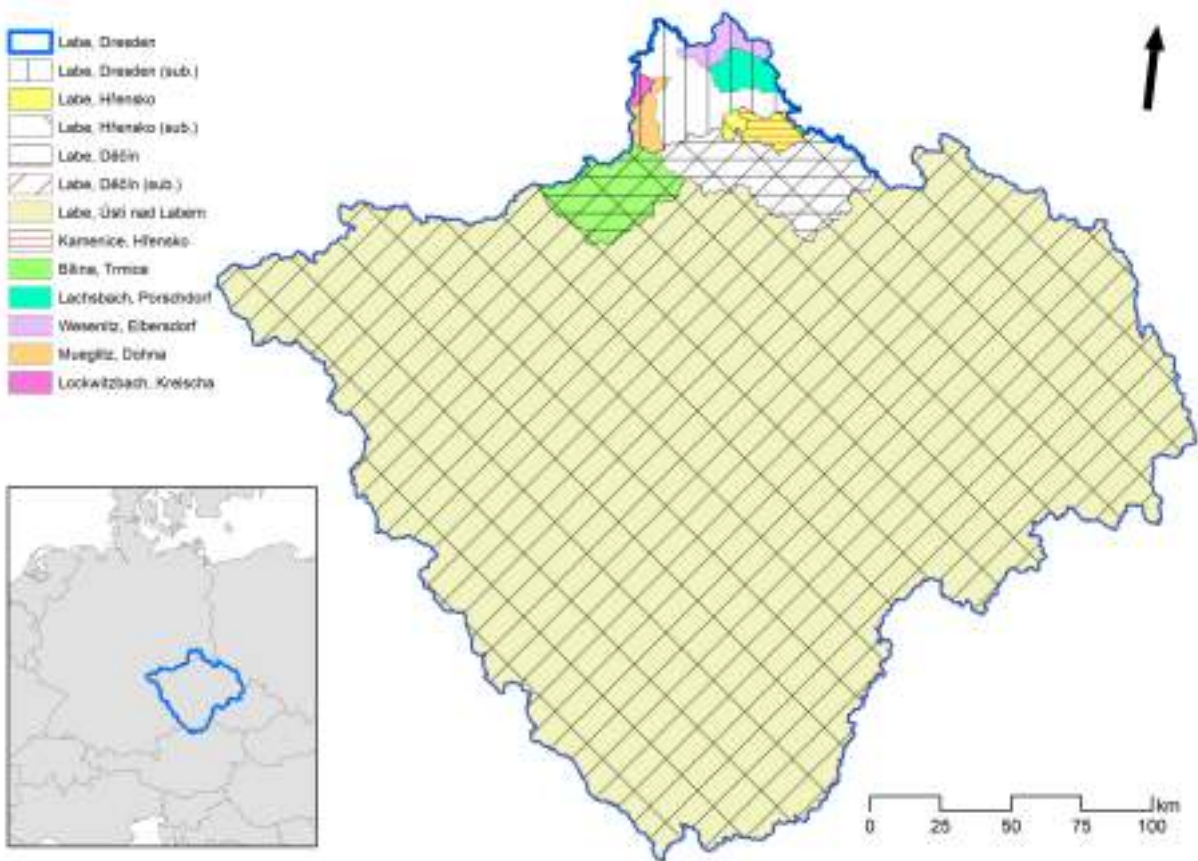
Pro účely studie byla použita geografická, meteorologická a hydrologická data.

## 2.1 Geografická data

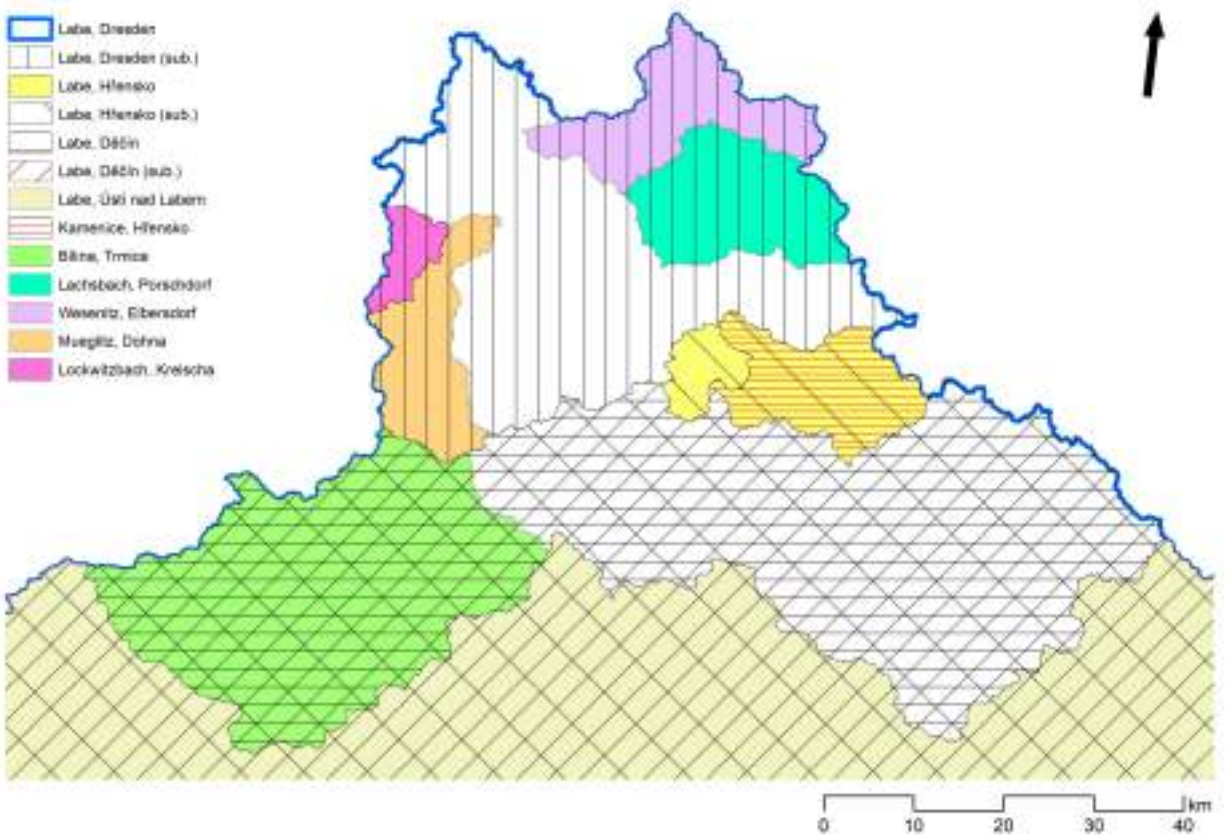
Geografická data představoval digitální model terénů v podobě DEM (Digital Elevation Model). DEM pro řešené území byl získán z projektu SRTM ([Shuttle Radar Topography Mission](#)). Formát dat byl rastr s rozlišením jedné obloukové vteřiny, tj. přibližně 30 m. Rozsah DEM zahrnoval území v podobě obdélníkového výřezu se souřadnicemi protilehlých rohů : 48°24'14.5"N 11°27'41.5"E a 51°15'51.5"N, 17°11'30.5"E.

Na základě DEM byly stanoveny rozvodnice povodí v geografickém informačním systému GRASS GIS (obr. 1 a 2). Rastrovou a vektorovou analýzou byly odvozeny charakteristiky povodí, které jsou nezbytné pro sestavení hydrologického modelu. Odvozené charakteristiky povodí zahrnují: plochu k uzávěrovému profilu, průměrnou nadmořskou výšku, souřadnice těžiště povodí a hypsografické křivky.

Základní geografické charakteristiky povodí potřebné pro tuto studii uvádí tab. 1. Hypsografické křivky jsou zde reprezentovány jejich pětičíslnou statistikou (tj. minimem, 25% kvantilem – Q1, mediánem – Q2, 75%kvantilem – Q3 a maximem).



Obrázek 1: Řešená povodí, celkový pohled.



Obrázek 2: Řešená povodí, detail.

Tabulka 1: Charakteristiky povodí

ID	Tok	Profil	Plocha [km <sup>2</sup> ]	Nadmořská výška [m]	Souřadnice těžiště	Min.	Q1	Q2	Q3	Max.
226000	Bílina	Trmice	971.40	366.65	50°33'39.95"N 13°41'29.69"E	144.0	242.0	290.0	432.0	945.0
244000	Kamenice	Hřensko	215.30	402.18	50°49'59.30"N 14°25'16.61"E	174.0	311.0	386.0	486.0	783.0
240000	Labe	Děčín	51072.80	469.11	49°50'48.00"N 14°24'38.58"E	125.0	339.0	456.0	561.0	1600.0
HR-DC	Labe	Hřensko	278.40	385.01	50°49'59.23"N 14°22'41.48"E	121.0	304.0	370.0	457.0	783.0
6340120	Labe	Dresden	53054.80	465.07	49°53'16.72"N 14°23'53.94"E	102.0	333.0	453.0	557.0	1600.0
245000	Labe	Hřensko	51351.20	468.64	49°51'7.65"N 14°24'37.93"E	121.0	338.0	456.0	560.0	1600.0
DR-HR	Labe	Dresden	1703.60	359.94	50°56'39.74"N 14°2'17.90"E	102.0	265.0	339.0	437.0	899.0
DC-UL	Labe	Děčín	2573.30	366.24	50°38'42.65"N 14°11'5.52"E	125.0	276.0	329.0	424.0	1002.0
221000	Labe	Ústí n. L.	48499.40	474.66	49°48'12.79"N 14°25'22.47"E	131.0	351.0	462.0	565.0	1600.0
6340430	Lachsbach	Porschdorf	266.50	378.56	51°0'9.77"N 14°14'48.48"E	137.0	339.0	373.0	423.0	621.0
6340415	Lockwitzbach	Kreischa	53.00	374.89	50°54'21.07"N 13°44'39.74"E	199.0	325.0	367.0	424.0	624.0
6340410	Müglitz	Dohna	195.00	548.97	50°48'47.34"N 13°48'15.83"E	145.0	420.0	564.0	695.0	899.0
6340420	Wesenitz	Elbersdorf	236.90	317.32	51°4'53.05"N 14°8'7.55"E	225.0	284.0	306.0	338.0	595.0

## 2.2 Meteorologická data

Hydrologické modely použité v této studii vyžadují denní časové řady srážek, teploty vzduchu a potenciální evapotranspirace. Denní časové řady srážek a teploty byly získány z tzv. E-OBS datasetu (Hofstra et al., 2009), tj. gridovaných (25 km × 25 km) dat pro období od roku 1951 do současnosti. Pro jednotlivá povodí byly spočteny časové řady průměrných srážek a teploty na základě váženého průměru z gridbodů zasahujících do povodí, přičemž vahou byl podíl plochy gridbodu ležící v povodí.

Jelikož zejména pro malá povodí může být prostorové rozlišení E-OBS datasetu příliš hrubé, byly ještě odvozené průměrné časové řady zkorigovány pomocí prostorových polí dlouhodobých průměrů srážek a teploty z databáze WorldClim (Fick a Hijmans, 2017) v rozlišení 1 km × 1 km. Korekce byla provedena tak, že pro jednotlivá povodí byly pro období 1970–2000 vypočteny dlouhodobé průměry, ty byly porovnány s dlouhodobými průměry z databáze WorldClim a časové řady srážek a teploty byly o systematické chyby opraveny (srážky multiplikativně, teplota aditivně).

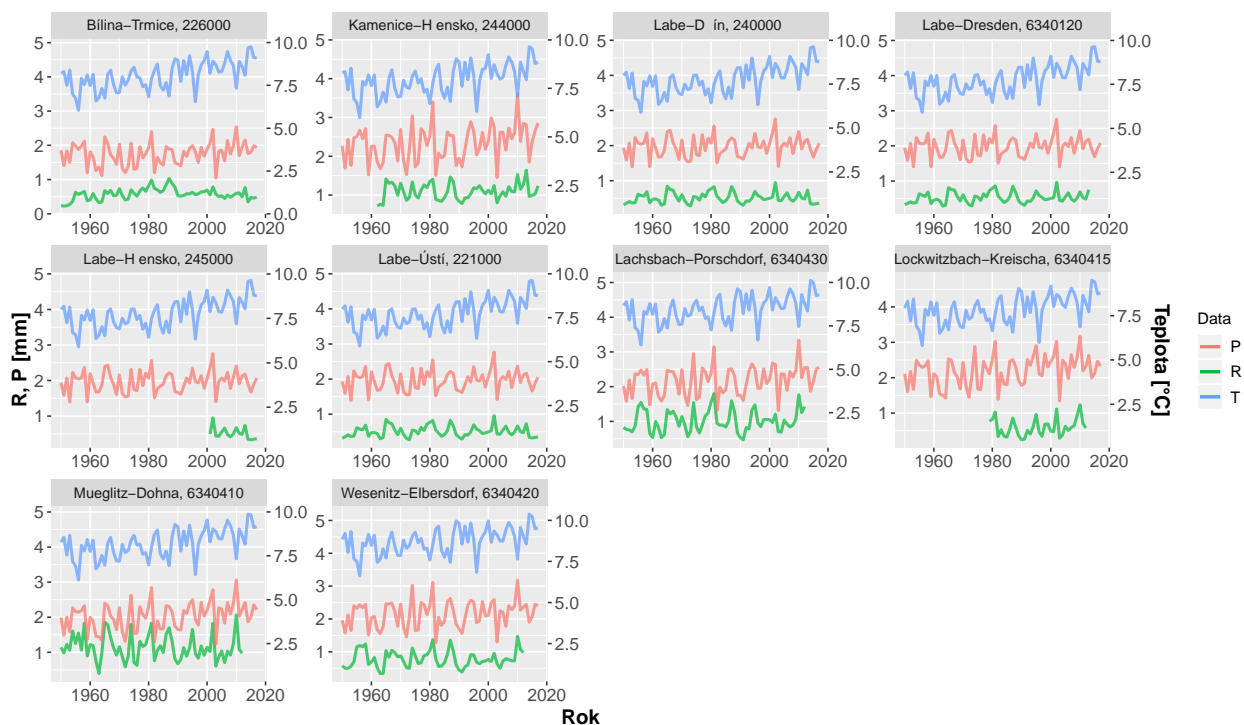
Časové řady potenciální evapotranspirace (PET) byly pro každé povodí odhadnuty pomocí vztahu, který odvodili Oudin et al. (2005) na základě prací Jensen a Haise (1963) a McGuinness a Bordne (1972). Vstupem pro výpočet PET byla časová řada průměrných denních teplot a zeměpisná šířka těžiště zájmového povodí.

Celkový rozsah použitých teplotních a srážkových dat je zobrazen v podobě průměrných ročních hodnot na obr. 3.

Na obr. 4 jsou zobrazeny vybrané statistické charakteristiky vstupních meteorologických a hydrologických dat pro celé období. Prezentovány jsou statistiky datových setů srážek (obr. a), odtoků (b) a průtoků zvlášť pro povodí Labe (c) a ostatní toky (d). Krabicové grafy na těchto obrázcích poskytují informaci o hodnotě mediánu (horizontální úsečka v krabici), 1. a 3. kvartilu (dolní a horní okraj krabice) a extrémech. Krabicí se rozumí barevný obdélník na který navazují seshora a zezdola tzv. antény, jejichž konec v tomto případě představuje 1,5 násobek mezikvartilového rozpětí od příslušného okraje krabice. Hodnoty maxim jsou vepsány přímo do obrázku, nad příslušný datový set a jeho krabicový graf. Tato úprava je nutná z důvodu čitelnosti, protože data v takto upravených obrázcích mají vysoké hodnoty maxim s relativně řídkou četností. Teplotní data a potenciální evapotranspirace nejsou v krabicových grafech prezentovány, protože jejich charakteristiky se mezi povodími příliš neliší. Průměrné denní teploty se pohybují od -24,6 °C do 29 °C s hodnotou mediánu 8,2 °C. Potenciální evapotranspirace je v hodnotách od 0 mm do 5,7 mm s hodnotou mediánu 1,2 mm.

## 2.3 Hydrologická data

Pro kalibraci a následné vyhodnocení simulační účinnosti hydrologických modelů je nutné mít časové řady odtoků v příslušném časovém kroku. V této studii byl použit denní časový krok.

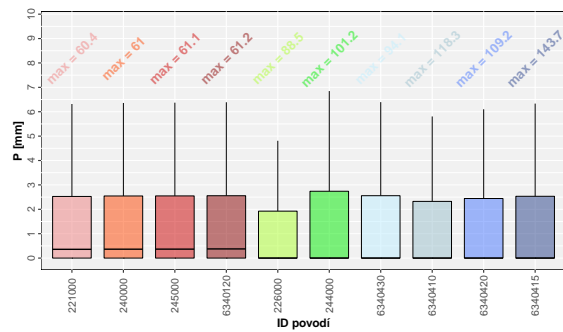


Obrázek 3: Průměrné roční hodnoty teplot, srážek a odtoků pro celý rozsah vstupních dat

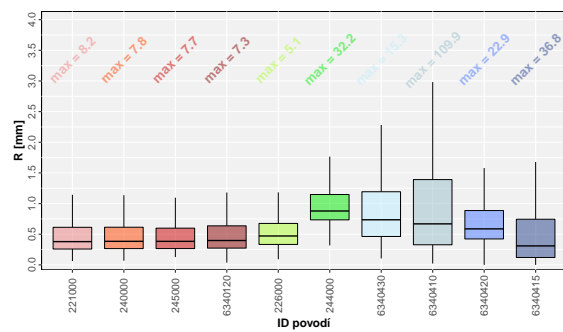
Zdrojem datových setů denních odtoků byl Český hydrometeorologický ústav a centrum GRDC ([Global Runoff Data Centre](#)). Celkem byly použity řady měření z deseti vodoměrných stanic. Celkový rozsah řad odtokových dat je vidět na obr. 3. Jedná se o řady průměrných ročních hodnot.

Krabicové grafy zobrazující vybrané statistické charakteristiky odtokových řad jsou uvedeny v obr. 4 (b–d). Popis grafů je v předcházející kapitole.

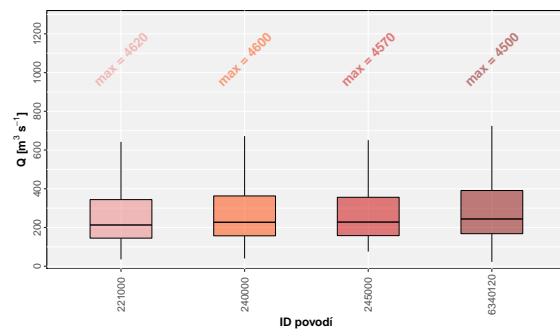




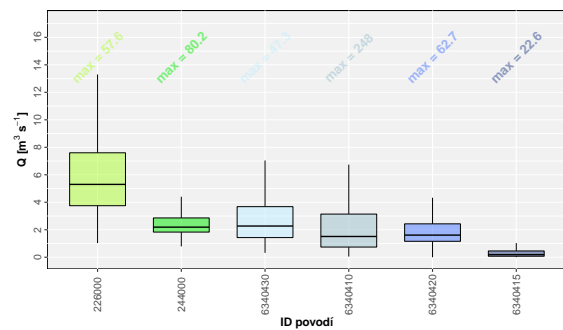
(a) Srážky



(b) Odtok



(c) Průtok – povodí Labe



(d) Průtok – ostatní povodí

### Povodí

- Labe–Ústí, 221000
- Labe–Dín, 240000
- Labe–Hensko, 245000
- Labe–Dresden, 6340120
- Bílina–Trmice, 226000
- Kamenice–Hensko, 244000
- Lachsbad–Porsdorf, 6340430
- Mueglitz–Dohna, 6340410
- Wesenitz–Elbersdorf, 6340420
- Lockwitzbad–Kreischau, 6340415

Obrázek 4: Přehled statistických charakteristik vybraných vstupních dat.



## 2.4 Simulace klimatických modelů

V této studii byly využity dvě sady simulací klimatických modelů: globální klimatické modely z projektu CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project - Phase 5; Taylor et al., 2012) a regionální klimatické modely z projektu CORDEX (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment; Jacob et al., 2014). Viz i weby projektu <https://cmip.llnl.gov/index.html> a <http://www.cordex.org/>.

Globální klimatické modely CMIP5 sloužily jako podklad k vypracování Páté hodnotící zprávy Mezivládního panelu pro klimatickou změnu (IPCC; Stocker et al., 2013). V rámci projektu CMIP5 je dostupných několik set simulací, pro účely této studie byly vybrány simulace, které používá Ústav pro výzkum globální změny AV ČR (CzechGlobe) v rámci projektu CzechAdapt. Jedná se o simulace čtyř globálních klimatických modelů: BNU-ESM (Čína), CNRM-CM5 (Francie), HadGEM2-ES (UK), IPSL-CM5A-LR (Francie), MRI-CGCM3 (Japonsko).

Na globální klimatické modely CMIP5 navazují regionální modely z projektu CORDEX. Účelem využití regionálních klimatických modelů je modelování klimatického systému v relativně podrobném měřítku. Za tím účelem jsou regionální klimatické modely vnořeny (nested) do modelů globálních (přejímají z nich okrajové podmínky). Z prostorového rozlišení globálních klimatických modelů (většinou přes 100 km × 100 km) je tak možno klimatický systém modelovat v prostorovém měřítku kolem 10 km × 10 km - v případě CORDEX simulací 12 km × 12 km.

Uvažovány byly simulace šesti regionálních klimatických modelů: CCLM4-8-17 (Švýcarsko), CNRM-ALADIN53 (Francie), SMHI-RCA4 (Švédsko), RACMO22E (Nizozemí), DMI-HIRHAM5 (Dánsko), WRF331F (Francie). Výběr byl dán zejména dostupností dat.

Průměrné hodnoty na povodí ze simulací klimatických modelů byly odvozeny stejným způsobem jako pro E-OBS data (tj. průměrná hodnota na povodí se vypočetla jako vážený průměr hodnot jednotlivých gridbodů zasahujících do povodí, přičemž váhy odpovídaly velikosti průniku plochy gridbodu a povodí).

Důležitou okrajovou podmínkou při simulacích klimatických modelů jsou emise, respektive koncentrace skleníkových plynů. Zatímco předchozí zprávy IPCC uvažovaly většinou scénáře emisí (nejznámější je řada scénářů SRES), současná generace modelů využívá scénáře koncentrací - tzv. Representation Concentration Pathways (RCP; Van Vuuren et al., 2011). Řada scénářů RCP, nepopisuje možné scénáře vývoje emisí (jako scénáře SRES prostřednictvím tzv. storylines), ale vývoje koncentrací. Ke každé z možných variant vývoje koncentrací je pak možno dojít různými způsoby.

V rámci tvorby RCP scénářů byly publikované scénáře rozděleny do čtyř hlavních skupin a z každé skupiny byl vybrán reprezentativní zástupce. Základní požadavky na RCP scénáře byly (Moss et al., 2008):

- pokrytí rozpětí koncentrací publikovaných scénářů,

- malý sudý počet (za účelem zabránění preference středního scénáře jako nejlepší, průměrné alternativy),
- jasná odlišitelnost tvaru a úrovní koncentrace na konci 21. století.

Scénáře RCP obsahují i scénář předpokládající mírný růst koncentrací s vrcholem před rokem 2100 s následným poklesem (RCP2.6, někdy označovaný i jako RCP3-PD), jenž umožňuje posouzení vlivu možného snižování emisí. Ostatní RCP scénáře víceméně pokrývají rozsah odhadovaných koncentrací pro scénáře SRES. Stejně jako v případě scénářů SRES není definována žádná pravděpodobnější varianta vývoje. V případě omezených výpočetních možností [Moss et al. \(2008\)](#) doporučuje primárně uvažovat scénáře s nejvyššími a nejnižšími koncentracemi (RCP8.5 a RCP2.6), následně scénář RCP4.5 a na závěr scénář RCP6. Podrobnosti o tvorbě RCP scénářů rozvádí např. [Moss et al. \(2008\)](#) nebo [Meinshausen et al. \(2011\)](#).

V této studii proto využíváme simulace RCP2.6, RCP4.5 a RCP8.5. Celkově tak bylo uvažováno 44 simulací klimatických modelů (viz Tab. 2).

Tabulka 2: Přehled uvažovaných sad simulací klimatických modelů, tj. sady globálních klimatických modelů z projektu CMIP5 a sady regionálních klimatických modelů z projektu CORDEX.

	Globální klimatické modely	Scénáře koncentrací RCP	Regionální klimatické modely
<b>Sada modelů CMIP5</b>			
1	BNU-ESM	RCP2.6	-
2		RCP4.5	-
3		RCP8.5	-
4	CNRM-CM5	RCP2.6	-
5		RCP4.5	-
6		RCP4.5	-
7	HadGEM2-ES	RCP2.6	-
8		RCP4.5	-
9		RCP4.5	-
10	IPSL-CM5A-LR	RCP2.6	-
11		RCP4.5	-
12		RCP4.5	-
13	MRI-CGCM3	RCP2.6	-
14		RCP4.5	-
15		RCP4.5	-
<b>Sada modelů CORDEX</b>			
1	CNRM-CM5	RCP4.5	CLMcom-CCLM4-8-17
2			CNRM-ALADIN53
3			SMHI-RCA4
4		RCP8.5	CLMcom-CCLM4-8-17
5			CNRM-ALADIN53
6			SMHI-RCA4
7	EC-EARTH	RCP2.6	SMHI-RCA4
8		RCP4.5	CLMcom-CCLM4-8-17
9			SMHI-RCA4
10			KNMI-RACMO22E
11			DMI-HIRHAM5
12		RCP8.5	CLMcom-CCLM4-8-17
13			SMHI-RCA4
14			KNMI-RACMO22E
15			DMI-HIRHAM5
16	IPSL-CM5A-MR	RCP4.5	IPSL-INERIS-WRF331F
17			SMHI-RCA4
18		RCP8.5	IPSL-INERIS-WRF331F
19			SMHI-RCA4
20	HadGEM2-ES	RCP4.5	CLMcom-CCLM4-8-17
21			KNMI-RACMO22E
22			SMHI-RCA4
23		RCP8.5	CLMcom-CCLM4-8-17
24			KNMI-RACMO22E
25			SMHI-RCA4
26	MPI-ESM-LR	RCP4.5	CLMcom-CCLM4-8-17
27			SMHI-RCA4
28		RCP8.5	CLMcom-CCLM4-8-17
29			SMHI-RCA4

## 2.5 Scénáře změny klimatu

Pro tvorbu scénářů změny klimatu v kontextu odhadu změn hydrologické bilance se v České republice standardně využívá tzv. přírůstková metoda, zejména pro studie v měsíčním kroku. Tato metoda spočívá v transformaci pozorovaných dat tak, aby změny transformovaných veličin odpovídaly změnám odvozeným ze simulací klimatických modelů. V měsíčním kroku se běžně uvažují změny průměrných měsíčních úhrnů srážek a průměrné měsíční teploty. V denním kroku je nutné uvažovat i změny variability veličin. Pro tvorbu scénářů změny klimatu byla proto využita pokročilá přírůstková (ADC - Advanced Delta Change) metoda (van Pelt et al., 2012). ADC metoda umožňuje zahrnout do transformace i změny variability. To zjednodušeně znamená, že extrémny se mohou měnit jinak než průměr. Při odvození změn srážek z klimatického modelu ADC metoda uvažuje i systematické chyby simulace. Jelikož teplota je transformována lineárně, nemá systematická chyba na výslednou transformaci teploty vliv.

Srážky jsou transformovány pomocí vztahu

$$P^* = \begin{cases} aP^b & \text{pro } P < P_{90} \\ \frac{\bar{E}^F}{\bar{E}^C}(P - P_{90}) + a(P_{90})^b & \text{pro } P > P_{90} \end{cases} \quad (1)$$

kde  $P^*$  jsou transformované srážky,  $P$  pozorované srážky,  $P_{90}$  je 90% kvantil srážek, indexy  $C$  a  $F$  indikují pozorovaná data, simulovaná data pro kontrolní období a simulovaná data pro scénářové období.  $a$  a  $b$  jsou transformační parametry, které jsou odvozeny pro 7denní bloky, což zaručuje sezónní variabilitu změn. Lineární transformace pro hodnoty nad  $P_{90}$  zabraňuje výskytu nerealisticky vysokých hodnot, které jsou relativně často výsledkem nelineární transformace pro  $P > P_{90}$  a  $b > 1$ .

Pro srážky vyšší než 90% kvantil srážek v daném měsíci je vypočtena nadprahová hodnota  $E = P - P_{90}$ . Průměrné nadprahové hodnoty v simulaci klimatického modelu pro kontrolní a scénářové období jsou vypočteny dle

$$\bar{E}^C = \frac{\sum P^C - P_{90}^C}{n^C} \quad \text{a} \quad \bar{E}^F = \frac{\sum P^F - P_{90}^F}{n^F} \quad (2)$$

kde  $n^C$  a  $n^F$  je počet nadprahových hodnot v kontrolním a scénářovém období. Transformační parametry  $a$  a  $b$  jsou odvozeny z hodnot 60% ( $P_{60}$ ) a 90% ( $P_{90}$ ) kvantilu srážek dle

$$b = \frac{\log \left[ g_2 \frac{P_{90}^F}{(g_1 P_{60}^F)} \right]}{\log \left[ g_2 \frac{P_{90}^C}{(g_1 P_{60}^C)} \right]} \quad (3)$$

$$a = \frac{P_{60}^F}{(P_{60}^C)^b g_1^{1-b}} \quad (4)$$

kde  $g_1$  a  $g_2$  jsou korekční faktory vyjadřující systematické chyby v  $P_{60}$  a  $P_{90}$  v simulaci klimatického modelu pro kontrolní období.

$$g_1 = \frac{P_{60}}{P_{60}^C} \quad (5)$$

$$g_2 = \frac{P_{90}}{P_{90}^C} \quad (6)$$

Jelikož hodnoty  $P_{60}$ ,  $P_{90}$ ,  $\bar{E}^C$  a  $\bar{E}^F$  jsou časově relativně variabilní, jsou průměrné měsíční hodnoty těchto veličin vyhlazeny váženým klouzavým průměrem s váhami 0,25, 0,5 a 0,25. Zároveň hodnota parametru  $b$  i poměru  $\frac{\bar{E}^F}{\bar{E}^C}$  vykazuje značnou prostorovou variabilitu. Tyto parametry jsou proto průměrovány v prostorovém klouzavém okně z pravidelného okolí 8 grid boxů.

Transformace teploty je v ADC metodě prováděna následovně:

$$T^* = \frac{\sigma^F}{\sigma^C}(T - \bar{T}) + \bar{T} + \bar{T}^F - \bar{T}^C \quad (7)$$

kde  $T^*$  je transformovaná teplota,  $\bar{T}$  pozorovaná průměrná měsíční teplota,  $\bar{T}^C$  a  $\bar{T}^F$  je průměrná měsíční teplota pro kontrolní simulaci klimatického modelu a scénářovou simulaci klimatického modelu a  $\sigma^C$  a  $\sigma^F$  jsou směrodatné odchylky denní teploty pro kontrolní a scénářové období v simulaci klimatického modelu.

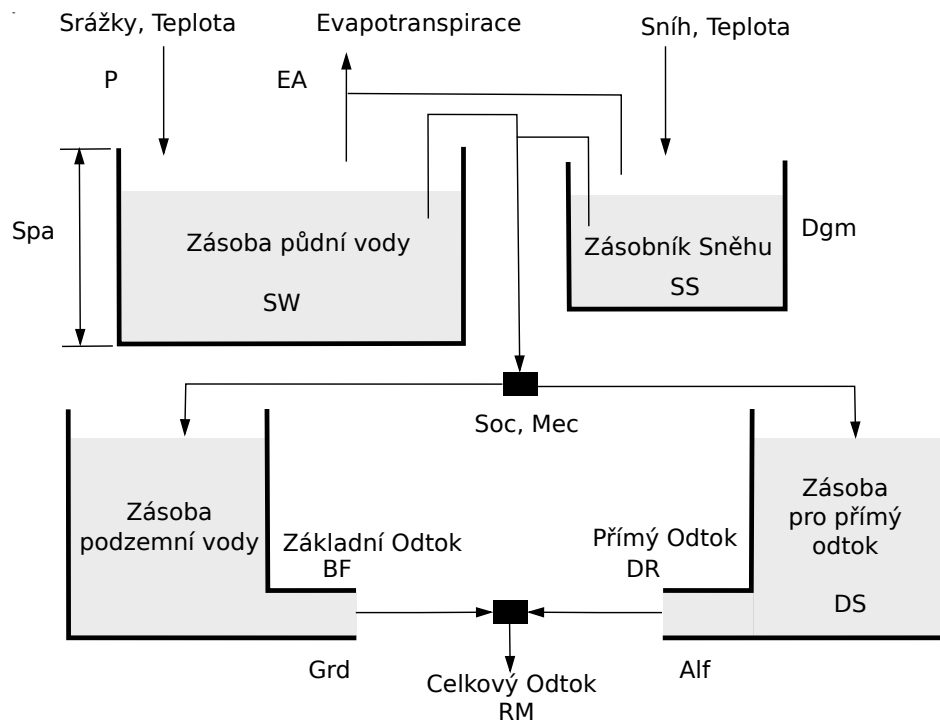
Odvozené parametry pro uvažované klimatické modely (Tab. 2) byly následně použity k transformaci dat pro jednotlivá povodí. V této studii byly uvažovány změny mezi obdobími 1970–2000 a 2020–2050 (blízká budoucnost) a 1970–2000 a 2070–2100 (vzdálená budoucnost).

### 3 Modely hydrologické bilance

Pro účely hydrologické bilance na zájmových povodích byly vybrány dva konceptuální srážko-odtokové modely, BILAN a GR4J. Tyto modely jsou široce používány v podmínkách ČR (BILAN) i ve světě (GR4J). Používají se jak pro studie hydrologického režimu povodí (např. [Vizina et al. \(2018b\)](#) nebo [Kožín et al. \(2017\)](#) pro BILAN, [Perrin et al. \(2003\)](#) nebo [Humphrey et al. \(2016\)](#) pro GR4J), tak i pro stanovení jeho změn v návaznosti na klimatickou změnu (např. [Hanel et al. \(2012\)](#) pro BILAN, [Brigode et al. \(2013\)](#) nebo [Tian et al. \(2013\)](#) pro GR4J).

#### 3.1 Bilan

Hydrologický model Bilan je celistvým konceptuálním modelem ([Tallaksen a van Lanen, 2004](#); [Kašpárek et al., 2016](#)). Model je v České republice standardně používán pro studie odtokových poměrů, jejichž výsledkem je popis dopadů změny klimatu na hydrologický režim povodí, a pro modelování hydrologické bilance povodí v denním, více-denním a měsíčním časovém kroku ([Hanel et al., 2013](#); [Vizina et al., 2018a](#)).



Obrázek 5: Struktura modelu Bilan.

Pro potřeby studie byla použita modifikace modelu Bilan v denním časovém kroku, schéma stuktury modelu je uvedeno na obrázku 5. Model popisuje dynamiku zásoby vody ve sněhové pokrývce, půdě, podzemní a povrchové vodě. Vstupy modelu tvoří časové řady denních srážkových úhrnů a denních průměrných teplot pro analyzovaná povodí. Výstupy modelu Bilan jsou časové řady zásob vody ve sněhové pokrývce, půdě, podzemní a povrchové vodě povodí, výšky přímého, základního a celkového odtoku, výšky perkolací a infiltračí vody v povodí.

Model je kalibrován na základě znalosti denních výšek odtoku analyzovaných povodí. Pro každé povodí bylo stanoveno celkem 6 parametrů. Jedná se o následující parametry Spa – maximální kapacita zásoby půdní vlhkosti [mm], Alf – součinitel zásobnosti přímého odtoku, Dgm – koeficient mezi teplotou a táním sněhu, Soc – parametr rozdělující perkolaci na vstup do zásoby pro přímý odtok a na dotaci podzemní vody pro letní podmínky, Mec – parametr rozdělující perkolaci na vstup do zásoby pro přímý odtok a na dotaci podzemní vody pro zimní podmínky, Grd – součinitel zásobnosti základního odtoku. K odhadu jejich hodnot byl využit globální optimalizační algoritmus SCDE (Shuffled Complex Differential Evolution), který umožňuje ensemblovou kalibraci a validaci (Máca et al., 2013).

### 3.2 GR4J

Model GR4J (modèle du Génie Rural à 4 paramètres Journalier), který představili Perrin et al. (2003), je celistvý konceptuální srážko-odtokový model operující v denním časovém kroku. Struktura modelu

(viz obr. 6) je založena na dvou zásobnících (produkční a transformační), jednotkovém hydrogramu a obsahuje 4 kalibrované parametry:  $X_1$  [mm] – maximální kapacita produkčního zásobníku,  $X_2$  [-] – maximální výměnný koeficient povodí,  $X_3$  [mm] – maximální kapacita transformačního zásobníku a  $X_4$  [den] – časový parametr jednotkového hydrogramu. Vstupem do modelu jsou časové řady srážek  $P$  [ $\text{mm}\cdot\text{den}^{-1}$ ], potenciální evapotranspirace  $PET$  [ $\text{mm}\cdot\text{den}^{-1}$ ] a výstupem je časová řada simulovaného odtoku  $R$  [ $\text{mm}\cdot\text{den}^{-1}$ ]. Výpočet celkového simulovaného odtoku lze shrnout do následujících kroků:

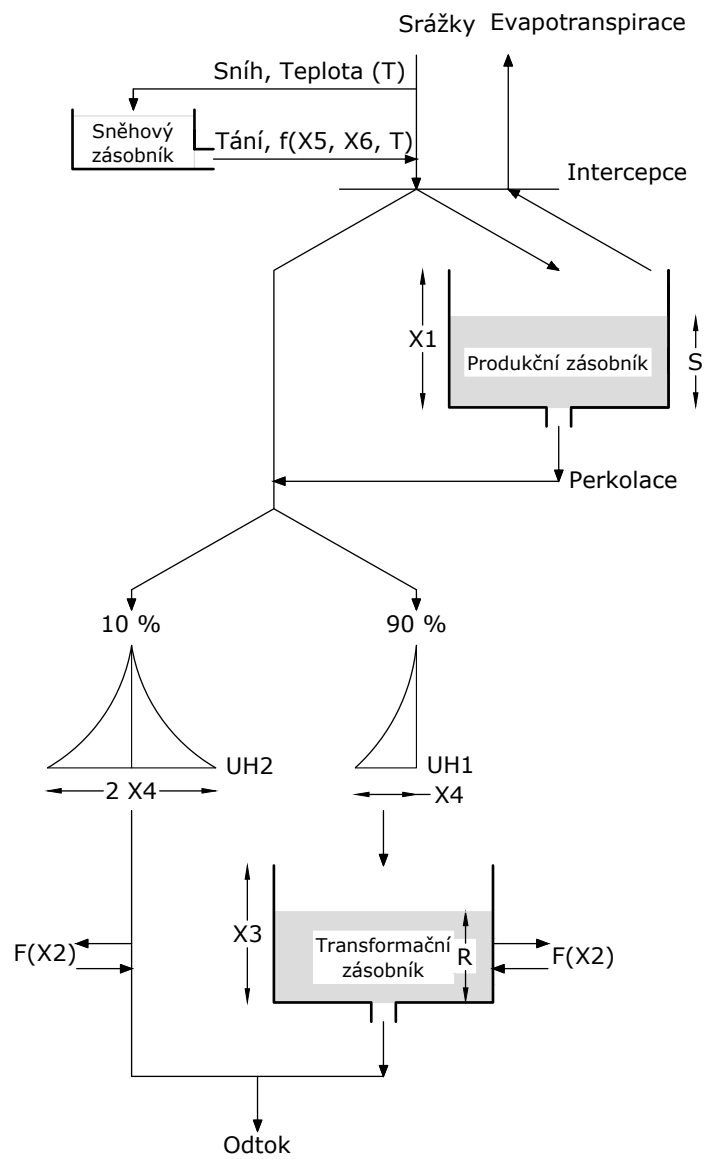
- výpočet efektivní srážky na základě intercepčního zásobníku s nulovou kapacitou a produkčního zásobníku,
- rozdělení efektivní srážky do dvou komponent (90 % pomalá odezva povodí, 10 % rychlá odezva povodí) a jejich transformace pomocí pouze jednotkového hydrogramu (rychlá odezva) a nebo jednotkového hydrogramu a nelineárního transformačního zásobníku (pomalá odezva),
- korekce na základě maximálního výměnného koeficientu povodí (v případě pomalé odezvy řešena jako součást bilance v nelineárním transformačním zásobníku),
- výpočet celkového odtoku z povodí.

V podmínkách ČR je nutné spojit model GR4J se sněhovým modulem. Pro účely studie byl vybrán sněhový modul CemaNeige (Valéry et al., 2014), který je semi-distribuívaným sněhovým modulem založeným na konceptu den–stupeň. Modul obsahuje dva kalibrované parametry, které popisují tepelnou setrvačnost sněhové pokrývky ( $X_5$ ) a faktor tání pro metodu den–stupeň ( $X_6$ ). Vstupem do modulu jsou časové řady celkových srážek na povodí  $P$  [ $\text{mm}\cdot\text{den}^{-1}$ ] a průměrné teploty  $T$  [ $^{\circ}\text{C}$ ].

Každé povodí je nejprve rozděleno do zvoleného počtu výškových zón o stejných plochách (nejčastěji do 5 zón). Následně jsou pro každou zónu extrapolovány nové časové řady vstupních srážek a průměrné teploty na základě vztahů, které odvodili Valéry et al. (2010). V rámci každé výškové zóny jsou postupně provedeny tyto kroky:

- určení podílu pevné srážky k celkové srážce,
- akumulace sněhové pokrývky,
- aktualizace hodnoty SCC (snowpack cold-content),
- výpočet potenciálního tání sněhové pokrývky,
- výpočet skutečného tání sněhové pokrývky.

Výstupem ze sněhového modulu jsou časové řady tání  $M_t$  [ $\text{mm}\cdot\text{den}^{-1}$ ] a kapalných srážek  $R_n$  [ $\text{mm}\cdot\text{den}^{-1}$ ] pro každou výškovou zónu. Průměrné hodnoty  $M_t$  a  $R_n$  (časové řady  $M_t$  a  $R_n$  jsou zatíženy stejnými vahami) následně vstupují do modelu GR4J jako celková srážka  $P$ .



Obrázek 6: Struktura modelu GR4J.



### 3.3 Kalibrace a validace

Strážko-odtokové modely BILAN a GR4J byly kalibrovány na všech zájmových povodích. Pro kalibraci i validaci byly využity časové řady srážek, průměrné teploty a potenciální evapotranspirace v denním časovém kroku o délce 13 let (kalibrace: 1. 1. 1980 – 31. 12. 1992, validace 1. 1. 1993 – 31. 12. 2005). Pouze v případě povodí 245000 (Labe s uzavěrovým profilem v Hřensku) byly k dispozici kratší časové řady pro kalibraci i validaci (kalibrace: 1. 1. 2002 – 31. 12. 2008, validace 1. 1. 2009 – 31. 12. 2016). Takto byla zkrácena i kalibrační data mezipovodí, která vyžadují pro kalibraci data ze stanice v Hřensku (HR-DC, DR-HR). U těchto mezipovodí byla v důsledku chybějících dat ve stanicích Děčín a Drážďany odlišná i validace (1. 1. 2009 – 31. 12. 2013).

U obou modelů byla použita warm-up perioda o délce 1 rok, neboť v rámci kalibrace nebyly optimalizovány počáteční stavy zásobníků obou modelů. Modely byly kalibrovány na základě kritéria KGE (Gupta et al., 2009), které je v současné době hojně využívaným hodnotícím kritériem simulačních účinností srážko-odtokových modelů. Rovnice pro výpočet KGE je

$$KGE = 1 - \sqrt{(1 - \alpha)^2 + (1 - \beta)^2 + (1 - r)^2} \quad (8)$$

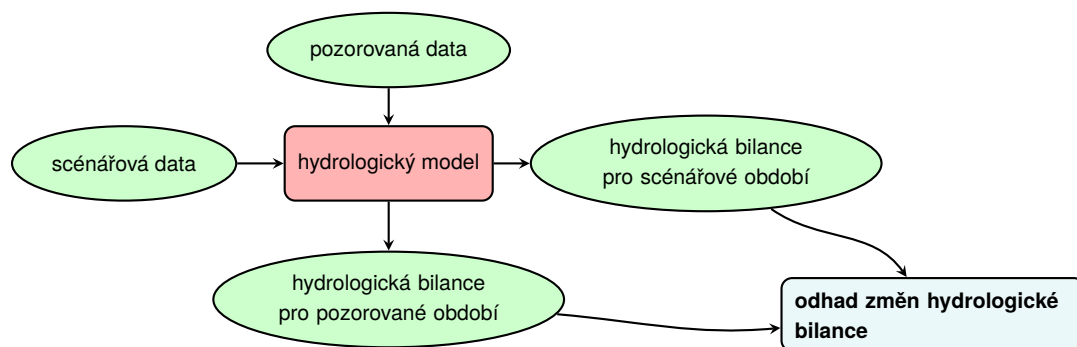
kde  $\alpha$  je poměr směrodatných odchylek simulovaného ( $R_{sim}$  [mm·den<sup>-1</sup>]) a měřeného odtoku ( $R$  [mm·den<sup>-1</sup>]),  $\beta$  je poměr průměrných hodnot simulovaného a měřeného odtoku a  $r$  je Pearsonův korelační koeficient mezi simulovaným a měřeným odtokem.

Kalibrace na mezipovodích probíhala odlišným způsobem (popis mezipovodí je v kap. 2). Na těchto mezipovodích nebylo možné provést kalibraci standardním způsobem z důvodu neexistence časových řad měřených odtoků. Z tohoto důvodu byl navržen alternativní postup kalibrace modelů BILAN a GR4J. Kalibrace v tomto případě probíhala tak, že referenčními hodnotami byly průtoky ze stanice na uzavíracím profilu mezipovodí a průtoková data z první výše položené stanice byla použita jako doplněk k simulovaným hodnotám odtoků z mezipovodí. Tento postup byl nutný, protože stanovení referenčních dat jako rozdílu průtoků na níže položené stanici a výše položené stanici může vést ke vzniku záporných hodnot.

### 3.4 Vyhodnocení hydrologické bilance, sucha a vlivů klimatické změny

Typický postup modelování dopadů změny klimatu na hydrologický režim povodí (viz obr. 7) lze stručně shrnout následovně:

1. Zvolený hydrologický model (zde Bilan a GR4J) je pro vybrané povodí nakalibrován pomocí pozorovaných dat.
2. Jsou vytvořeny scénáře změny klimatu pro dané povodí (viz kapitolu 2.5)



Obrázek 7: Schéma hydrologického modelování dopadů změn klimatu.

3. Pomocí nakalibrovaného hydrologického modelu a scénářových řad je provedena simulace hydrologické bilance pro scénářové období.

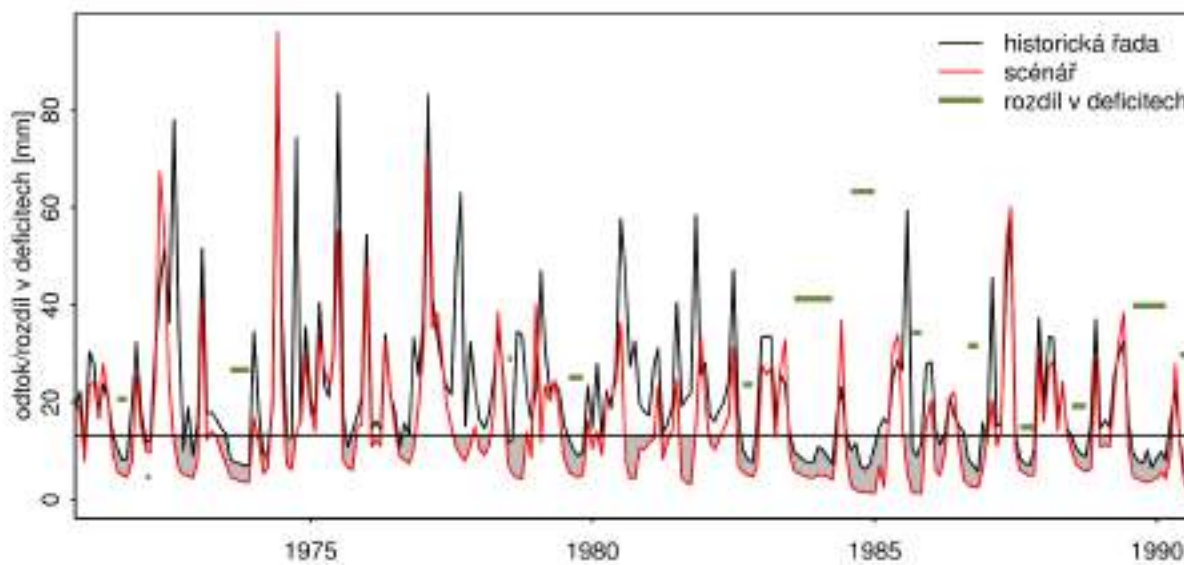
Nakalibrované hydrologické modely je možno použít k simulaci několika období:

- pozorované srážky, teplota a odvozená potenciální evapotranspirace - tato data jsou dostupná pro období 1. 1. 1950 – 31. 12 2017
- pro scénáře změny klimatu zohledňujících změny mezi obdobími 1970–2000 (kontrolní období) a obdobími 2020–2050 (blízká budoucnost)
- pro scénáře změny klimatu zohledňujících změny mezi obdobími 1970–2000 a obdobími 2070–2100 (vzdálená budoucnost)

### Vyhodnocení změn hydrologické bilance

V této kapitole je popsáno vyhodnocení změn veličin ovlivňujících hydrologickou bilanci (srážky, teploty, výpar), důležitých složek hydrologické bilance (celkový odtok, zásoba vody v půdě, zásoba podzemní vody) a ukazatelů sucha (deficitní objemy).

Vzhledem k rozsahu celého souboru simulací klimatických modelů je vyhodnocení primárně zaměřeno na statistické shrnutí sad simulací klimatických modelů, tak jak se uvádí v běžných metodických doporučeních. Výsledkem vyhodnocení změn jedné veličiny (např. průměrného letního odtoku pro určité povodí) tak není jedno číslo, ale číslo reprezentující střední odhad a interval, ve kterém se nachází odhady změn této veličiny pro jednotlivé simulace klimatických modelů. Tento interval je v dalším hodnocení ještě zpravidla rozdělen na dvě části – užší, zahrnující polovinu simulací a širší, zahrnující 90 % simulací.



Obrázek 8: Příklad odvození rozdílů mezi deficity v pozorované a projektované řadě (šedé polygony)

### Nedostatkové objemy

Pro vyhodnocení hydrologického režimu v období sucha byly uvažovány tzv. nedostatkové objemy (Tallaksen a van Lanen, 2004; Van Loon, 2015). Jedná se o index, který je hojně používán v České republice i v Evropě pro studium dynamiky sucha. Nedostatkový objem je definován na základě prahového průtoku. Pokud je průtok pod tímto prahem, jedná se dle této definice o sucho a objem vody, který by byl potřeba pro dorovnání průtoku na zvolený práh je označován jako nedostatkový objem. Sucho lze na základě tohoto konceptu dělit na jednotlivé události - tj. období, kdy je průtok soustavně pod zvoleným prahem. Pro eliminaci drobných such uprostřed delších období sucha, se někdy uvažuje určité období (např. 3-7 dní), po které může být průtok nad zvoleným prahem. Kromě samotného nedostatkového objemu můžeme dále uvažovat délku události sucha, případně intenzitu sucha.

Vyhodnocení změn nedostatkových objemů je znázorněno pomocí příkladu na obr. 8. Černá čára zde znázorňuje průběh pozorovaných odtoků. Období sucha nastává, pokud černá čára je pod prahem reprezentovaným černou vodorovnou čarou. Červeně jsou znázorněny odtoky dle scénáře změny klimatu. Opět, pokud červená čára poklesne pod práh (černá vodorovná čára) mluvíme o suchu. Rozdíl mezi nedostatkovým objemem dle scénáře změny klimatu a dle pozorovaných dat (rozdíl v plochách ohraničených z jedné strany prahem a z druhé strany průběhem průtoků) pak vyjadřuje změnu nedostatkových objemů způsobenou změnou klimatu.

Standardně se v České republice používá práh odpovídající 10% nebo 20% kvantilu průtoků. Pro účely této studie se vychází z údajů o požadavcích na průtoky pro fungování plavebního stupně. Technická opatření a dosažené limitní hloubky ponoru se opírají o průtoky dosažené v profilu průměrně ve 180, 270 a 345 dnech v roce, tj. jedná se o m-denní průtoky  $Q_{180d}$ ,  $Q_{270d}$  a  $Q_{345d}$ .

Z toho důvodu probíhalo hodnocení nedostatkových objemů vzhledem k prahům definovaným těmito m-denními vodami. Interpretace výsledků je pak přímočará – změna nedostatkových objemů vzhledem k vybranému prahu vyjadřuje o kolik procent se zvýší nebo sníží objem vody potřebný pro dorovnání průtoku na daný práh.

### Minimální 7denní průtok

Dalším uvažovaným indexem byl minimální sedmidenní průtok. Tento index je hojně využíván v západní Evropě (např. v Německu) i jinde ve světě. Naopak u nás se příliš nevyužívá. Výpočet indexu probíhá tak, že časová řada průměrných denních průtoků je vyhlazena 7denním klouzavým průměrem a pro každý rok a každé roční období je pak vybráno minimum. Při vyhodnocení budou opět uvažovány změny těchto minim mezi kontrolním a scénářovými obdobími.

## 4 Výsledky

### 4.1 Kalibrace a validace hydrologických modelů

Simulační účinnosti modelů BILAN a GR4J, získané při kalibraci i validaci, jsou uvedeny v tab. 3 pro GR4J a tab. 9 pro BILAN. V tabulkách jsou prezentovány jednak hodnoty KGE, tak i odpovídající hodnoty NSE (Nash–Sutcliffeův koeficient shody, který odvodili [Nash a Sutcliffe \(1970\)](#)) a RMSE (střední kvadratická chyba nebo směrodatná odchylka reziduí modelu), index  $_{kal}$  a  $_{val}$  značí hodnotu při kalibraci, respektive při validaci. Kritérium NSE je definováno

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (R - R_{sim})^2}{\sum_{i=1}^N (R - \bar{R})^2} \quad (9)$$

kde  $N$  je počet simulovaných hodnot,  $R$  je měřený odtok [ $\text{mm} \cdot \text{den}^{-1}$ ],  $R_{sim}$  je simulovaný odtok [ $\text{mm} \cdot \text{den}^{-1}$ ] a  $\bar{R}$  je průměrný měřený odtok. Kritérium RMSE je stanoveno dle

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (R - R_{sim})^2} \quad (10)$$

se stejnou definicí proměnných jako u NSE.

Vypočtené optimální sady parametrů modelů jsou prezentovány v tab. 4 pro GR4J a 10 pro BILAN. Soubor parametrů modelu BILAN byl vybrán na základě vyhodnocení ensamble 100 nejlepších sad parametrů, které byly získány stochastickým optimalizačním algoritmem SCDE. Vybranný model reprezentuje odhad maximálně věrohodného modelu dle kritéria KGE z testovaného souboru sto sad parametrů pro každé povodí.

Tabulka 3: Kritéria kvality modelu GR4J.

ID	Profil	$NSE_{kal}$	$NSE_{val}$	$KGE_{kal}$	$KGE_{val}$	$RMSE_{kal}$	$RMSE_{val}$
226000	Bílina-Trmice	0.56	0.08	0.79	0.08	0.29	0.08
244000	Kamenice-Hřensko	0.61	0.60	0.81	0.60	0.50	0.60
240000	Labe-Děčín	0.86	0.81	0.93	0.81	0.16	0.81
HR-DC	Labe-Hřensko	1.00	1.00	1.00	0.99	0.01	0.01
6340120	Labe-Dresden	0.86	0.83	0.93	0.83	0.16	0.83
245000	Labe-Hřensko	0.88	0.81	0.94	0.81	0.15	0.81
DR-HR	Labe-Dresden	0.99	0.99	1.00	0.96	0.03	0.05
DC-UL	Labe-Děčín	1.00	1.00	1.00	0.98	0.02	0.03
221000	Labe-Ústí	0.85	0.81	0.93	0.81	0.16	0.81
6340430	Lachsbach-Porschdorf	0.77	0.77	0.89	0.77	0.46	0.77
6340415	Lockwitzbach-Kreischa	0.72	0.76	0.86	0.76	0.39	0.76
6340410	Mueglitz-Dohna	0.70	0.67	0.85	0.67	0.84	0.67
6340420	Wesenitz-Elbersdorf	0.76	0.56	0.88	0.56	0.39	0.56

Z tabulek 3 a 9 je patrné, že oba použité modely dosahují dobrých simulačních účinností na většině povodí jak v kalibrační, tak i ve validační fázi (pokles mediánu KGE byl pro GR4J 0,12 a pro BILAN 0,08 při přechodu z kalibrační do validační fáze). Pro zvolený časový krok a velikost povodí jsou obecně za dobré považovány simulace s hodnotou  $NSE > 0,5$ – $0,64$  (Moriasi et al., 2007; Chiew a McMahon, 1993; Crochemore et al., 2015) a  $KGE > 0,7$  (Crochemore et al., 2015). Nakalibrované modely s výše uvedenými simulačními účinnostmi je možné použít pro výpočty změny hydrologických veličin dle scénářů klimatické změny.

Výsledné hodnoty kritérií (tab. 3 a 9) ukazují téměř absolutní shodu mezi pozorovanými a simulovanými odtoky na mezipovodích. V některých případech je zaokrouhlená hodnota  $KGE = 1,00$  a  $NSE = 1,00$ . Nezaokrouhlená hodnota kritérií není nikdy rovna jedné. Nicméně takto vysoké hodnoty kritérií souvisí s použitým kalibračním postupem pro tato povodí (viz kap. 3.3).

Nejhorších simulačních účinností bylo dosaženo na povodí Bíliny (GR4J) a povodí Lockwitzbach (BILAN). V případě Bíliny můžeme tento výsledek spojit s vysokou mírou antropogenního ovlivnění toku, zejména v jeho střední části. Jedná se o vodní tok protékající těžební oblastí, který byl při postupu těžby silně regulován a překládán. Bílina je také v cca 3km délce zatrubněna. V případě povodí Lockwitzbach je nejpravděpodobnější příčinou celková rozkolísanost odtoku v kombinaci s velmi častým podhodnocením kulminací jednotlivých odtokových událostí v rámci kalibrační i validační časové řady (viz obr. 11 a 12).

Grafické porovnání měřených a simulovaných odtoků je provedeno v podobě bodových grafů (obr. 9, 10 pro GR4J a 11, 12 pro BILAN) a hydrogramů odtoku (obr. 13 a 14).

Bodové grafy ukazují závislost simulovaného odtoku ( $R_{sim}$  [ $\text{mm}\cdot\text{den}^{-1}$ ]) a měřeného odtoku ( $R$  [ $\text{mm}\cdot\text{den}^{-1}$ ]). Červená přímka značí shodu mezi  $R_{sim}$  a  $R$ .

V prezentovaných hydrogramech je černě vyznačen měřený odtok, červeně simulovaný odtok

Tabulka 4: Parametry modelu GR4J.

ID	Profil	X1	X2	X3	X4	X5	X6
226000	Bílina-Trmice	639.06	2.04	72.97	2.27	0.06	3.13
244000	Kamenice-Hřensko	1327.40	0.41	35.52	1.42	0.01	3.93
240000	Labe-Děčín	464.05	-0.64	113.46	3.72	0.29	8.29
HR-DC	Labe-Hřensko	169.02	-0.06	218.86	3.00	0.55	4.68
6340120	Labe-Dresden	515.16	-0.50	104.34	4.06	0.05	8.34
245000	Labe-Hřensko	432.68	-0.79	104.04	3.62	0.00	3.23
DR-HR	Labe-Dresden	172.95	-2.54	165.47	3.00	0.05	2.00
DC-UL	Labe-Děčín	1080.85	0.74	92.11	3.00	0.01	60.83
221000	Labe-Ústí	437.03	-0.77	112.17	3.57	0.01	6.43
6340430	Lachsbach-Porschdorf	497.26	1.03	53.78	1.34	0.00	3.49
6340415	Lockwitzbach-Kreischa	276.58	-3.23	57.14	1.40	0.08	13.65
6340410	Mueglitz-Dohna	109.09	1.24	33.98	2.16	0.73	2.80
6340420	Wesenitz-Elbersdorf	834.63	0.17	37.73	1.46	0.01	9.68

modelem GR4j a modře simulovaný odtok modelem BILAN. Hydrogramy odpovídají délce jednoho roku. Pro zobrazení byl vybrán rok s průměrným ročním odtokem odpovídajícím 2. kvartilu ze všech průměrných ročních odtoků. Výběr byl proveden zvlášť pro kalibraci a validaci.

Z obr. 9 až 14 je patrné, že oba modely celkem spolehlivě simulovaly nízké a střední odtoky (viz např. obr. 9 pro Labe v Drážďanech), avšak oba dva modely často podhodnocovaly kulminace jednotlivých odtokových událostí v rámci použitých časových řad (např. viz obr. 11 a 12 pro povodí Müglitz). Větší tendence pro podhodnocení byla u modelu BILAN.

Z prezentovaných hydrogramů odtoku je patrná rychlejší reakce modelu BILAN na příčinnou srážku a tedy i rychlejší nástup vzestupných částí jednotlivých odtokových událostí ve srovnání s měřeným odtokem. Toto chování je u BILANU zřejmě důsledkem absence modulu transformace odtoku říční sítí.

V tabulkách 5, 6, 7 a 8 jsou prezentovány vybrané základní charakteristiky period sucha identifikovaných v kalibračních i validačních časových řadách pro všechna uvažovaná povodí. Prezentovanými veličinami jsou: maximální hodnota mezi kumulativními sumami nedostatkových objemů ze všech period sucha v rámci časové řady (mxNO) – lze ji chápat jako nejintenzivnější sucho identifikované v časové řadě, medián určený na základě kumulativních sum nedostatkových objemů ze všech period sucha v rámci časové řady (mdNO), počet period sucha v časové řadě (pocSU) a průměrná délka trvání sucha (pdelSU). Dolní idnexy  $_{mer, GR}$  a  $_{BIL}$  odkazují na měřená data, respektive na časové řady odtoku simulované modely GR4J nebo BILAN.

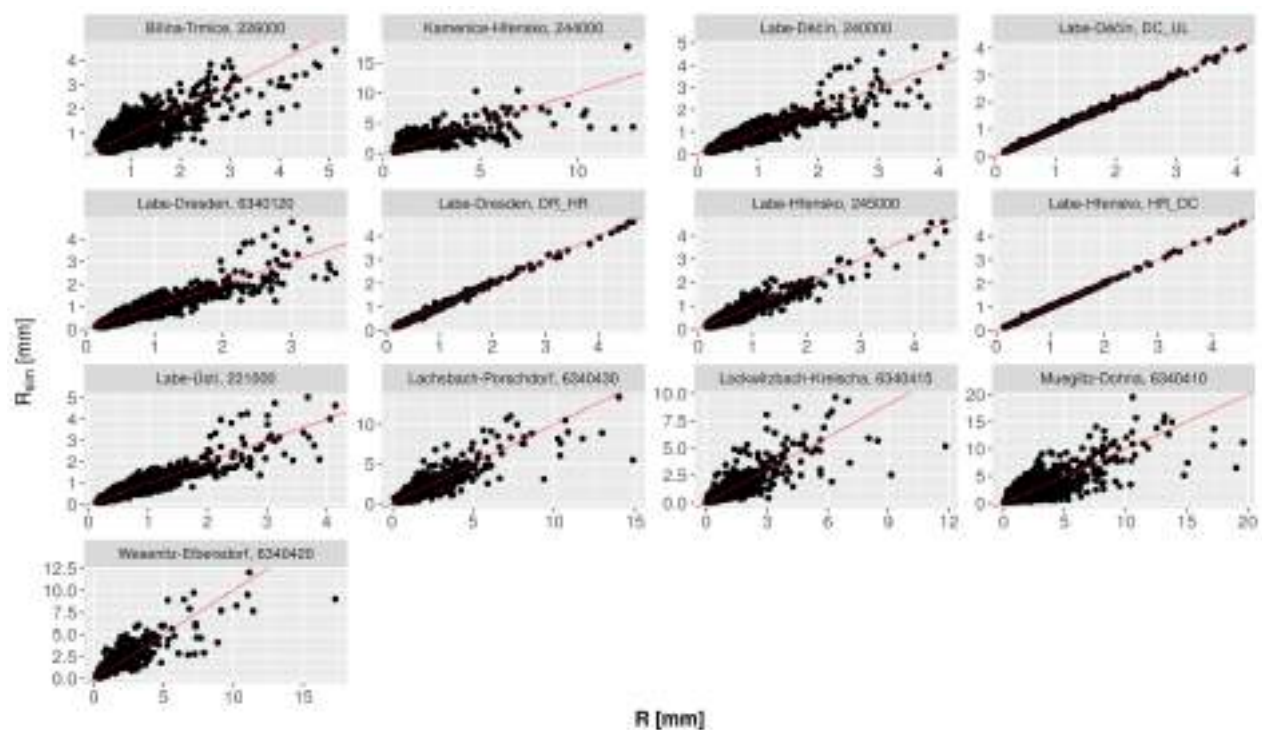
Tabulky 5 a 7 ukazují intenzivnější sucha, vyjádřená formou hodnot mxNO i mdNO, identifikovaná v časových řadách odtoků simulovaných oběma modely v porovnání s měřenými daty (např. viz 5 povodí Kamenice nebo Wesenitz pro oba modely). Srovnáme-li oba použité modely, pak intenzivnější sucha byla identifikována v časových řadách simulovaných odtoků modelu BILAN.

Z tabulek 6 a 8 je dále patrná vyšší četnost period sucha (pocetSU) v časových řadách pozorovaných odtoků v porovnání s časovými řadami simulovaných odtoků (viz tab. 6 povodí Labe s uzávěrovým profilem v Hřensku). Průměrná trvání period sucha (prumdelSU) jsou u simulovaných časových řad častěji výrazně delší. Porovnáme-li výsledky obou použitých modelů, pak v časových řadách simulovaného odtoku modelu BILAN byl identifikován menší počet suchých period, které byly delší v porovnání se suchými periodami v časových řadách simulovaného odtoku modelu GR4J.

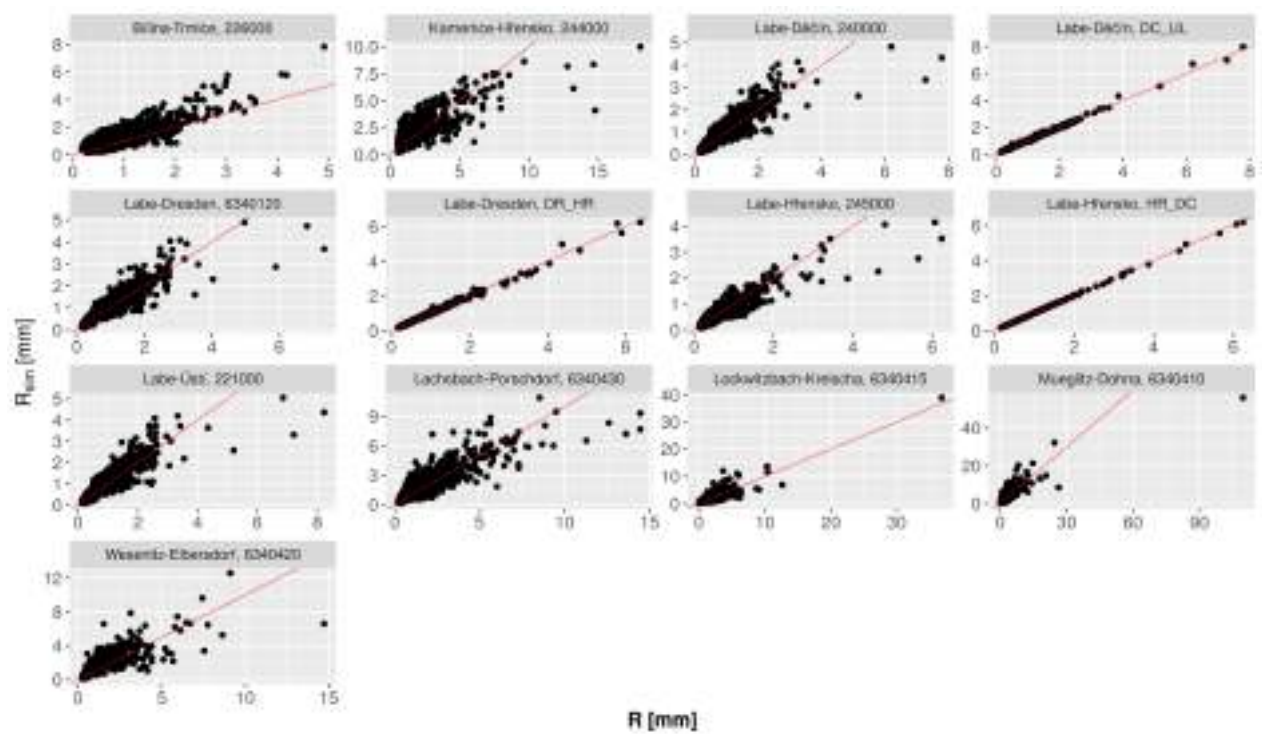
Tabulka 5: Vybrané základní charakteristiky epizod sucha identifikované v kalibračních časových řadách 13 povodí.

ID	profil	$mxNO_{mer}$	$mxNO_{GR}$	$mxNO_{BIL}$	$mdNO_{mer}$	$mdNO_{GR}$	$mdNO_{BIL}$
221000	Labe Ústí	7.76	16.53	28.24	0.19	0.61	7.58
226000	Bílina Trmice	7.58	31.43	26.14	0.35	1.12	0.39
240000	Labe Děčín	7.61	17.43	26.82	0.21	0.74	5.25
244000	Kamenice Hřensko	12.60	41.64	52.53	0.22	0.75	3.12
245000	Labe Hřensko	4.29	21.74	10.58	0.15	0.94	2.07
6340120	Labe Dresden	8.13	16.38	29.47	0.19	0.61	7.85
6340410	Mueglitz Dohna	32.18	23.26	28.68	1.71	1.31	4.80
6340415	Lockwitzbach Kreischa	6.50	8.46	5.37	0.20	0.23	2.00
6340420	Wesenitz Elbersdorf	25.68	47.46	55.19	0.37	1.92	13.24
6340430	Lachsbach Porschdorf	19.52	48.07	49.35	0.42	0.94	5.44
DC-UL	Labe Děčín	7.61	8.42	23.09	0.21	0.20	9.06
DR-HR	Labe Dresden	4.96	4.71	0.00	0.16	0.21	0.00
HR-DC	Labe Hřensko	4.29	4.71	5.95	0.15	0.22	1.49



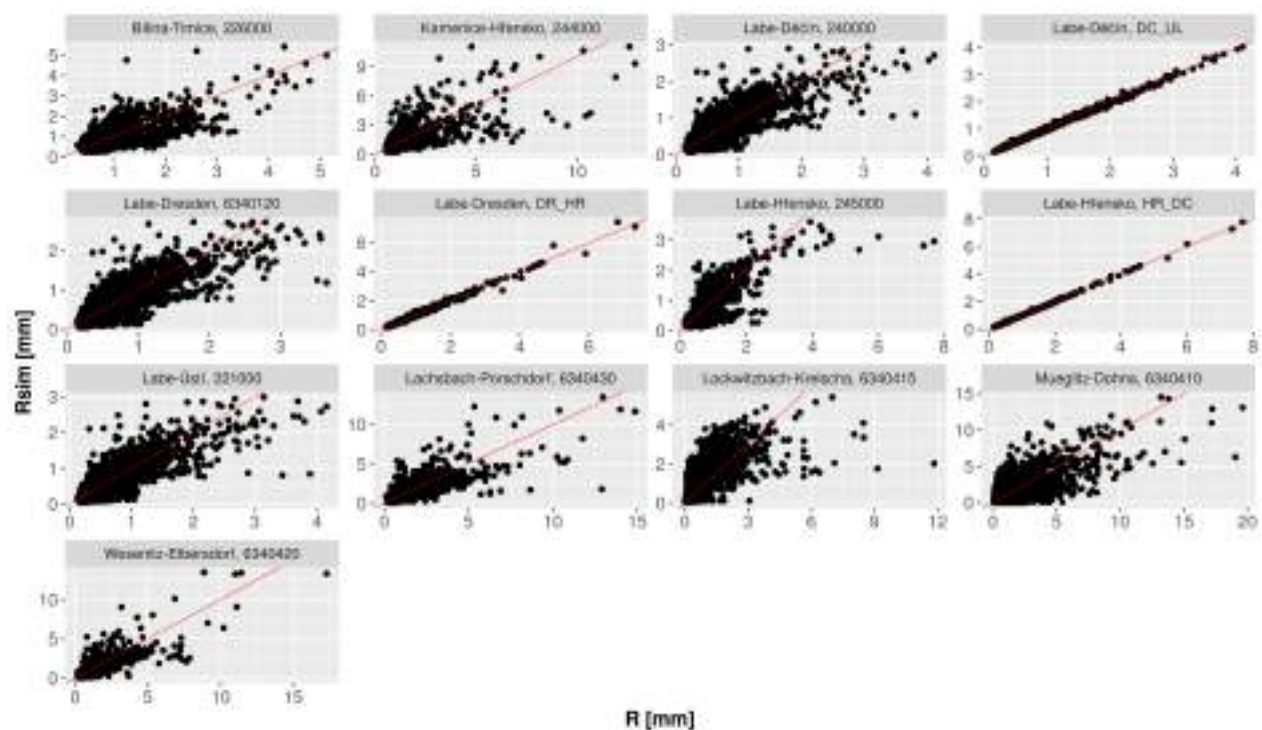


Obrázek 9: Porovnání měřeného a simulovaného odtoku modelem GR4J při kalibraci.

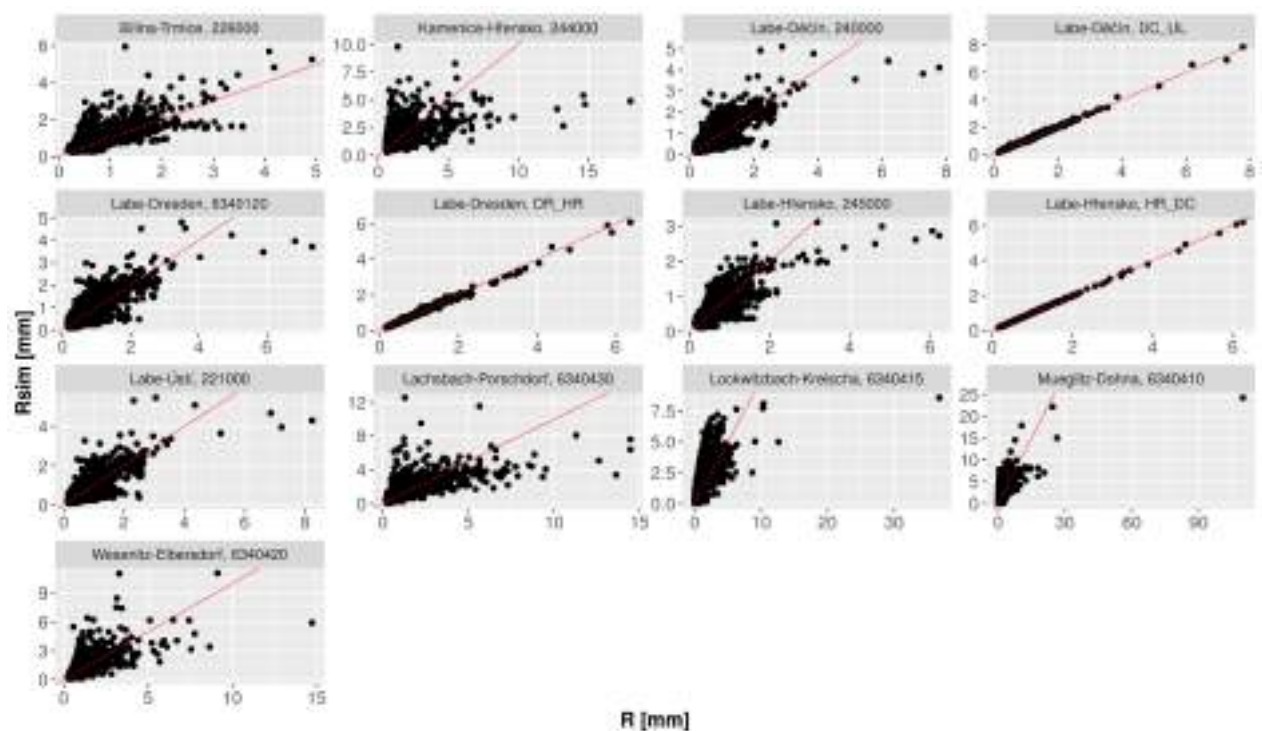


Obrázek 10: Porovnání měřeného a simulovaného odtoku modelem GR4J při validaci.

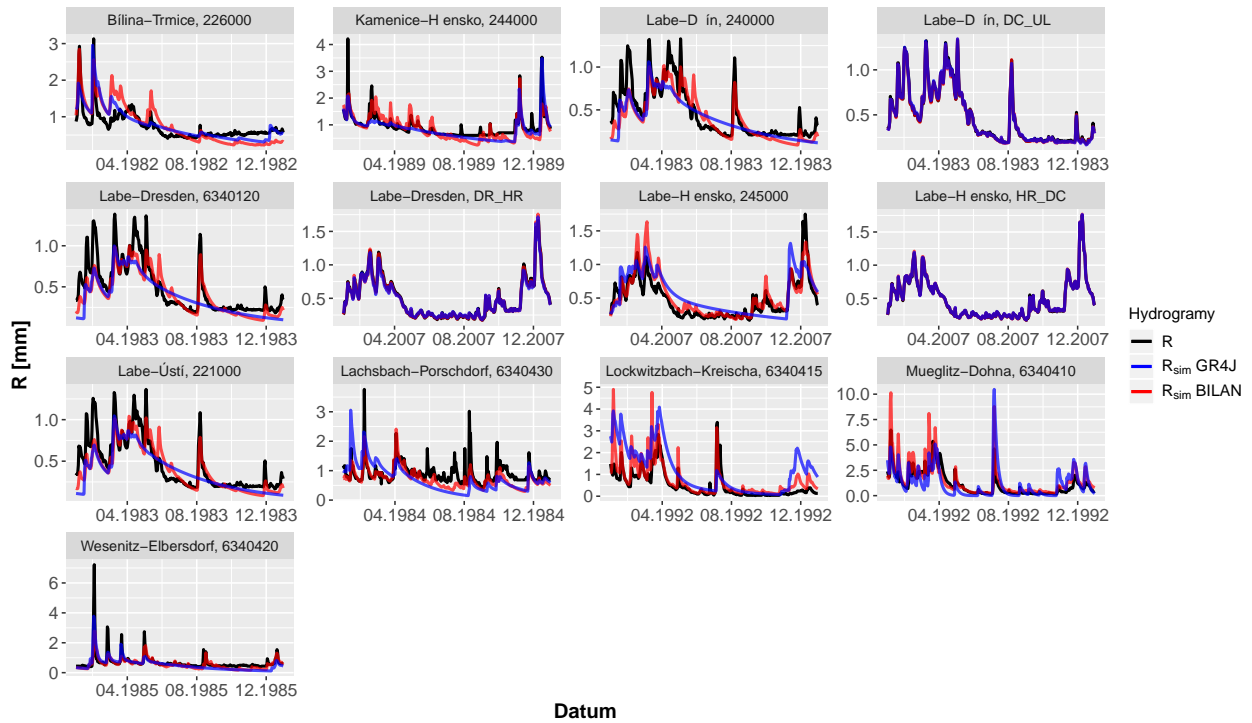




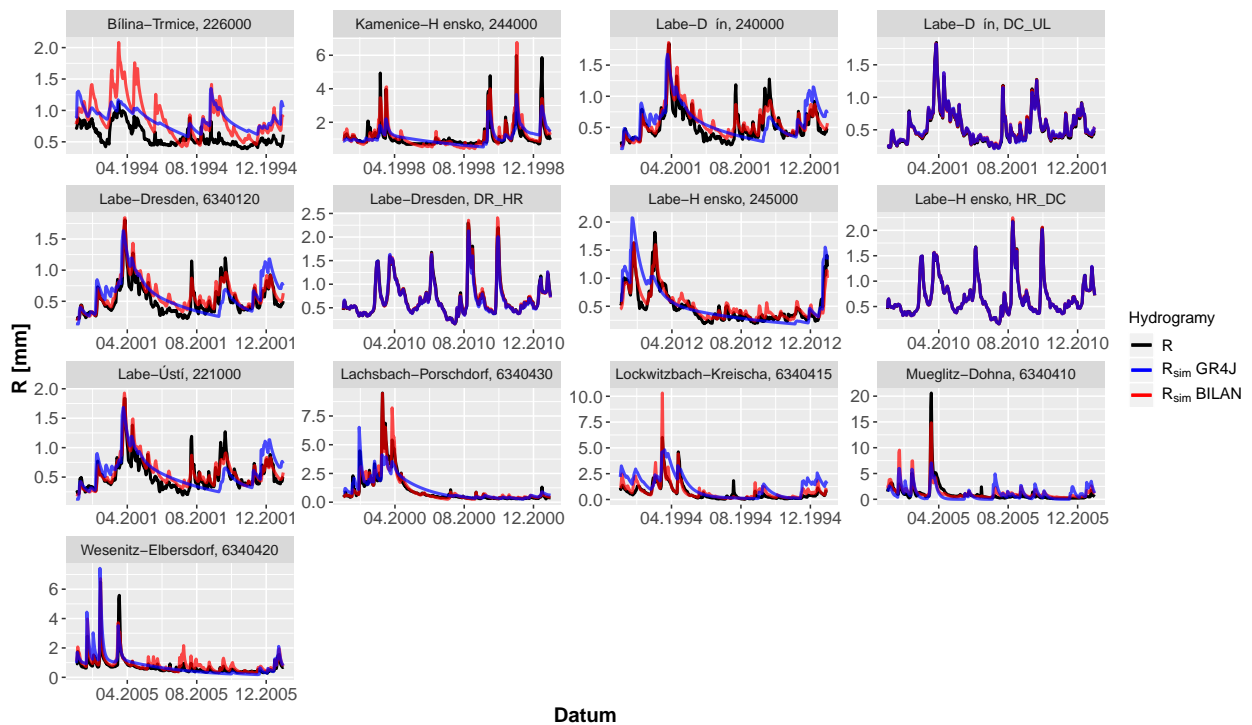
Obrázek 11: Porovnání měřeného a simulovaného odtoku modelem Bilan při kalibraci.



Obrázek 12: Porovnání měřeného a simulovaného odtoku modelem Bilan při validaci.



Obrázek 13: Kalibrace – měřené a simulované hydrogramy modely GR4J a Bilan pro rok se střední hodnotou ročního odtoku



Obrázek 14: Validace – měřené a simulované hydrogramy modely GR4J a Bilan pro rok se střední hodnotou ročního odtoku

Tabulka 6: Vybrané základní charakteristiky epizod sucha identifikované v kalibračních časových řadách 13 povodí.

ID	profil	pocSU <sub>mer</sub>	pocSU <sub>GR</sub>	pocSU <sub>BIL</sub>	pdelSU <sub>mer</sub>	pdelSU <sub>GR</sub>	pdelSU <sub>BIL</sub>
221000	Labe Ústí	34.00	21.00	12.00	29.85	49.24	100.75
226000	Bílina Trmice	33.00	33.00	22.00	32.73	45.09	57.82
240000	Labe Děčín	29.00	19.00	12.00	36.00	56.16	94.75
244000	Kamenice Hřensko	33.00	57.00	17.00	29.39	29.74	70.06
245000	Labe Hřensko	22.00	9.00	7.00	22.91	68.89	77.43
6340120	Labe Dresden	31.00	22.00	12.00	33.13	45.86	103.50
6340410	Mueglitz Dohna	22.00	21.00	72.00	41.77	41.86	30.39
6340415	Lockwitzbach Kreischa	27.00	15.00	8.00	29.78	34.60	75.38
6340420	Wesenitz Elbersdorf	22.00	36.00	14.00	46.59	42.69	99.36
6340430	Lachsbach Porsdorf	22.00	24.00	20.00	45.82	49.58	62.15
DC-UL	Labe Děčín	29.00	33.00	10.00	36.00	33.36	90.30
DR-HR	Labe Dresden	21.00	21.00	0.00	23.62	25.00	0.00
HR-DC	Labe Hřensko	22.00	21.00	3.00	22.91	25.43	55.33

Tabulka 7: Vybrané základní charakteristiky epizod sucha identifikované ve validačních časových řadách 13 povodí.

ID	profil	mxNO <sub>mer</sub>	mxNO <sub>GR</sub>	mxNO <sub>BIL</sub>	mdNO <sub>mer</sub>	mdNO <sub>GR</sub>	mdNO <sub>BIL</sub>
221000	Labe Ústí	10.39	23.83	11.85	0.32	0.85	4.75
226000	Bílina Trmice	10.22	19.77	5.30	0.48	0.05	0.43
240000	Labe Děčín	9.72	23.54	8.88	0.28	0.88	3.14
244000	Kamenice Hřensko	10.00	51.53	27.94	0.39	0.87	1.66
245000	Labe Hřensko	12.57	18.51	14.43	0.21	0.08	2.57
6340120	Labe Dresden	9.78	22.14	10.86	0.34	0.64	5.00
6340410	Mueglitz Dohna	20.56	22.99	32.72	0.38	0.52	1.89
6340415	Lockwitzbach Kreischa	11.52	10.78	7.32	0.34	0.09	1.42
6340420	Wesenitz Elbersdorf	16.08	49.09	39.54	0.28	0.56	3.58
6340430	Lachsbach Porsdorf	22.10	45.17	57.68	0.20	0.19	1.93
DC-UL	Labe Děčín	9.72	10.72	23.89	0.28	0.21	4.87
DR-HR	Labe Dresden	2.57	2.78	0.63	0.57	0.43	0.40
HR-DC	Labe Hřensko	2.80	2.82	16.15	0.49	0.48	0.85

Tabulka 8: Vybrané základní charakteristiky epizod sucha identifikované ve validačních časových řadách 13 povodí.

ID	profil	pocSU <sub>mer</sub>	pocSU <sub>GR</sub>	pocSU <sub>BIL</sub>	pdelSU <sub>mer</sub>	pdelSU <sub>GR</sub>	pdelSU <sub>BIL</sub>
221000	Labe Ústí	28.00	16.00	10.00	37.71	56.06	77.20
226000	Bílina Trmice	28.00	11.00	7.00	37.54	22.36	33.29
240000	Labe Děčín	29.00	16.00	9.00	35.59	54.19	68.78
244000	Kamenice Hřensko	32.00	46.00	13.00	28.69	23.63	46.23
245000	Labe Hřensko	24.00	16.00	9.00	25.67	23.25	75.44
6340120	Labe Dresden	30.00	18.00	9.00	33.90	41.44	81.78
6340410	Mueglitz Dohna	31.00	15.00	75.00	30.65	33.93	22.96
6340415	Lockwitzbach Kreischa	22.00	10.00	6.00	43.32	34.10	70.33
6340420	Wesenitz Elbersdorf	39.00	42.00	15.00	24.44	25.14	72.13
6340430	Lachsbach Porsdorf	34.00	27.00	17.00	30.47	22.81	46.65
DC-UL	Labe Děčín	29.00	30.00	8.00	35.59	31.70	72.50
DR-HR	Labe Dresden	14.00	15.00	2.00	25.86	24.40	41.00
HR-DC	Labe Hřensko	15.00	16.00	3.00	24.13	23.75	74.33

Tabulka 9: Kritéria kvality kalibrace a validace modelu Bilan.

ID	Profil	NSE <sub>kal</sub>	NSE <sub>val</sub>	KGE <sub>kal</sub>	KGE <sub>val</sub>	RMSE <sub>kal</sub>	RMSE <sub>val</sub>
226000	Bílina-Trmice	0.51	0.19	0.76	0.57	0.30	0.35
244000	Kamenice-Hřensko	0.49	0.33	0.75	0.54	0.57	0.73
240000	Labe-Děčín	0.69	0.62	0.84	0.76	0.23	0.28
HR-DC	Labe-Hřensko	1.00	1.00	1.00	0.99	0.01	0.01
6340120	Labe-Dresden	0.69	0.63	0.85	0.77	0.23	0.28
245000	Labe-Hřensko	0.65	0.63	0.84	0.78	0.26	0.25
DR-HR	Labe-Dresden	0.99	0.99	1.00	0.97	0.04	0.05
DC-UL	Labe-Děčín	1.00	1.00	1.00	0.98	0.02	0.03
221000	Labe-Ústí	0.67	0.61	0.83	0.77	0.24	0.29
6340430	Lachsbach-Porsdorf	0.64	0.51	0.82	0.71	0.58	0.70
6340415	Lockwitzbach-Kreischa	0.22	0.20	0.39	0.26	0.64	0.89
6340410	Mueglitz-Dohna	0.49	0.42	0.71	0.56	1.09	1.65
6340420	Wesenitz-Elbersdorf	0.68	0.37	0.84	0.67	0.45	0.49

Tabulka 10: Parametry modelu Bilan.

ID	Profil	Spa	Alf	Dgm	Soc	Mec	Grd
226000	Bílina-Trmice	21.33	0.10	0.82	0.01	0.04	0.01
244000	Kamenice-Hřensko	64.64	0.20	1.29	0.01	0.03	0.01
240000	Labe-Děčín	236.04	0.08	1.67	0.03	0.03	0.01
HR-DC	Labe-Hřensko	40.00	0.20	1.95	0.001	0.04	0.001
6340120	Labe-Dresden	238.35	0.07	1.76	0.03	0.02	0.01
245000	Labe-Hřensko	329.13	0.05	1.74	0.05	0.03	0.005
DR-HR	Labe-Dresden	70.00	0.10	1.11	0.001	0.09	0.001
DC-UL	Labe-Děčín	83.53	0.01	1.32	1.00	1.00	0.02
221000	Labe-Ústí	253.29	0.09	1.80	0.03	0.02	0.01
6340430	Lachsbach-Porschdorf	37.83	0.21	1.67	0.01	0.03	0.02
6340415	Lockwitzbach-Kreischa	260.00	0.06	3.00	0.24	0.03	0.01
6340410	Mueglitz-Dohna	20.00	0.32	1.13	0.001	0.01	0.16
6340420	Wesenitz-Elbersdorf	155.48	0.26	2.67	0.01	0.02	0.01

## 4.2 Hydrologická bilance a její změny

V této kapitole jsou uvedeny odhady dopadů klimatické změny na hydrologický režim povodí dle simulací klimatických modelů pro období 2020–2050 a 2070–2100. Zobrazeny a diskutovány jsou změny veličin ovlivňujících hydrologickou bilanci (srážky, teplota, výpar), důležitých složek hydrologické bilance (celkový odtok, zásoba vody v půdě, zásoba podzemní vody) a charakteristik sucha (nedostatkové objemy, minimální 7denní průtoky).

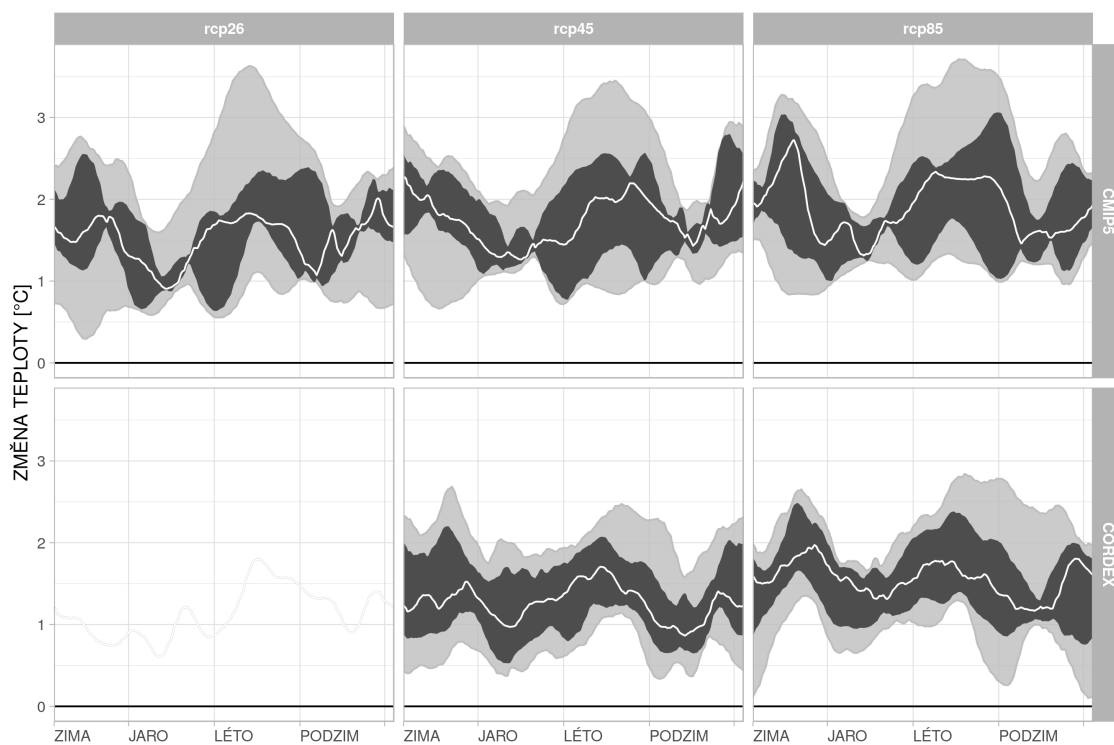
Obrázky jsou vždy sestaveny jako pole grafů o dvou řádcích a třech sloupcích. V řádcích jsou uvedeny výsledky pro sady modelů z projektů CMIP5 a CORDEX, sloupce ukazují výsledky pro tři vybrané scénáře koncentrací skleníkových plynů – RCP2.6 (rcp26), RCP4.5 (rcp45) a RCP8.5 (rcp85). Jednotlivé obrázky jsou pro období 2020–2050 (blízká budoucnost) a pro období 2070–2100 (vzdálená budoucnost). Obrázky jedné prezentované veličiny pro blízkou a vzdálenou budoucnost jsou vykresleny nad sebou. Z důvodu přehlednosti je velká část výsledků prezentována jako změny zprůměrované přes všechna povodí. Výsledky posouzení klimatické změny meteorologických veličin, složek hydrologické bilance a ukazatelů sucha jsou pro každé jednotlivá povodí podrobně uvedeny v přílohách 6.4, 6.1, 6.3 a 6.2.

### Změny meteorologických veličin

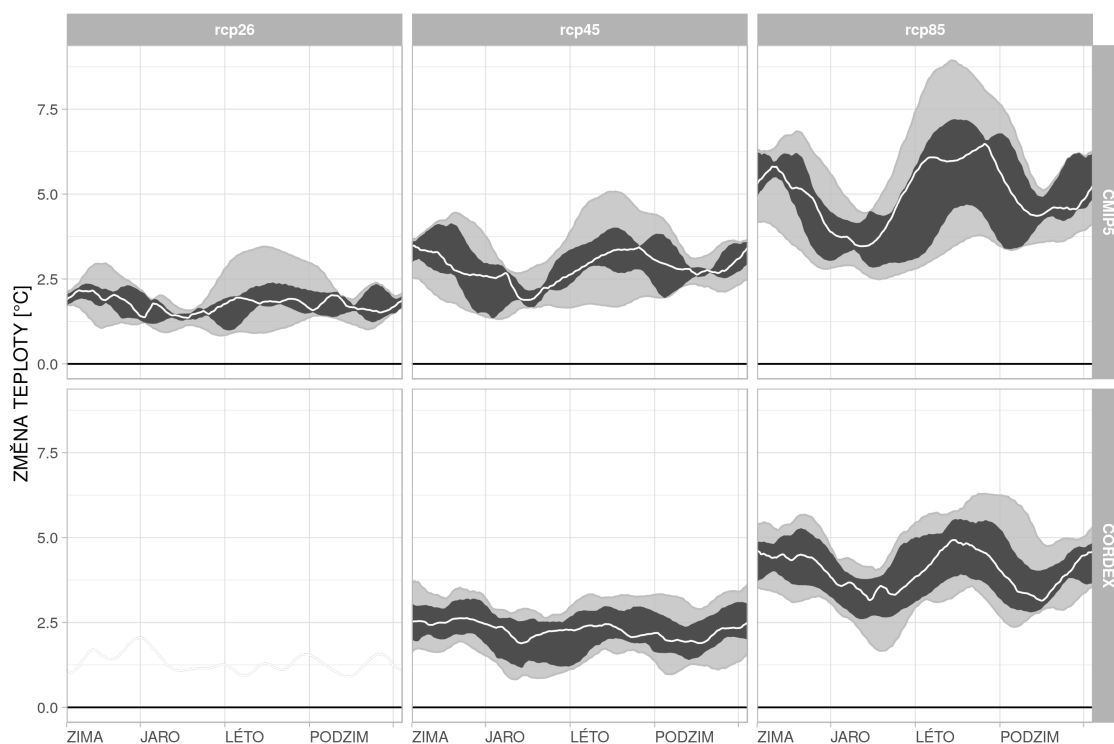
Pro účely studie bylo použito 44 modelů klimatické změny. Z důvodu přehlednosti je proto v grafech změna dané veličiny (svislá osa) pro určitý den v roce (vodorovná osa) reprezentována mediánem změn ze souboru simulací a intervalem ukazujícím rozpětí simulací pro příslušnou kombinaci scénáře koncentrací a sady modelů. Světle šedý polygon odpovídá rozsahu 10.–90. percentilu simulací, tmavě šedá oblast odpovídá mezikvartilovému rozpětí (tj. 25.–75. percentil, polovina simulací leží tedy v tomto intervalu) a světle šedá křivka reprezentuje hodnotu mediánu. Úroveň nulové změny veličiny je v grafech zdůrazněna tučnou horizontální přímkou. Tato úroveň odpovídá situaci, kdy veličina v budoucnosti bude mít stejnou hodnotu jako v kontrolním období. Pro sadu modelů z projektu CORDEX a scénář koncentrací RCP2.6 byla dostupná pouze jedna simulace klimatického modelu. Z tohoto důvodu nejsou pro tuto kombinaci intervaly zobrazeny.

Změnu teplot v průběhu roku pro období 2020–2050 ukazuje obrázek 15. Období 2070–2100 je zobrazeno na obrázku 16. Grafy zobrazující změnu průměrných denních teplot v průběhu roku jsou sestaveny tak, že na horizontální ose grafu je čas s popiskem v podobě ročních období a na vertikální ose je změna teploty ve °C.

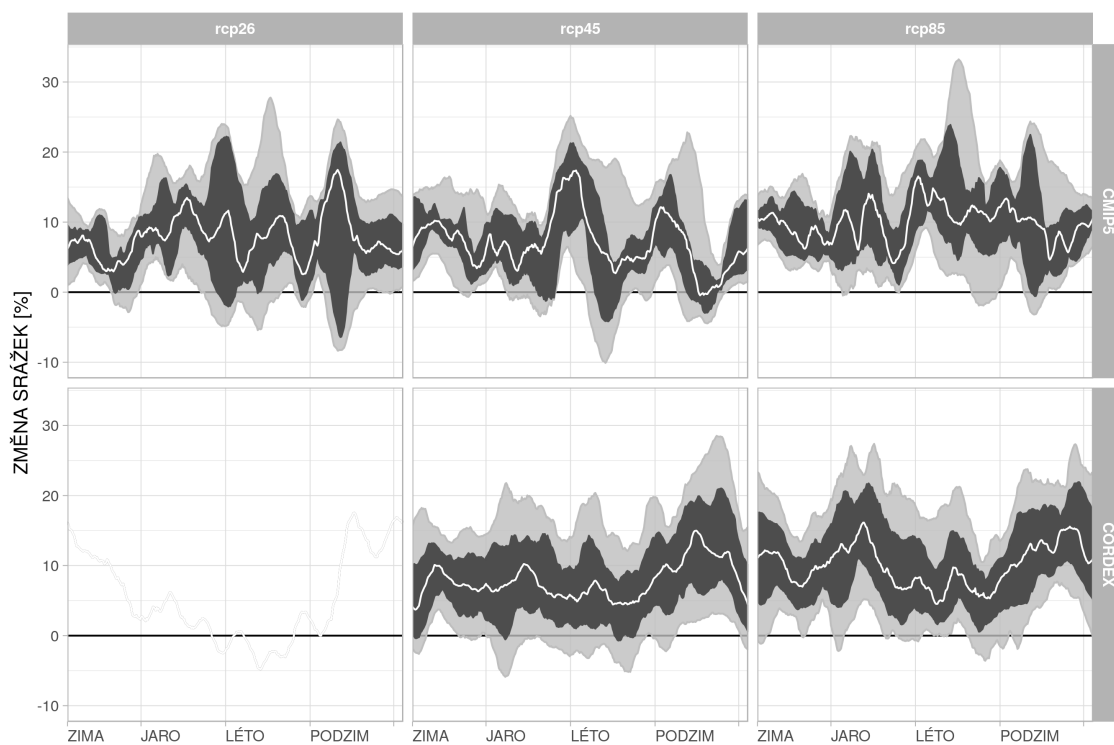
Růst teploty patří k robustním projekcím klimatických modelů. Pro zájmové území této studie předpokládají všechny klimatické modely zvyšování teploty, v období blízké budoucnosti o řádově 1–2 °C (CORDEX simulace), některé CMIP5 modely ukazují pro emisní scénář RCP8.5 nárůst i o 3 °C (ve srovnání s kontrolním obdobím 1970–2000). Pro vzdálenou budoucnost je růst teploty vyšší - CORDEX modely ukazují na růst cca 2.5 °C (pro RCP4.5) až 4 °C (RCP8.5), v sadě modelů z projektu CMIP5 dochází pro RCP8.5 k růstu i o 6 °C, v případě některých modelů i 8 °C. Růst teploty



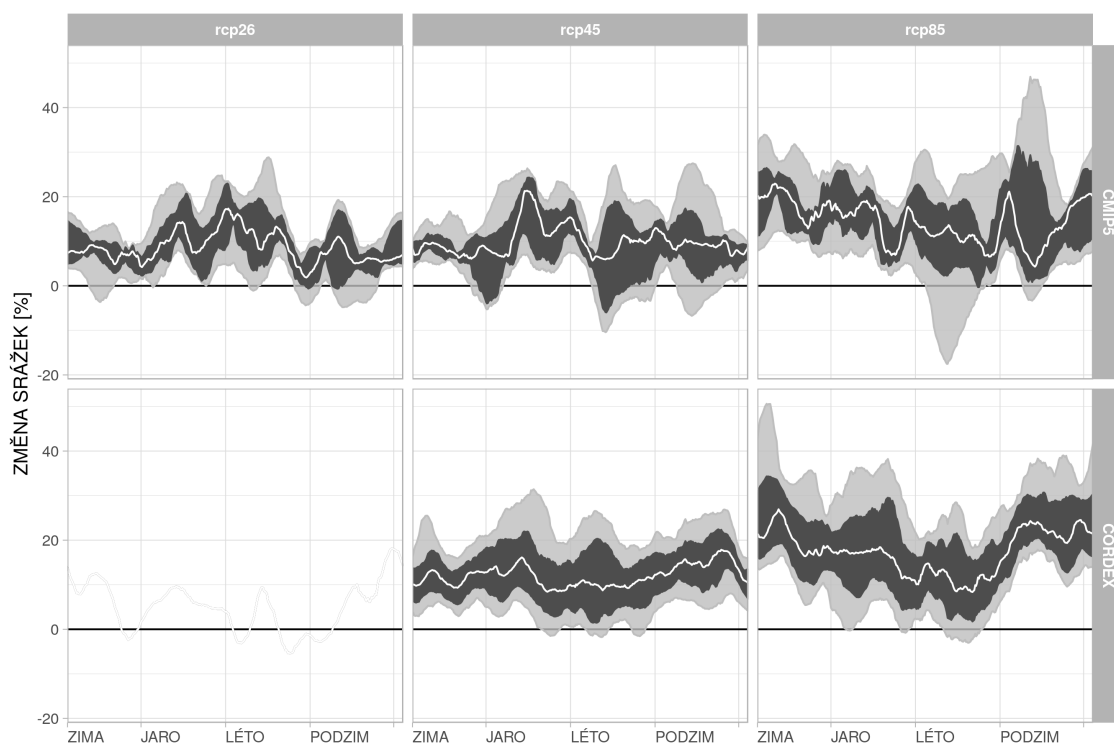
Obrázek 15: Změna teploty, 2020–2050.



Obrázek 16: Změna teploty, 2070–2100.

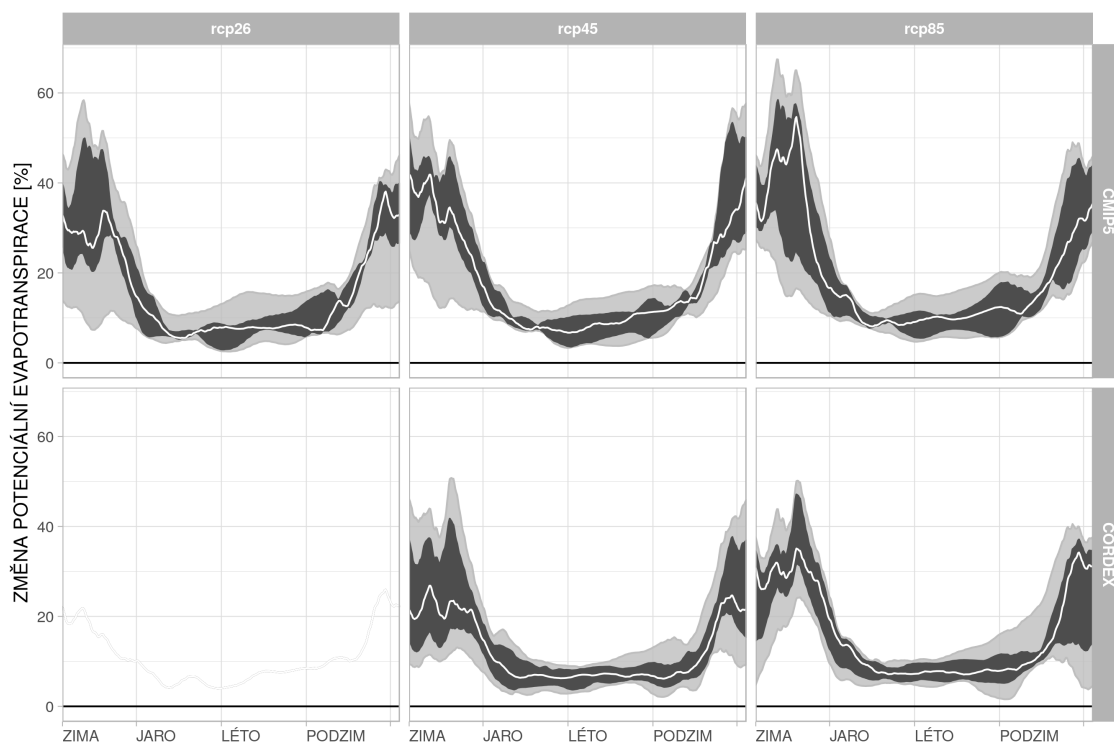


Obrázek 17: Procentuální změna srážkových úhrnů, 2020–2050

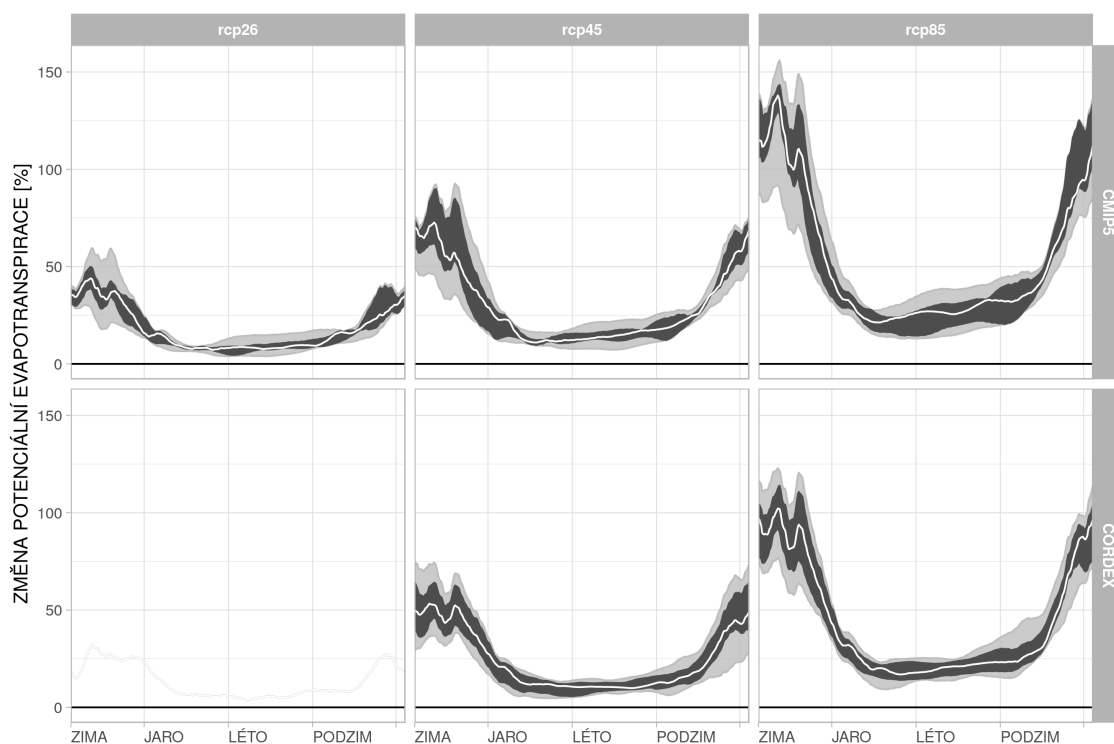


Obrázek 18: Procentuální změna srážkových úhrnů, 2070–2100





Obrázek 19: Procentuální změna potenciální evapotranspirace, 2020–2050.



Obrázek 20: Procentuální změna potenciální evapotranspirace, 2070–2100.

je pro oba časové horizonty větší v letním a zimním období než na jaře a na podzim. Rozpětí, ve kterém leží polovina simulací (černý polygon) je v případě vyšších scénářů koncentrací kolem 2 °C.

Procentuální změnu srážkových úhrnů v průběhu roku pro období 2020–2050 ukazuje obrázek 17, období 2070–2100 je zobrazeno na obrázku 18. Z hlediska změn srážek ukazují simulace obou sad klimatických modelů růst během celého roku. Pro simulace dle vysokého scénáře koncentrací RCP8.5 můžeme pozorovat nižší změny v letním období. Růst srážek je vyšší pro vzdálenější období a zároveň pro vyšší scénáře koncentrací RCP.

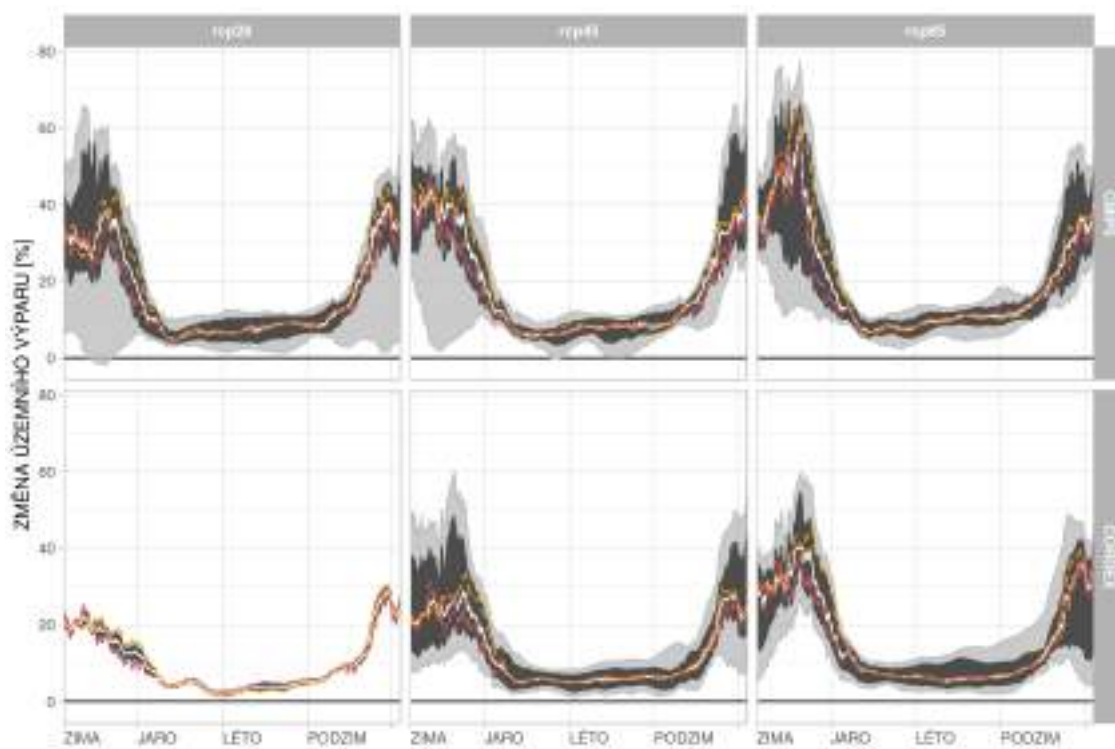
V simulacích klimatických modelů používaných dříve pro odhady dopadů klimatické změny v České republice se tento systematický růst srážkových úhrnů tolik neprojevoval - respektive během letního období předpokládaly dřívější generace scénářů změny klimatu spíše pokles nebo stagnaci srážkových úhrnů.

Procentuální změnu hodnot potenciální evapotranspirace v průběhu roku pro období 2020–2050 ukazuje obrázek 19. Období 2070–2100 je zobrazeno na obrázku 20. Společným rysem je zvyšování potenciální evapotranspirace během celého roku (souvisí se zvyšující se teplotou), zejména pak v zimě. Zvyšování zimní potenciální evapotranspirace je dáno zejména vyšším počtem dní s teplotou nad bodem mrazu (obecně s teplotou umožňující výpar). Vzhledem k nízkým hodnotám současného zimního výparu jsou změny v tomto období velmi vysoké (pro vzdálenou budoucnost a RCP8.5) i více než 100procentní. Nicméně v absolutní hodnotě nejde o výrazně více než jednotky milimetrů za den. Za pozornost stojí rozdíl mezi změnami potenciální evapotranspirace dle sady modelů CMIP5 a CORDEX, kdy CORDEX modely (v souvislosti s nižším růstem teploty) ukazují na nižší růst potenciální evapotranspirace.

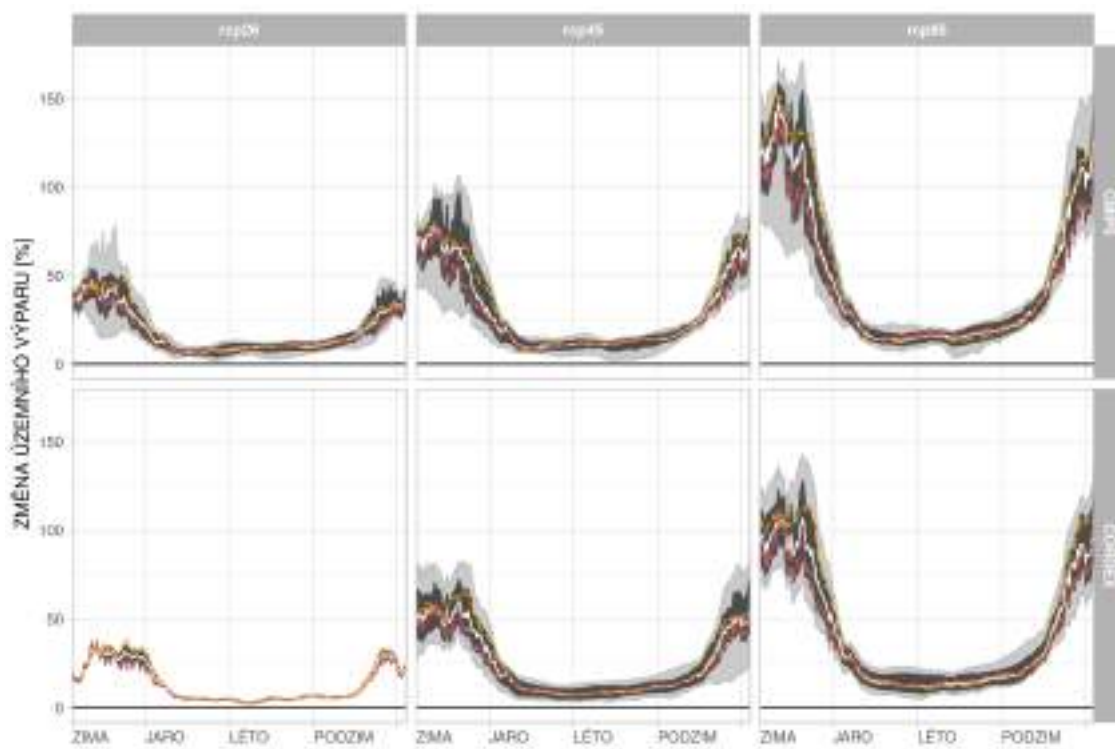
## Změny hydrologických veličin

Na obrázcích 21–28 jsou vykresleny odhady dopadů klimatické změny pro územní výpar, zásobu vody v půdě a základní a celkový odtok. Jedná se o veličiny stanovené hydrologickými modely. Opět je vykreslena nejprve blízká budoucnost a pak vzdálená budoucnost. Grafy pro tyto veličiny jsou sestaveny tak, že na horizontální ose je vynesena čas s popiskem v podobě ročních období a na vertikální ose je změna dané veličiny v procentech. Význam barevných oblastí v grafu je stejný jako bylo uvedeno výše – světle šedá oblast odpovídá 10.–90. percentilu, tmavě šedá oblast je mezikvartilové rozpětí a světle šedá křivka je medián. V těchto grafech je také zobrazena hodnota mediánu zvlášť pro výstup z modelu Bilan (přerušovaná oranžová čára) a GR4J (červená přerušovaná čára).

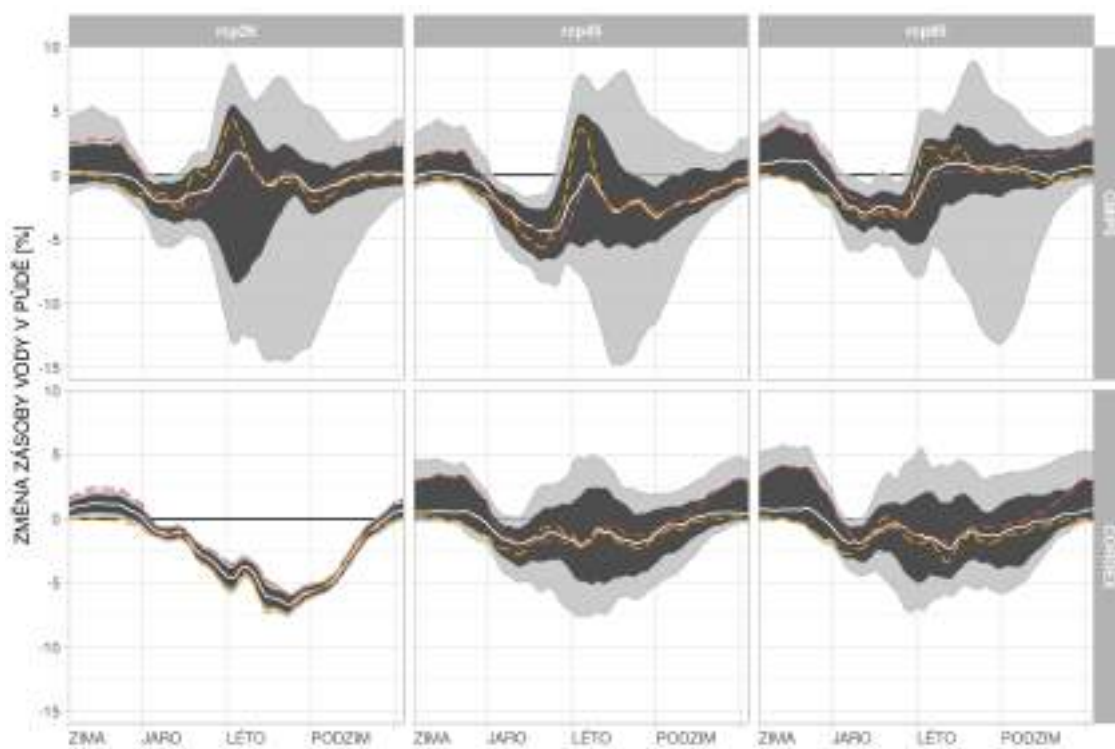
Změny územního výparu (obr. 21–22) do značné míry kopírují změny potenciální evapotranspirace. V zimním období je často dokonce přesahují. To je dáno zvýšenou dostupností vody, vyšší teplotou umožňující výpar a zároveň nízkými hodnotami územního výparu v zimním období pro současnost. Opět lze pozorovat poměrně výrazný rozdíl mezi sadami simulací klimatických modelů CORDEX a CMIP5, kdy CORDEX modely vykazují nižší růst zimního územního výparu.



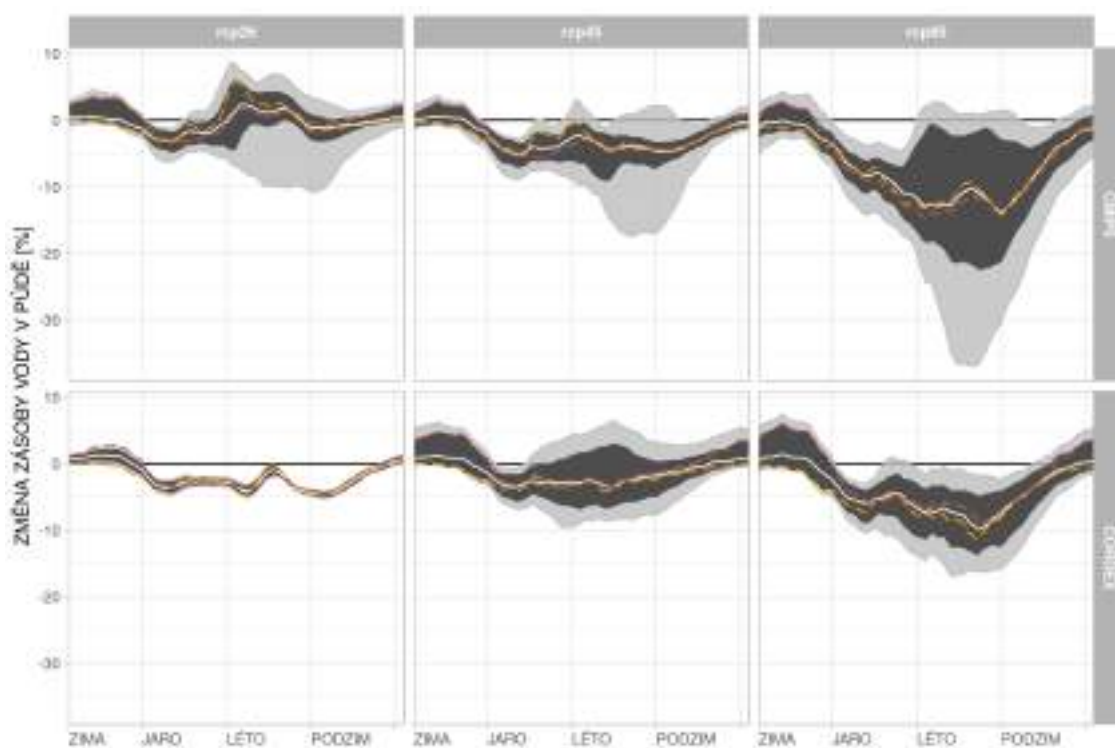
Obrázek 21: Procentuální změna územního výparu, 2020–2050.



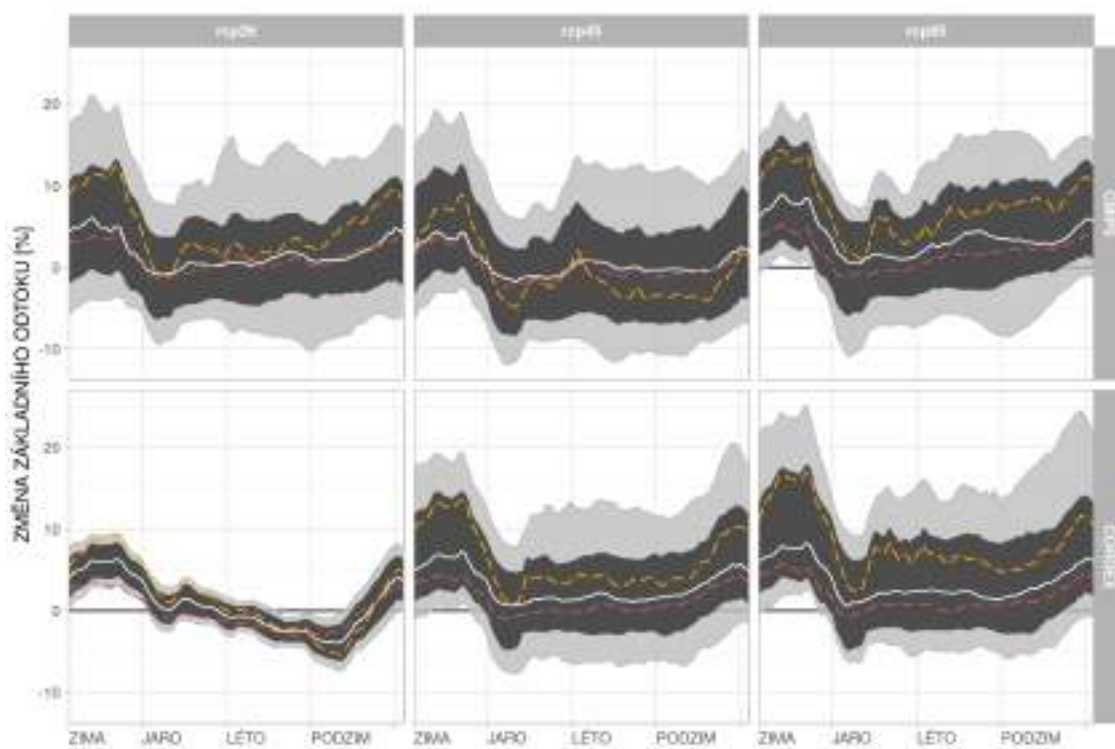
Obrázek 22: Procentuální změna územního výparu, 2070–2100.



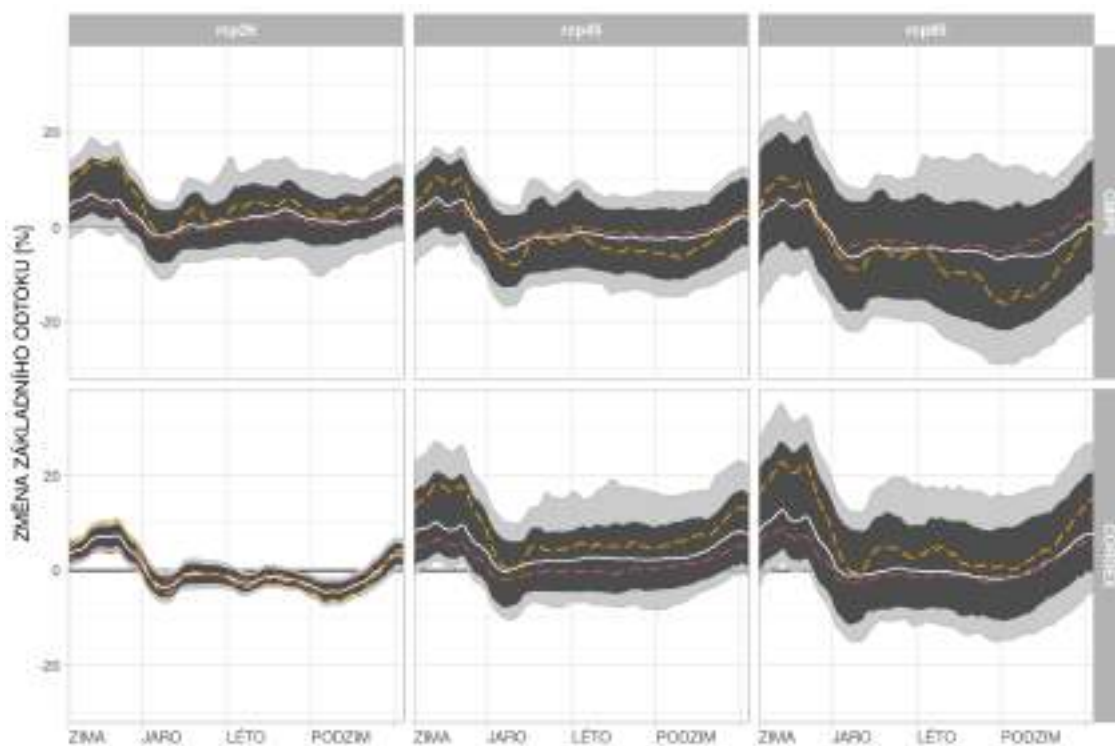
Obrázek 23: Procentuální změna zásoby vody v půdě, 2020–2050



Obrázek 24: Procentuální změna zásoby vody v půdě, 2070–2100

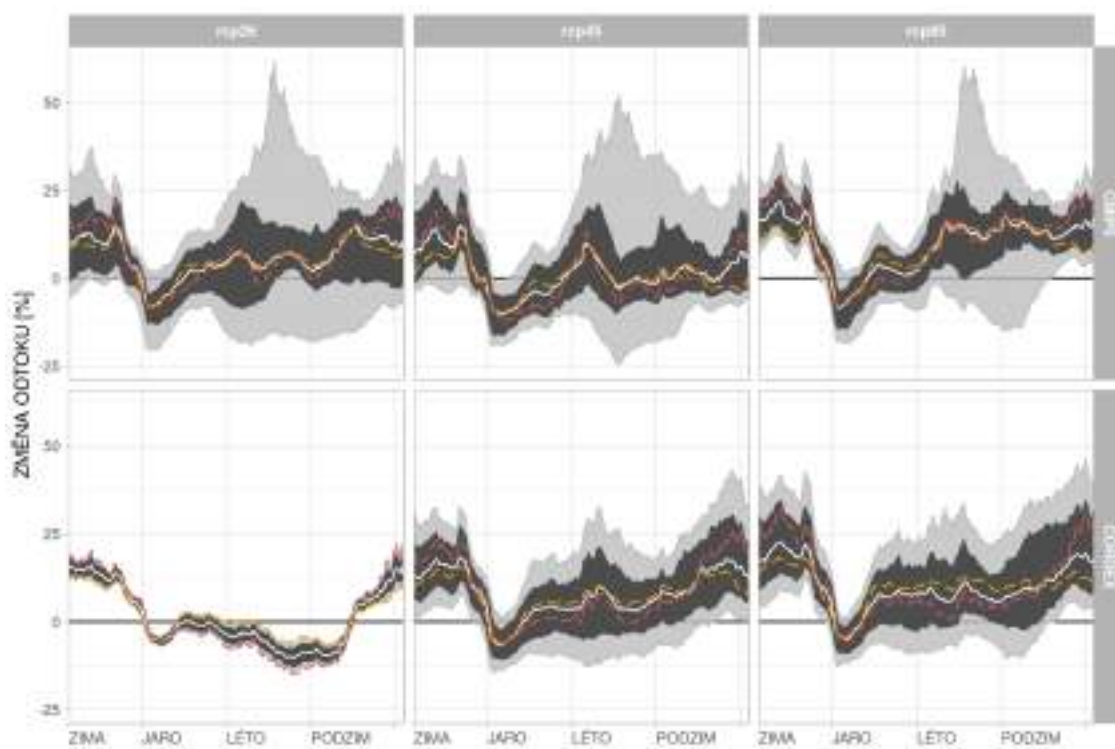


Obrázek 25: Procentuální změna základního odtoku, 2020–2050

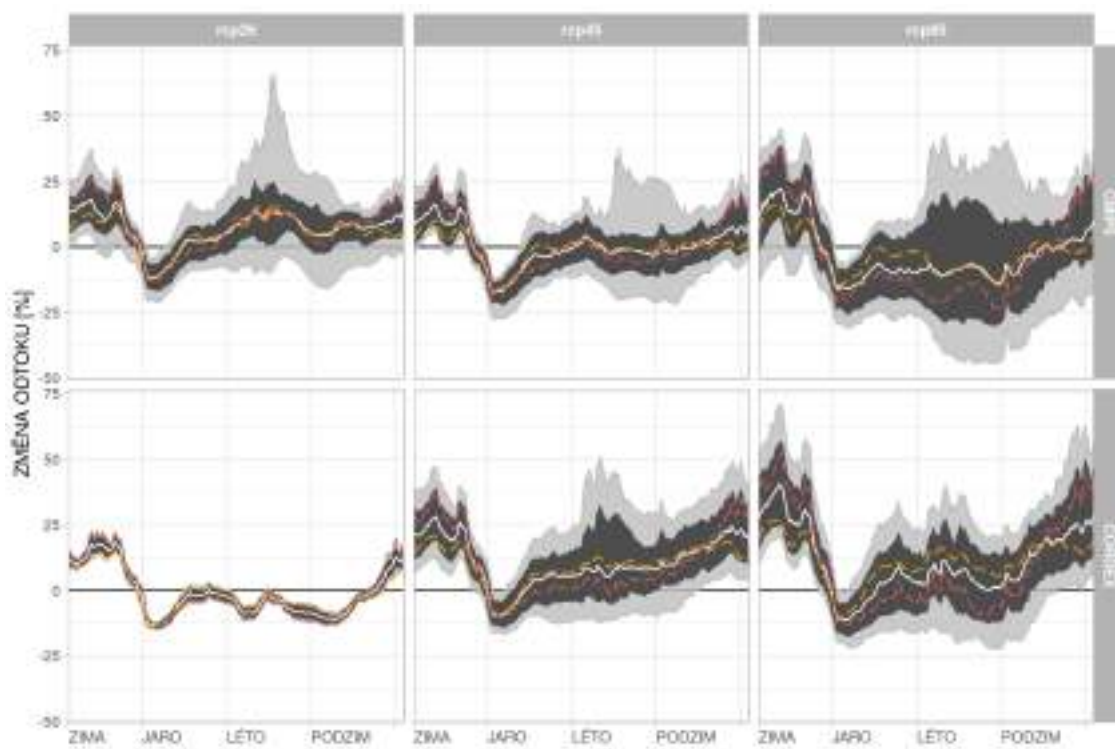


Obrázek 26: Procentuální změna základního odtoku, 2070–2100





Obrázek 27: Procentuální změna celkového odtoku, 2020–2050



Obrázek 28: Procentuální změna celkového odtoku, 2070–2100

Pokles zásoby vody v půdě (obr. 23–24) patří k nejrobustnějším odhadům dopadů klimatické změny na našem území. Zejména ve vzdálenějším období a podle scénáře koncentrací RCP8.5 dochází v letním období a na podzim k poklesu zásob vody v půdě dle téměř všech simulací klimatických modelů. To souvisí se zvyšováním výparu, který nestačí být kompenzován růstem srážek.

Projekce změn odtoku podzemní vody (základního odtoku - obr. 25–26) jsou nejednoznačné - ukazují na stagnaci, v zimním období mírný růst. Projevují se zde i rozdíly mezi hydrologickými modely Bilan a GR4J, které jsou dány jednak chybami v simulaci, jednak rozdíly ve struktuře těchto modelů.

Změny celkového odtoku (obr. 27–28) jsou do značné míry určeny změnami v dynamice sněhové pokrývky. V důsledku kombinace zvýšených srážek a dřívějšího tání sněhové pokrývky se poměrně příkře zvyšuje zimní odtok. Naopak na začátku jara můžeme pozorovat robustní pokles odtoku, který je způsoben absencí tání (sněhová pokrývka se buď vůbec nevytvořila nebo roztála dříve). Po zbytek roku jsou změny odtoku dány bilancováním zvyšujících se srážek a rostoucího výparu. Ve výsledku dochází pro blízkou budoucnost spíše k růstu odtoků, pro vzdálenou budoucnost dle sady CMIP5 k poklesu (v létě cca 20 %), dle CORDEX modelů ke stagnaci.

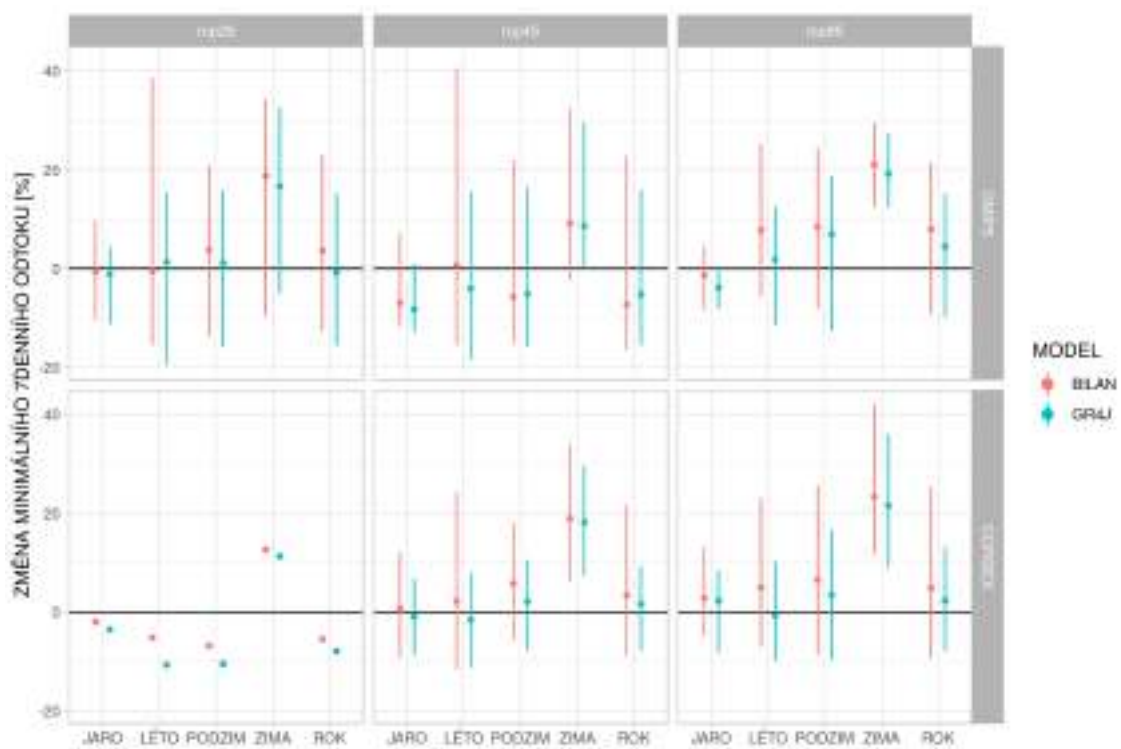
## Změny ukazatelů sucha

Na obrázcích 29–30, je uvedena změna hodnot 7denního minimálního odtoku pro období 2020–2050 a 2070–2100. Grafy zobrazují změny těchto odtoků pro jednotlivá roční období i pro celý rok. Změna je zde vykreslena v podobě vertikální úsečky, která představuje rozsah, ve kterém se pohybují změny odtoků simulované 80 % klimatických modelů (rozsah úsečky je od 10. do 90. percentilu). Bod na úsečce představuje hodnotu mediánu. Na vertikální ose je vynesena změna minimálního 7denního odtoku v procentech.

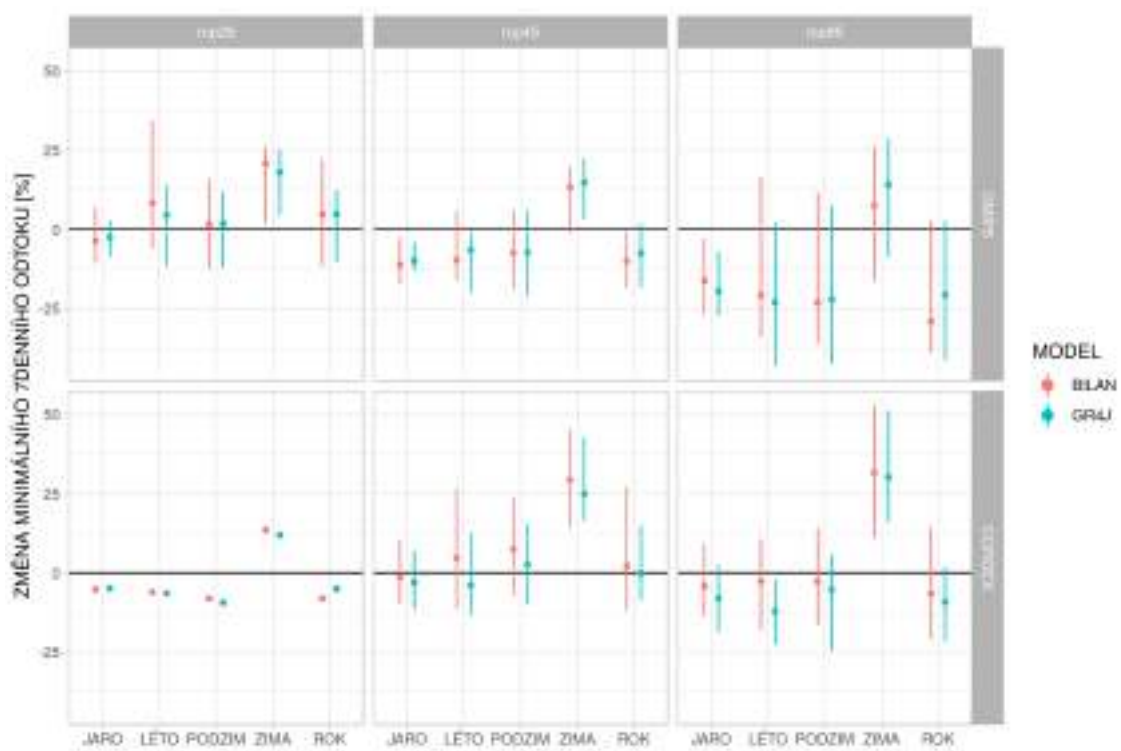
Zatímco pro blízkou budoucnost minimální odtoky spíše stagnují nebo rostou, pro vzdálenou budoucnost lze pozorovat pro CMIP5 sadu modelů pro RCP4.5 a RCP8.5 a pro CORDEX modely pro RCP8.5 zřetelný pokles minim pro všechna roční období mimo zimu.

Grafy změn distribuční funkce deficitních objemů pro tři hodnoty m-denních průtoků –  $Q_{180d}$ ,  $Q_{270d}$  a  $Q_{345d}$  – pro blízkou a vzdálenou budoucnost ukazují obrázky 31–36. Tyto grafy jsou sestaveny tak, že na horizontální ose je vynesena pravděpodobnost z distribuční funkce nedostatkových objemů a na vertikální ose příslušná změna. Nízké hodnoty na horizontální ose odpovídají „malým“ suchům – tj. suchům, která jsou krátká, s nízkými nedostatkovými objemy, naproti tomu, vysoké hodnoty pravděpodobnosti z distribuční funkce ukazují „velká“ sucha. Šedé oblasti odpovídají výstupům modelu Bilan, oranžové oblasti modelu GR4J. Vnější polygon značí rozsah 10.–90. percentilu, vnitřní polygon je mezikvartilové rozpětí a spojitá vnitřní křivka je medián. Plná černá křivka je pro Bilan, červená pro GR4J.

Grafy změn nedostatkových objemů jsou charakteristické značnou nejistotou, která se demonstruje jak v rozpětí mezi klimatickými modely (šířka jednotlivých polygonů na Obr. 31–36) tak rozdíly mezi hydrologickými modely (rozdílná odezva jednotlivých modelů - např. Obr. 36).

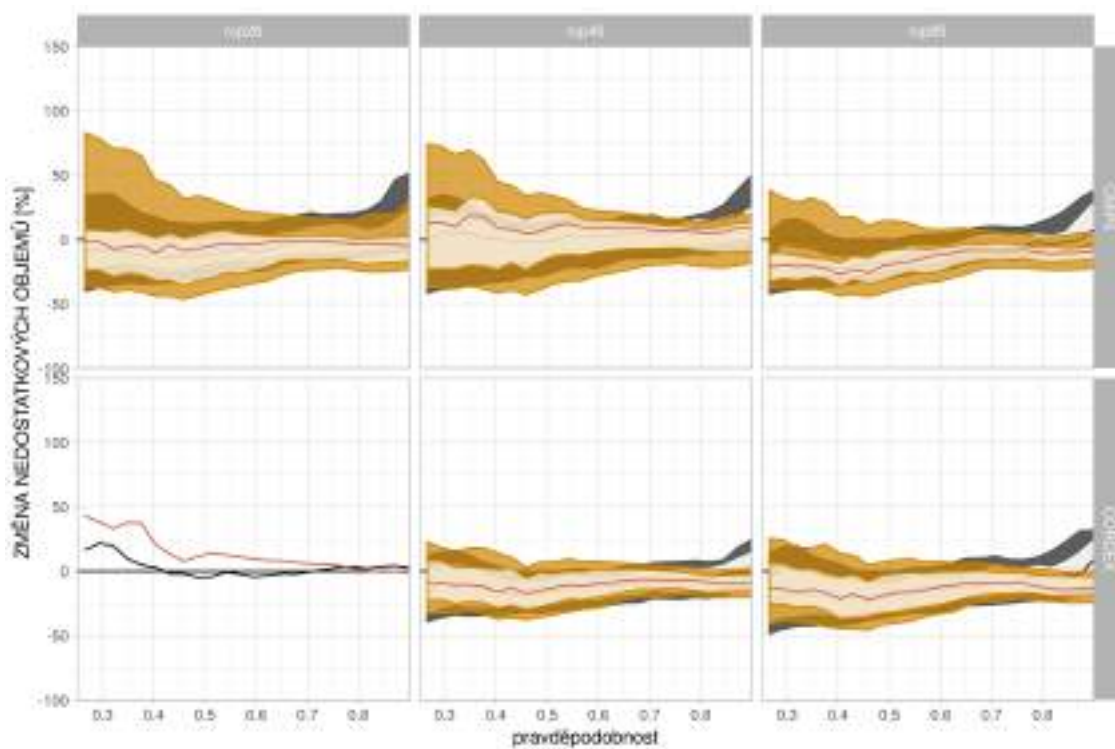


Obrázek 29: Změna 7denního minimálního odtoku, 2020–2050.

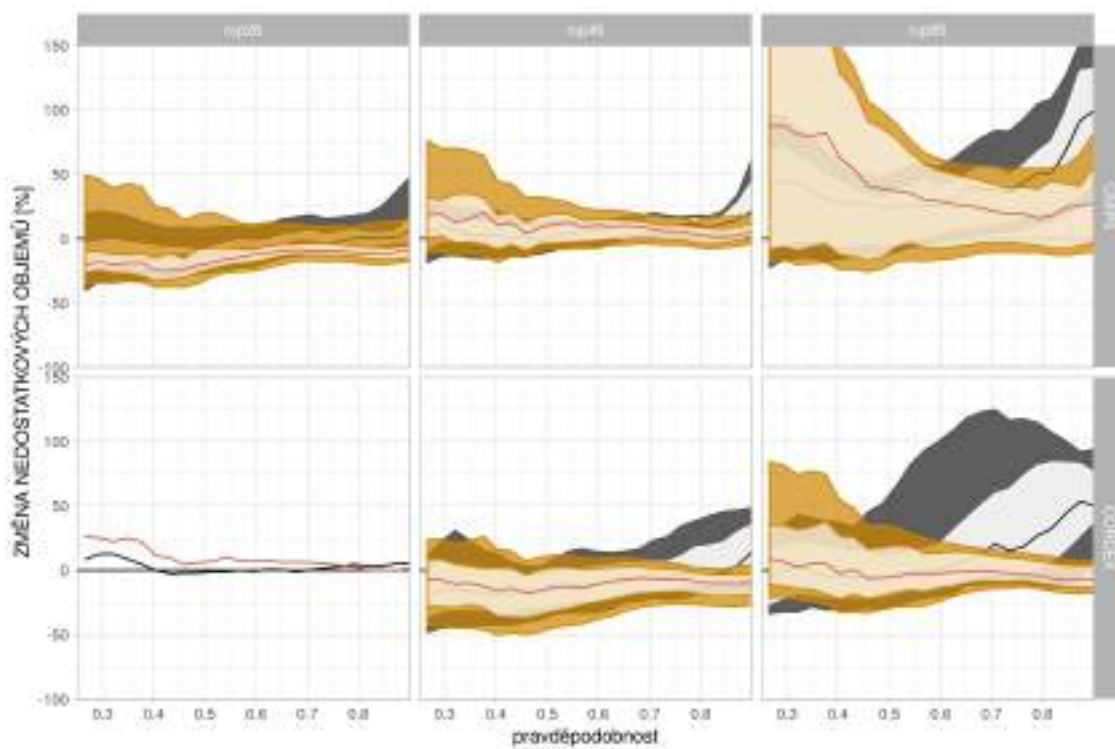


Obrázek 30: Změna 7denního minimálního odtoku, 2070–2100.

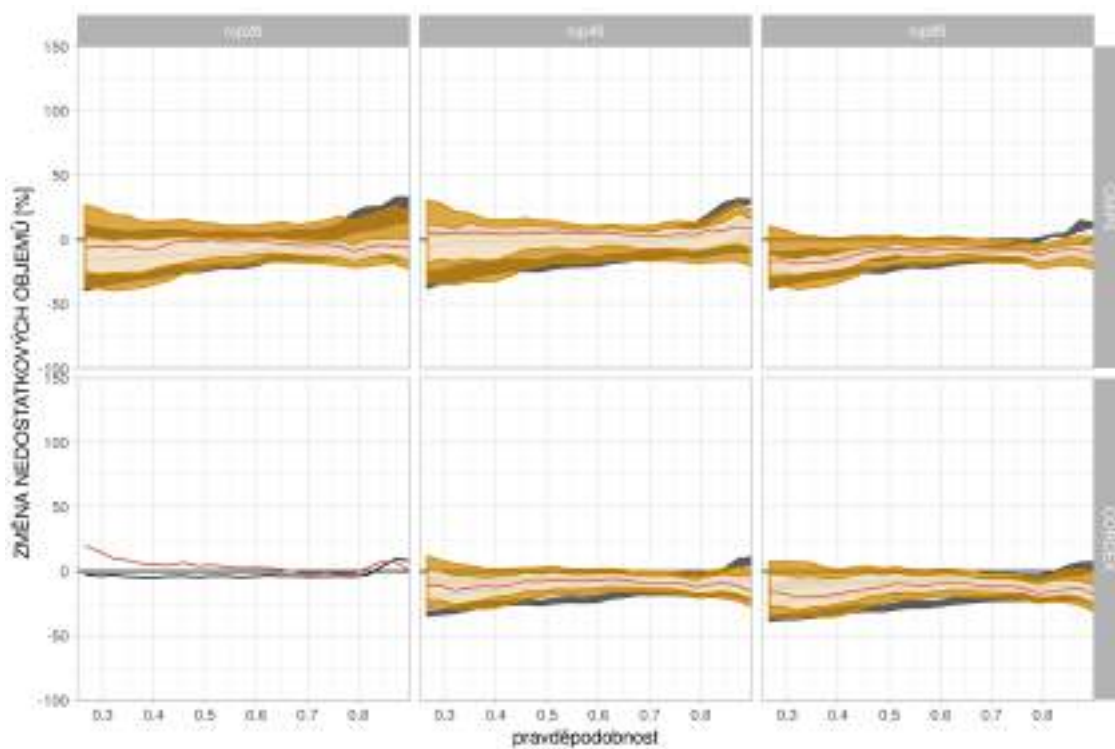




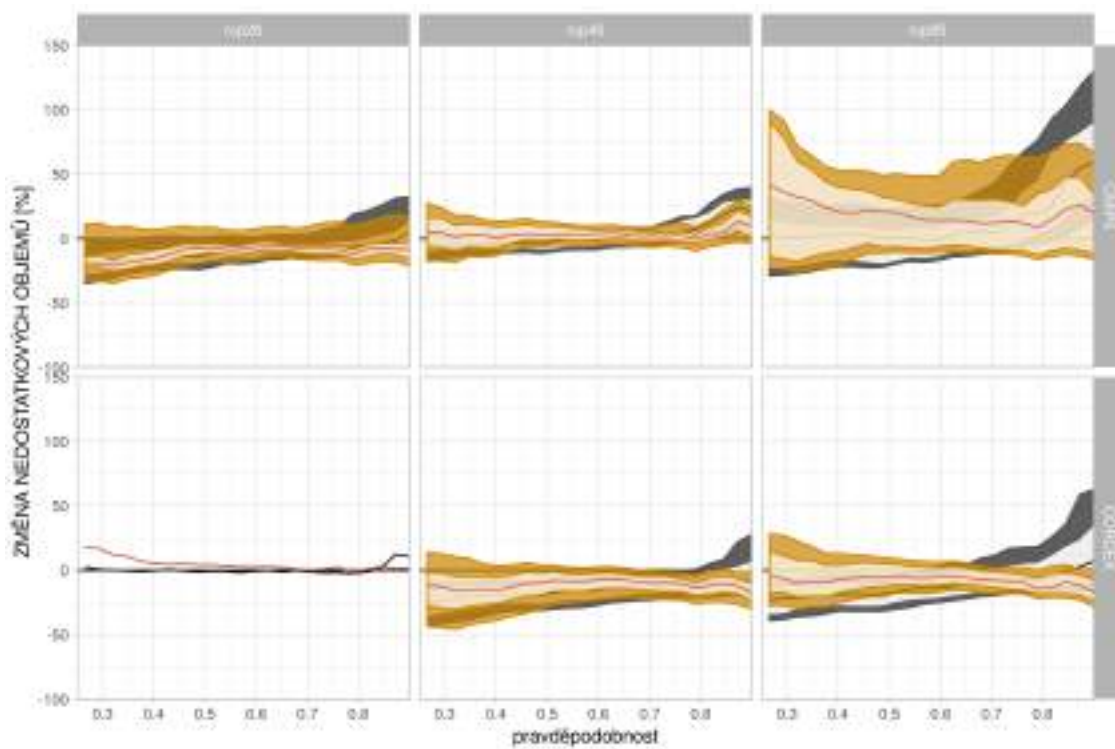
Obrázek 31: Změna deficitních objemů pro  $Q_{180d}$ , 2020 – 2050.



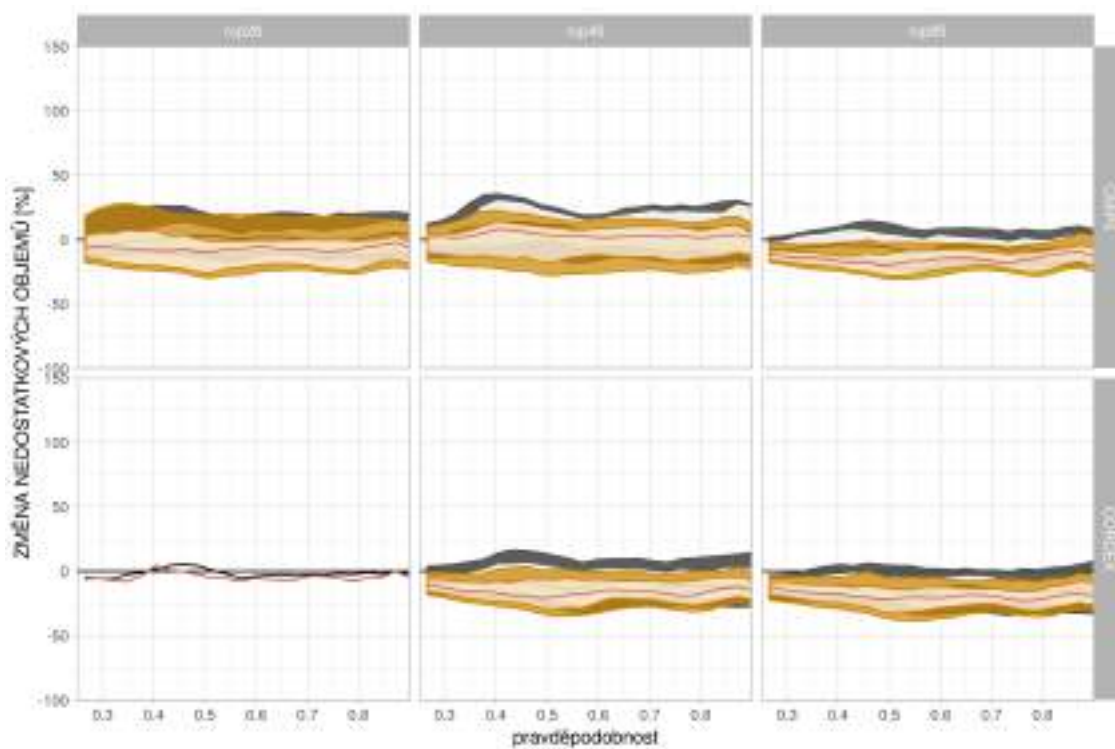
Obrázek 32: Změna deficitních objemů pro  $Q_{180d}$ , 2070–2100.



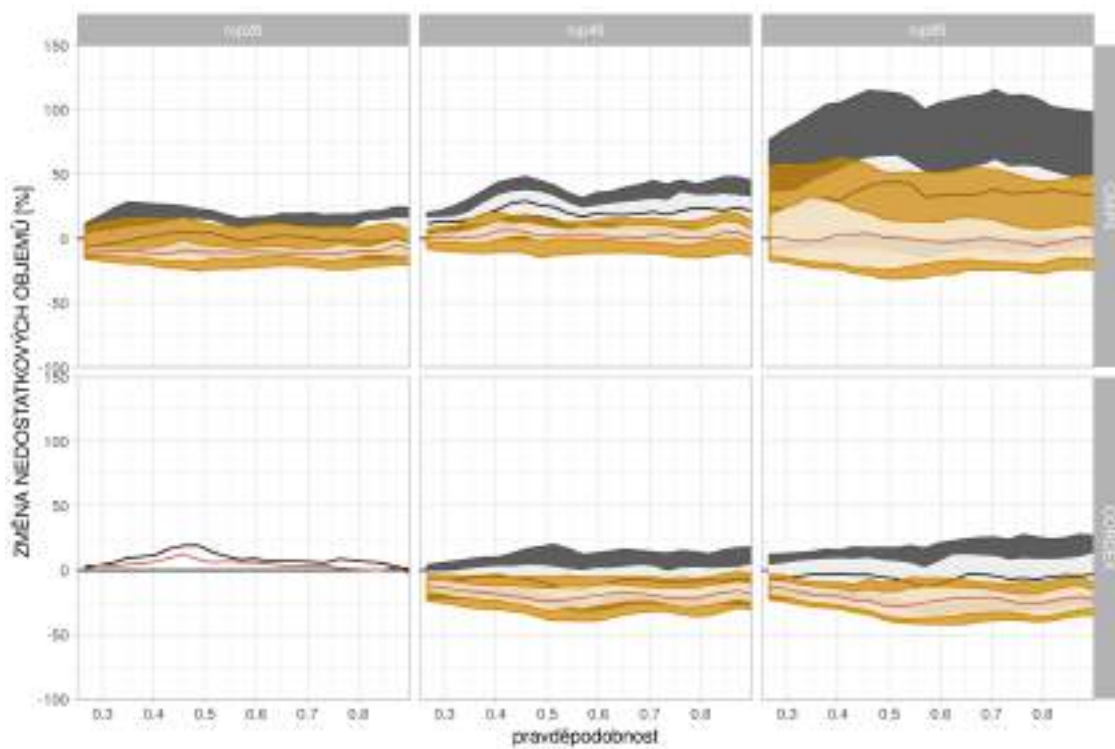
Obrázek 33: Změna deficitních objemů pro  $Q_{270d}$ , 2020–2050.



Obrázek 34: Změna deficitních objemů pro  $Q_{270d}$ , 2070–2100.



Obrázek 35: Změna deficitních objemů pro  $Q_{345d}$ , 2020–2050.



Obrázek 36: Změna deficitních objemů pro  $Q_{345d}$ , 2070–2100.

### 4.3 Rozdíly mezi povodími

V této kapitole jsou prezentovány scénářové změny vybraných veličin pro jednotlivá povodí. Výsledky jsou zobrazeny na obrázcích 37–?? pro meteorologické charakteristiky, na obrázcích ??–42 pro hydrologické veličiny a na obrázcích ??–?? pro ukazatele sucha. Obrázky jsou sestaveny do pole 2 x 3 stejně jako v předchozí kapitole. Řádky ukazují výsledky modelů z projektů CMIP5 a CORDEX, sloupce jednotlivé scénáře koncentrací skleníkových plynů. Na stránce jsou vykresleny dvě šestice obrázků, nahoře pro období 2020–2050 dole pro období 2070–2100.

Jednotlivé sloupcové grafy jsou sestavené tak, že každý sloupec či dvojice sloupců (pro veličiny stanovené pomocí hydrologických modelů) představuje pro konkrétní veličinu hodnotu mediánu z ročních hodnot denních mediánů pro jeden rok. To znamená, že z celého období byly nejprve stanoveny mediány pro každý jednotlivý den v roce. Z takto získané roční řady byl potom vypočten medián pro celý rok a jeho hodnota představuje výšku sloupce. Pro každý sloupec je dále v grafech vykresleno rozpětí výsledků modelů, které reprezentuje hodnoty veličin mezi prvním a devátým decilem (tj. 1. a 9. decil z roční řady mediánů denních hodnot veličiny) získané jednotlivými modely v rámci použitých sad modelů.

Sloupce v grafech jsou seřazeny dle velikosti povodí sestupně zleva doprava.

#### Teploty

Grafy meteorologických veličin (obr. 37–??) ukazují změny v teplotě, srážkách a potenciální evapotranspiraci pro jednotlivá povodí ve srovnání s kontrolním obdobím.

Grafy pro změnu teploty v rámci období 2020–2050 (obr. 37) ukazují shodně nárůst změn teploty od scénářů RCP2.6 po scénář RCP8.5 pro všechny sady modelů. Při porovnání rozpětí výsledků je vidět menší rozptýlení ve výsledcích CORDEX modelů než u CMIP5 modelů a to pro menší povodí u scénářů RCP4.5 a RCP8.5. Neoptimističtější kombinace modelů predikují průměrnou změnu teploty na povodích v blízké budoucnosti o cca 1,1 °C, nejhorší varianty ukazují v průměru až 1,8°C změnu.

Změny teploty pro období 2070–2100 (obr. 38) vykazují větší rozdíly změn mezi emisními scénáři a to v hodnotě mediánu i rozpětí výsledků modelů. Hodnoty mediánu změn pro jednotlivá labská povodí se mezi sebou příliš neliší a i rozdíly v mediánech malých povodí jsou malé. To je dáno charakterem hodnocené veličiny – hodnocená povodí díky své velikosti a poloze nebudou vykazovat velké rozdíly v hodnotách teplot. U malých povodí je vidět určitá rozkolísanost v projekcích modelů CORDEX, projekce CMIP5 modelů nevykazují žádné zvláštní rozdíly v hodnotách změn. Rozdílná míra změny u modelů CORDEX je dána charakterem těchto modelů. Jedná se o regionální modely, které díky menšímu měřítku (cca 11 km × 11 km) mají potenciál podchytit lépe lokální změny meteorologických veličin. Neoptimističtější kombinace modelů predikují průměrnou změnu teploty na povodích ve vzdálené budoucnosti o cca 1,2 °C, nejhorší varianty ukazují v průměru až 5°C změnu.

## Srážky

Na grafech zobrazujících změnu srážek pro blízkou i vzdálenou budoucnost (obr. 39 a 40) je vidět vyšší změny srážek pro malá povodí. To pravděpodobně souvisí s geografickou polohou povodí, kdy velká povodí zasahují i jižní část ČR a tedy i území s projektovaným poklesem srážek. Naopak malá povodí leží vesměs v oblastech typických poměrně jednoznačným zvyšováním srážek v budoucnu. Celkově výsledky ukazují nárůst srážek od optimistických scénářů po pesimistické a od projekcí blízké budoucnosti po vzdálenou, jak již bylo okomentováno v kap. 4.2. Výjimkou jsou zde projekce CMIP5 modelů pro blízkou budoucnost.

U povodí Labe lze pro období 2020–2050 pozorovat průměrnou procentuální změnu srážkových úhrnů 6,1 % pro RCP2.6, 5,3 % pro RCP4.5 a 7,8 % pro RCP8.5 u modelů CMIP5. Modely CORDEX ukazují změnu, od 2,8 % u RCP2.6 po 9,4 % u RCP8.5. Pro stejné období je u malých povodí průměrná změna u CMIP5 modelů 8,5 % pro RCP2.6, 7,2 % pro RCP4.5 a 10,7 % pro RCP8.5 u CORDEX modelů je pak změna od 5,1 % u RCP2.6 po 10,1 % u RCP8.5. CORDEX projekce, zejména pro scénář koncentrací RCP2.6 jsou zatíženy značnou nejistotou, pravděpodobně kvůli tomu, že klimatický signál je slabý a výsledné změny jsou způsobeny spíše přirozenou variabilitou.

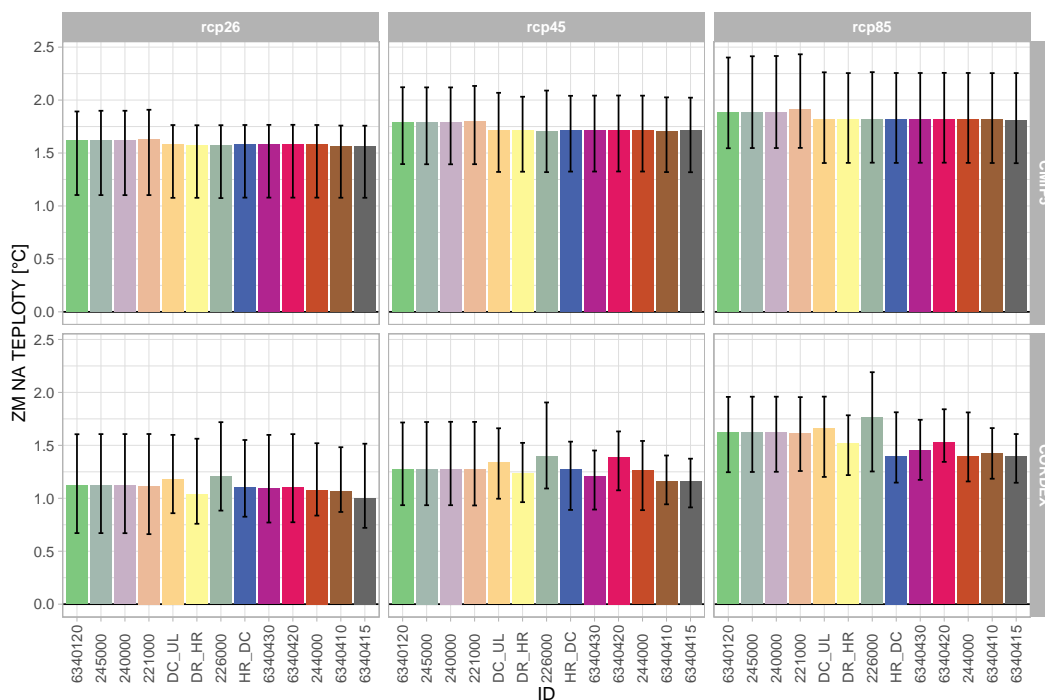
Pro období 2070–2100 je na povodích Labe projektována změna srážek od 5,8 % po 12,7 % u CMIP5 modelů a 8,6–10,0 % u CORDEX modelů. Pro malá povodí je změna srážek od 8,5 % po 15,2 % u CMIP5 modelů a 5,0–17,8 % u CORDEX modelů. V tomto období je možné vidět větší změnu u malých povodí u CMIP5 modelů, u CORDEX modelů toto není patrné a dokonce u scénáře RCP4.5 jsou změny menší než na povodích Labe.

## Zásoba vody v půdě a celkový odtok

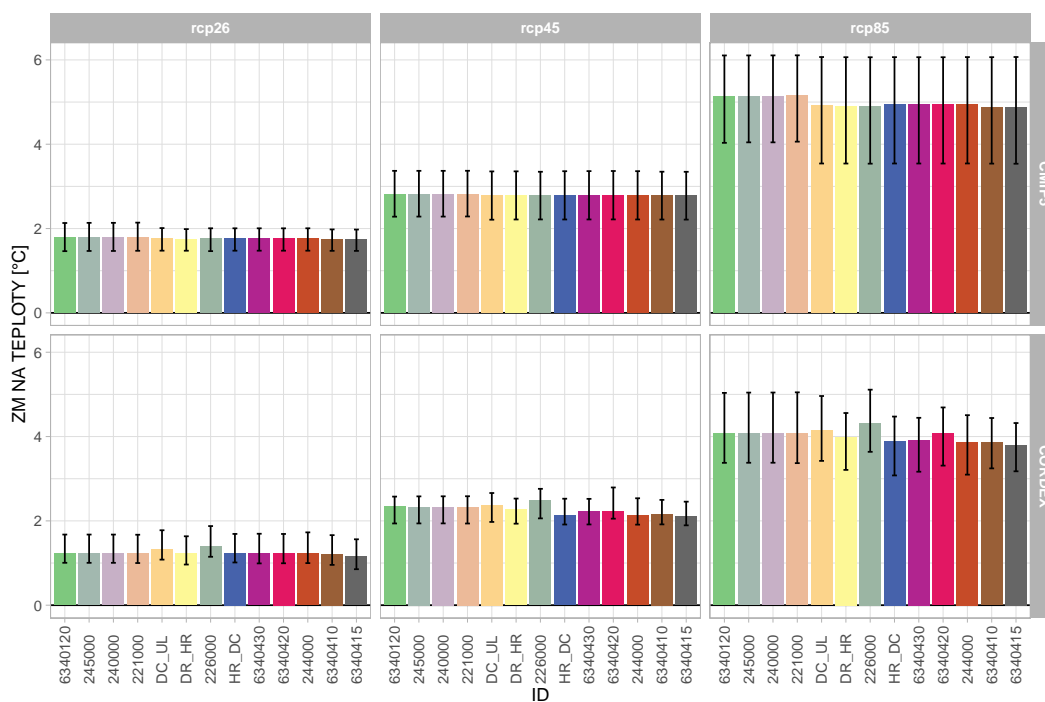
Rozdíly ve změnách zásoby vody v půdě mezi povodími nejsou příliš výrazné (obr. 41) - na všech povodích, kromě scénáře RCP2.6 (pro který jsou změny malé), dochází k poklesu. Výsledky pro jednotlivá povodí nicméně zvýrazňují rozdíly mezi modely Bilan a GR4J, zejména pro CMIP5 simulace.

Pro celkový odtok jsou rozdíly významnější (obr. 42) - velká povodí vykazují pokles či stagnaci odtoků zatímco malá povodí spíše růst odtoků. Pro posouzení možnosti plavby na Labi jsou relevantnější spíše velká povodí.

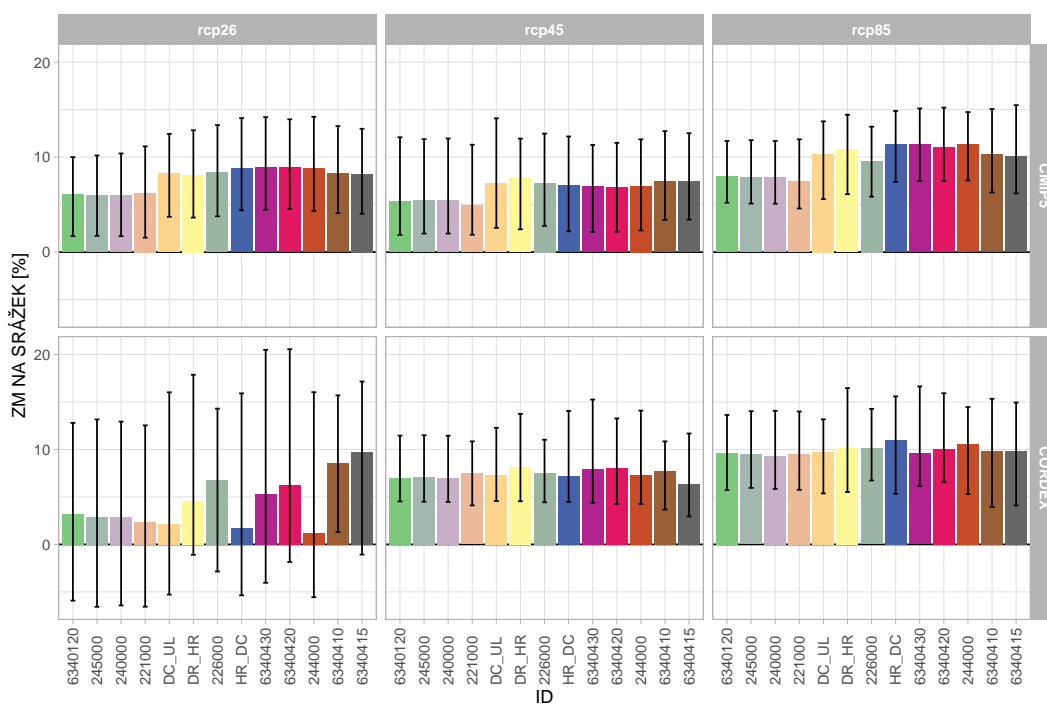
Podobná situace je i u změn 7denních minimálních průtoků (obr. 43), která vykazují větší pokles u velkých povodí (zejména podle modelu Bilan) a deficitních objemů (obr. 44), které naopak pro velká povodí rostou více než pro povodí malá.



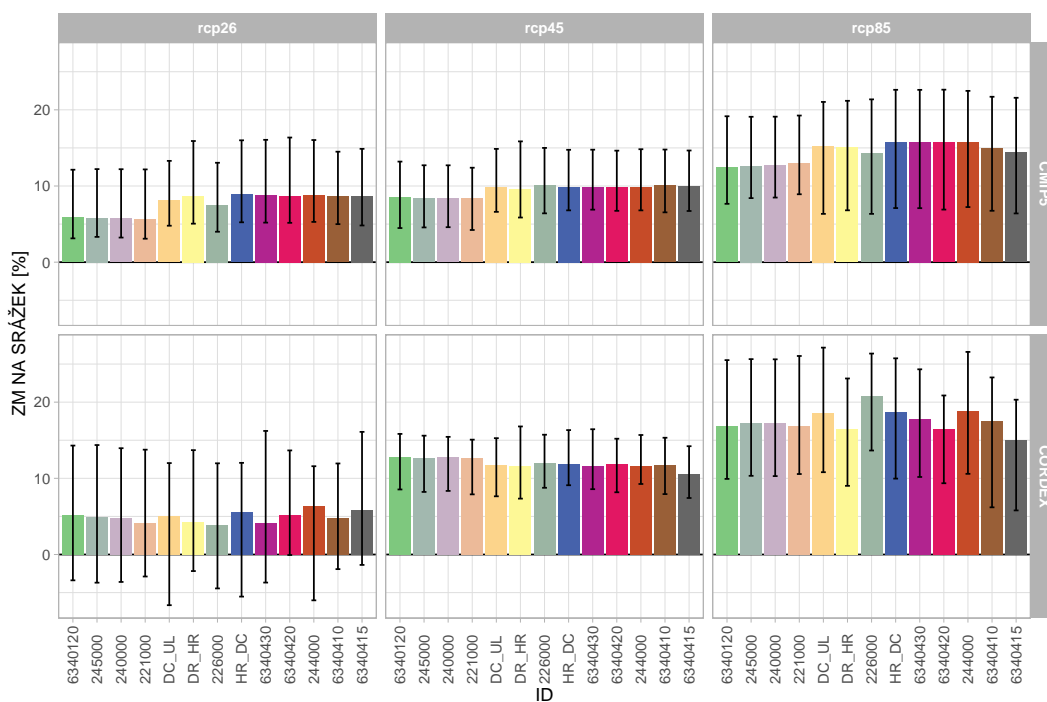
Obrázek 37: Změna teploty, medián ze středních denních hodnot pro jeden rok z období 2020–2050.



Obrázek 38: Změna teploty, medián ze středních denních hodnot pro jeden rok z období 2070–2100.

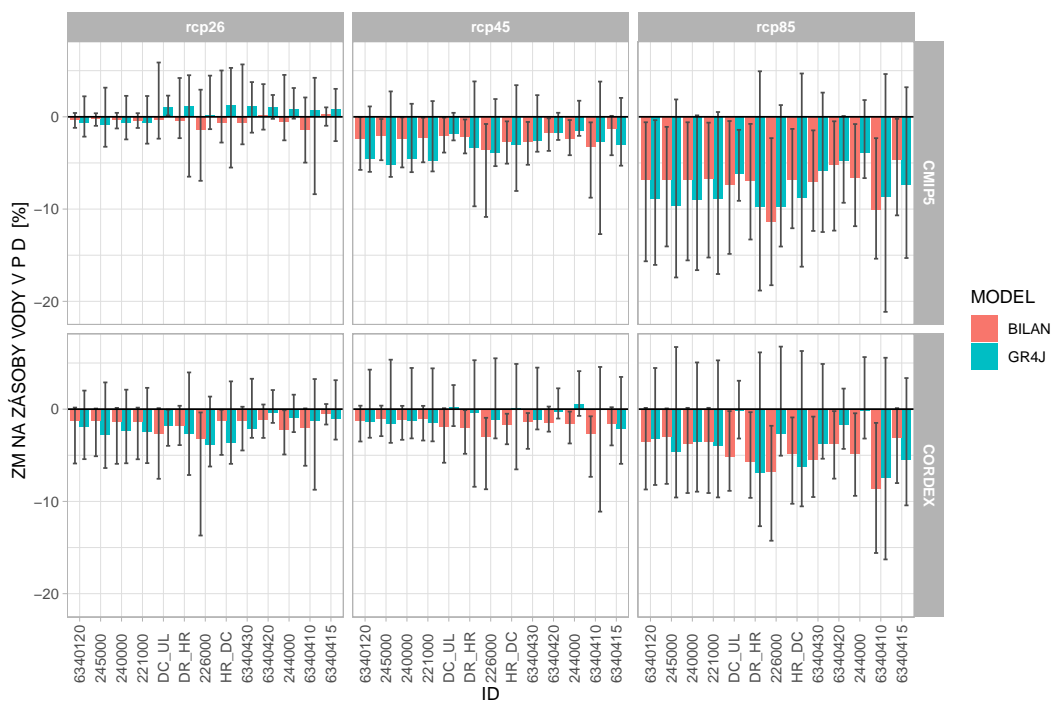


Obrázek 39: Procentuální změna srážkových úhrnů, medián ze středních denních hodnot pro jeden rok z období 2020–2050



Obrázek 40: Procentuální změna srážkových úhrnů, medián ze středních denních hodnot pro jeden rok z období 2070–2100





Obrázek 41: Procentuální změna zásoby vody v půdě, medián ze středních denních hodnot pro jeden rok z období 2070–2100

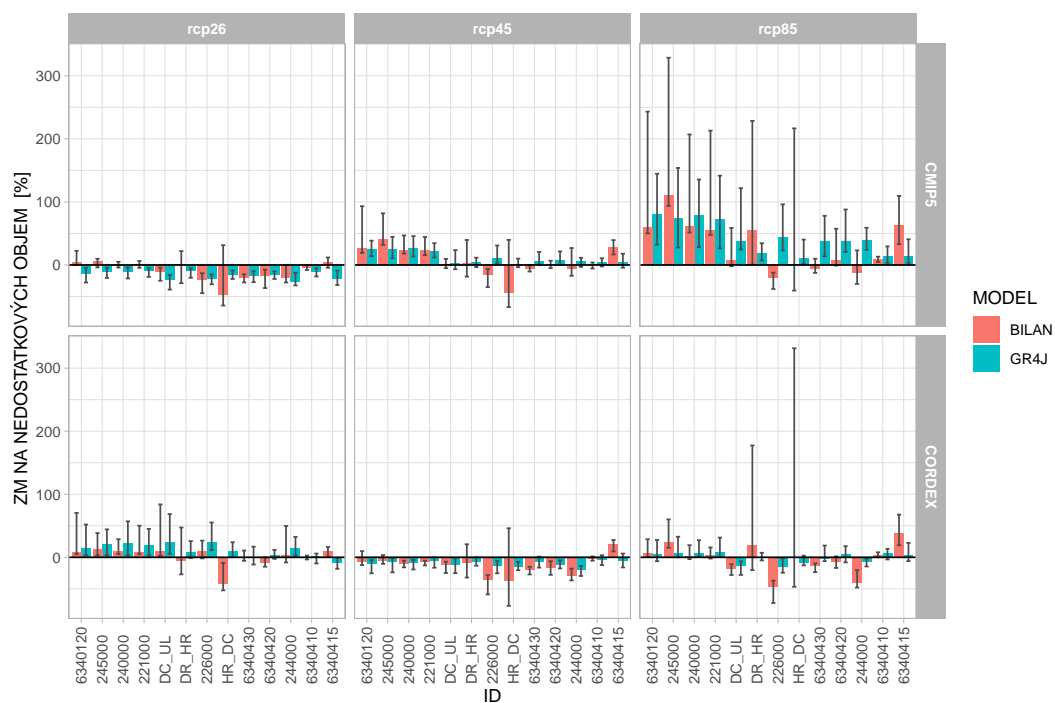


Obrázek 42: Procentuální změna celkového odtoku, medián ze středních denních hodnot pro jeden rok z období 2070–2100

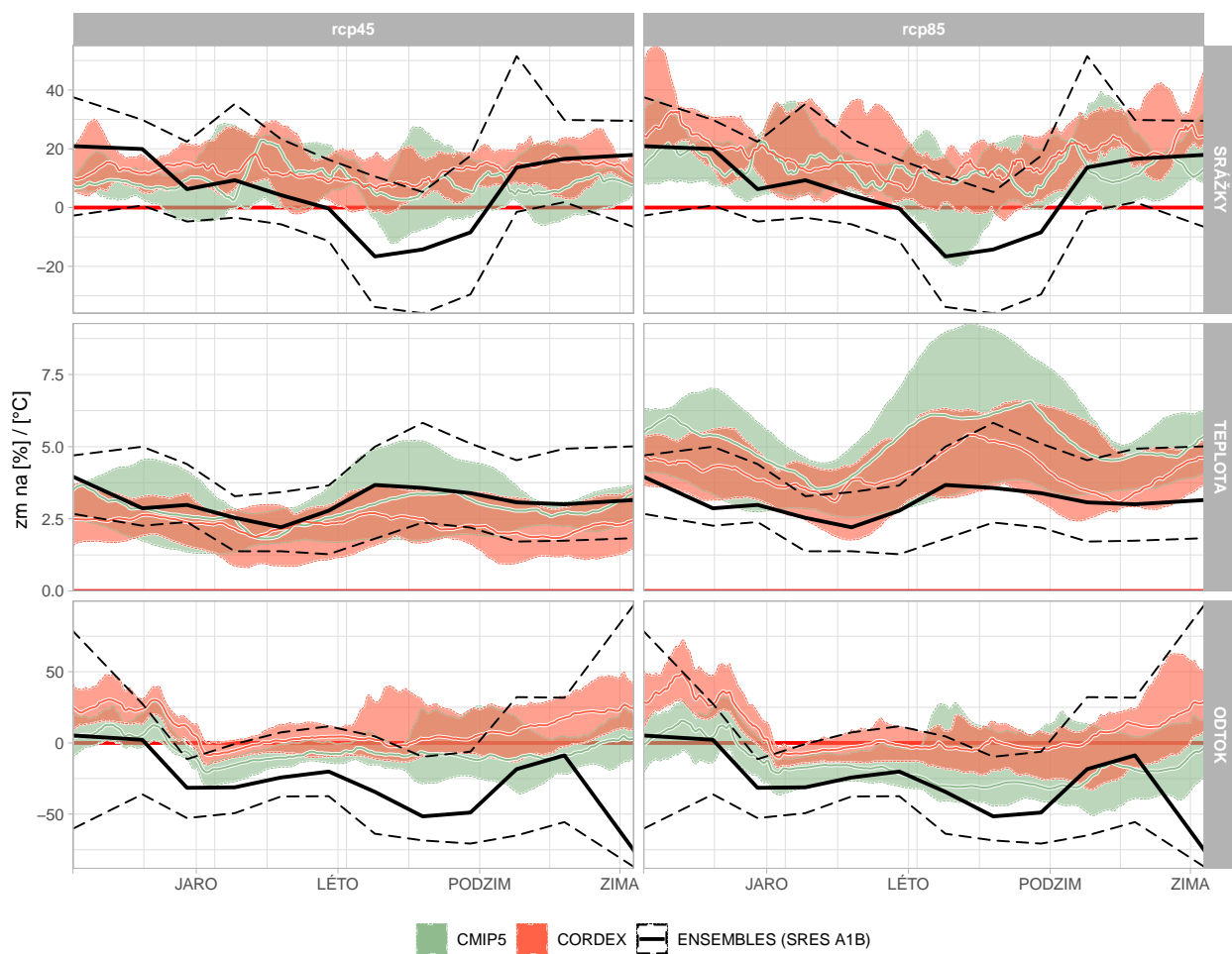




Obrázek 43: Změna 7denního minimálního odtoku, medián ze středních denních hodnot pro jeden rok z období 2070–2100.



Obrázek 44: Změna deficitních objemů pro  $Q_{180d}$ , medián ze středních denních hodnot pro jeden rok z období 2070–2100.



Obrázek 45: Porovnání změn srážek (nahore), teploty (uprostřed) a odtoku (dole) v průběhu roku pro simulace z projektů CMIP5, CORDEX a ENSEMBLES. Čáry odpovídají mediánům simulací, polygony reprezentují oblast pokrytí 50 % simulací.

#### 4.4 Porovnání s předchozími projekcemi

Obr. 45 ukazuje odhadované změny teploty pro CMIP5, CORDEX a ENSEMBLES simulace pro povodí Labe v Děčíně. Čáry odpovídají mediánům simulací, rozpětí pokrývá změny dle 50 % simulací klimatických modelů. Pro scénářové období modely konzistentně simulují růst teploty. CORDEX modely ukazují na růst cca 2,5 °C (pro RCP4.5) až 4 °C (RCP8.5). U modelů z projektu CMIP5 dochází pro RCP8.5 k růstu o 6 °C, v případě některých modelů i o 8 °C. Růst teploty je větší v letním a zimním období než na jaře a na podzim.

Z hlediska srážek ukazuje velká část simulací obou sad klimatických modelů růst během celého roku. Růst srážek je vyšší pro vyšší scénáře koncentrací RCP. Změna srážek je v rámci celého roku poměrně konstantní, pouze simulace dle scénáře RCP8.5 ukazují nižší růst, případně i pokles v letním období.

Změny celkového odtoku jsou do značné míry určeny změnami v dynamice sněhové pokrývky. V důsledku kombinace zvýšených srážek a dřívějšího tání sněhové pokrývky se poměrně příkře zvyšuje zimní odtok. Naopak na začátku jara můžeme pozorovat robustní pokles odtoku, který je způsoben absencí tání (sněhová pokrývka se buď vůbec nevytvořila nebo rychle roztála). Po zbytek roku jsou změny odtoku dány bilancováním zvyšujících se srážek a rostoucího výparu. Ve výsledku dochází dle sady CMIP5 k poklesu odtoku (v létě cca 20 %), dle CORDEX modelů ke stagnaci.

Z obr. 45 je patrný rozdíl mezi změnami srážek, teploty i odtoku dle simulací z (aktuálních) projektů CMIP5 (použito pro Pátou hodnotící zprávu IPCC) a CORDEX oproti simulacím z projektu ENSEMBLES (černě). Z hlediska srážek i odtoku vykazovaly simulace ENSEMBLES modelů podstatně více negativních změn než CORDEX a CMIP5 modely, přičemž CMIP5 modely jsou modelům ENSEMBLES bližší. Rozdíl je částečně způsoben různými scénáři skleníkových plynů - z hlediska koncentrací leží SRES A1B (použitý v ENSEMBLES simulacích) mezi RCP4.5 a RCP8.5. Nová generace modelů zahrnuje oproti předchozí řadě změn v reprezentaci fyzikálních procesů i v parametrech simulace, např. rozlišení.

### 5 Shrnutí a závěr

Výsledky studie ukazují, že v řešeném území dojde v důsledku uvažované změny klimatu k výrazným změnám odtokových poměrů. Zvyšování teploty vede k vyššímu výparu, který je nicméně z velké části kompenzován vyššími srážkami. Zvyšování teploty má zásadní vliv také na tvorbu a dynamiku sněhové pokrývky a tedy i doplňování zásob podpovrchové vody. Výsledkem těchto procesů je zvýšený odtok doprovázený snižováním zásob vody v povodí.

Projektované změny jsou pro některé parametry negativní (zvýšení teploty, snížení zásoby vody v půdě a snížení minimálních odtoků), pro jiné pozitivní (zvýšení celkového úhrnu srážek a pravděpodobně i celkových odtoků). Z hlediska budoucího managementu povodí to z dlouhodobého hlediska znamená na jedné straně možnost adaptace prostřednictvím akumulace vody, na druhé

straně zvyšující se nároky na kompenzaci dopadů sucha, nedostatku vodních zdrojů a poklesu zásoby vody v půdě. K faktorům přirozeným, modelovaným v této studii, je nutné přičíst i podstatně vyšší tlak na využití povrchových vod, zejména pro závlahy. Lze navíc předpokládat, že půjde nejen o udržení současné zemědělské výroby, ale i zabezpečení její rozšiřování vzhledem ke zhoršování podmínek v řadě okolních států.

Výsledky pro jednotlivá povodí ukazují, že změny jsou více negativní pro povodí zahrnující větší části území ČR (tj. celé povodí Labe po Děčín či Drážďany). Z hlediska režimu hladin je to negativní, jelikož tato povodí se na průtoku v Labi podílí podstatně větší měrou než povodí malá (pro která je často projektováno i zvýšení průtoků). Konkrétní důsledky pro dynamiku hladiny v úseku Děčín - Drážďany budou posouzeny v navazující studii.

## Literatura

- Berg, P., Moseley, C., Haerter, J. O. (2013) Strong increase in convective precipitation in response to higher temperatures. *Nature Geoscience*, 6(3), 181–185.
- Brigode, P., Oudin, L., Perrin, C. (2013) Hydrological model parameter instability: A source of additional uncertainty in estimating the hydrological impacts of climate change? *Journal of hydrology*, 476, 410–425.
- Chiew, F., McMahon, T. (1993) Assessing the adequacy of catchment streamflow yield estimates. *Australian Journal of Soil Research - AUST J SOIL RES*, 31, doi:10.1071/SR9930665.
- Crochemore, L., Perrin, C., Andréassian, V., et al. (2015) Comparing expert judgement and numerical criteria for hydrograph evaluation. *Hydrological Sciences Journal*, 60(3), 402–423, doi:10.1080/02626667.2014.903331.
- Fick, S. E., Hijmans, R. J. (2017) WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37(12), 4302–4315.
- Gupta, H. V., Kling, H., Yilmaz, K. K., Martinez, G. F. (2009) Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological modelling. *Journal of hydrology*, 377, 90–91.
- Hanel, M., Mrkvičková, M., Máca, P., Vizina, A., Pech, P. (2013) Evaluation of Simple Statistical Downscaling Methods for Monthly Regional Climate Model Simulations with Respect to the Estimated Changes in Runoff in the Czech Republic. *Water Resources Management*, 27(15), 5261–5279.
- Hanel, M., Vizina, A., Maca, P., Pavlasek, J. (2012) A multi-model assesment of climate change impact on hydrological regime in the Czech republic. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 60(3), 152–161.
- Hattermann, F. F., Kundzewicz, Z. W., Huang, S., et al. (2013) Climatological drivers of changes in flood hazard in Germany. *Acta Geophysica*, 61(2), 463–477.
- Hesse, C., Krysanova, V. (2016) Modeling climate and management change impacts on water quality and in-stream processes in the Elbe River Basin. *Water*, 8(2), 40.
- Hofstra, N., Haylock, M., New, M., Jones, P. D. (2009) Testing E-OBS European high-resolution gridded data set of daily precipitation and surface temperature. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 114(D21).
- Humphrey, G. B., Gibbs, M. S., Dandy, G. C., Maier, H. R. (2016) A hybrid approach to monthly streamflow forecasting: Integrating hydrological model outputs into a Bayesian artificial neural network. *Journal of hydrology*, 540, 623–640.

- Jacob, D., Petersen, J., Eggert, B., et al. (2014) EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional Environmental Change*, 14(2), 563–578.
- Jensen, M. E., Haise, H. R. (1963) Estimating evapotranspiration from solar radiation. *Journal of Irrigation and Drainage Division*, ASCE 89 (LR4), 15–41.
- Kašpárek, L., Hanel, M., Horáček, S., Máca, P., Vizina, A. (2016) *bilan: Bilan water balance model*. VÚV T.G.M. v.v.i., R balík verze 2016-10-20.
- Kožín, R., Bašta, P., Moravec, V. (2017) Modelování efektu přírodně blízkých opatření na hydrologickou bilanci v povodí Trkmanky. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*, 59(4), 21–24.
- Krysanova, V., Hattermann, F., Habeck, A. (2005) Expected changes in water resources availability and water quality with respect to climate change in the Elbe River basin (Germany). *Hydrology Research*, 36(4-5), 321.
- Kundzewicz, Z., Ulbrich, U., Brucher, T., et al. (2005) Summer floods in central Europe - Climate change track? *Natural Hazards*, 36(1-2), 165–189.
- Máca, P., Horáček, S., Vizina, A. (2013) Optimalizace parametrů modelu Bilan metodou SCDE. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*, 55(4), 1–4.
- McGuinness, J. L., Bordne, E. F. (1972) A comparison of lysimeter-derived potential evapotranspiration with computed values. *Technical Bulletin 1452, Agricultural Research Service, US Department of Agriculture, Washington, DC*.
- Meinshausen, M., Smith, S. J., Calvin, K., et al. (2011) The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300. *Climatic Change*, 109(1-2), 213–241.
- Menzel, L., Bürger, G. (2002) Climate change scenarios and runoff response in the Mulde catchment (Southern Elbe, Germany). *Journal of hydrology*, 267(1-2), 53–64.
- Moriasi, D., Arnold, J., Van Liew, M., et al. (2007) Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. *Transactions of the ASABE*, 50, doi:10.13031/2013.23153.
- Moss, R., Babiker, M., Brinkman, S., et al. (2008) *Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts, and Response Strategies*. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, technical summary.
- Nash, J. E., Sutcliffe, J. V. (1970) River flow forecasting through conceptual models part 1. A discussion of principles. *Journal of hydrology*, 10, 282–290.
- Oudin, L., Hervieu, F., Michel, C., et al. (2005) Which potential evapotranspiration input for a lumped rainfall–runoff model? Part 2 – Towards a simple and efficient potential evapotranspiration model for rainfall–runoff modelling. *Journal of Hydrology*, 303, 290–306.

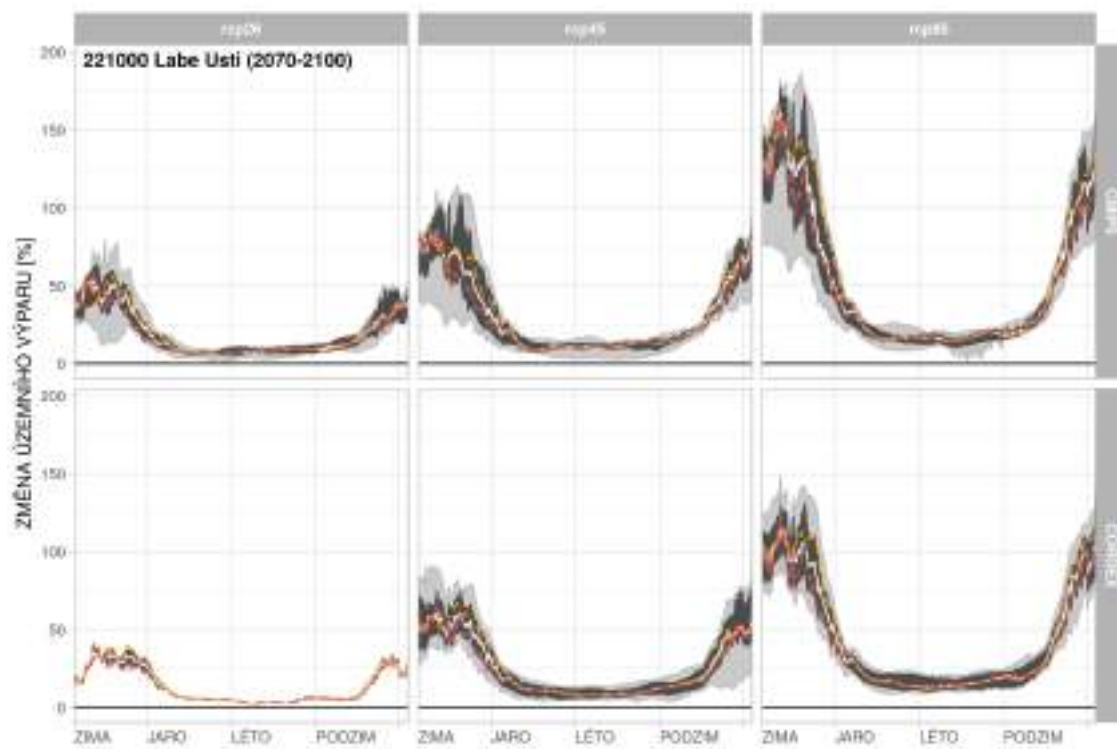
- Perrin, C., Michel, C., Andréassian, V. (2003) Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation. *Journal of hydrology*, 279, 275–289.
- Ruosteenoja, K., Markkanen, T., Venalainen, A., Raisanen, P., Peltola, H. (2018) Seasonal soil moisture and drought occurrence in Europe in CMIP5 projections for the 21st century. *Climate Dynamics*, 50(3-4), 1177–1192.
- Stepanek, P., Zahradnicek, P., Farda, A., et al. (2016) Projection of drought-inducing climate conditions in the Czech Republic according to Euro-CORDEX models. *Climate Research*, 70(2-3), 179–193.
- Stocker, T., Qin, D., Plattner, G., et al. (2013) *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK, and New York.
- Svoboda, V., Hanel, M., Maca, P., Kysely, J. (2016) Projected changes of rainfall event characteristics for the Czech Republic. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 64(4), 415–425.
- Tallaksen, L., van Lanen, H. (2004) *Hydrological Drought: Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater*. Developments in Water Science, Elsevier Science, ISBN 9780444517678.
- Taylor, K. E., Stouffer, R. J., Meehl, G. A. (2012) An overview of CMIP5 and the experiment design. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(4), 485–498.
- Tian, Y., Xu, Y. P., Zhang, X. J. (2013) Assessment of Climate Change Impacts on River High Flows through Comparative Use of GR4J, HBV and Xinanjiang Models. *Water Resources Management*, 27, 2871–2888.
- Trnka, M., Brazdil, R., Mozny, M., et al. (2015) Soil moisture trends in the Czech Republic between 1961 and 2012. *International Journal of Climatology*, 35(13), 3733–3747.
- Valéry, A., Andréassian, V., Perrin, C. (2010) Regionalization of precipitation and air temperature over high-altitude catchments – learning from outliers. *Hydrological Sciences Journal – Journal des Sciences Hydrologiques*, 55, 928–940.
- Valéry, A., Andréassian, V., Perrin, C. (2014) As simple as possible but not simpler’: What is useful in a temperature-based snow-accounting routine? Part 2 – Sensitivity analysis of the Cemaneige snow accounting routine on 380 catchments. *Journal of hydrology*, 517, 1176–1187.
- Van Loon, A. F. (2015) Hydrological drought explained. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 2(4), 359–392.
- van Pelt, S. J., Beersma, J., Buishand, T. A. (2012) Future changes in extreme precipitation in the Rhine basin based on global and regional climate model simulations. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16, 4517–4530.

- Van Vuuren, D. P., Edmonds, J., Kainuma, M., et al. (2011) The representative concentration pathways: an overview. *Climatic change*, 109(1-2), 5.
- Vizina, A., Hanel, M., Trnka, M., et al. (2018a) HAMR: online systém pro zvládání sucha – operativní řízení během suché epizody. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*, 60(5), 22–28.
- Vizina, A., Strouhal, L., Dzuráková, M., Moravec, V., Melišová, E. (2018b) Studie hodnocení účinku přírodě blízkých opatření v povodí Olešné u Pelhřimova pomocí modelů BILAN, HEC-HMS a HYPE. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*, 60(5), 12–20.

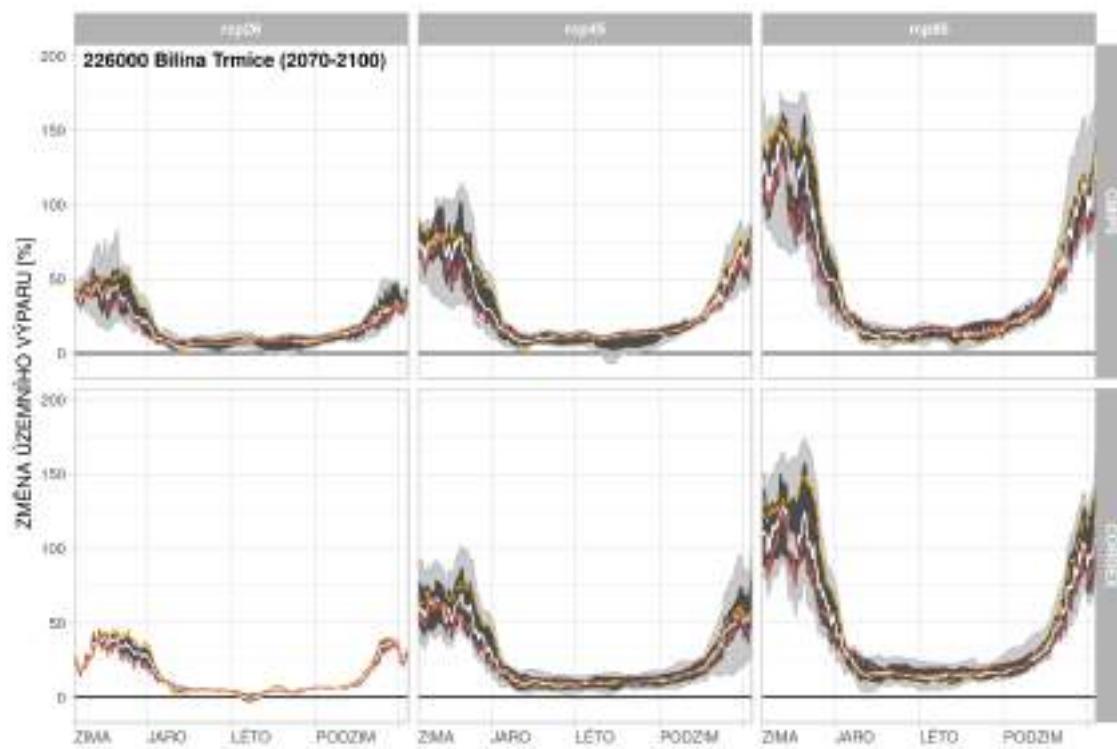


## **6 Přílohy**

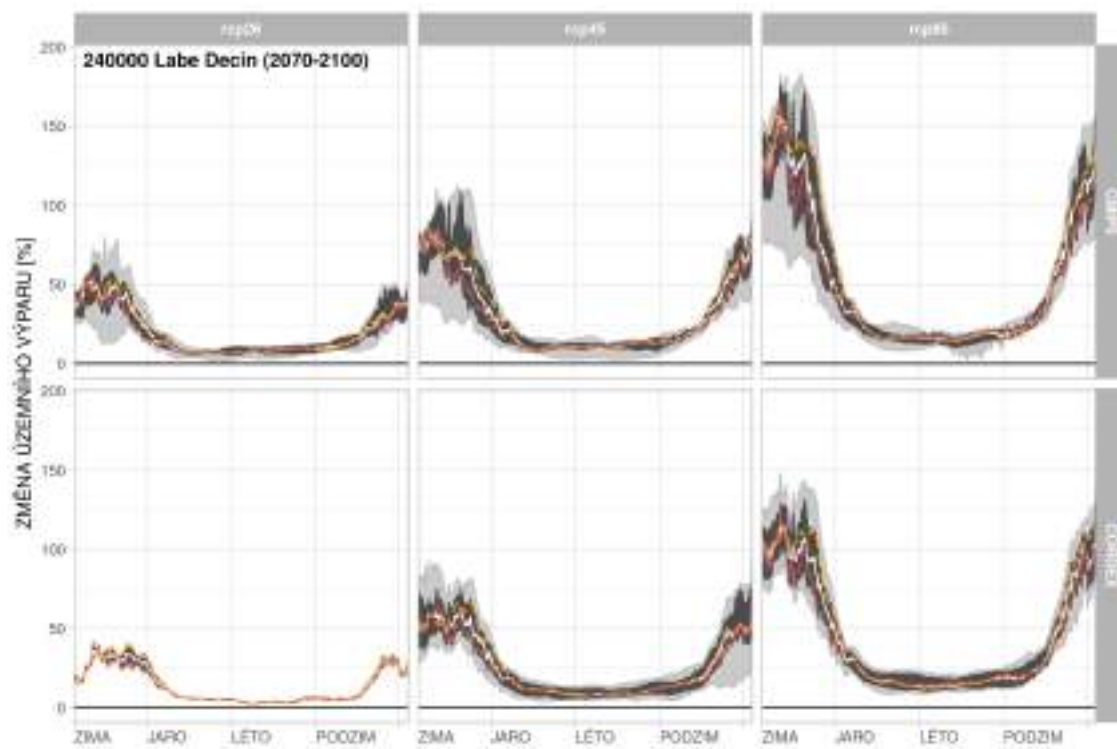
### **6.1 Přílohy - změny vybraných složek hydrologické bilance**



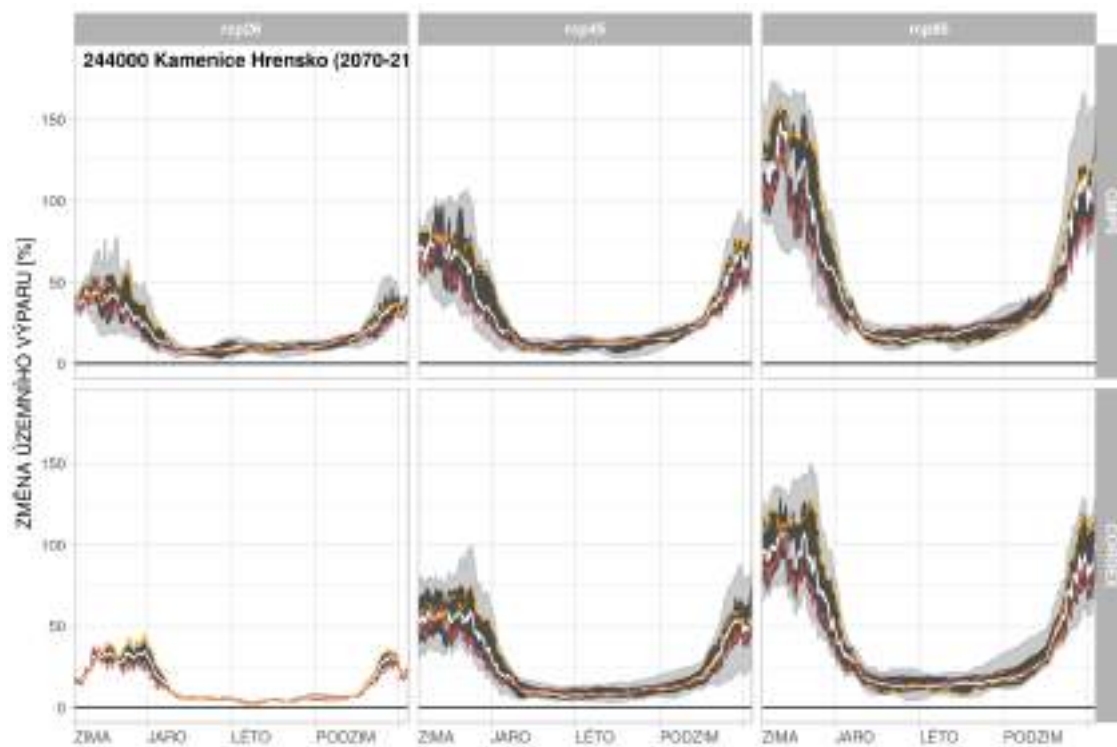
Obrázek 46: Změny aktuální evapotranspirace v povodí Labe-Ústí pro období 2070–2100.



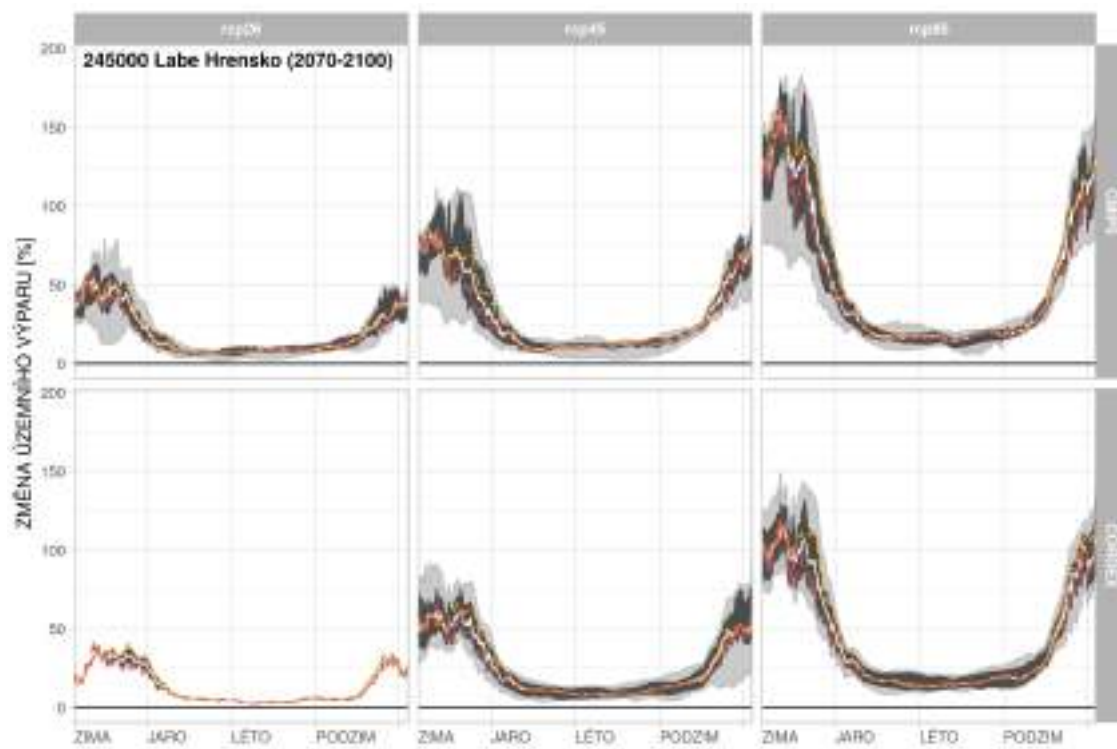
Obrázek 47: Změny aktuální evapotranspirace v povodí Bílina-Trmice pro období 2070–2100.



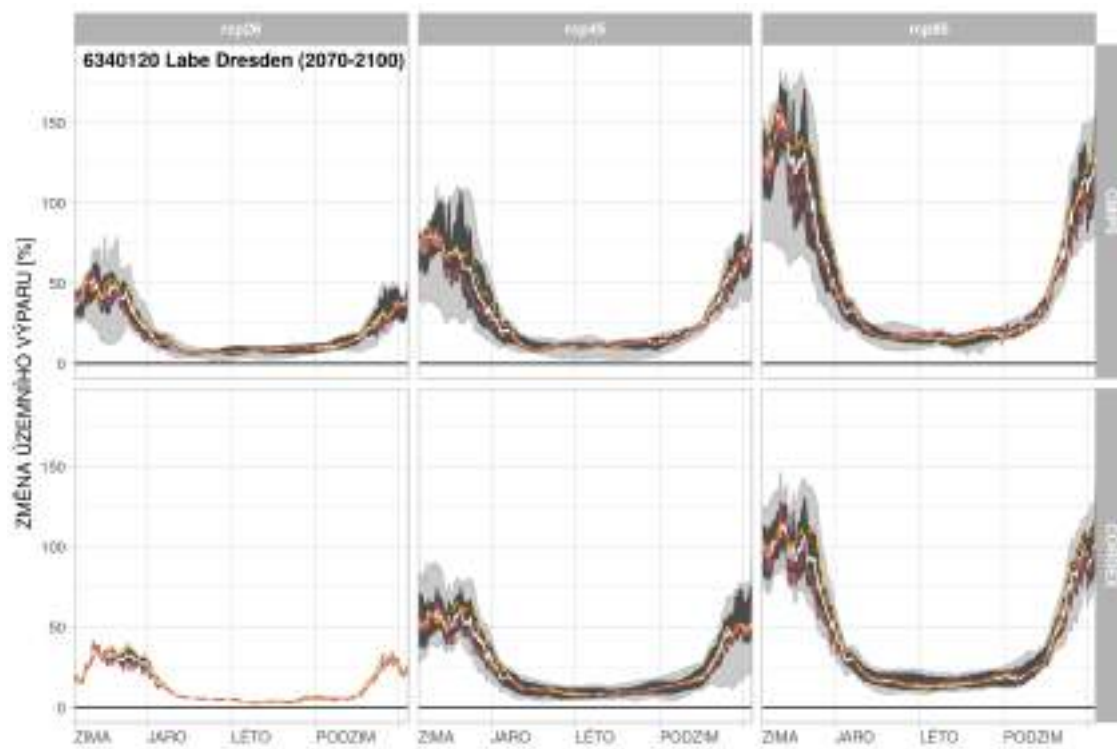
Obrázek 48: Změny aktuální evapotranspirace v povodí Labe-Děčín pro období 2070–2100.



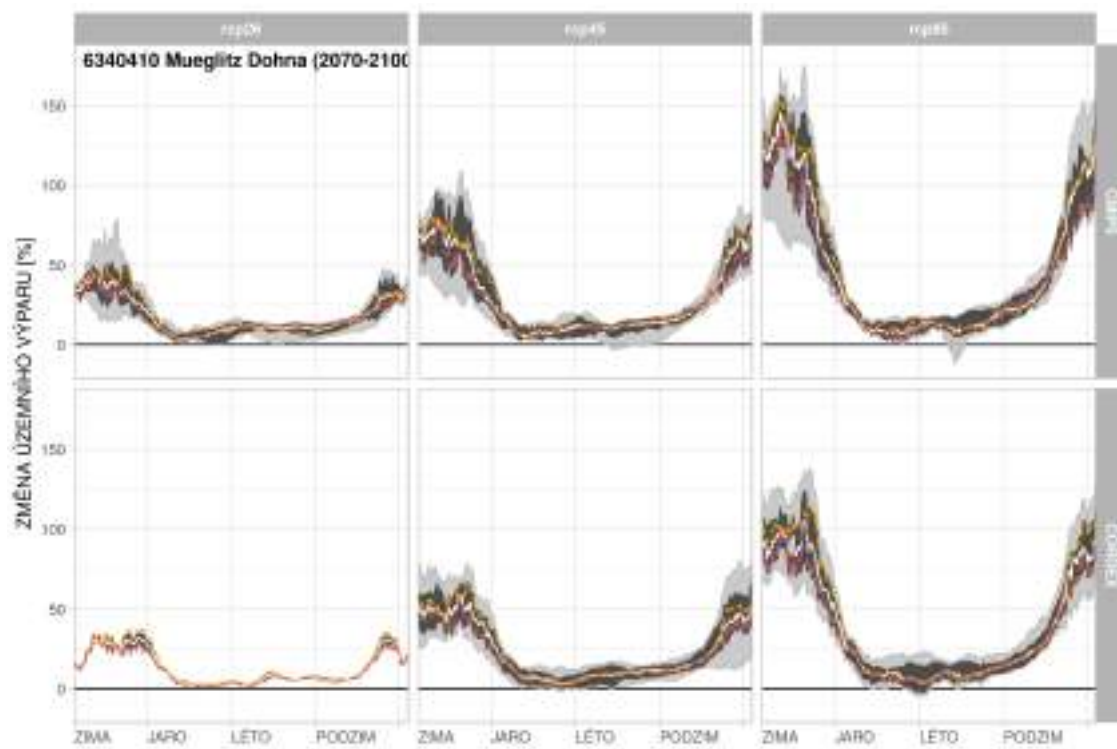
Obrázek 49: Změny aktuální evapotranspirace v povodí Kamenice-Hřensko pro období 2070–2100.



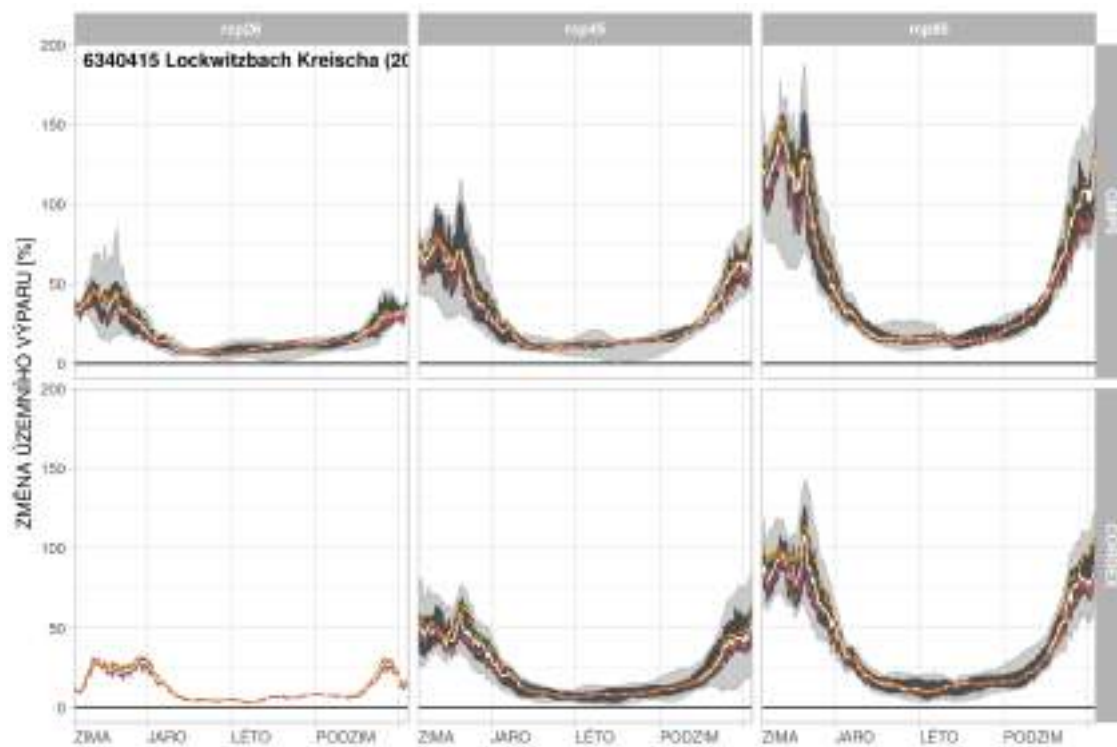
Obrázek 50: Změny aktuální evapotranspirace v povodí Labe-Hřensko pro období 2070–2100.



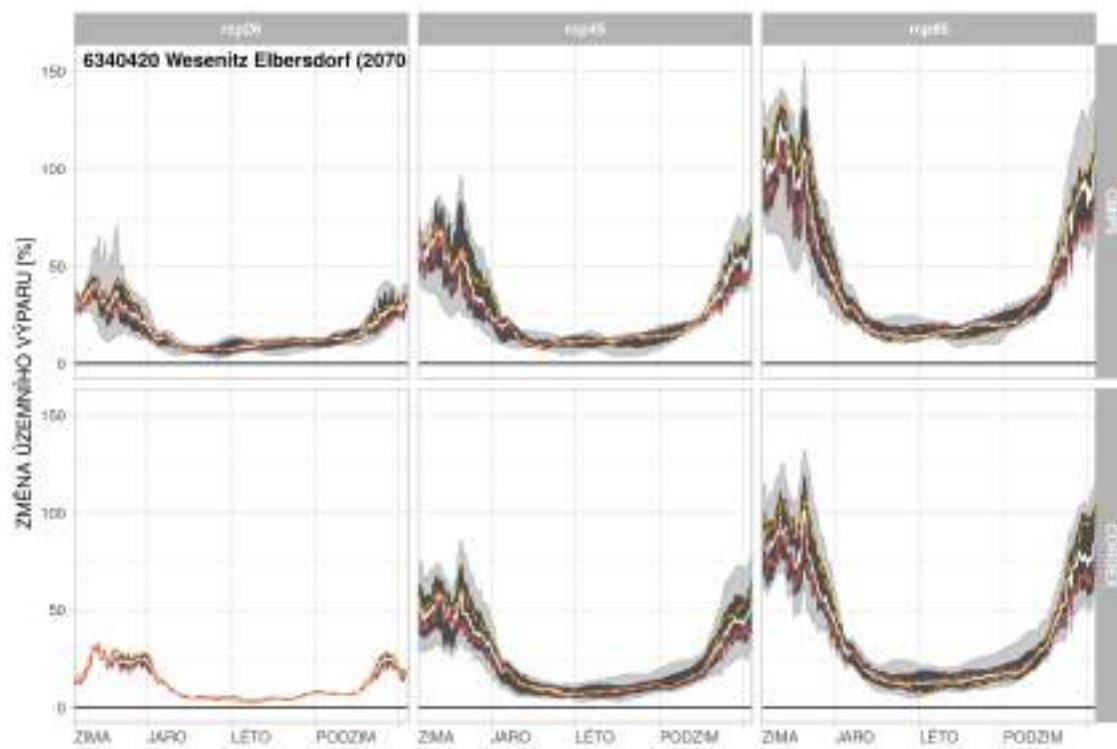
Obrázek 51: Změny aktuální evapotranspirace v povodí Labe-Dresden pro období 2070–2100.



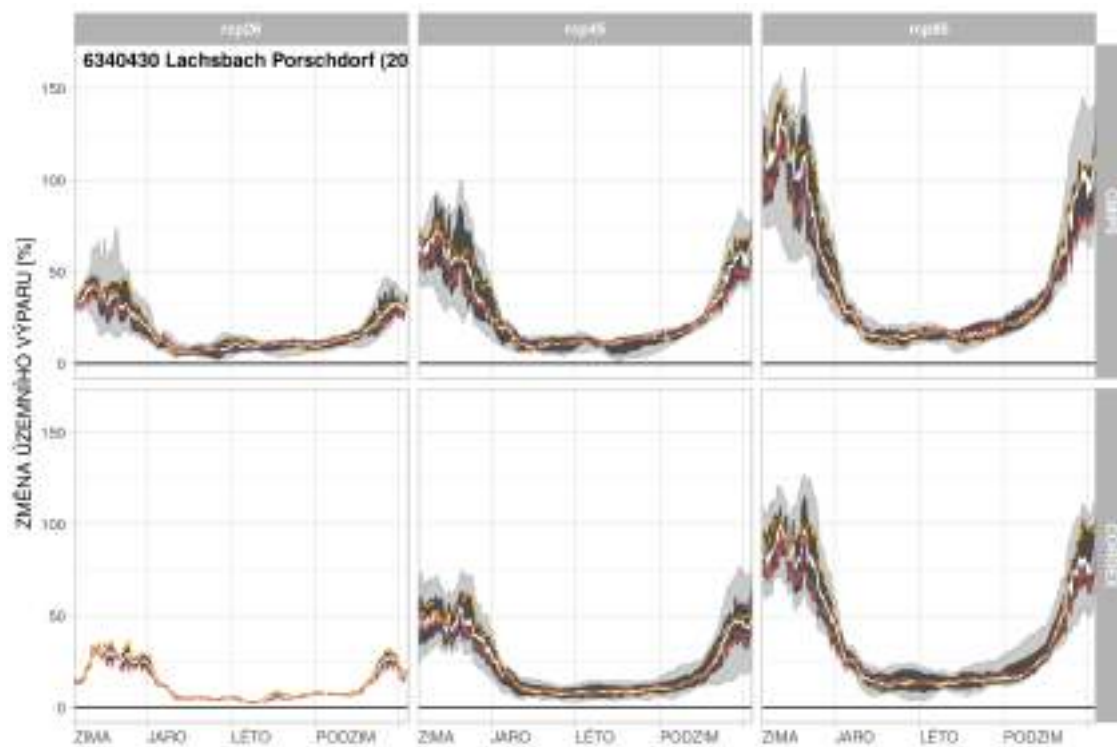
Obrázek 52: Změny aktuální evapotranspirace v povodí Mueglitz-Dohna pro období 2070–2100.



Obrázek 53: Změny aktuální evapotranspirace v povodí Lockwitzbach-Kreischa pro období 2070–2100.

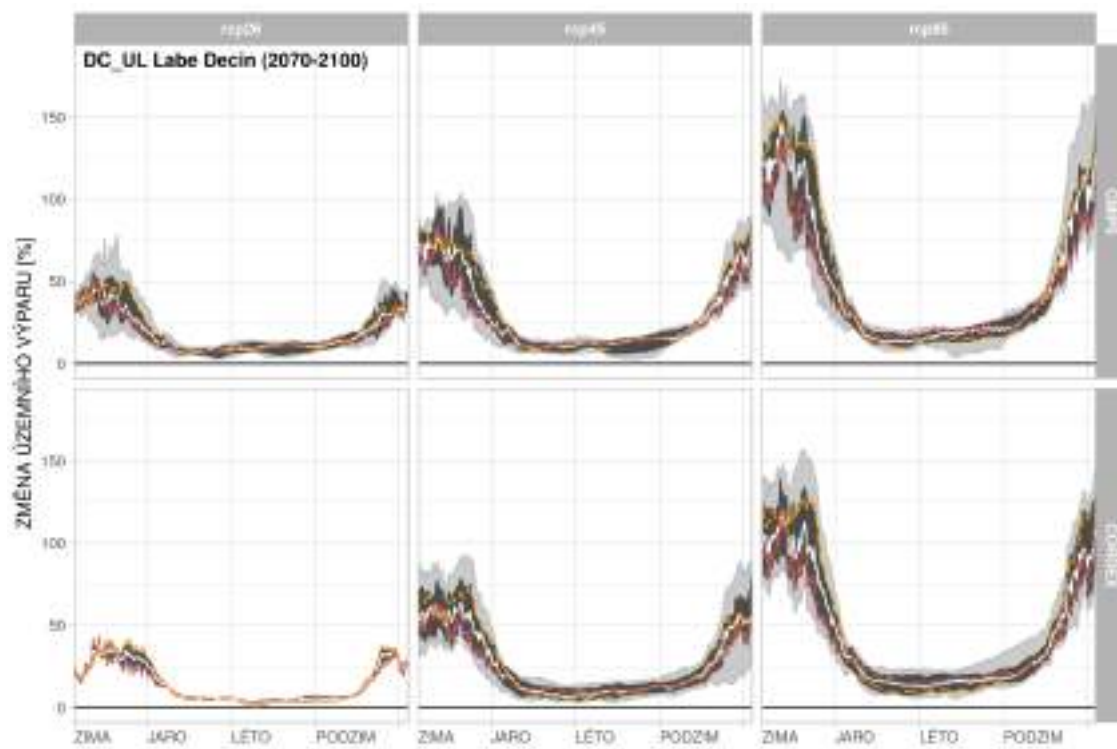


Obrázek 54: Změny aktuální evapotranspirace v povodí Wesenitz-Elbersdorf pro období 2070–2100.

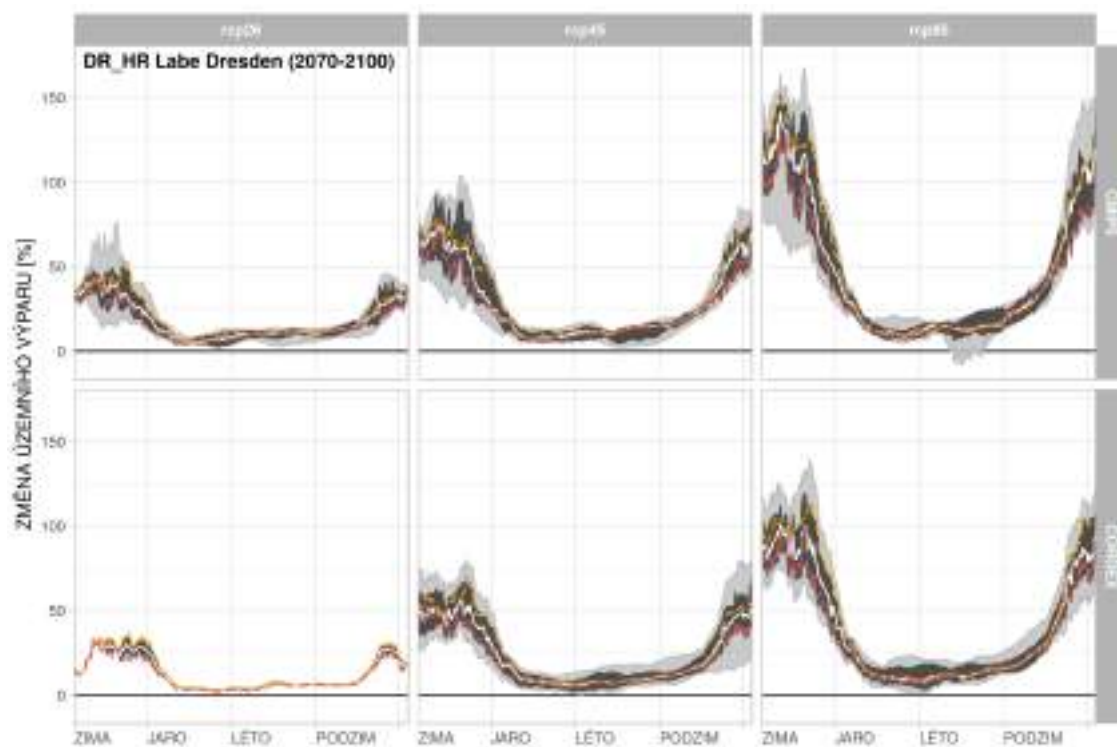


Obrázek 55: Změny aktuální evapotranspirace v povodí Lachsbach-Porsdorf pro období 2070–2100.

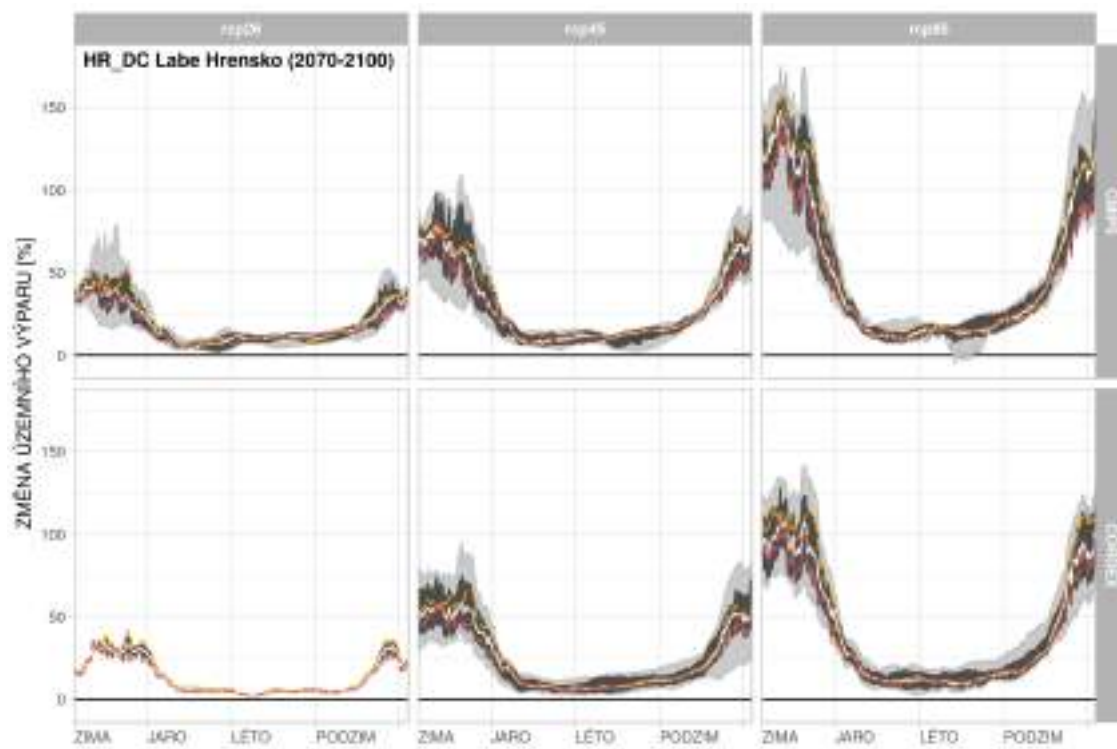




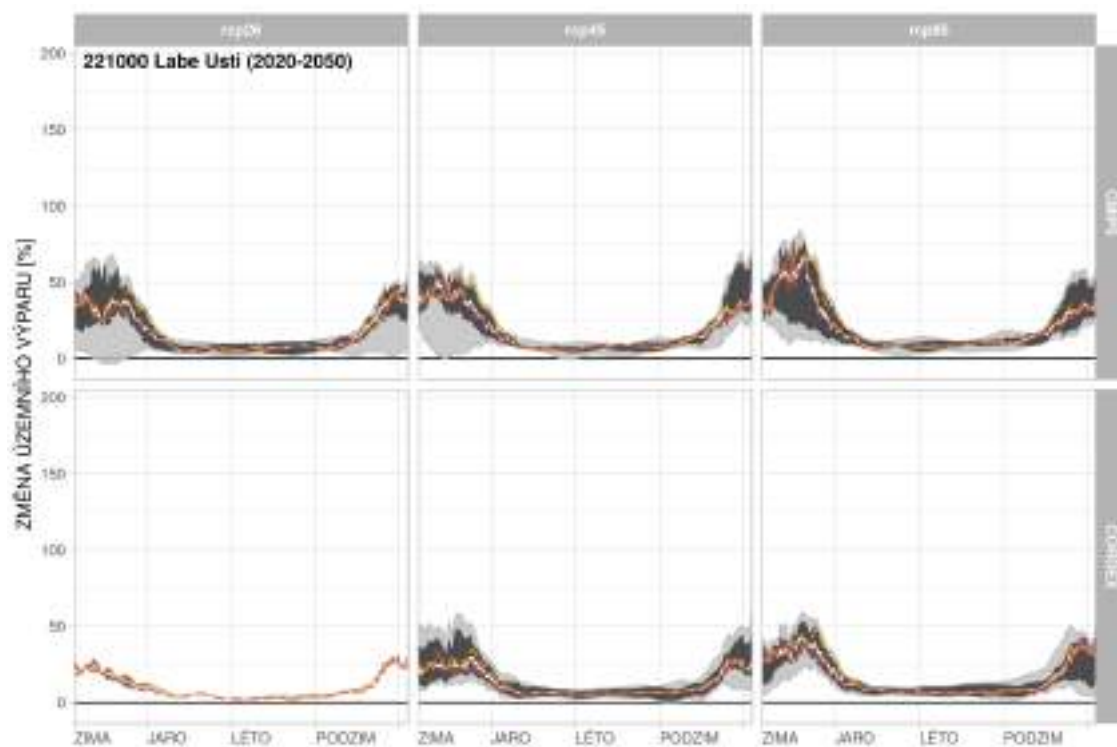
Obrázek 56: Změny aktuální evapotranspirace v povodí Labe-Děčín-Ústí mezipovodí pro období 2070–2100.



Obrázek 57: Změny aktuální evapotranspirace v povodí Labe-Dresden-Hřensko mezipovodí pro období 2070–2100.

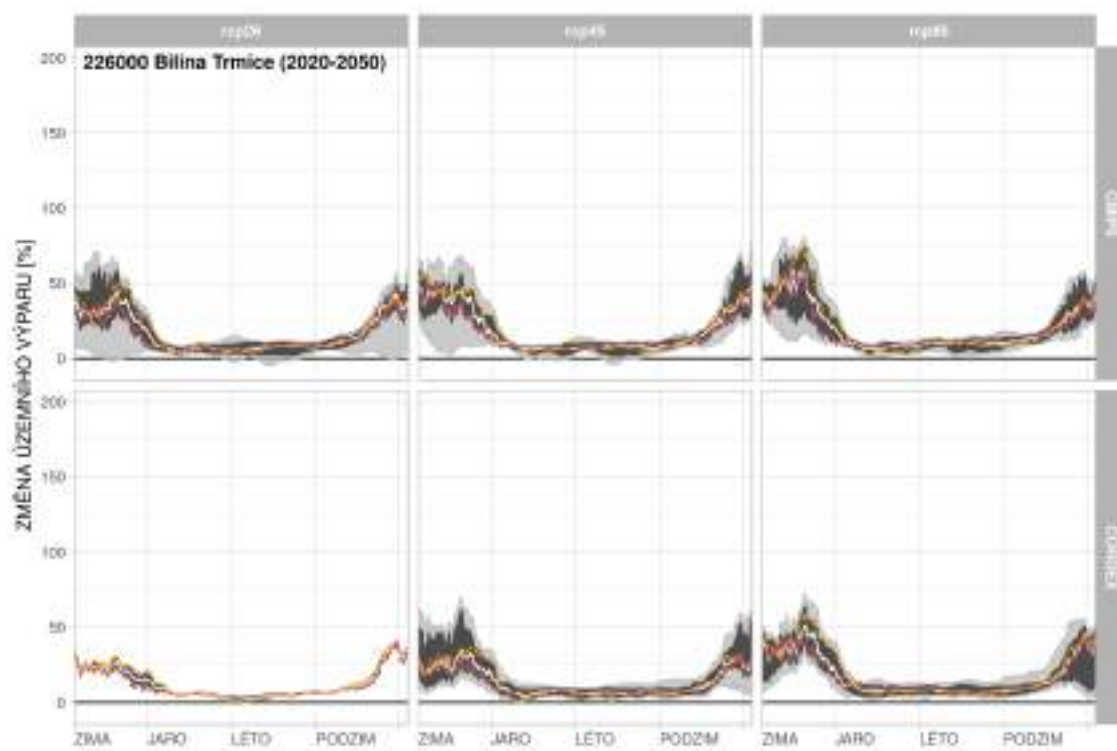


Obrázek 58: Změny aktuální evapotranspirace v povodí Labe-Hřensko-Dečín mezipovodí pro období 2070–2100.

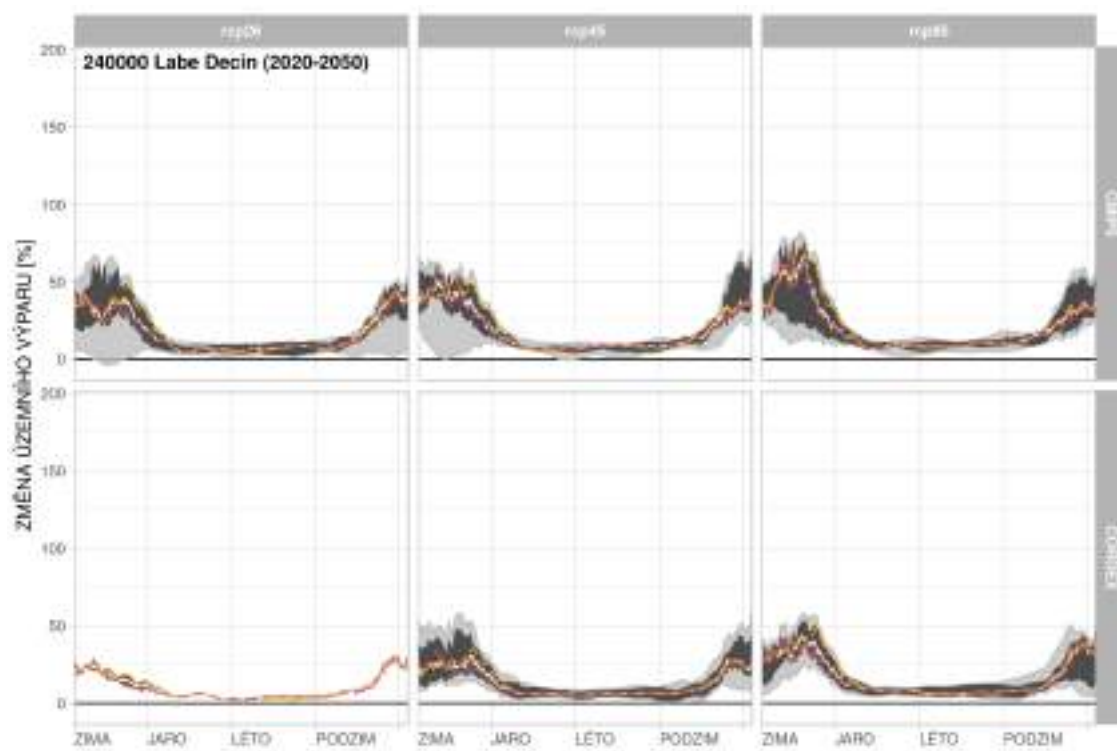


Obrázek 59: Změny aktuální evapotranspirace v povodí Labe-Ústí pro období 2020–2050.

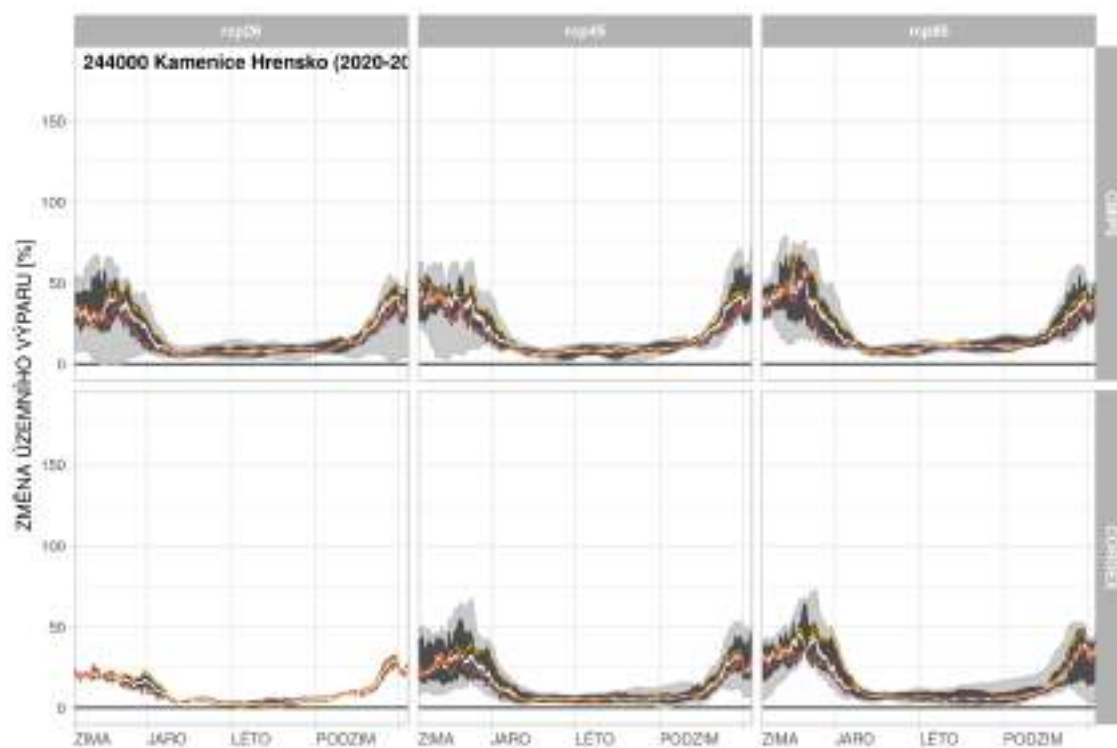




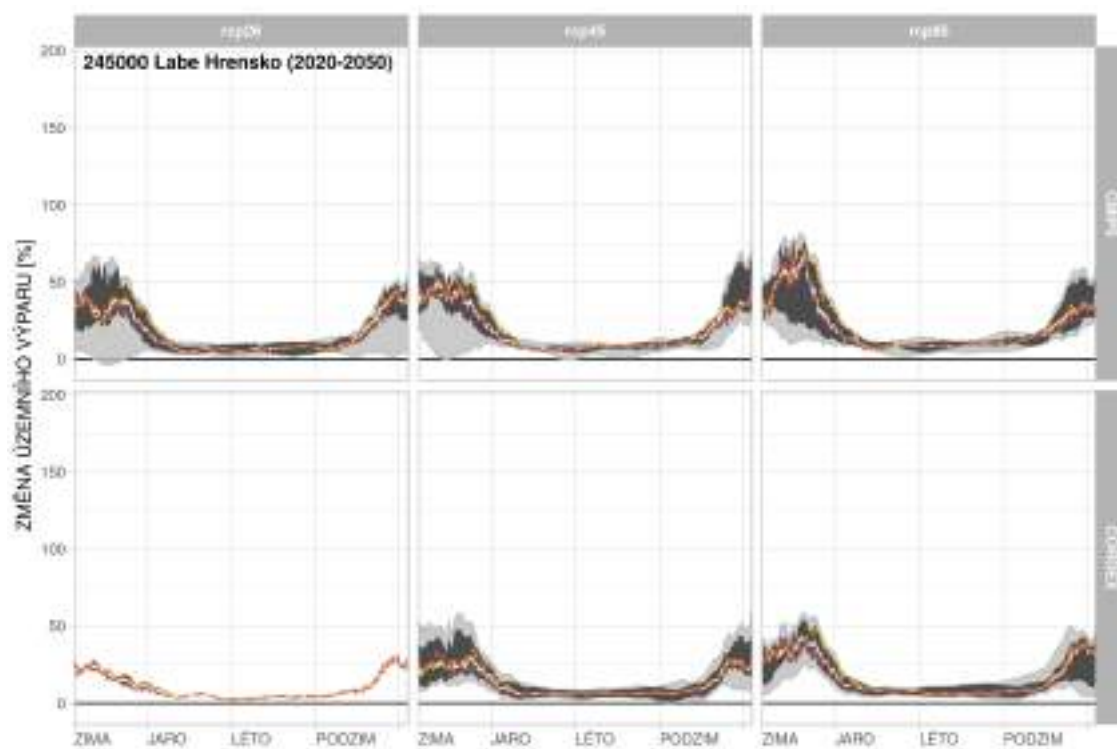
Obrázek 60: Změny aktuální evapotranspirace v povodí Bílina-Trmice pro období 2020–2050.



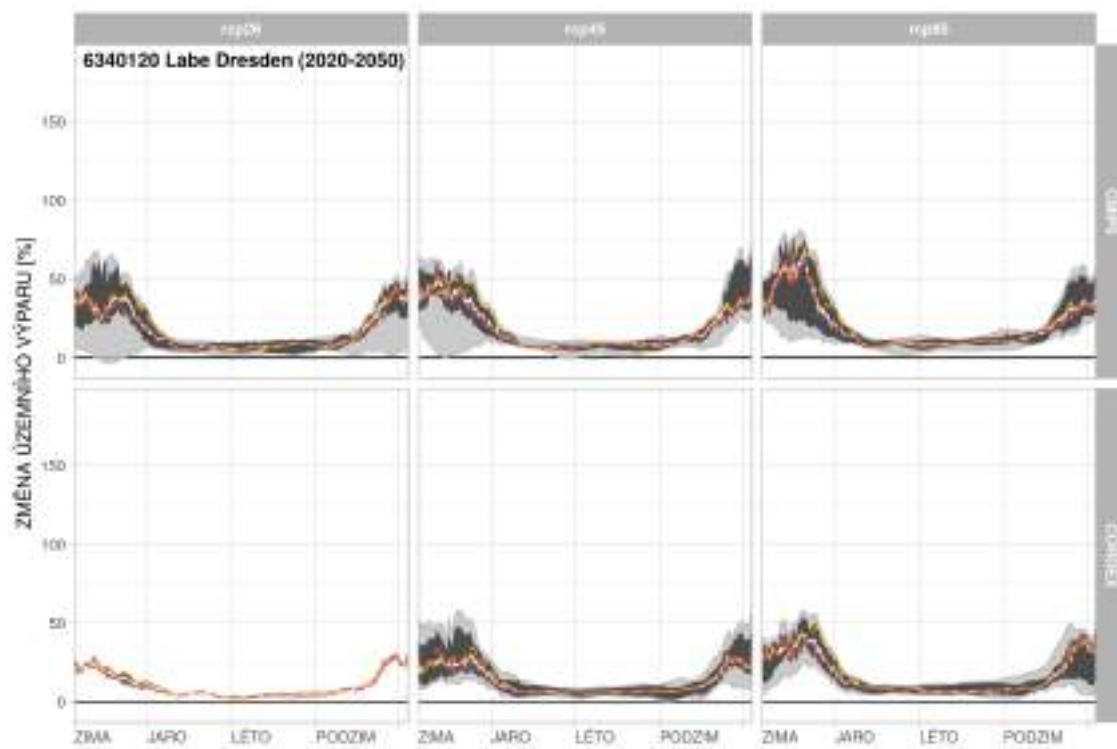
Obrázek 61: Změny aktuální evapotranspirace v povodí Labe-Děčín pro období 2020–2050.



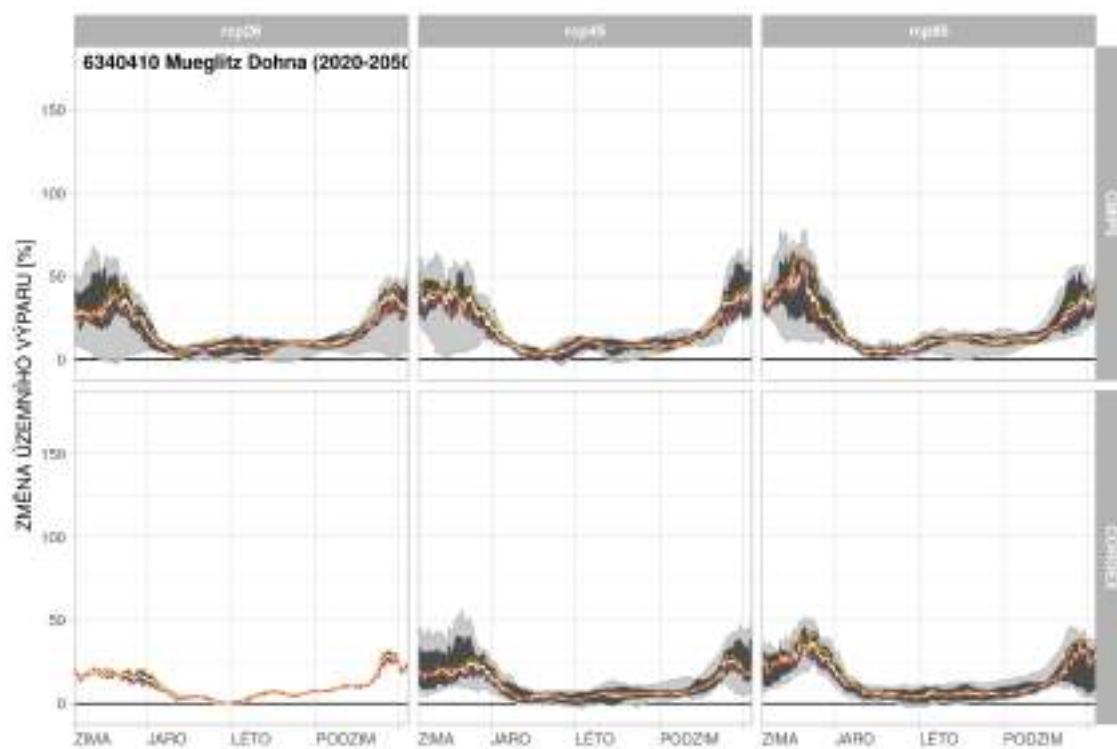
Obrázek 62: Změny aktuální evapotranspirace v povodí Kamenice-Hřensko pro období 2020–2050.



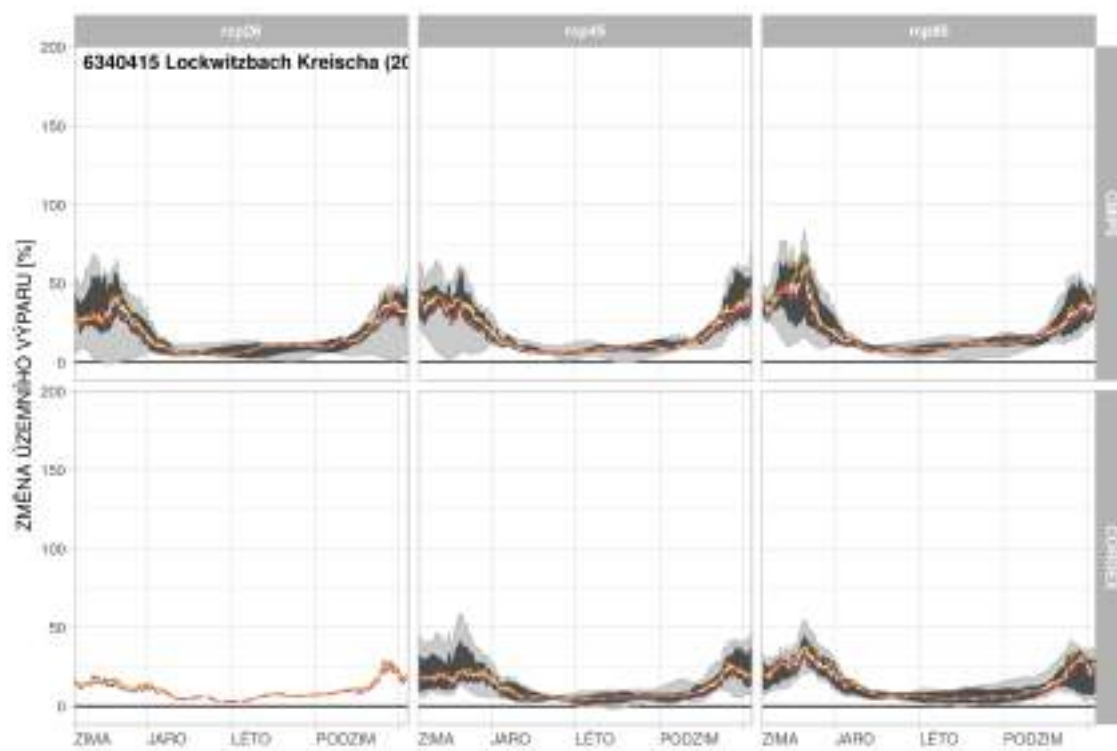
Obrázek 63: Změny aktuální evapotranspirace v povodí Labe-Hřensko pro období 2020–2050.



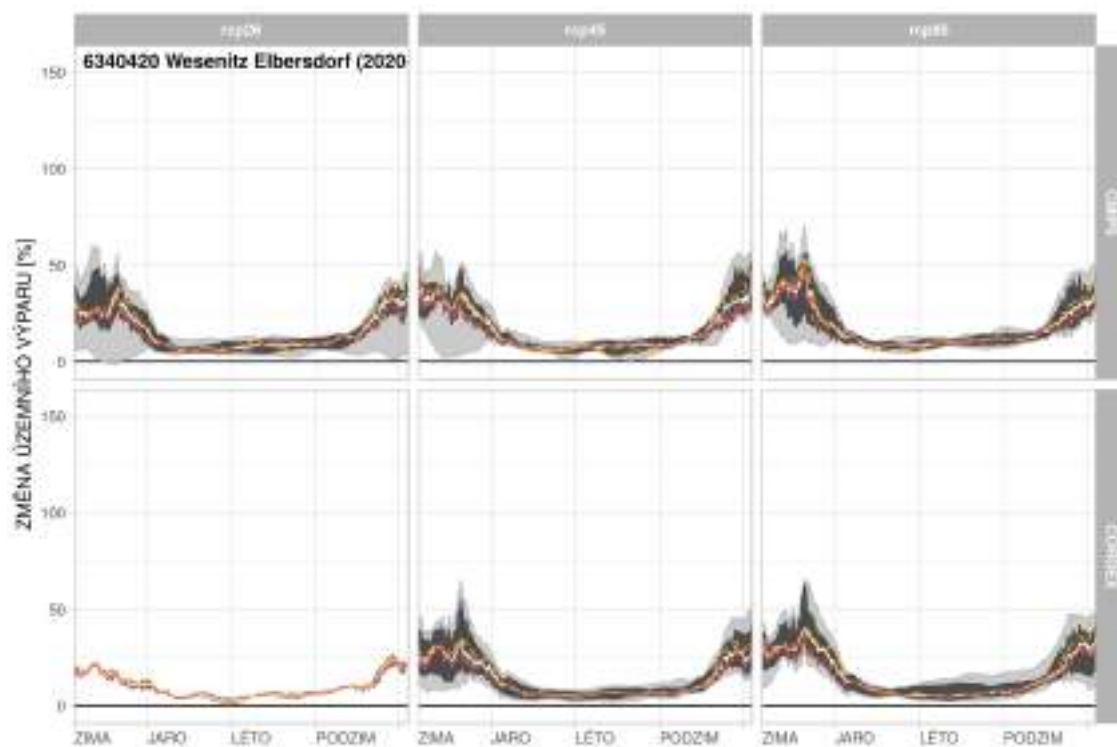
Obrázek 64: Změny aktuální evapotranspirace v povodí Labe-Dresden pro období 2020–2050.



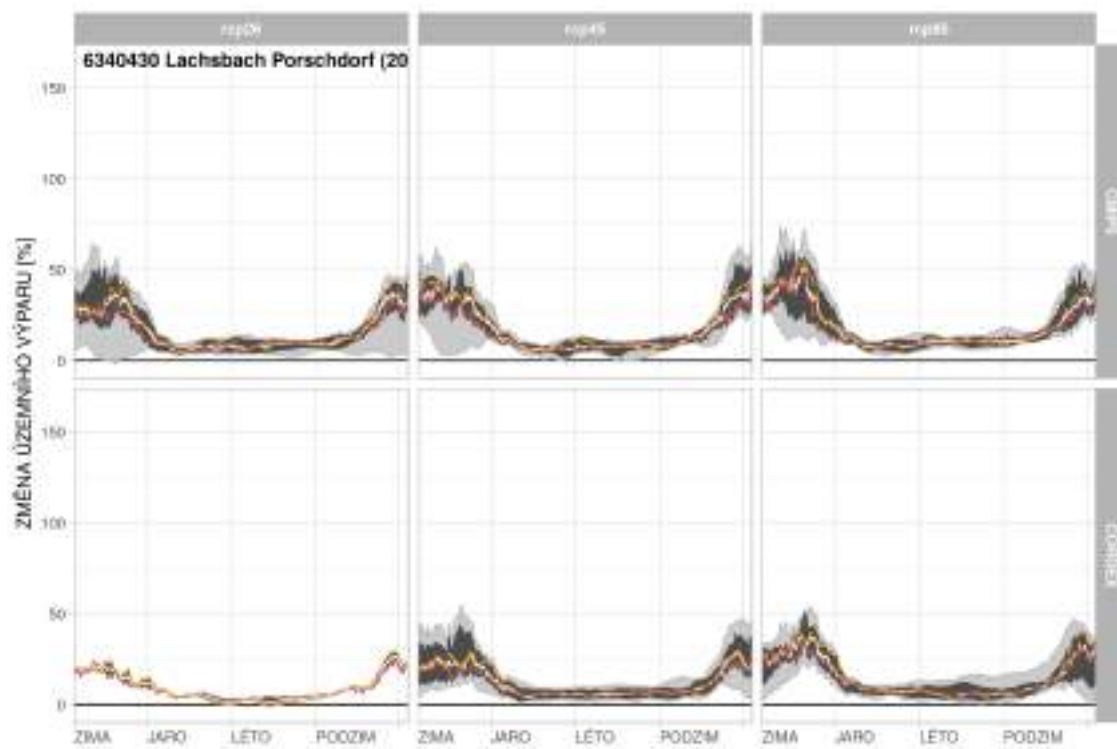
Obrázek 65: Změny aktuální evapotranspirace v povodí Mueglitz-Dohna pro období 2020–2050.



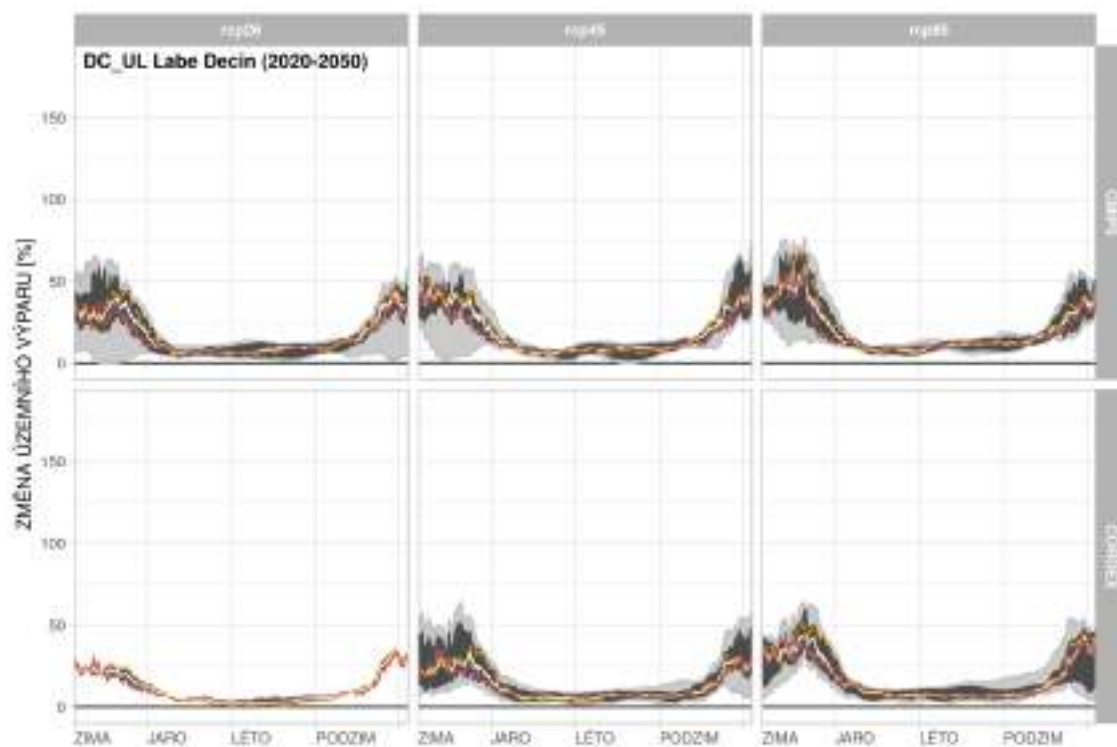
Obrázek 66: Změny aktualní evapotranspirace v povodí Lockwitzbach-Kreischa pro období 2020–2050.



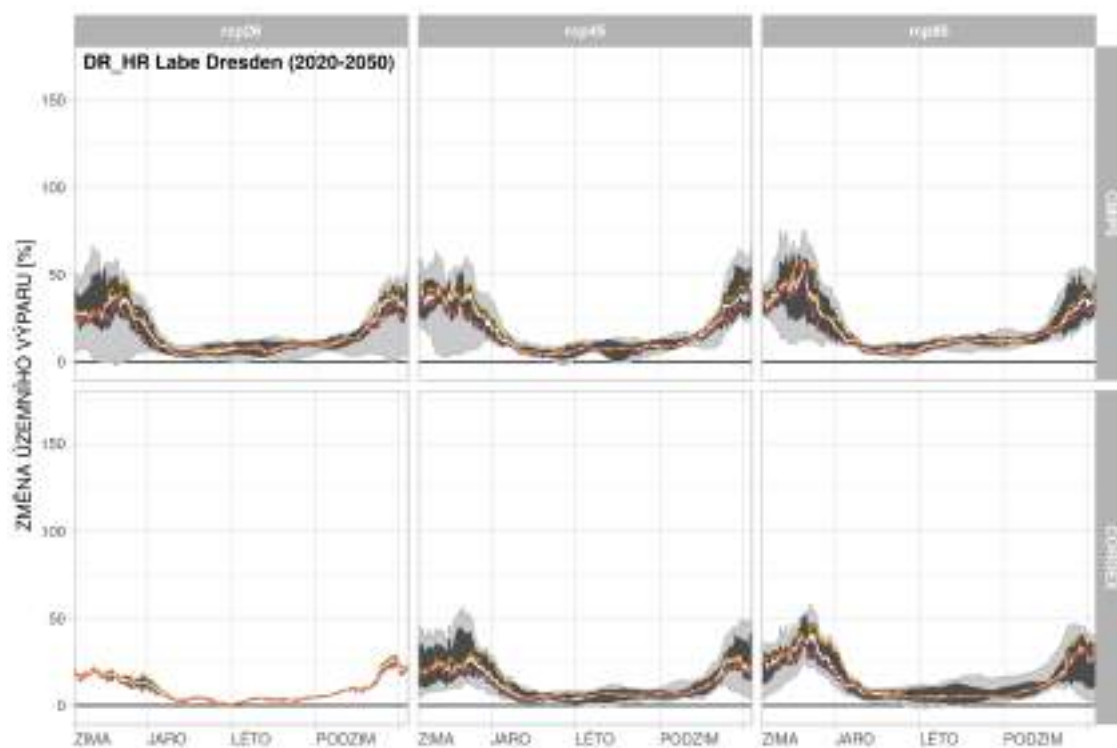
Obrázek 67: Změny aktualní evapotranspirace v povodí Wesenitz-Elbersdorf pro období 2020–2050.



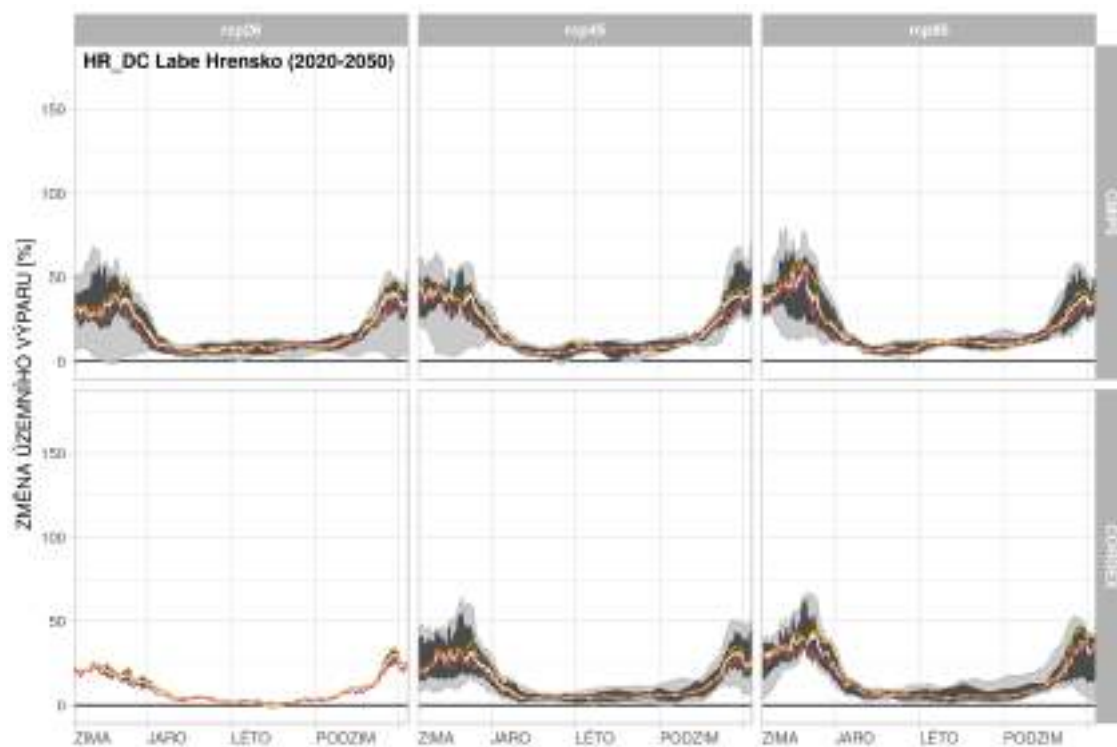
Obrázek 68: Změny aktuální evapotranspirace v povodí Lachsbach-Porschdorf pro období 2020–2050.



Obrázek 69: Změny aktuální evapotranspirace v povodí Labe-Děčín-Ústí mezipovodí pro období 2020–2050.

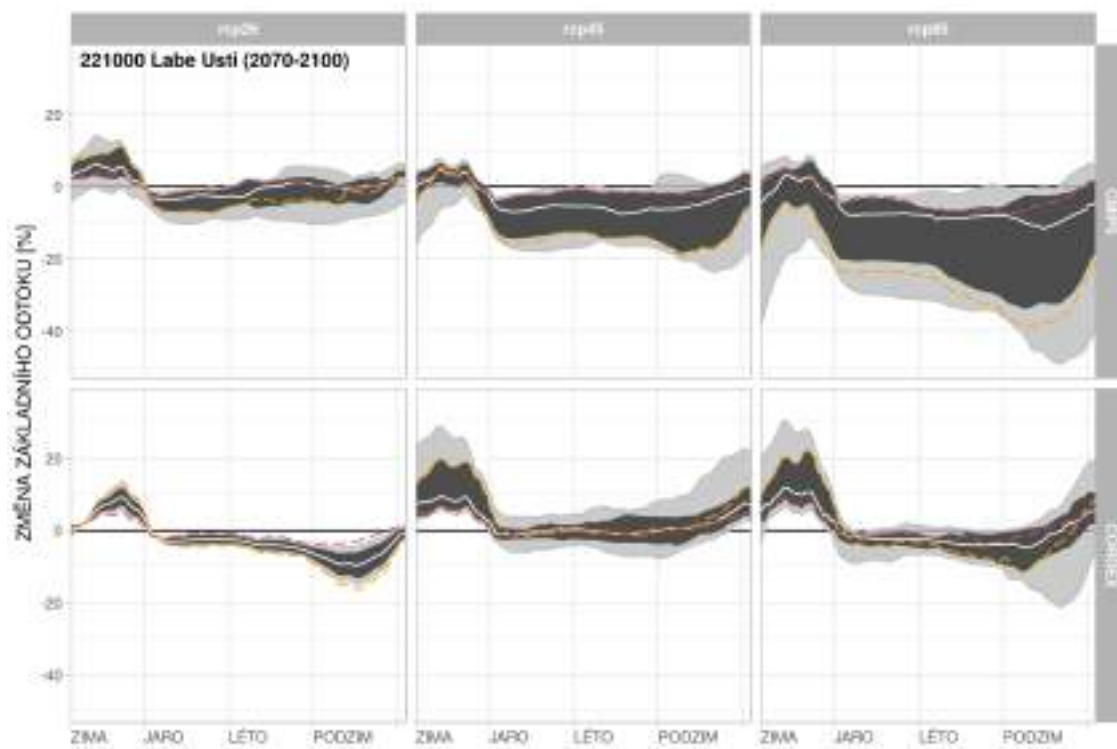


Obrázek 70: Změny aktuální evapotranspirace v povodí Labe-Dresden-Hřensko mezipovodí pro období 2020–2050.

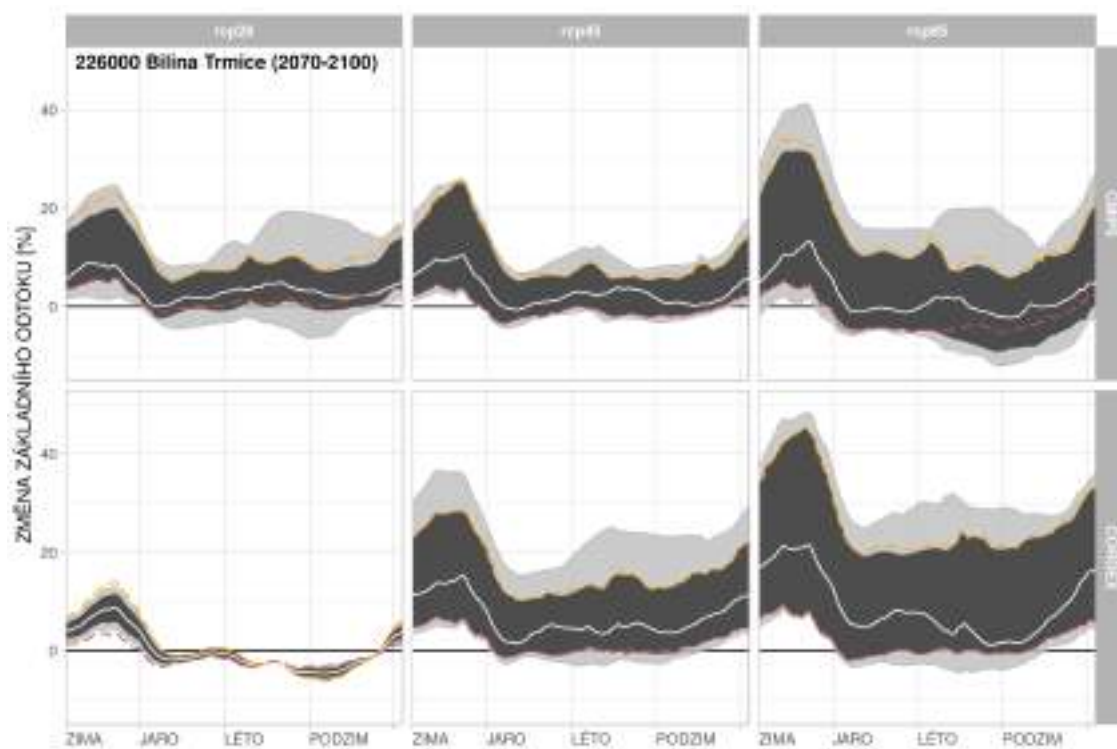


Obrázek 71: Změny aktuální evapotranspirace v povodí Labe-Hřensko-Dečín mezipovodí pro období 2020–2050.

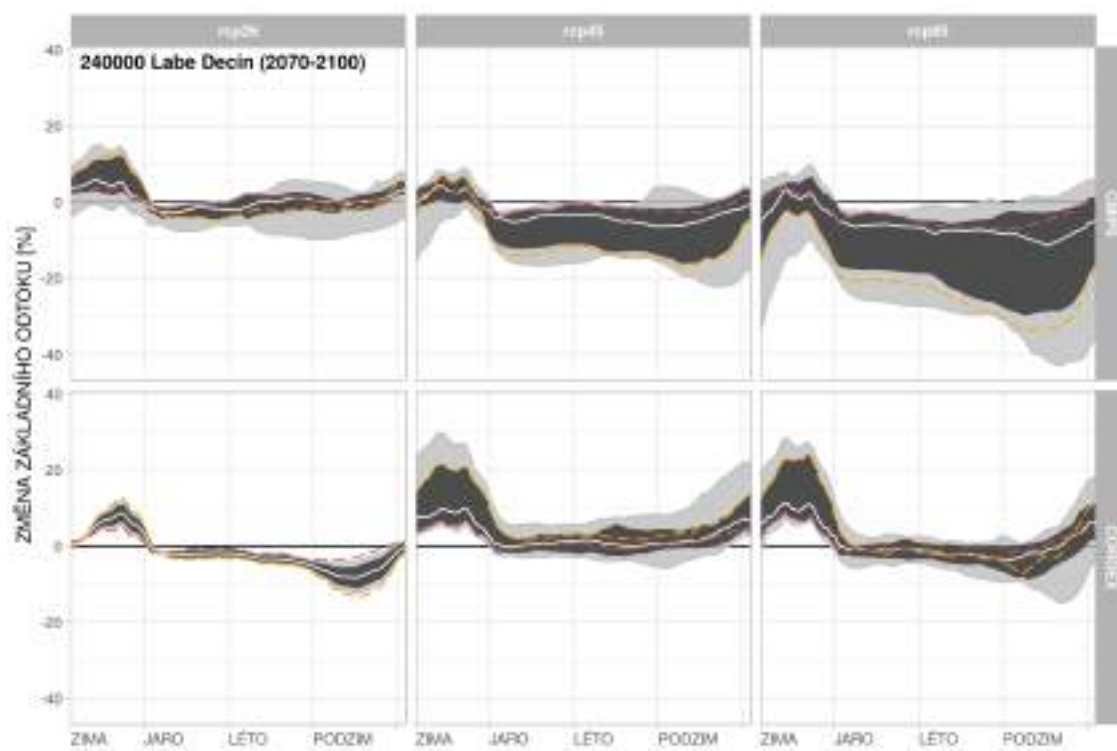




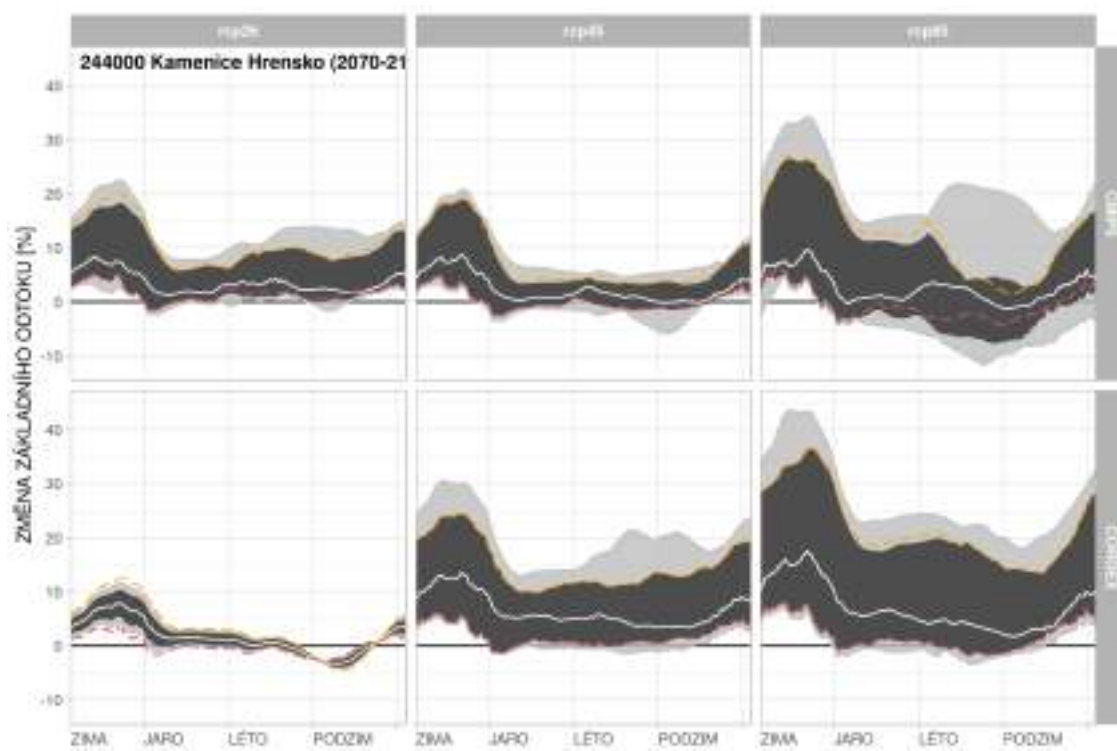
Obrázek 72: Změny základního odtoku v povodí Labe-Ústí pro období 2070–2100.



Obrázek 73: Změny základního odtoku v povodí Bílina-Trmice pro období 2070–2100.

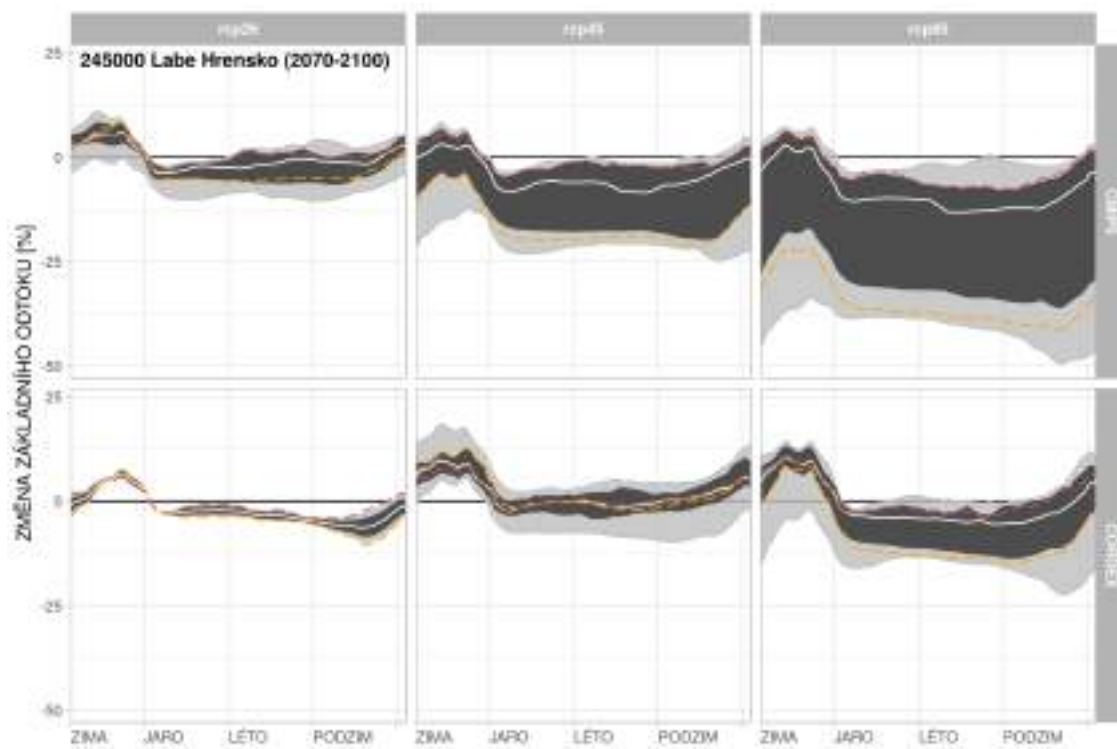


Obrázek 74: Změny základního odtoku v povodí Labe-Děčín pro období 2070–2100.

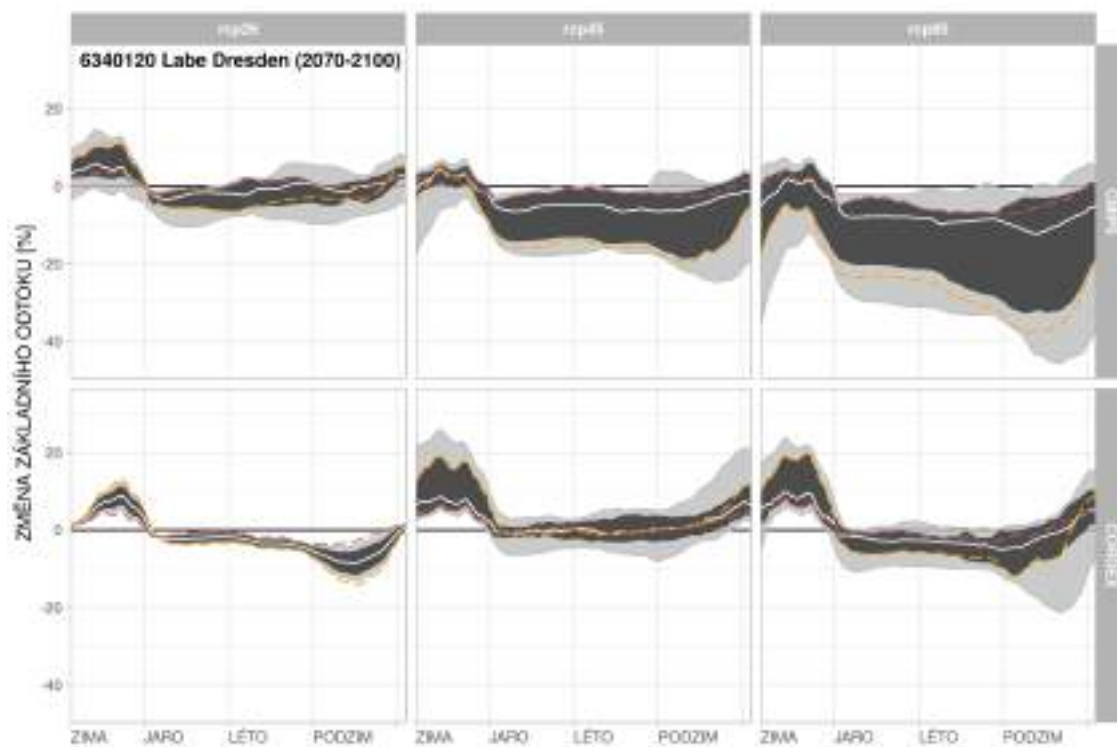


Obrázek 75: Změny základního odtoku v povodí Kamenice-Hřensko pro období 2070–2100.

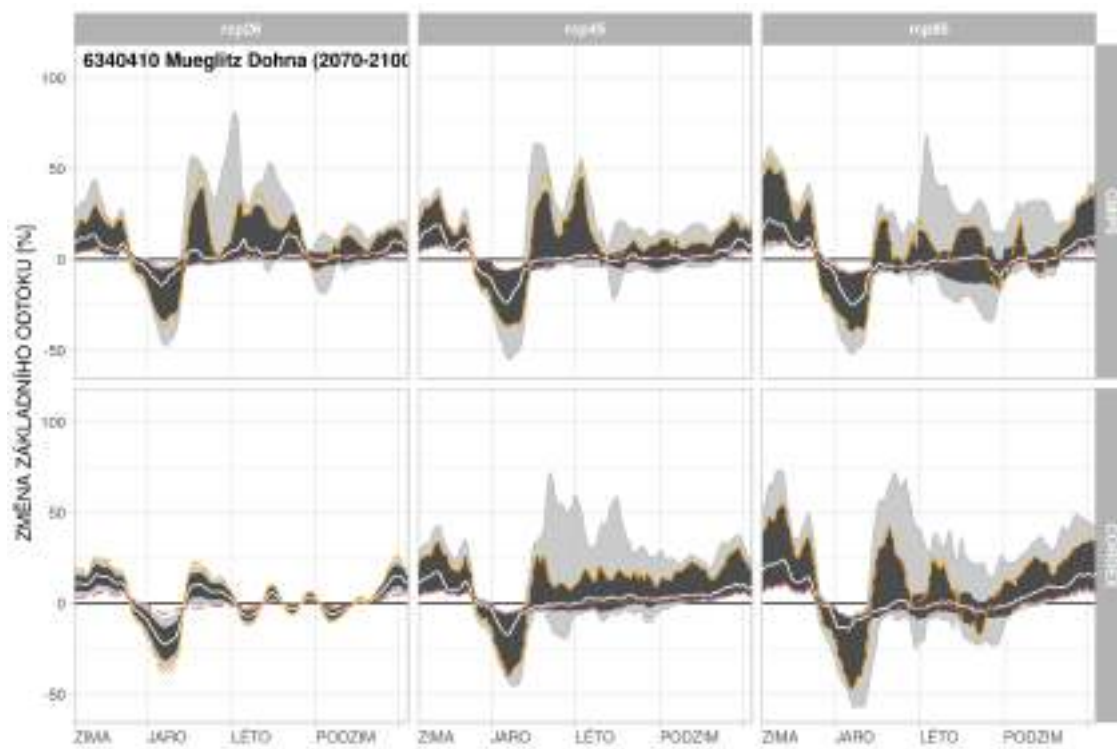




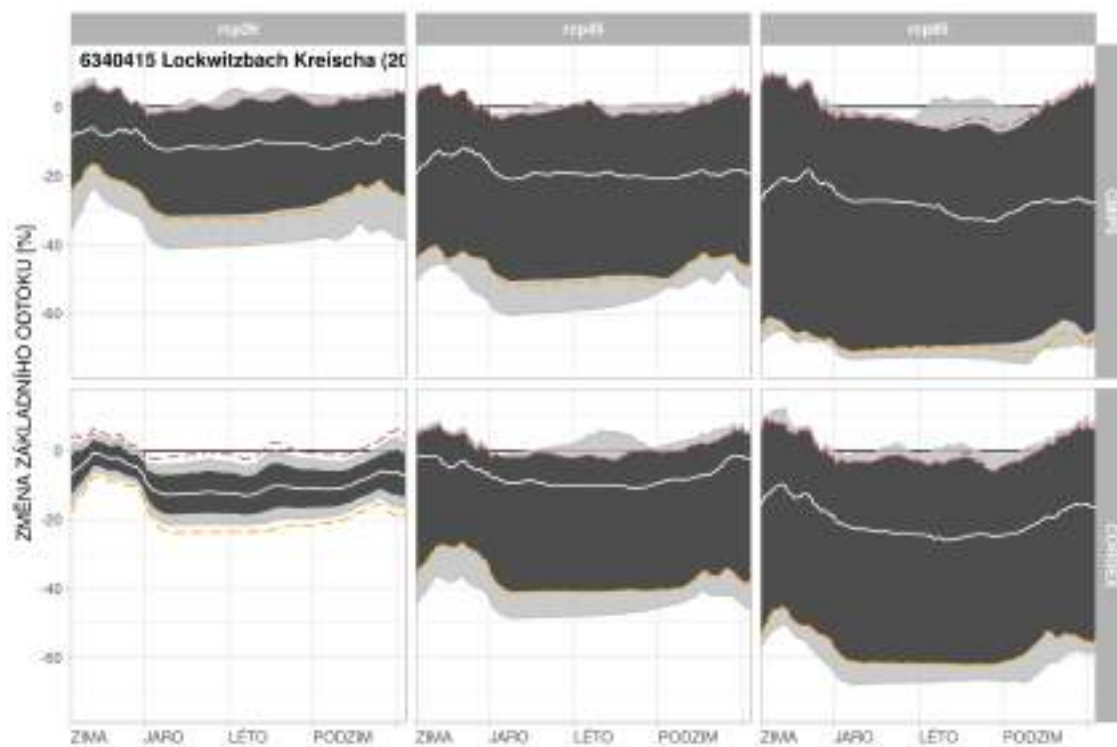
Obrázek 76: Změny základního odtoku v povodí Labe-Hřensko pro období 2070–2100.



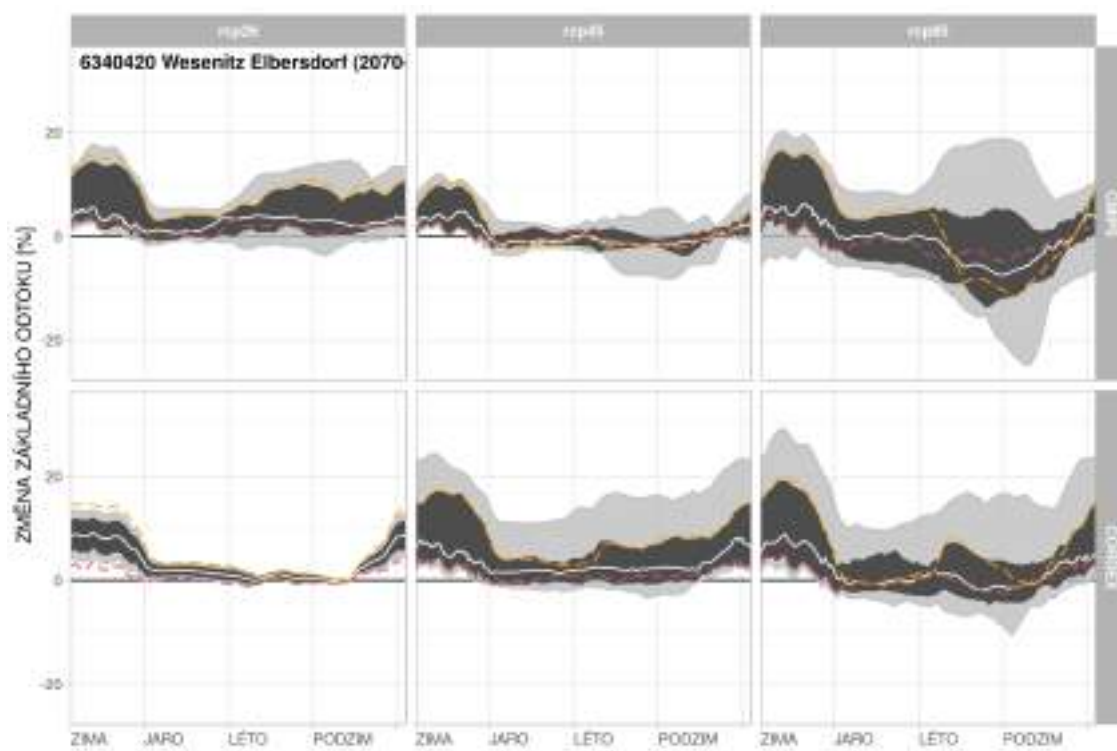
Obrázek 77: Změny základního odtoku v povodí Labe-Dresden pro období 2070–2100.



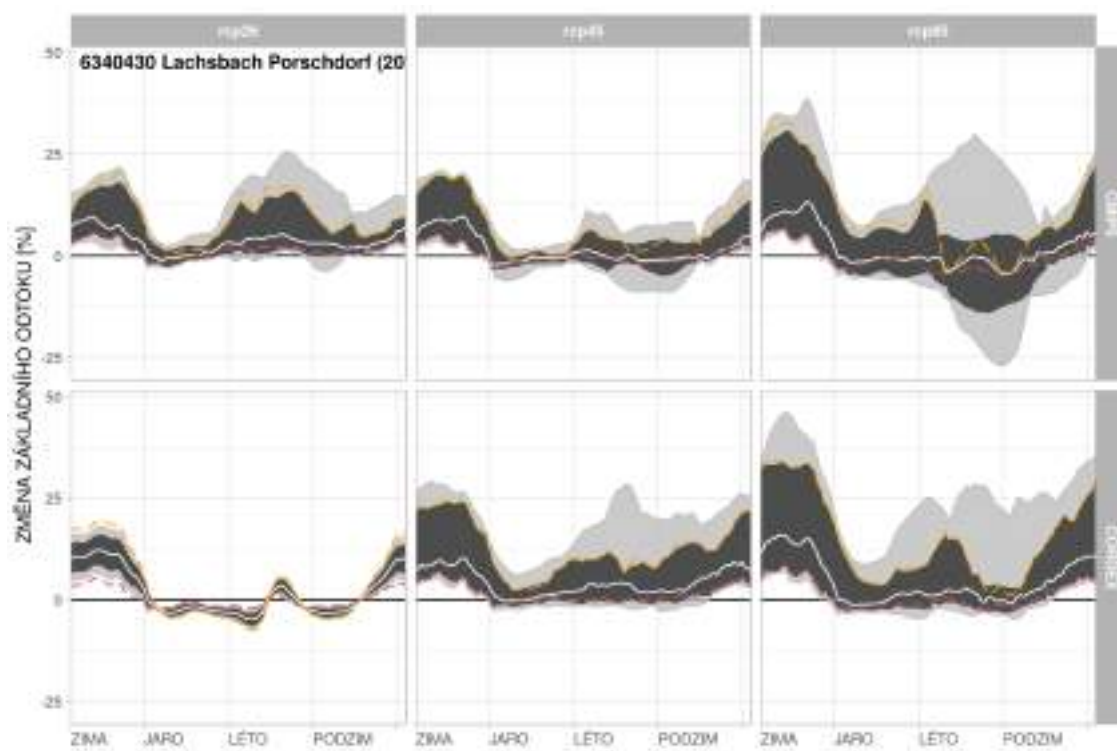
Obrázek 78: Změny základního odtoku v povodí Mueglitz-Dohna pro období 2070–2100.



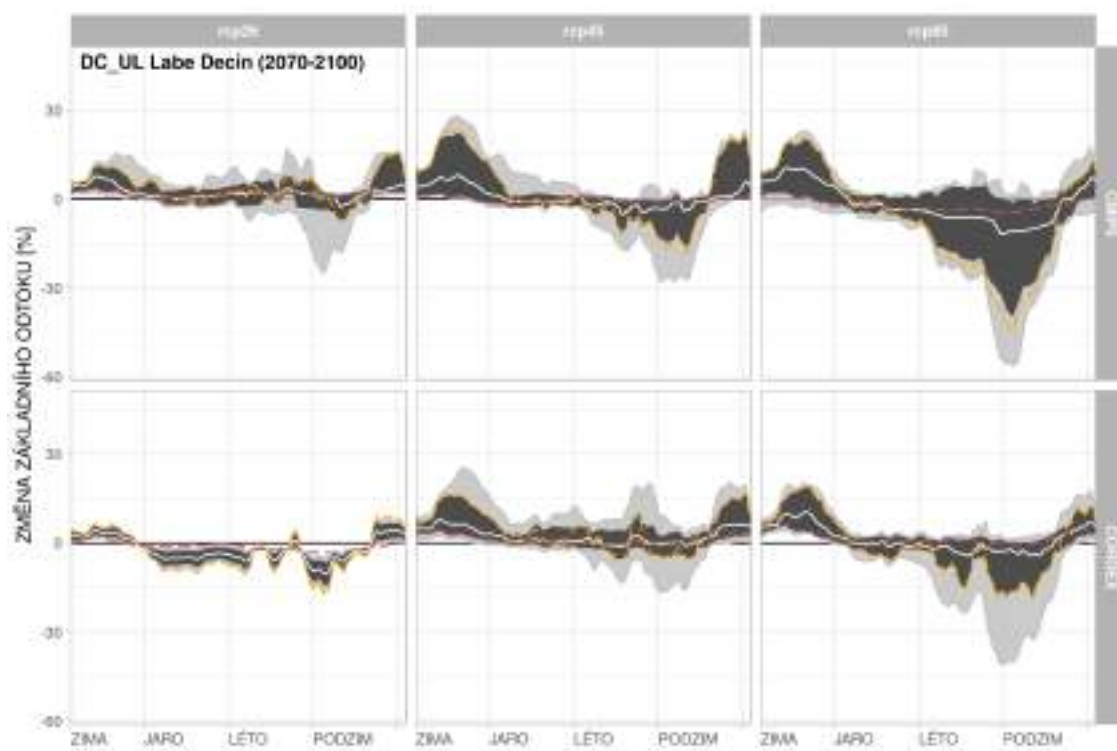
Obrázek 79: Změny základního odtoku v povodí Lockwitzbach-Kreischa pro období 2070–2100.



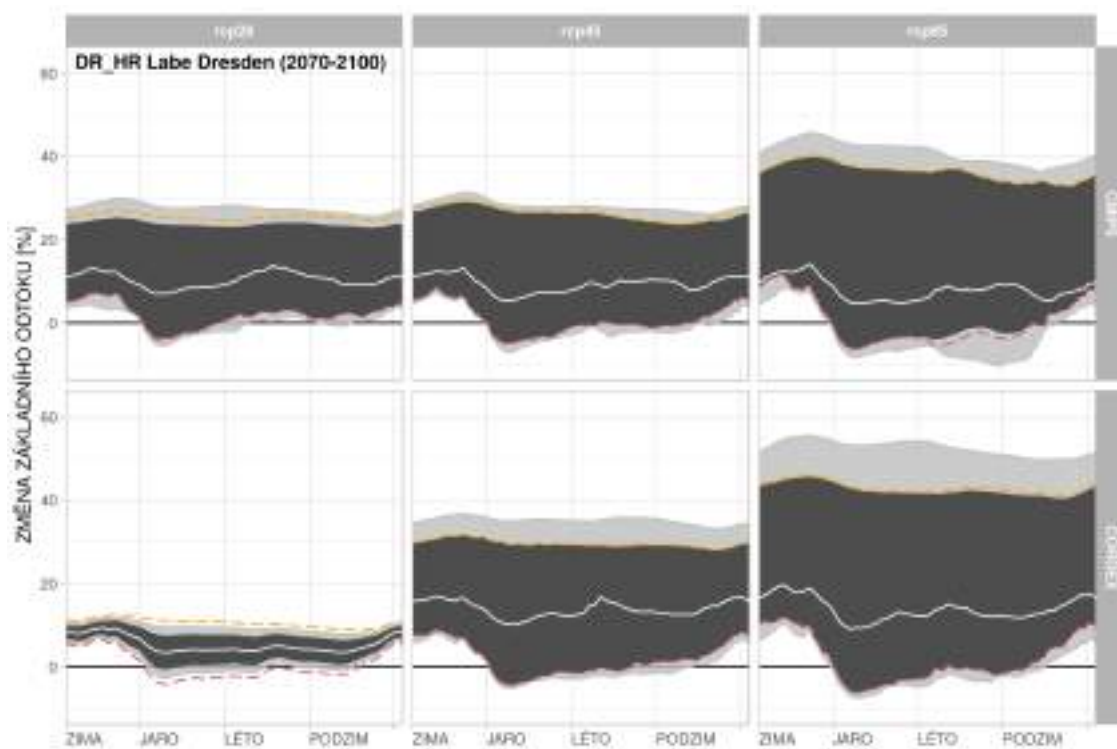
Obrázek 80: Změny základního odtoku v povodí Wesenitz-Elbersdorf pro období 2070–2100.



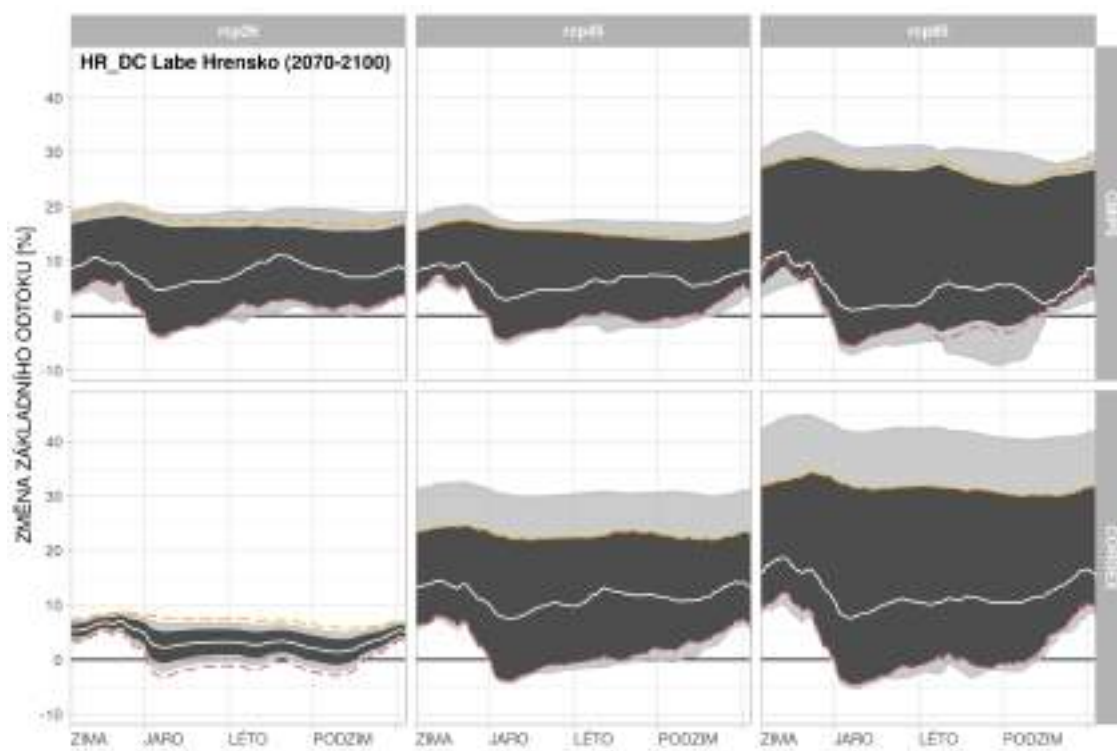
Obrázek 81: Změny základního odtoku v povodí Lachsbach-Porschdorf pro období 2070–2100.



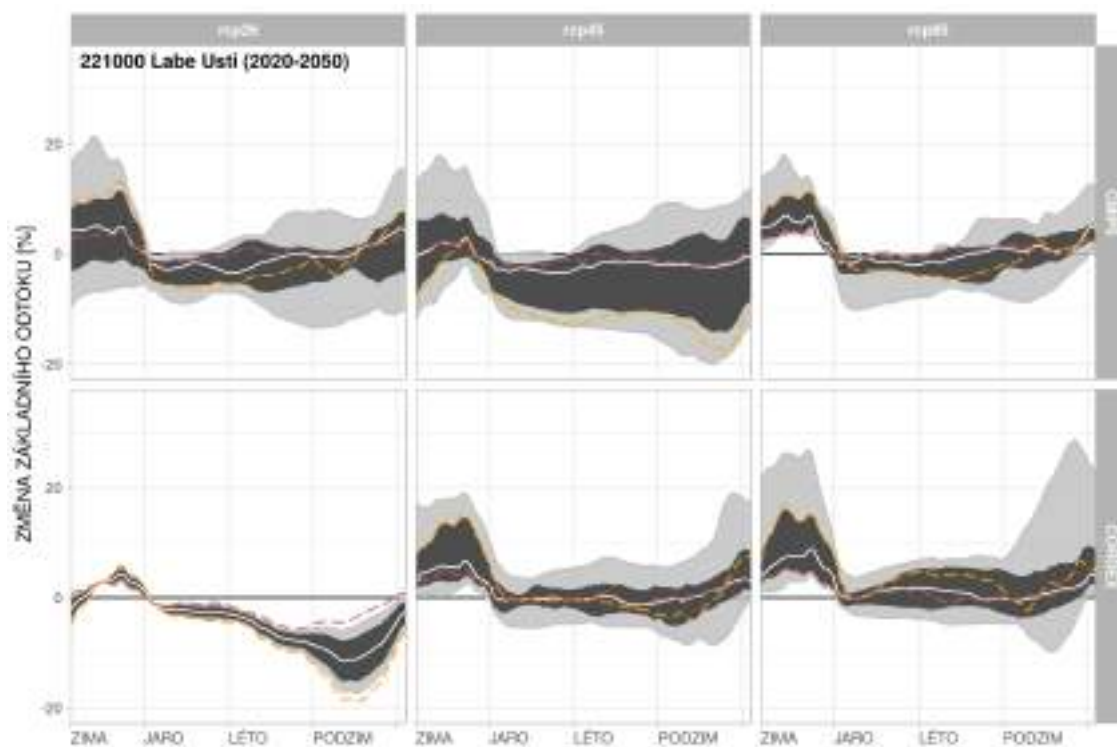
Obrázek 82: Změny základního odtoku v povodí Labe-Děčín-Ústí mezipovodí pro období 2070–2100.



Obrázek 83: Změny základního odtoku v povodí Labe-Dresden-Hřensko mezipovodí pro období 2070–2100.

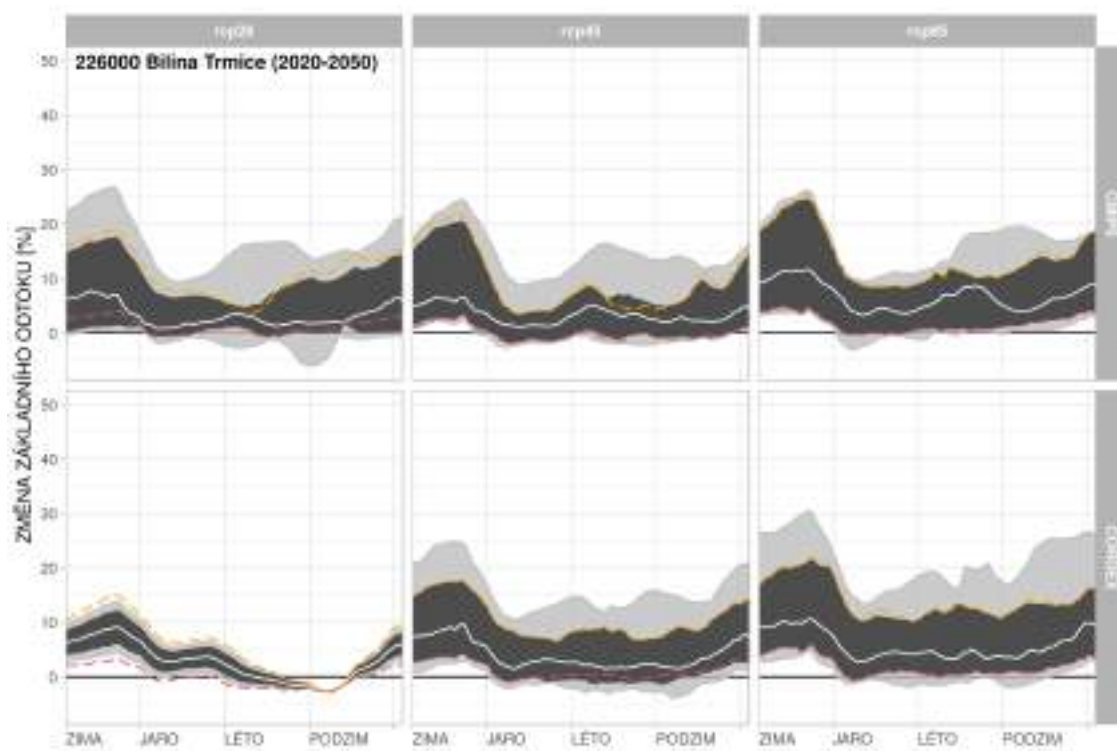


Obrázek 84: Změny základního odtoku v povodí Labe-Hřensko-Dečín mezipovodí pro období 2070–2100.

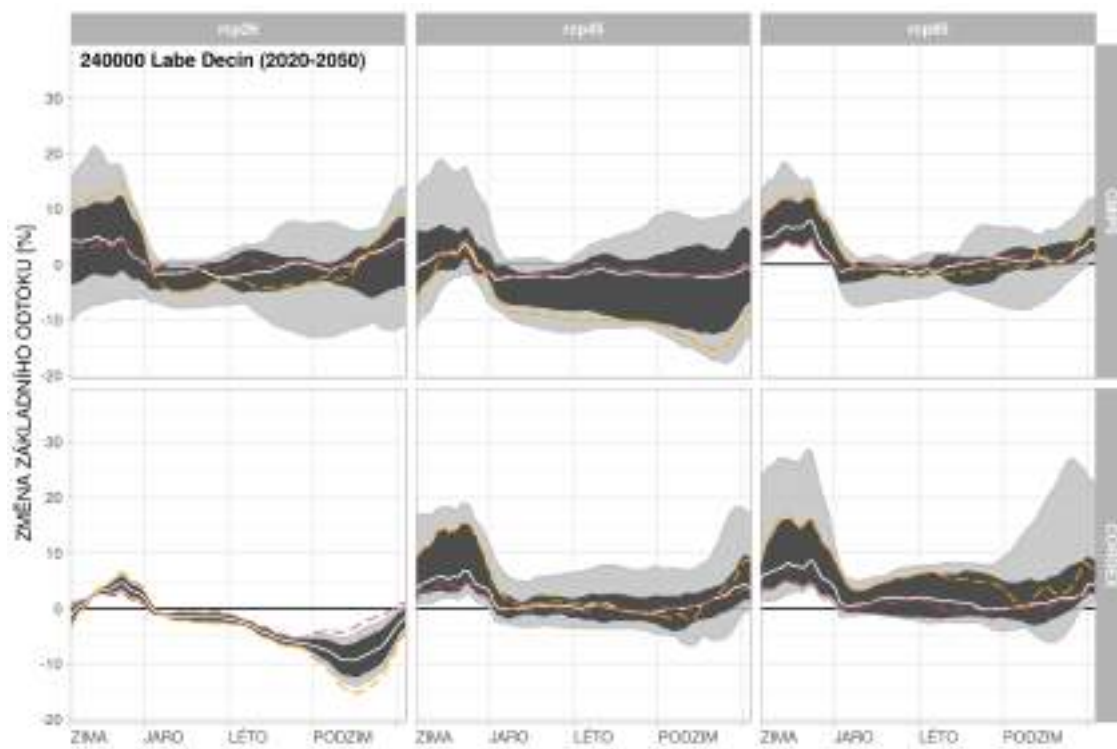


Obrázek 85: Změny základního odtoku v povodí Labe-Ústí pro období 2020–2050.

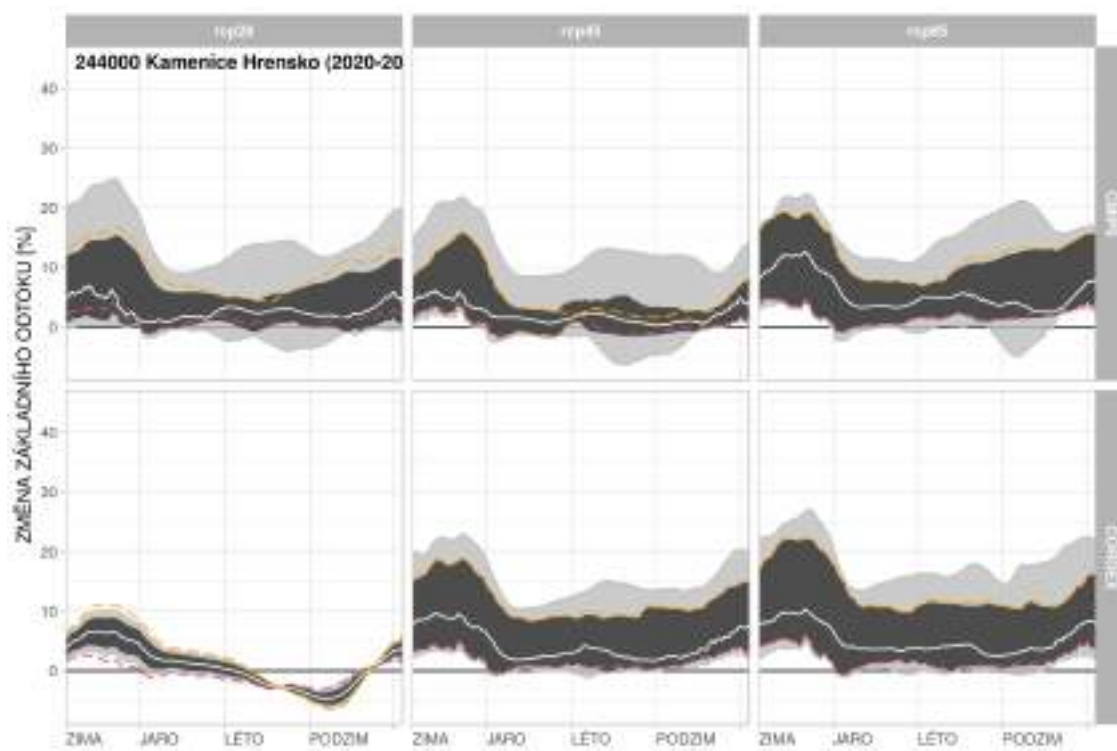




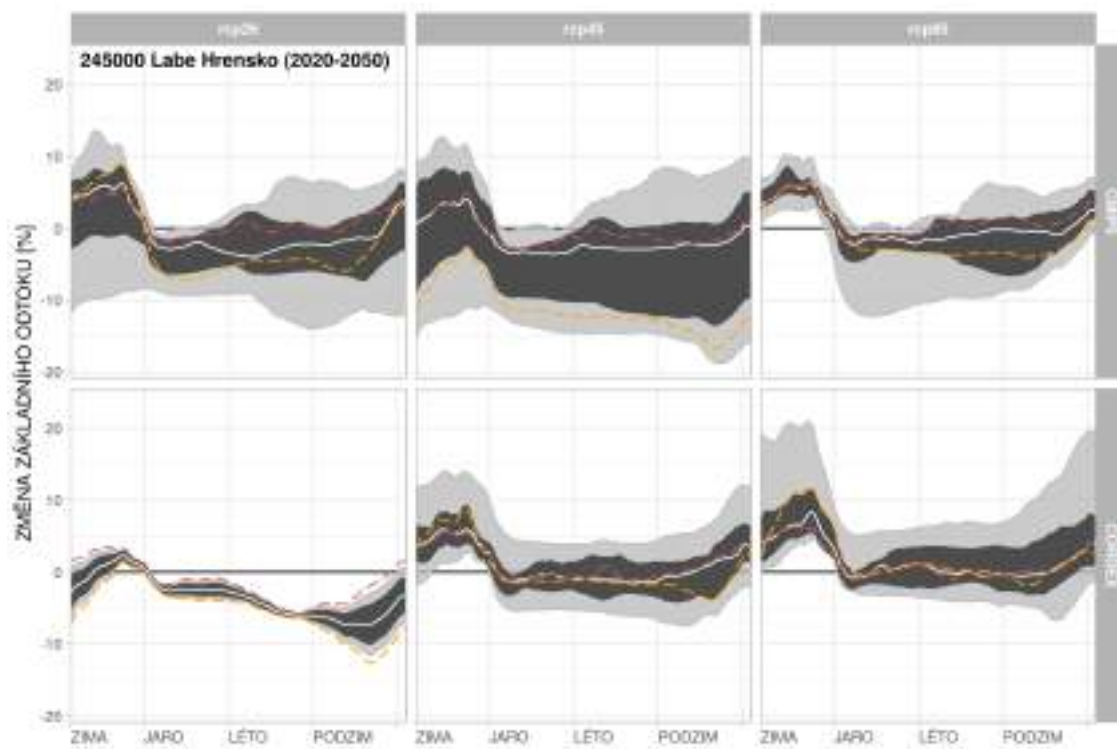
Obrázek 86: Změny základního odtoku v povodí Bílina-Trmice pro období 2020–2050.



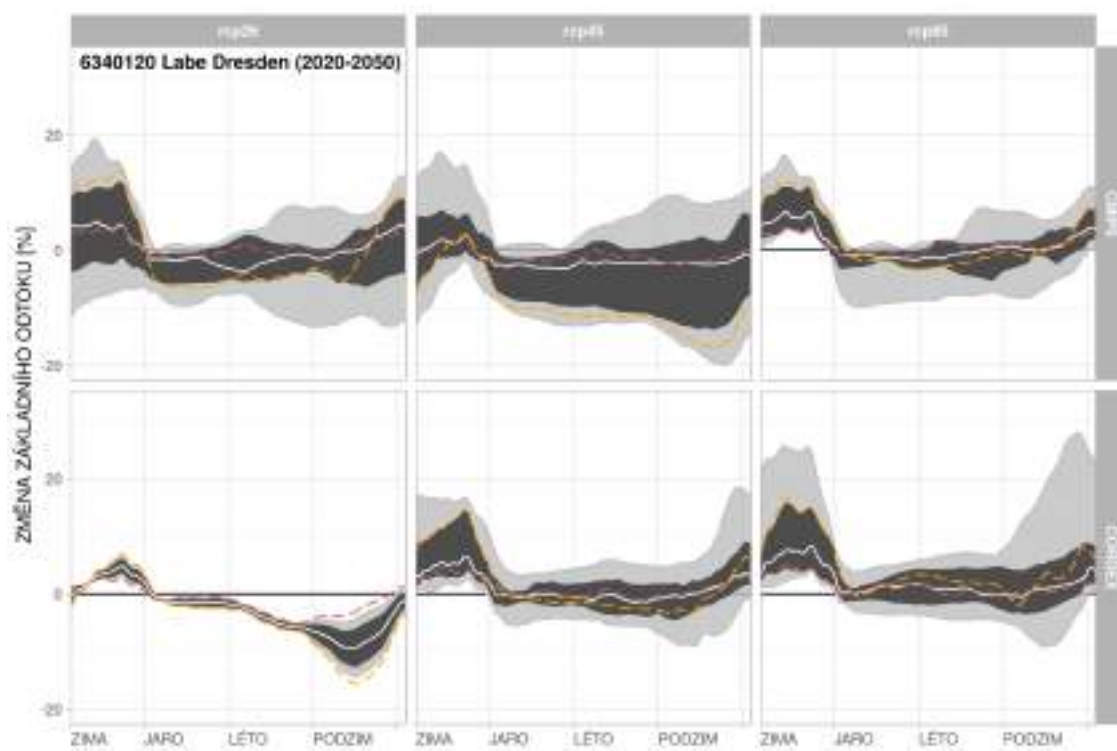
Obrázek 87: Změny základního odtoku v povodí Labe-Děčín pro období 2020–2050.



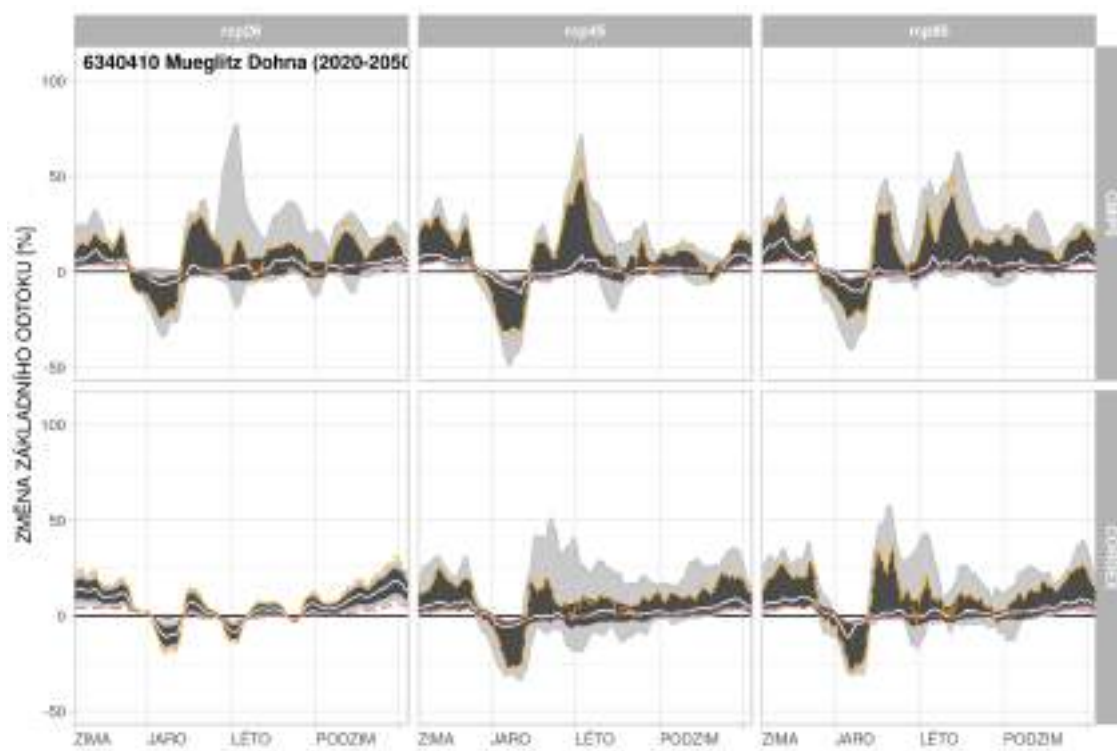
Obrázek 88: Změny základního odtoku v povodí Kamenice-Hřensko pro období 2020–2050.



Obrázek 89: Změny základního odtoku v povodí Labe-Hřensko pro období 2020–2050.

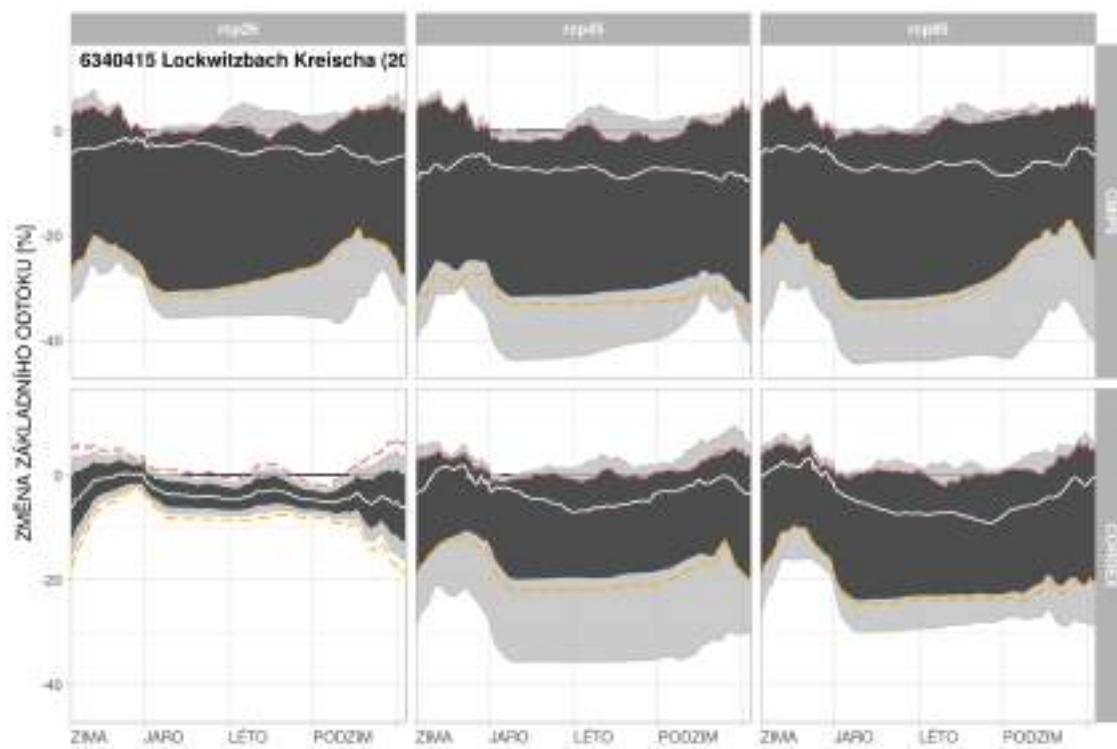


Obrázek 90: Změny základního odtoku v povodí Labe-Dresden pro období 2020–2050.

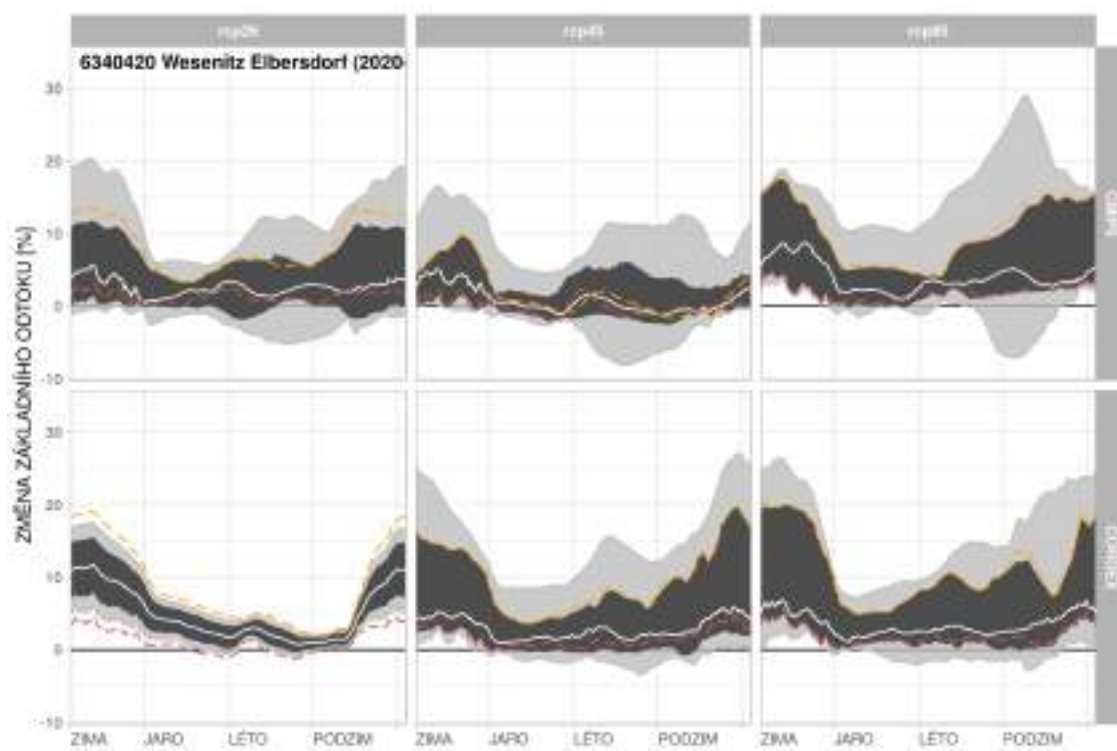


Obrázek 91: Změny základního odtoku v povodí Mueglitz-Dohna pro období 2020–2050.

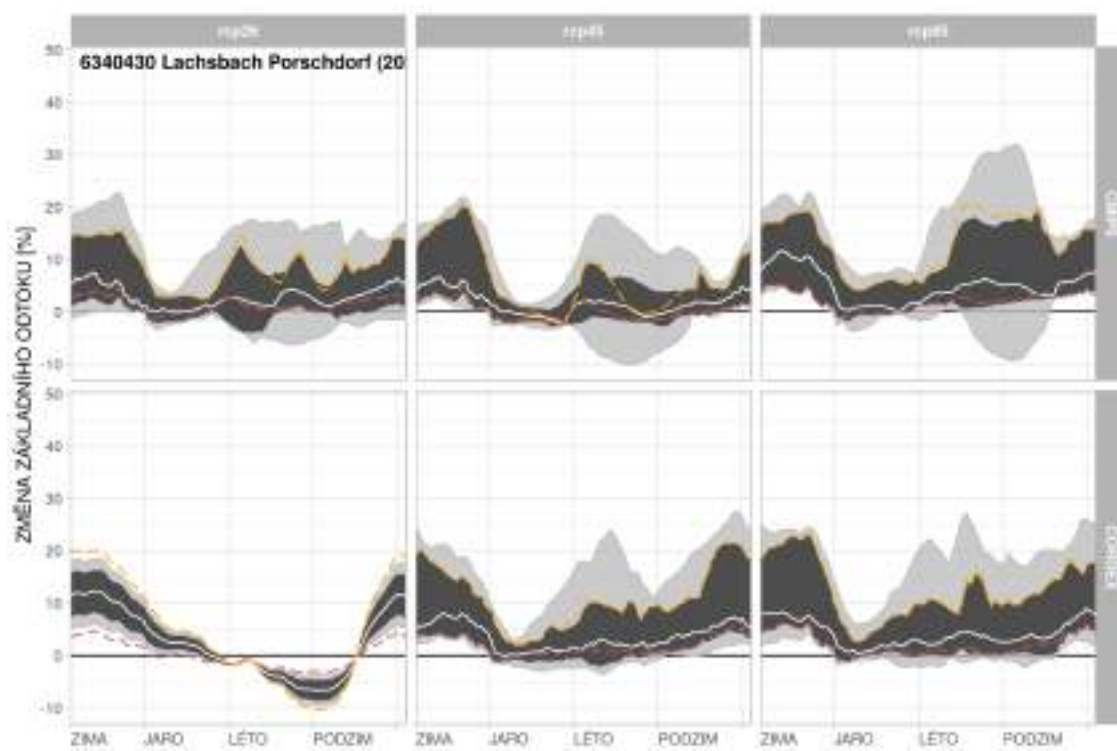




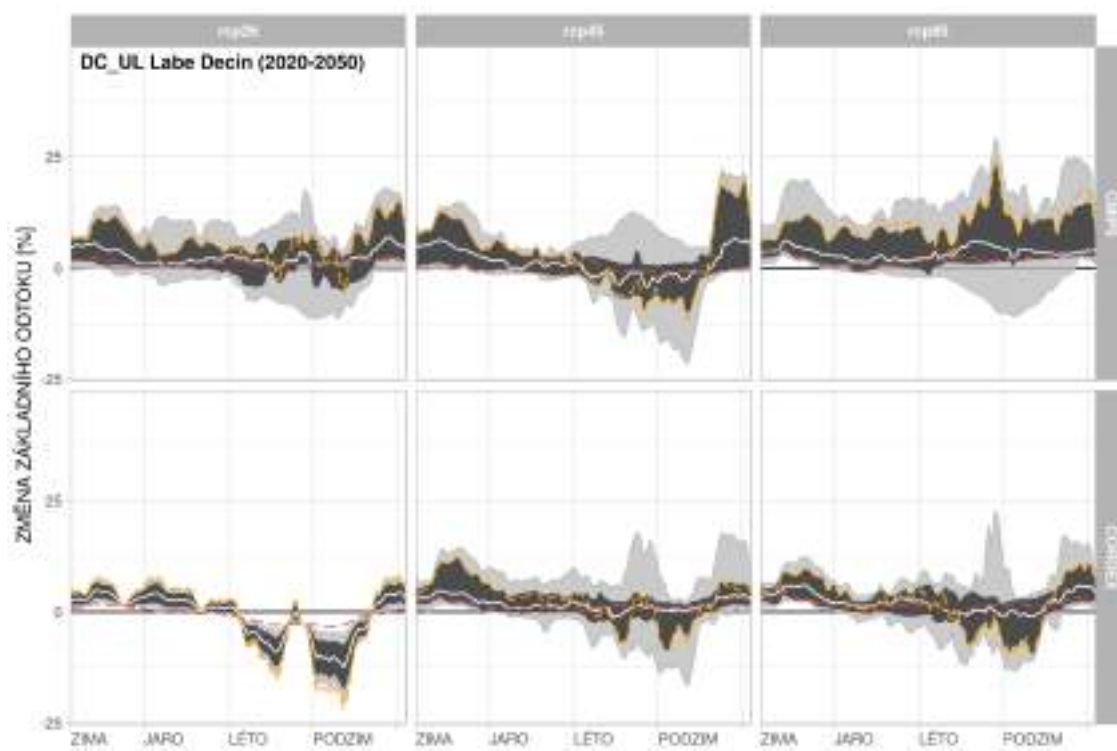
Obrázek 92: Změny základního odtoku v povodí Lockwitzbach-Kreischa pro období 2020–2050.



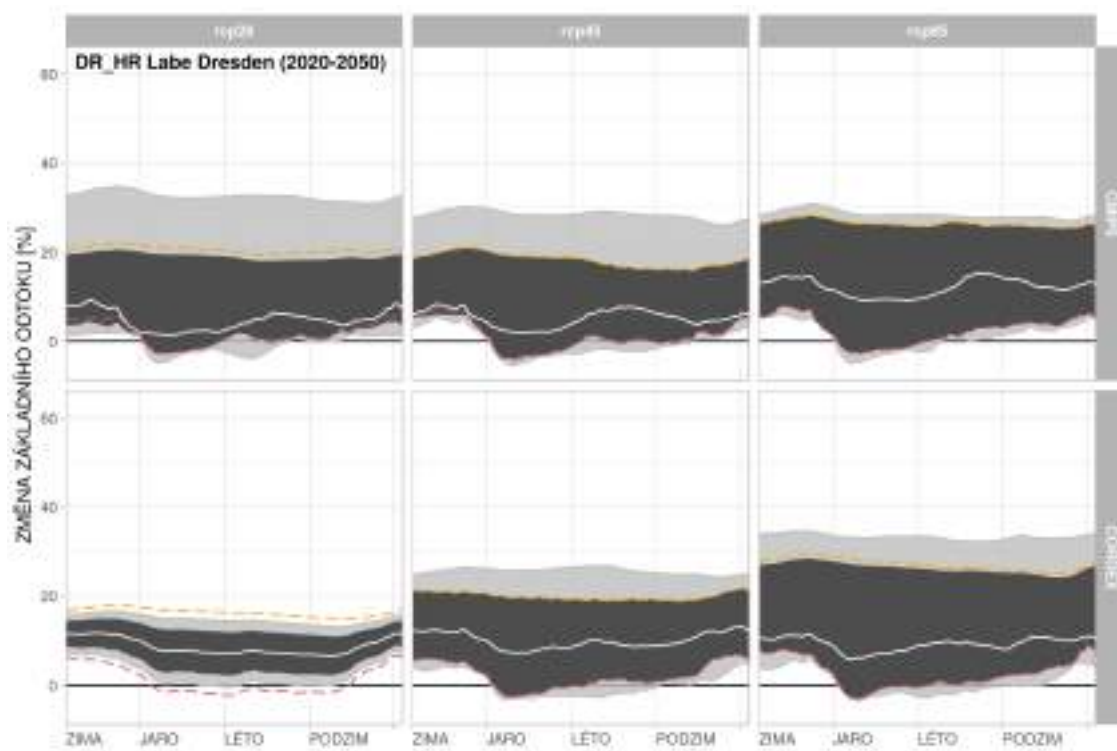
Obrázek 93: Změny základního odtoku v povodí Wesenitz-Elbersdorf pro období 2020–2050.



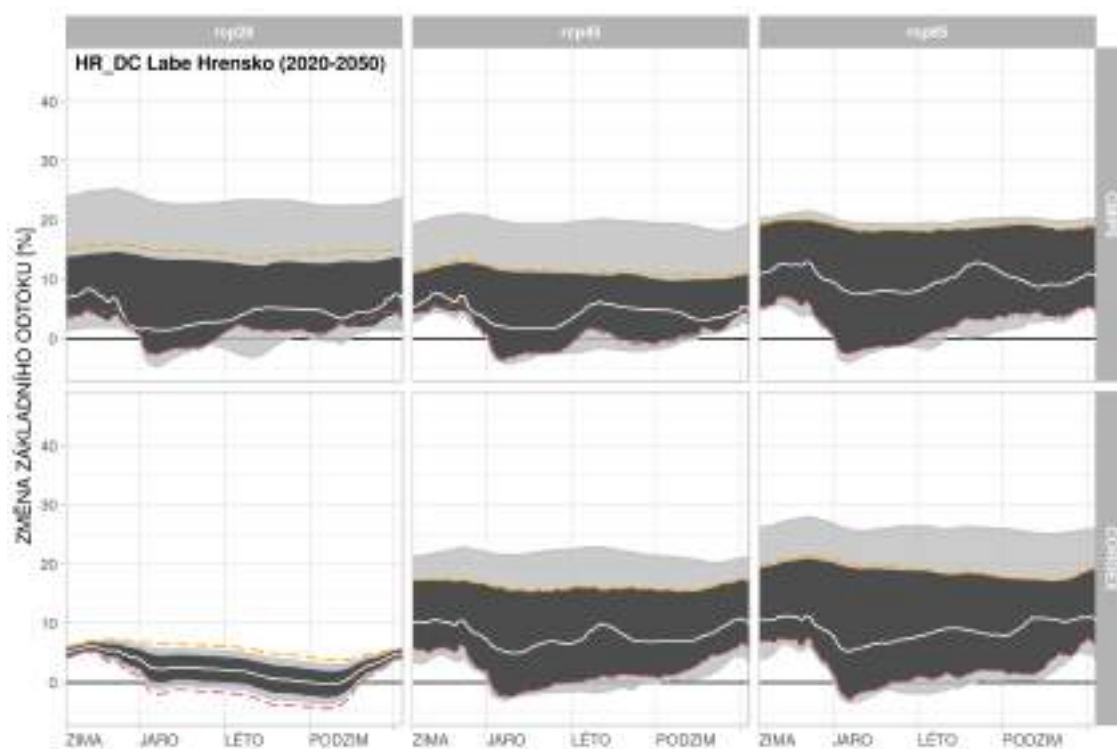
Obrázek 94: Změny základního odtoku v povodí Lachsbach-Porschdorf pro období 2020–2050.



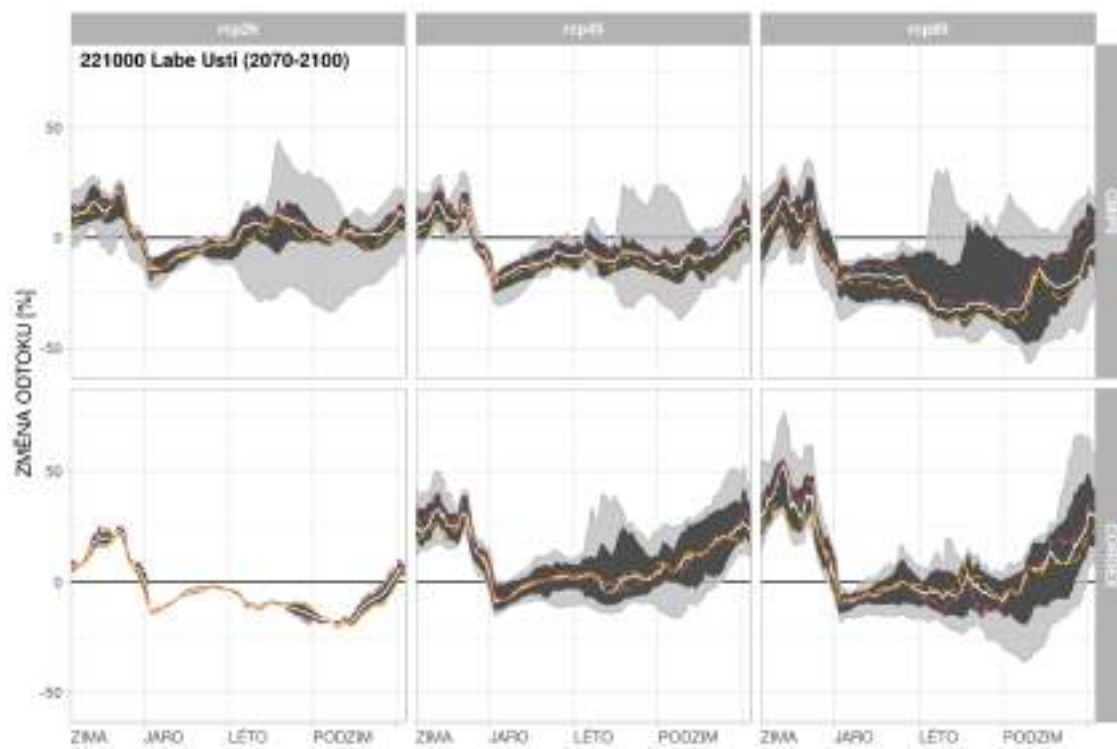
Obrázek 95: Změny základního odtoku v povodí Labe-Děčín-Ústí mezipovodí pro období 2020–2050.



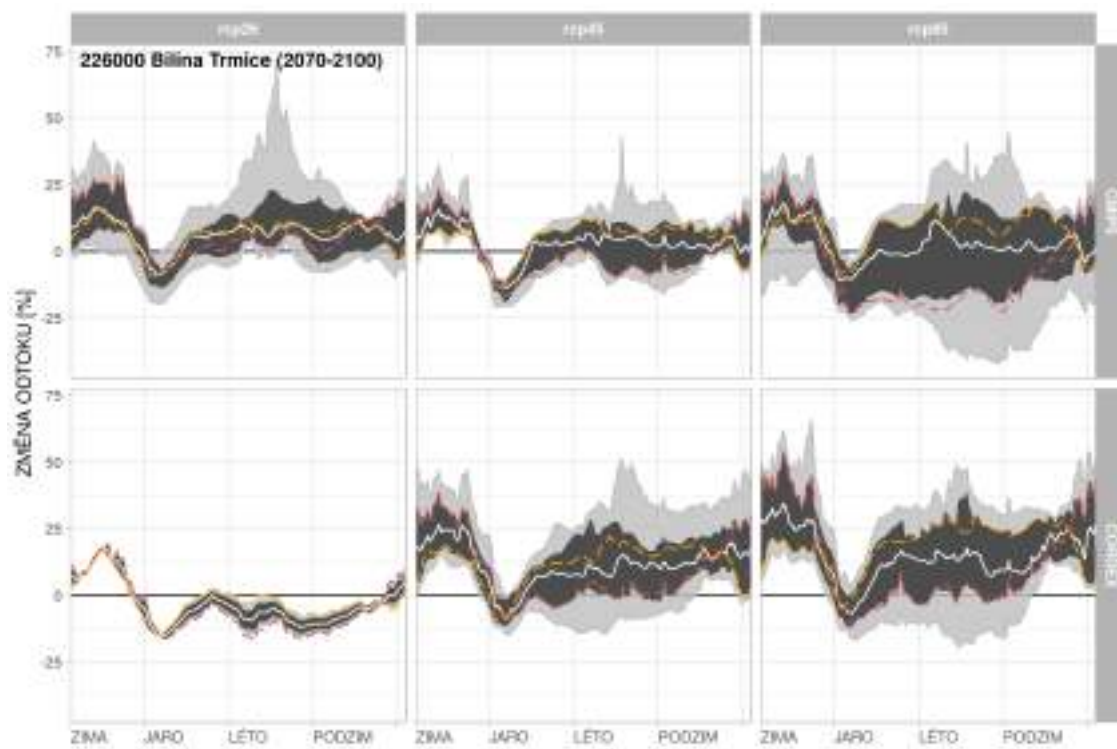
Obrázek 96: Změny základního odtoku v povodí Labe-Dresden-Hřensko mezipovodí pro období 2020–2050.



Obrázek 97: Změny základního odtoku v povodí Labe-Hřensko-Dečín mezipovodí pro období 2020–2050.

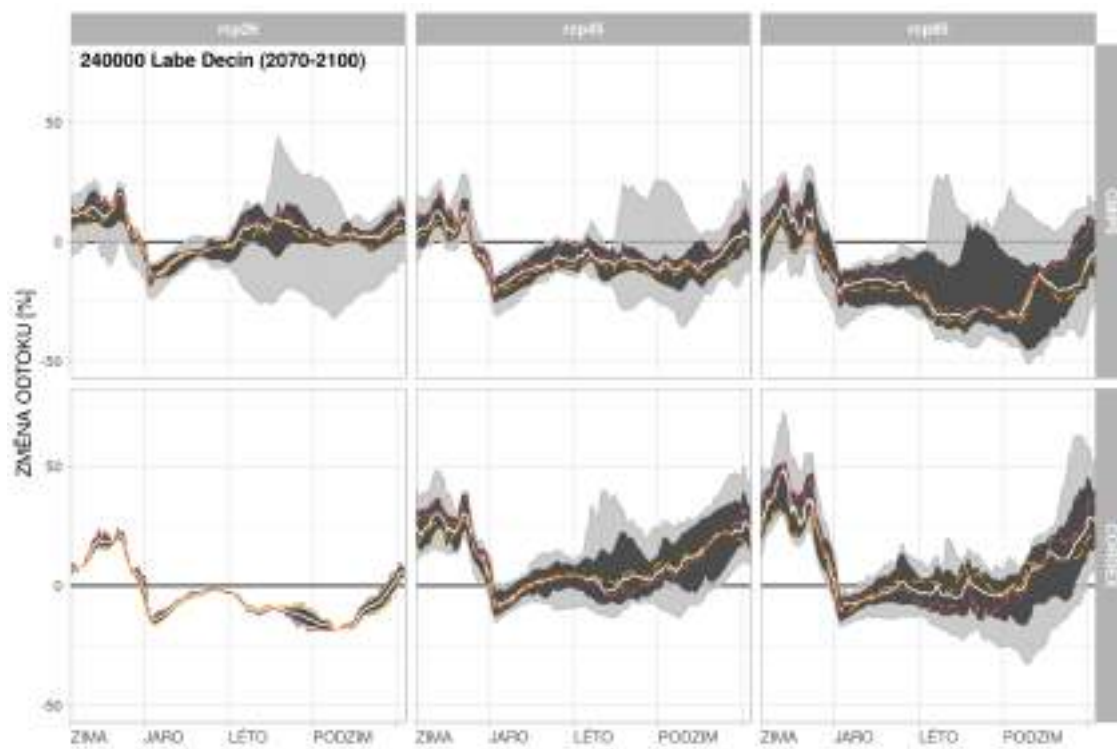


Obrázek 98: Změny celkového odtoku v povodí Labe-Ústí pro období 2070–2100.

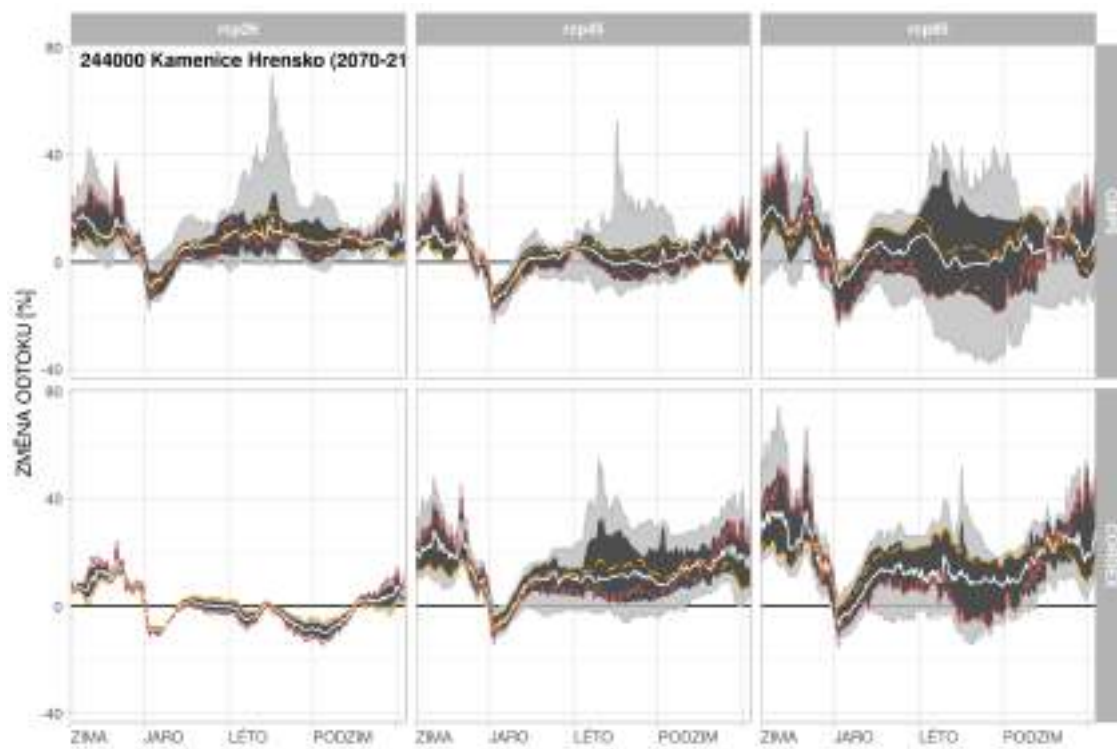


Obrázek 99: Změny celkového odtoku v povodí Bílina-Trmice pro období 2070–2100.

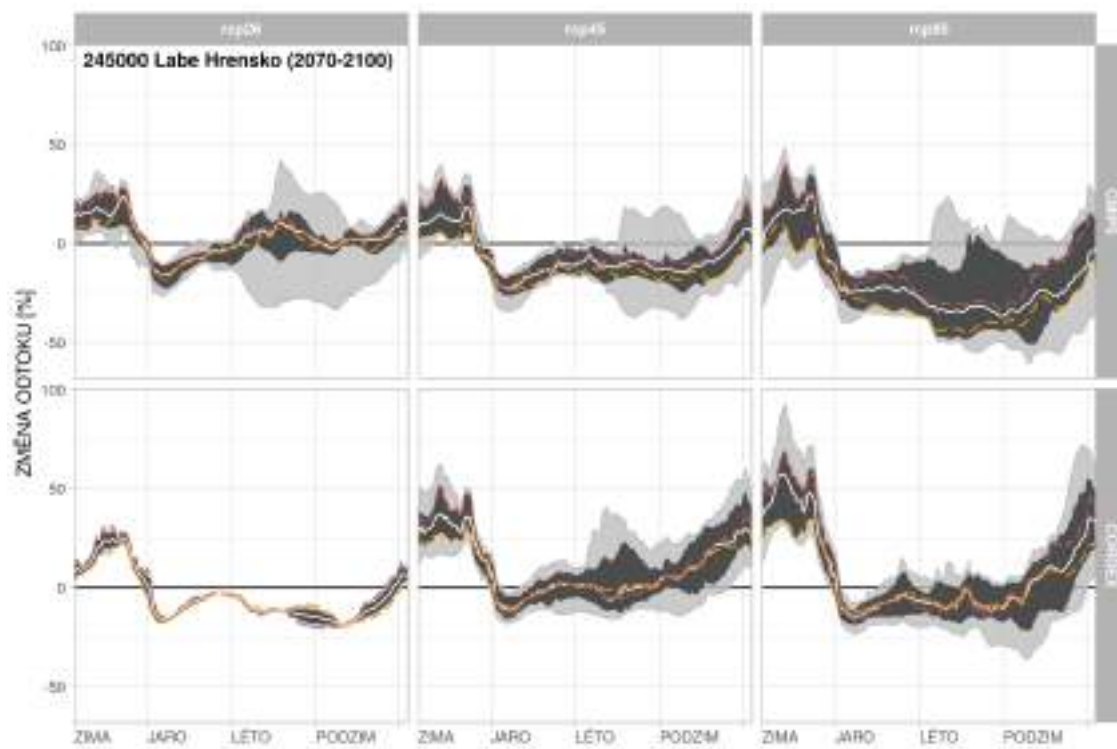




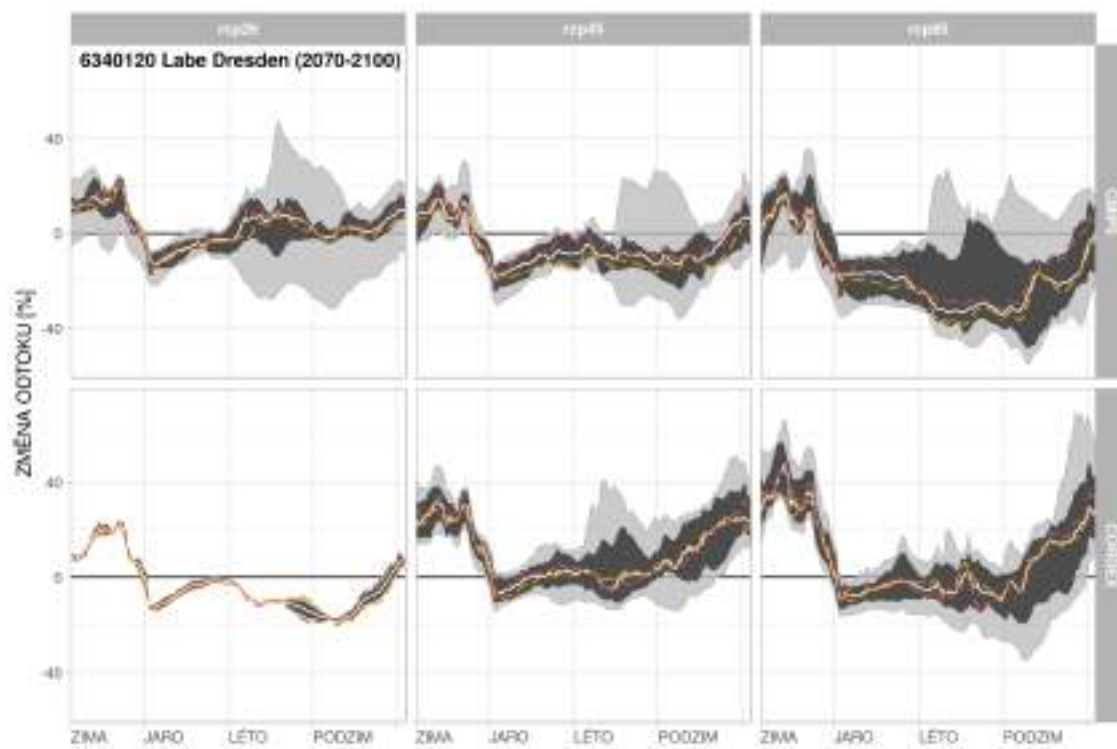
Obrázek 100: Změny celkového odtoku v povodí Labe-Děčín pro období 2070–2100.



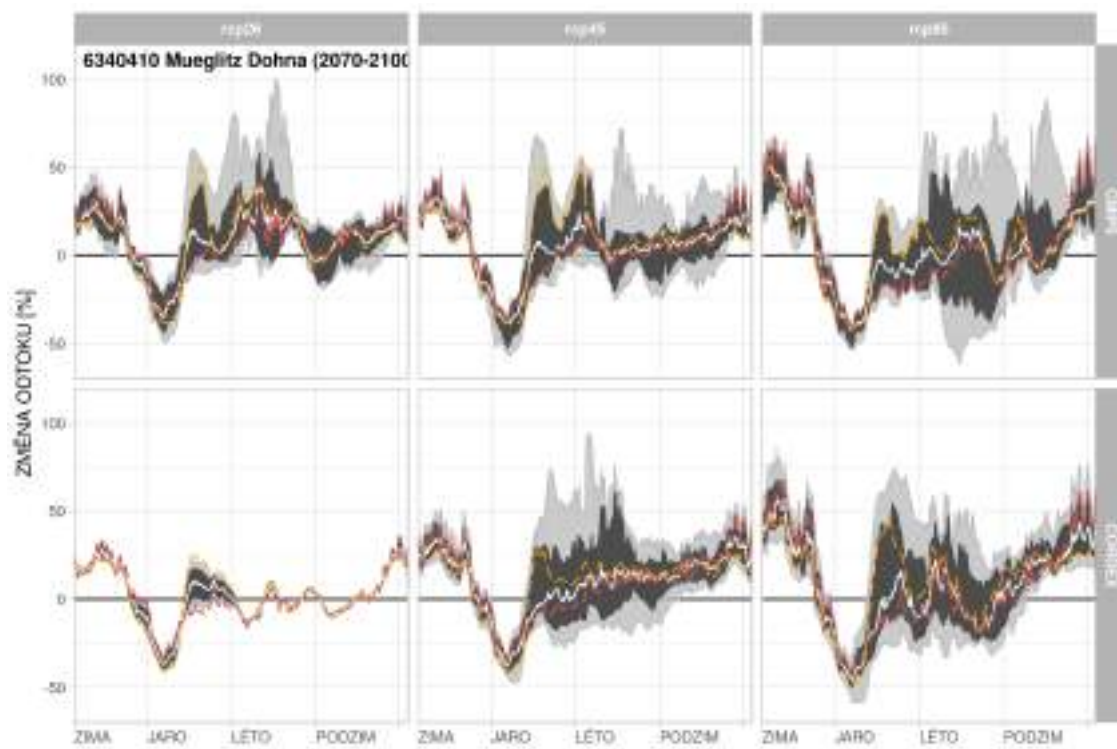
Obrázek 101: Změny celkového odtoku v povodí Kamenice-Hřensko pro období 2070–2100.



Obrázek 102: Změny celkového odtoku v povodí Labe-Hřensko pro období 2070–2100.



Obrázek 103: Změny celkového odtoku v povodí Labe-Dresden pro období 2070–2100.

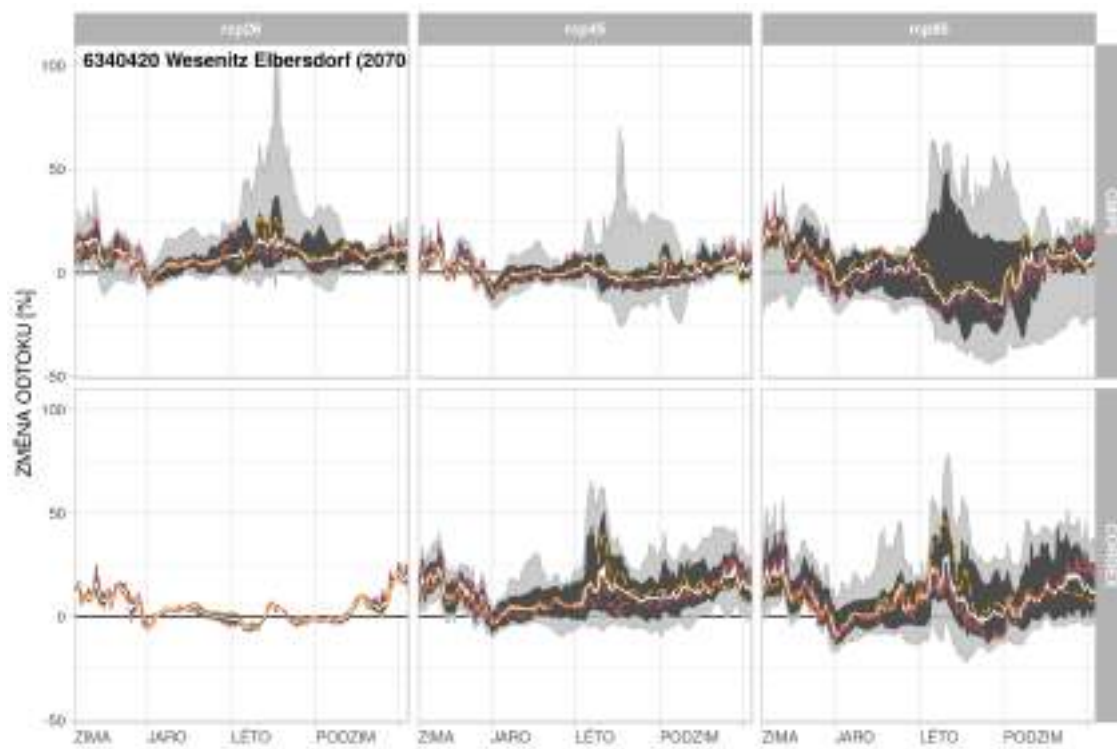


Obrázek 104: Změny celkového odtoku v povodí Mueglitz-Dohna pro období 2070–2100.

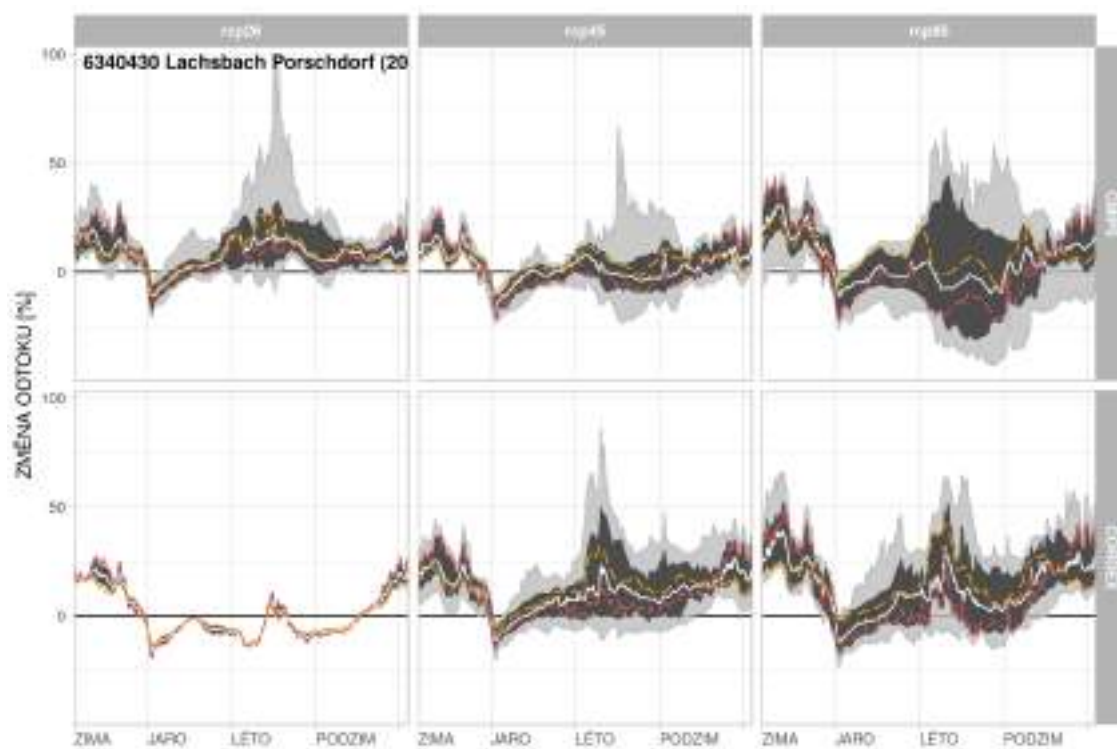
./figs/zmeny\_bilance/RM\_FAR\_6340415.png

Obrázek 105: Změny celkového odtoku v povodí Lockwitzbach-Kreischa pro období 2070–2100.

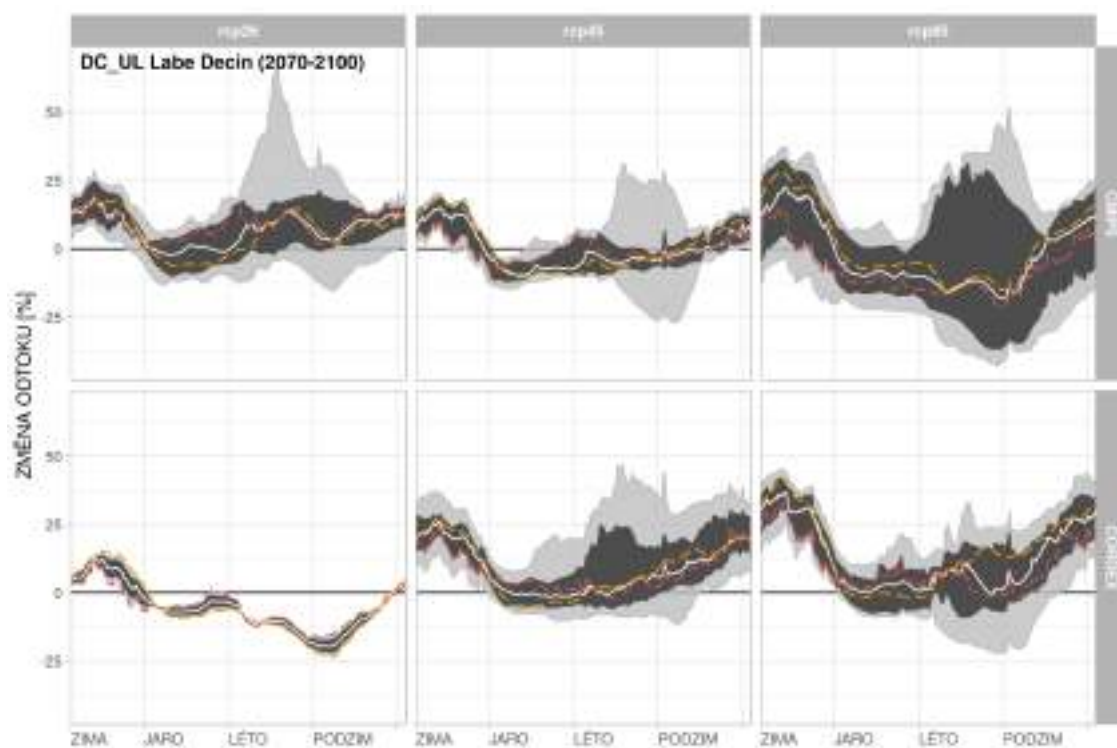




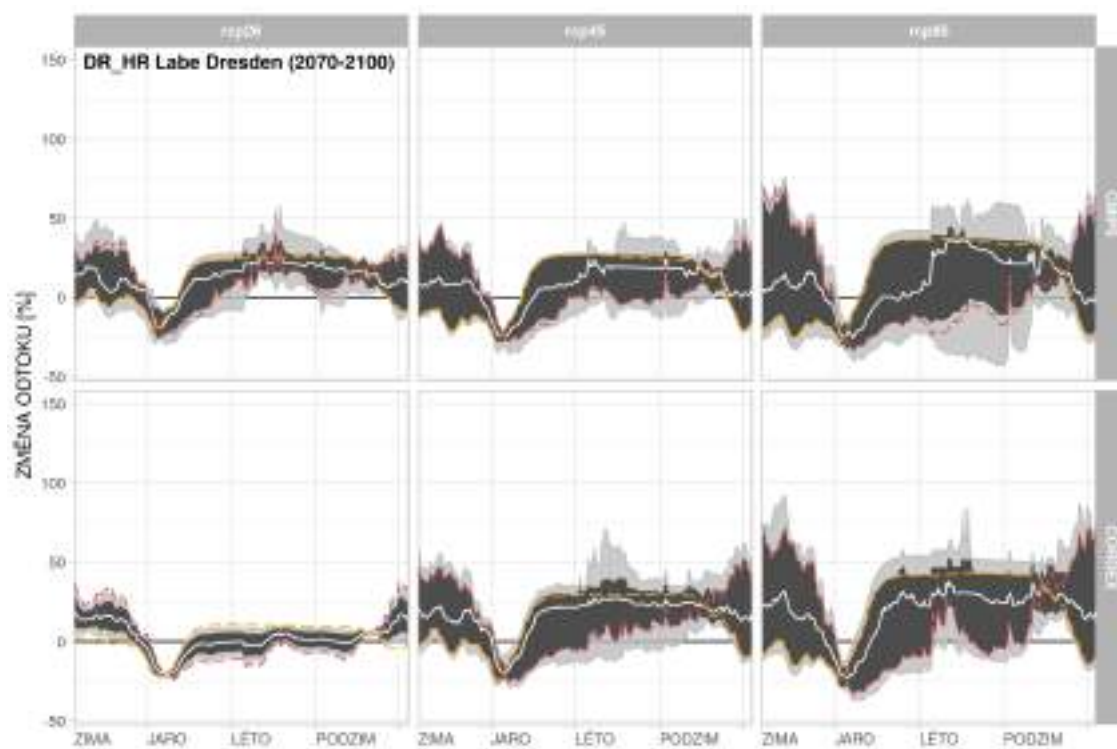
Obrázek 106: Změny celkového odtoku v povodí Wesenitz-Elbersdorf pro období 2070–2100.



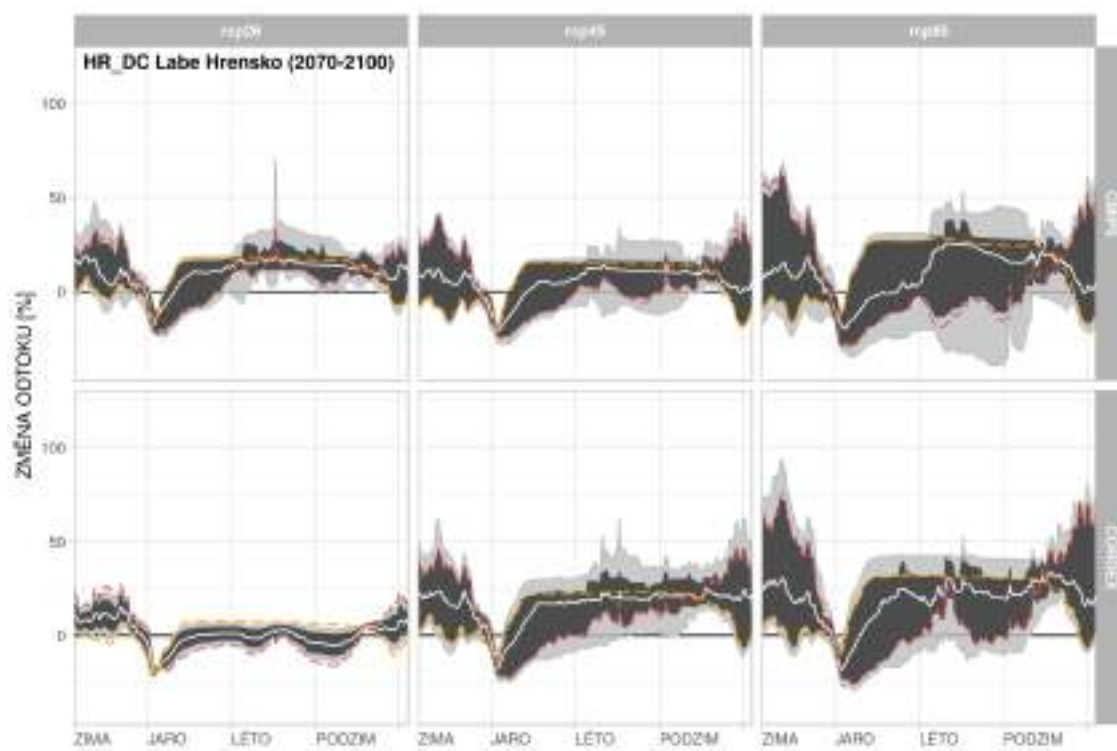
Obrázek 107: Změny celkového odtoku v povodí Lachsbach-Porschdorf pro období 2070–2100.



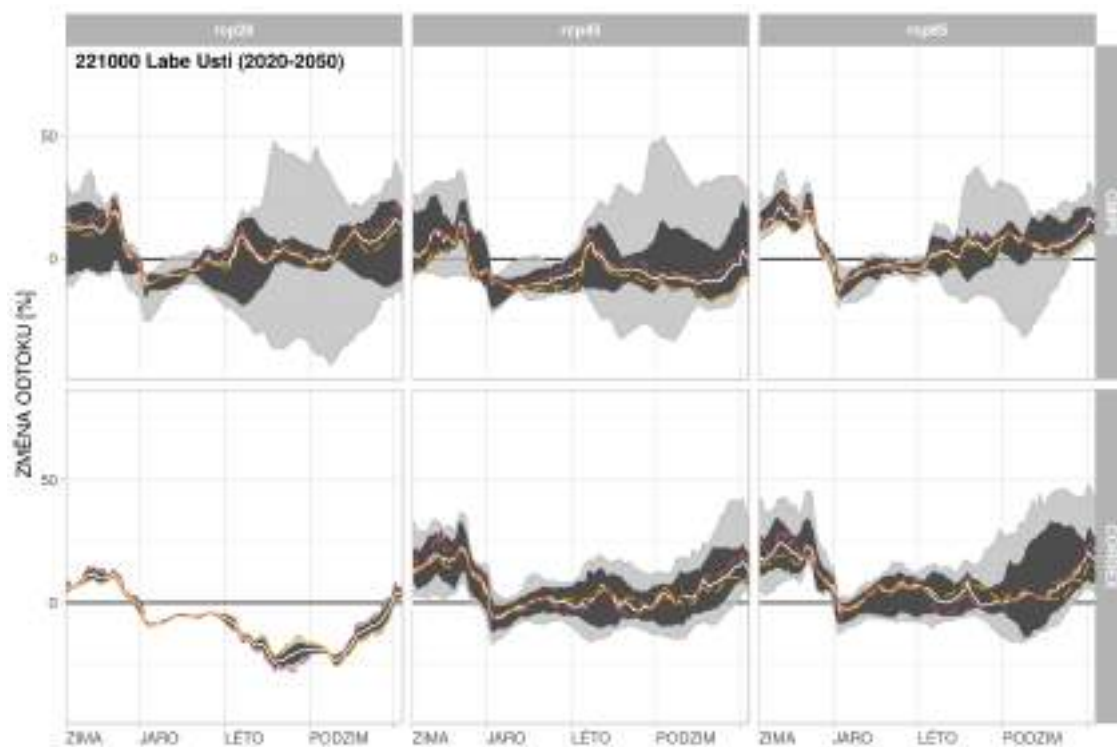
Obrázek 108: Změny celkového odtoku v povodí Labe-Děčín-Ústí mezipovodí pro období 2070–2100.



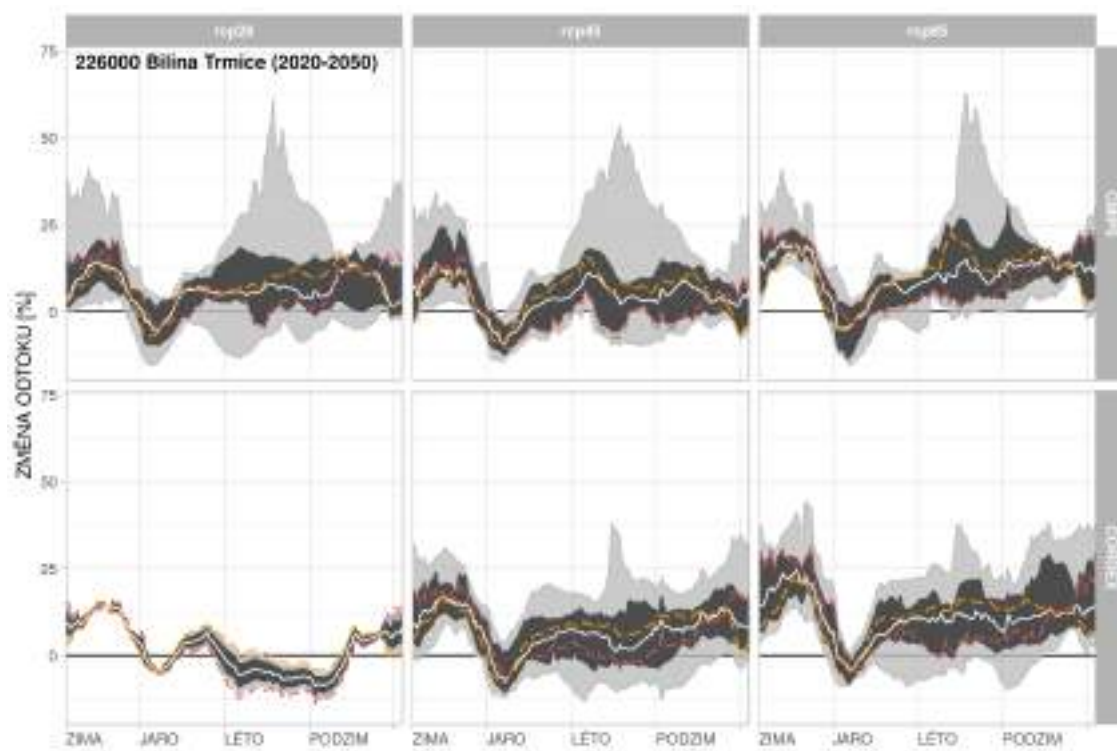
Obrázek 109: Změny celkového odtoku v povodí Labe-Dresden-Hřensko mezipovodí pro období 2070–2100.



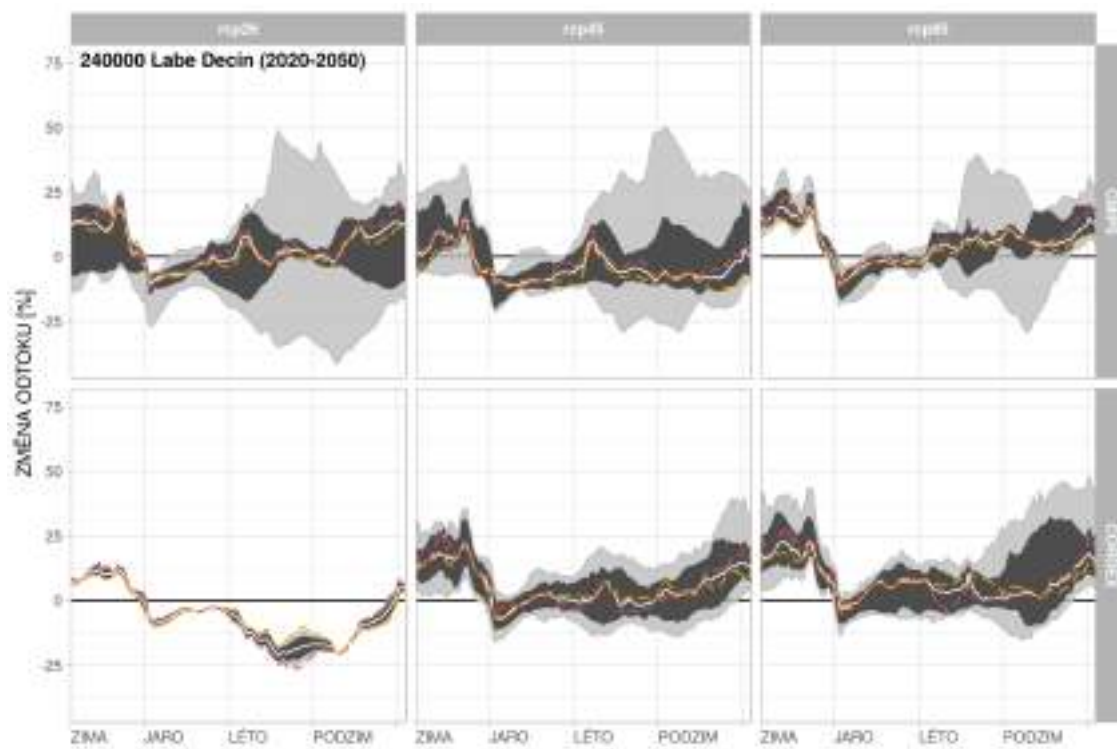
Obrázek 110: Změny celkového odtoku v povodí Labe-Hřensko-Dečín mezipovodí pro období 2070–2100.



Obrázek 111: Změny celkového odtoku v povodí Labe-Ústí pro období 2020–2050.

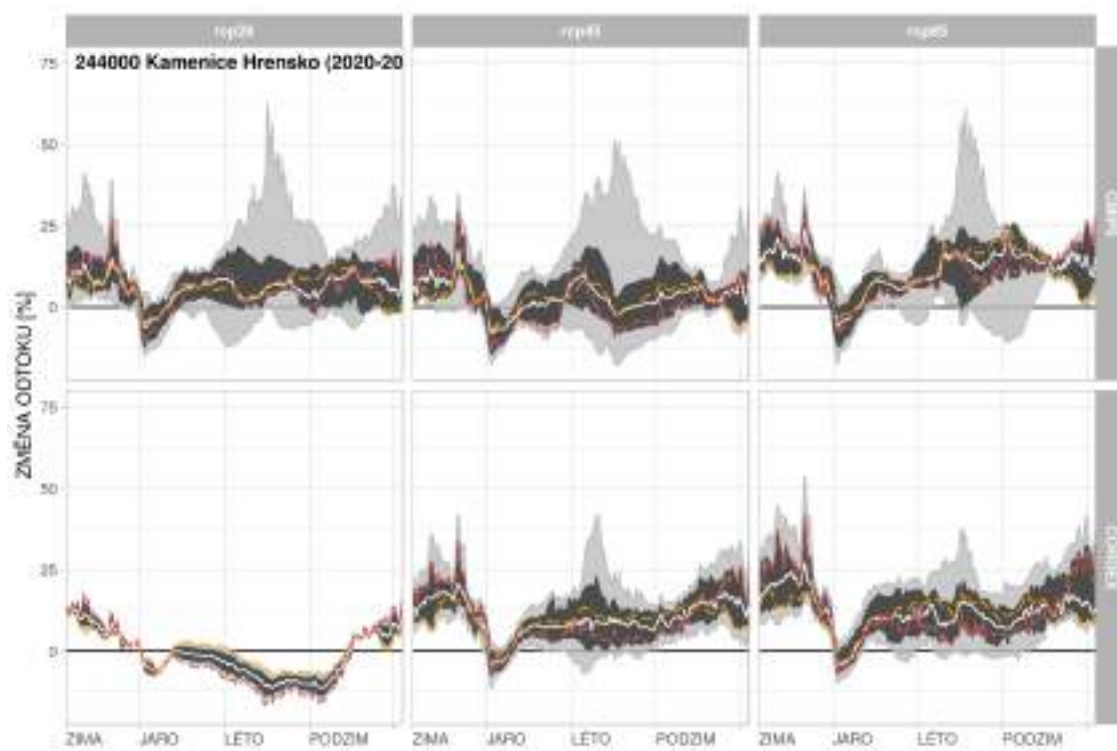


Obrázek 112: Změny celkového odtoku v povodí Bílina-Trmice pro období 2020–2050.

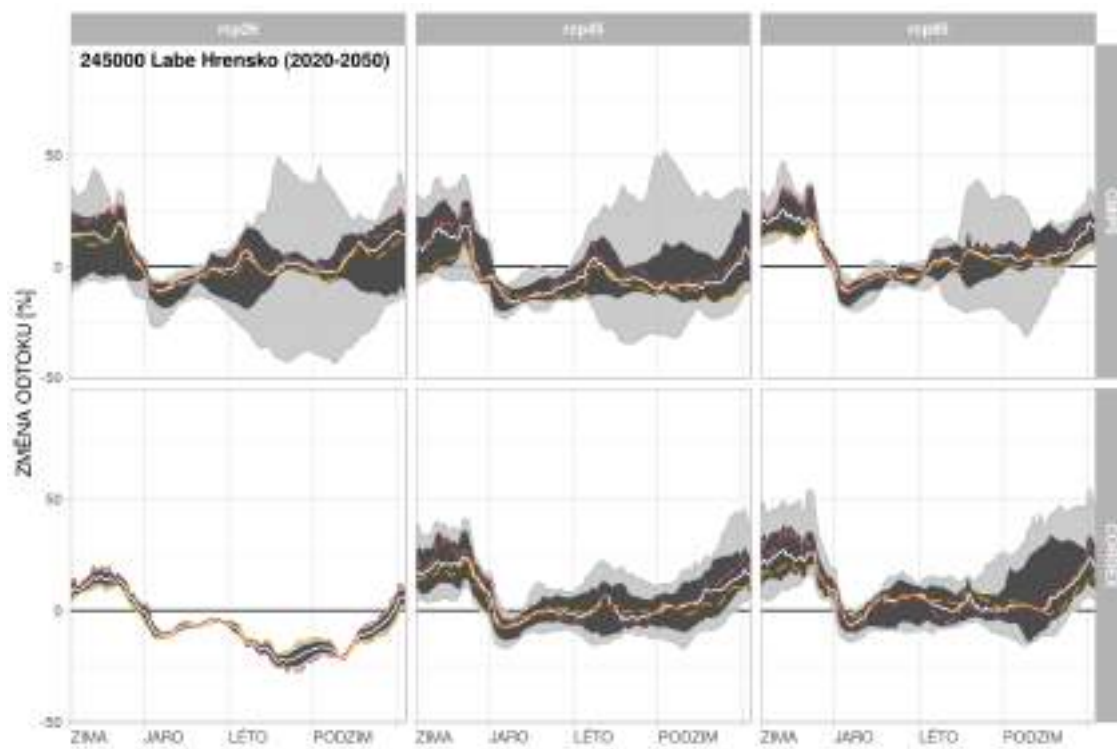


Obrázek 113: Změny celkového odtoku v povodí Labe-Děčín pro období 2020–2050.

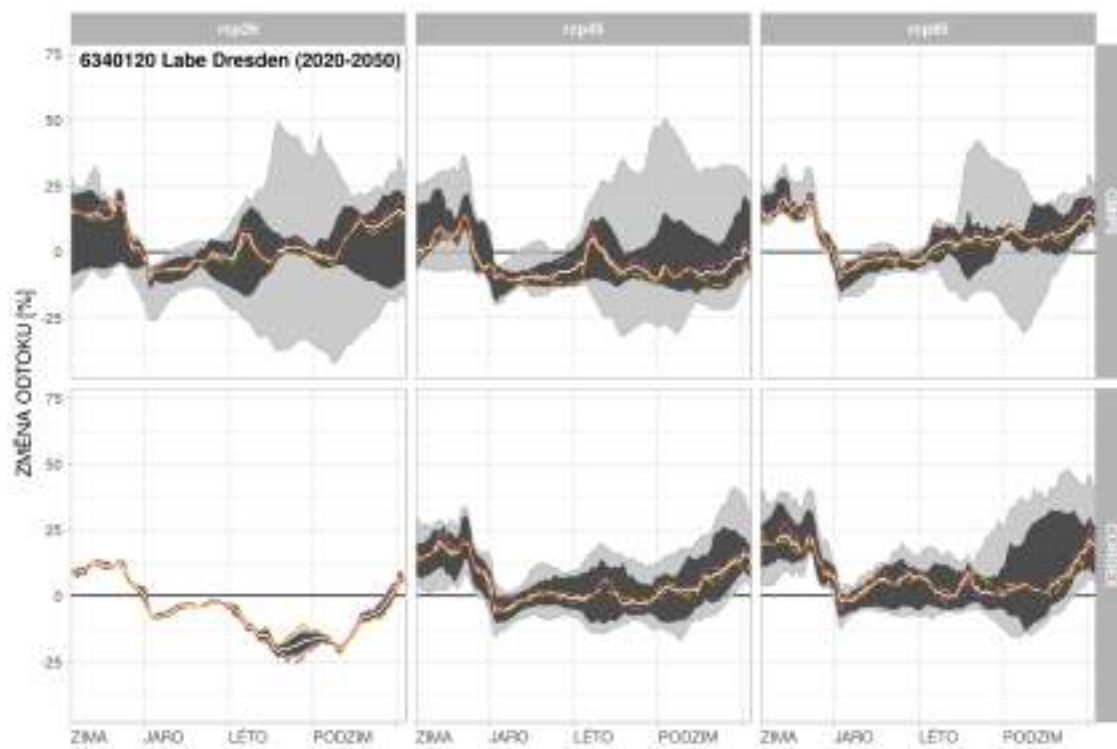




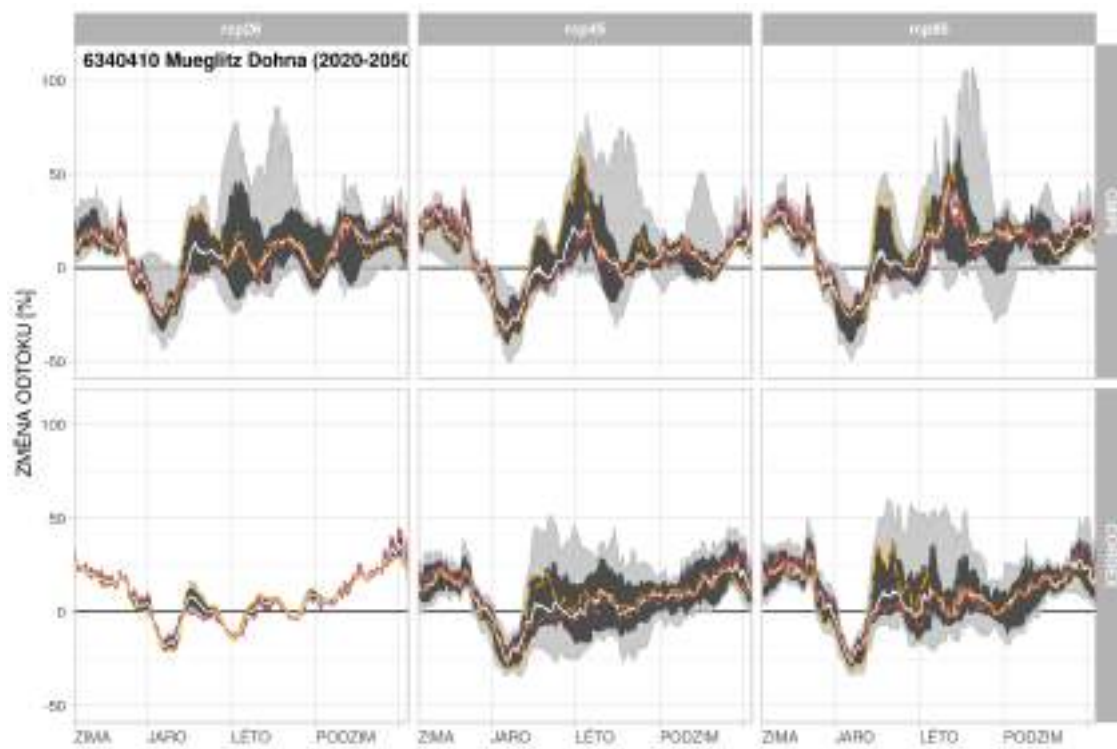
Obrázek 114: Změny celkového odtoku v povodí Kamenice-Hřensko pro období 2020–2050.



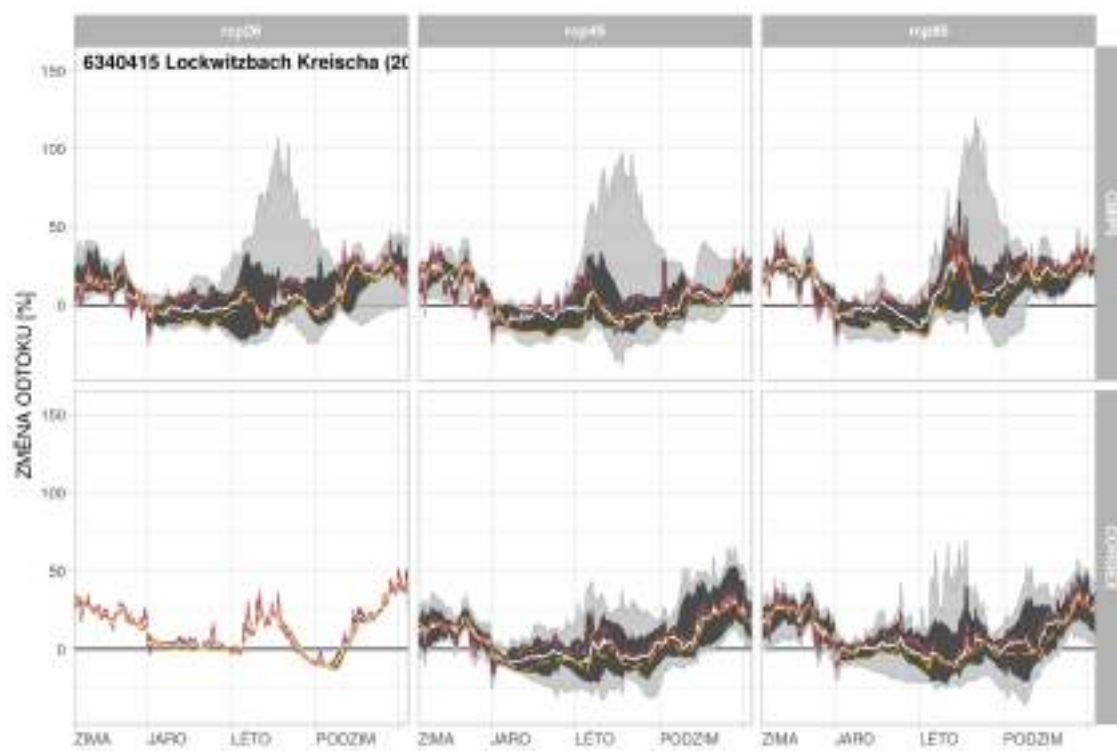
Obrázek 115: Změny celkového odtoku v povodí Labe-Hřensko pro období 2020–2050.



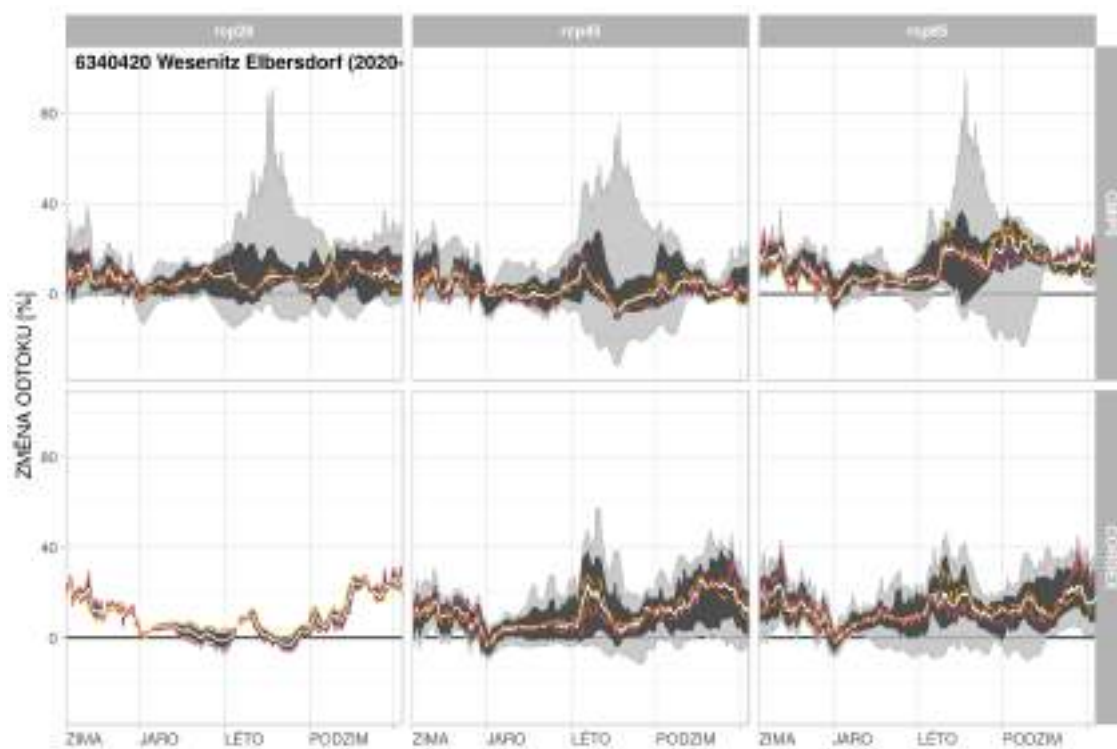
Obrázek 116: Změny celkového odtoku v povodí Labe-Dresden pro období 2020–2050.



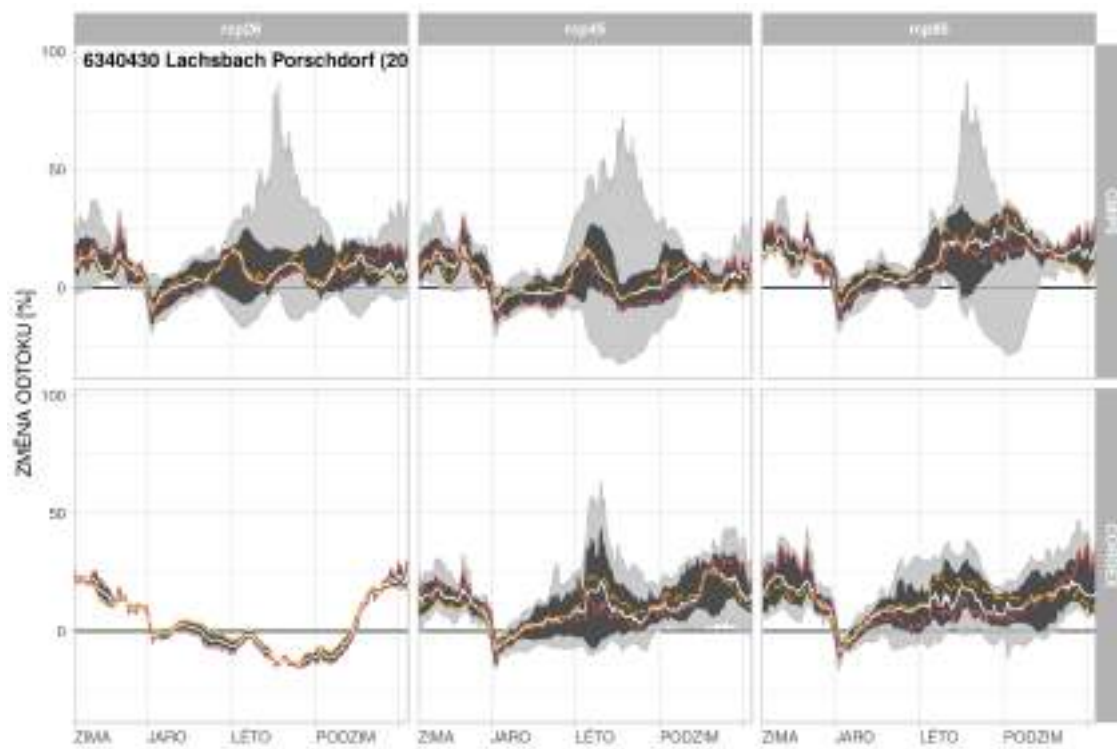
Obrázek 117: Změny celkového odtoku v povodí Mueglitz-Dohna pro období 2020–2050.



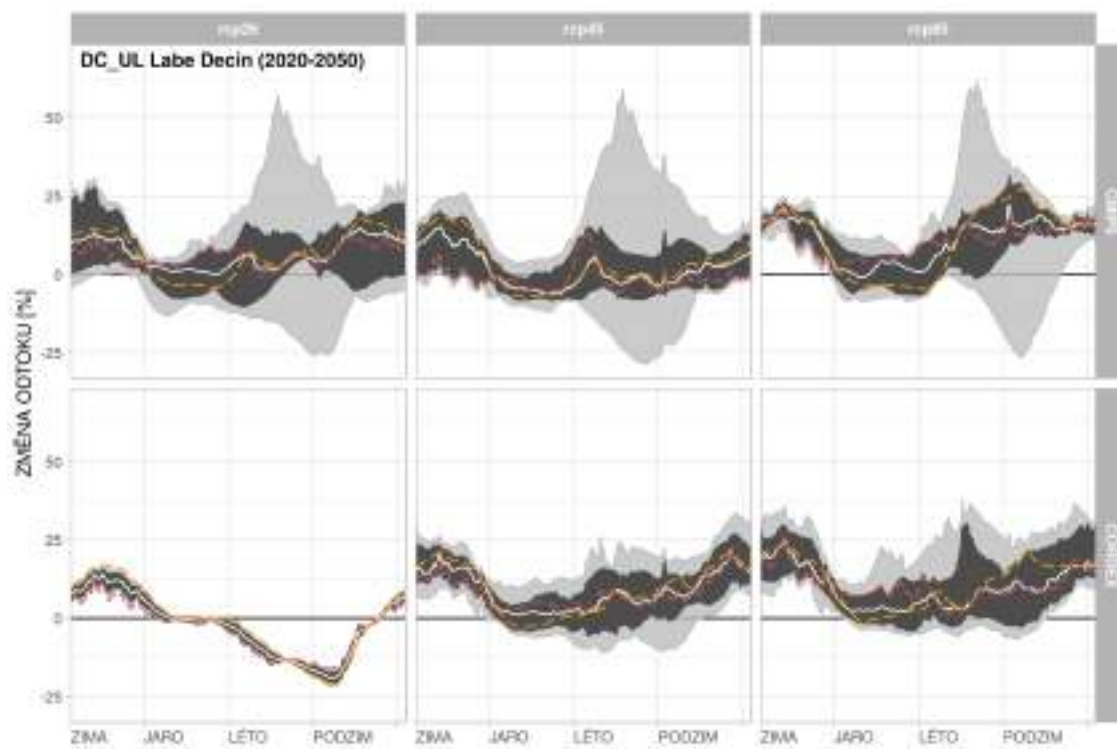
Obrázek 118: Změny celkového odtoku v povodí Lockwitzbach-Kreischa pro období 2020–2050.



Obrázek 119: Změny celkového odtoku v povodí Wesenitz-Elbersdorf pro období 2020–2050.

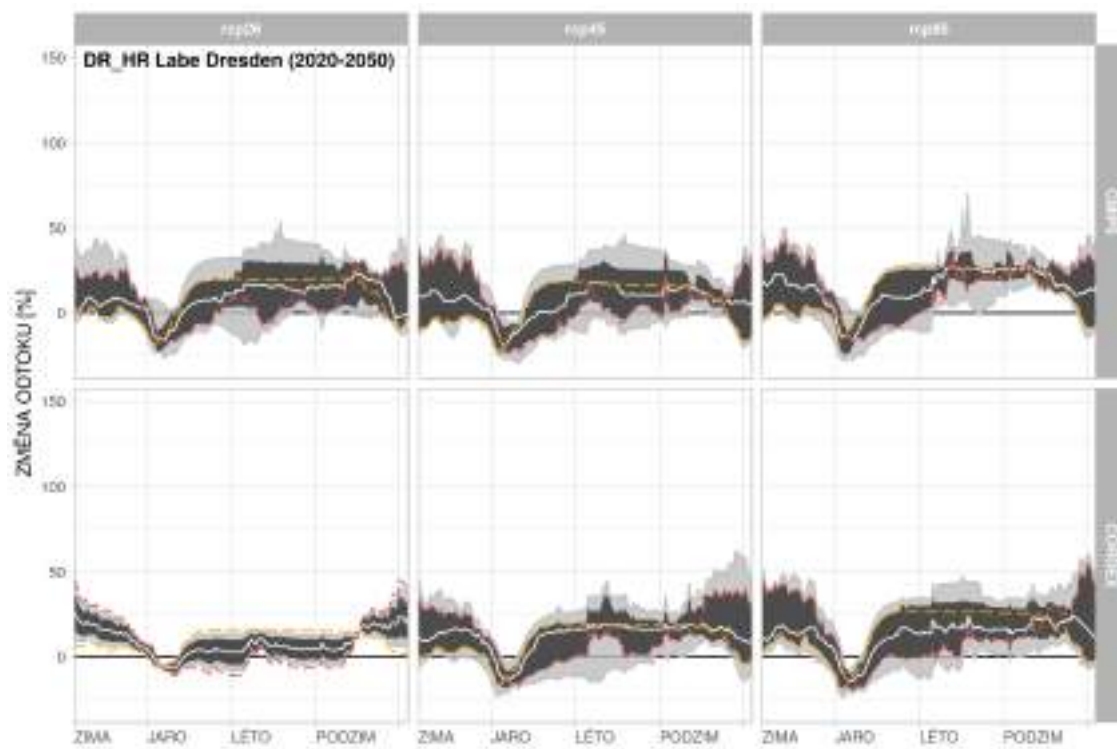


Obrázek 120: Změny celkového odtoku v povodí Lachsbach-Porschdorf pro období 2020–2050.

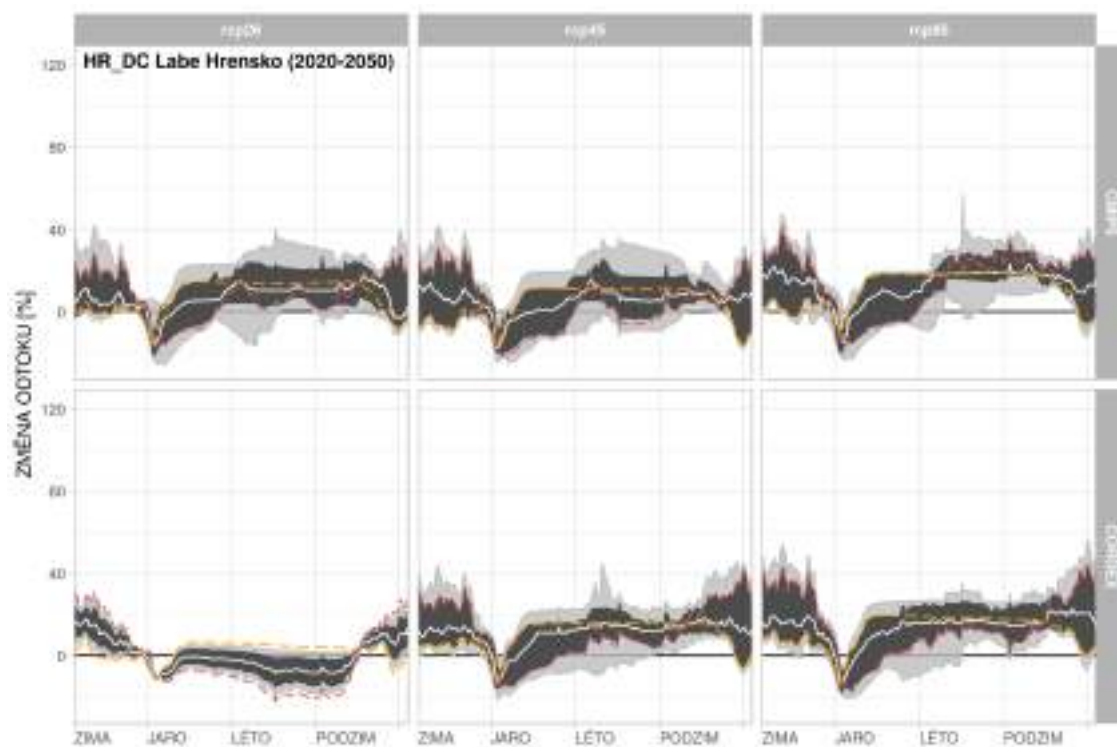


Obrázek 121: Změny celkového odtoku v povodí Labe-Děčín-Ústí mezipovodí pro období 2020–2050.

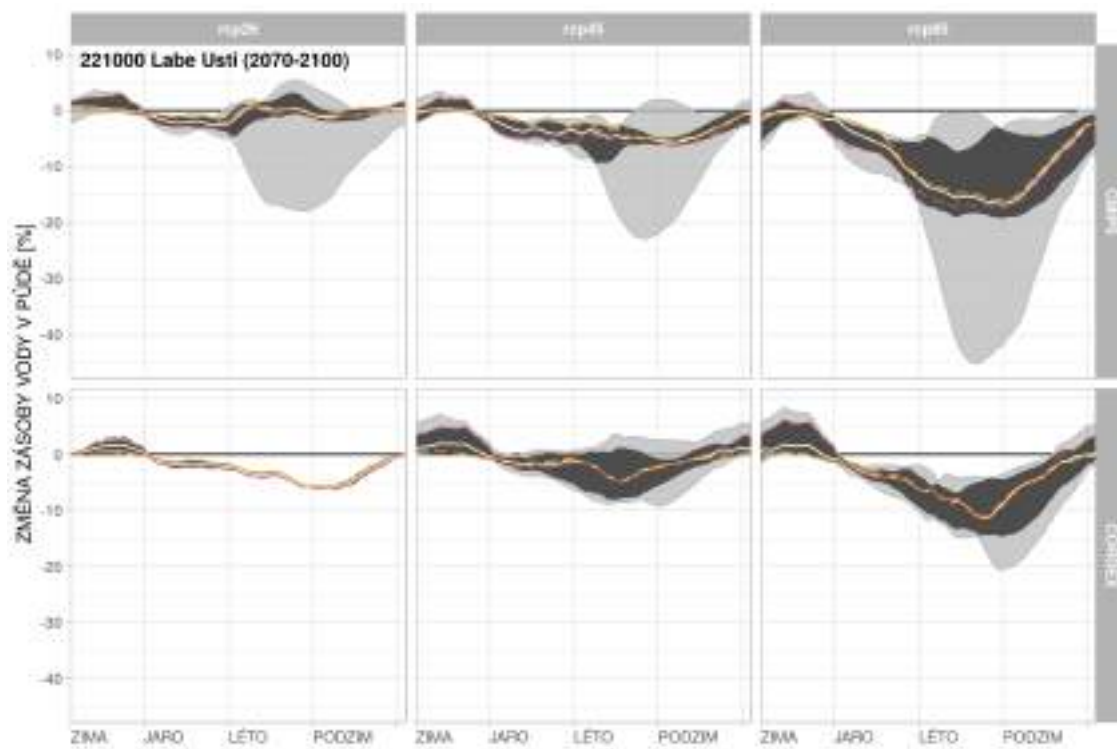




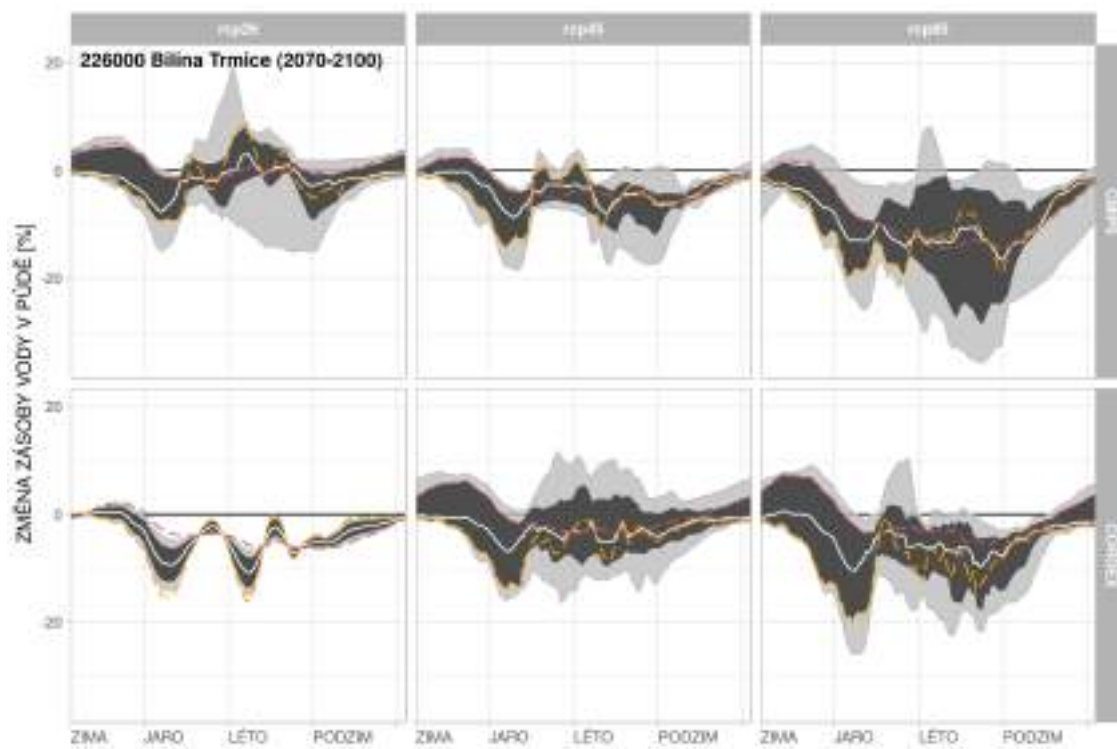
Obrázek 122: Změny celkového odtoku v povodí Labe-Dresden-Hřensko mezipovodí pro období 2020–2050.



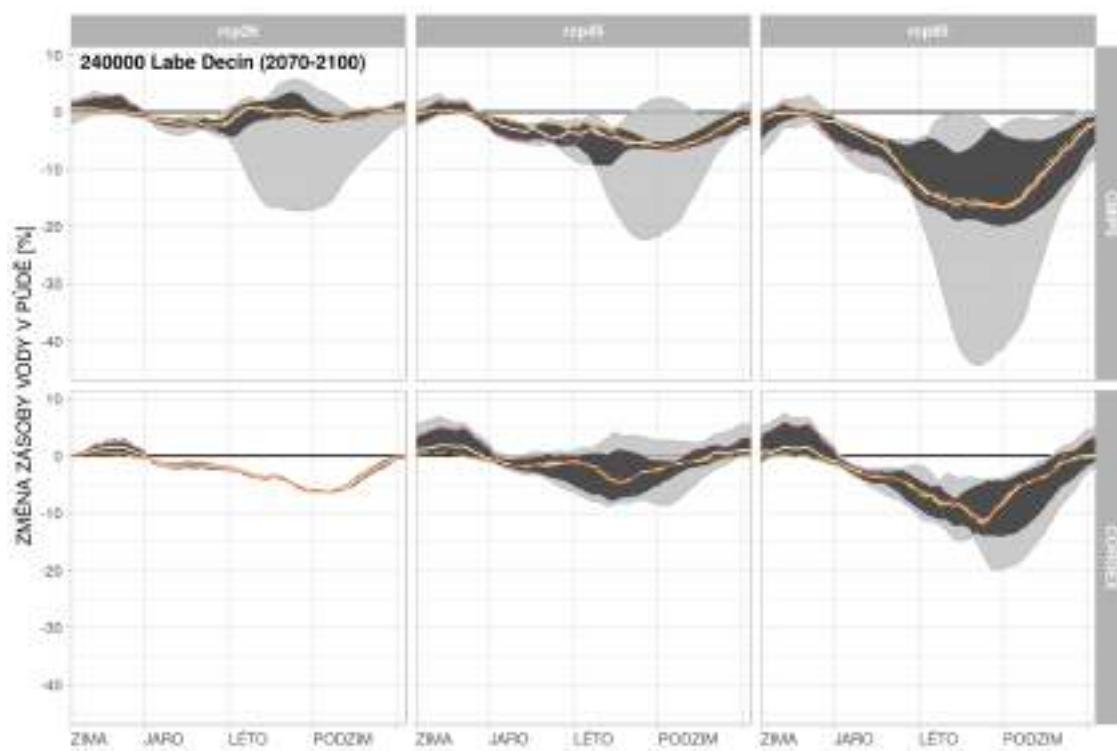
Obrázek 123: Změny celkového odtoku v povodí Labe-Hřensko-Dečín mezipovodí pro období 2020–2050.



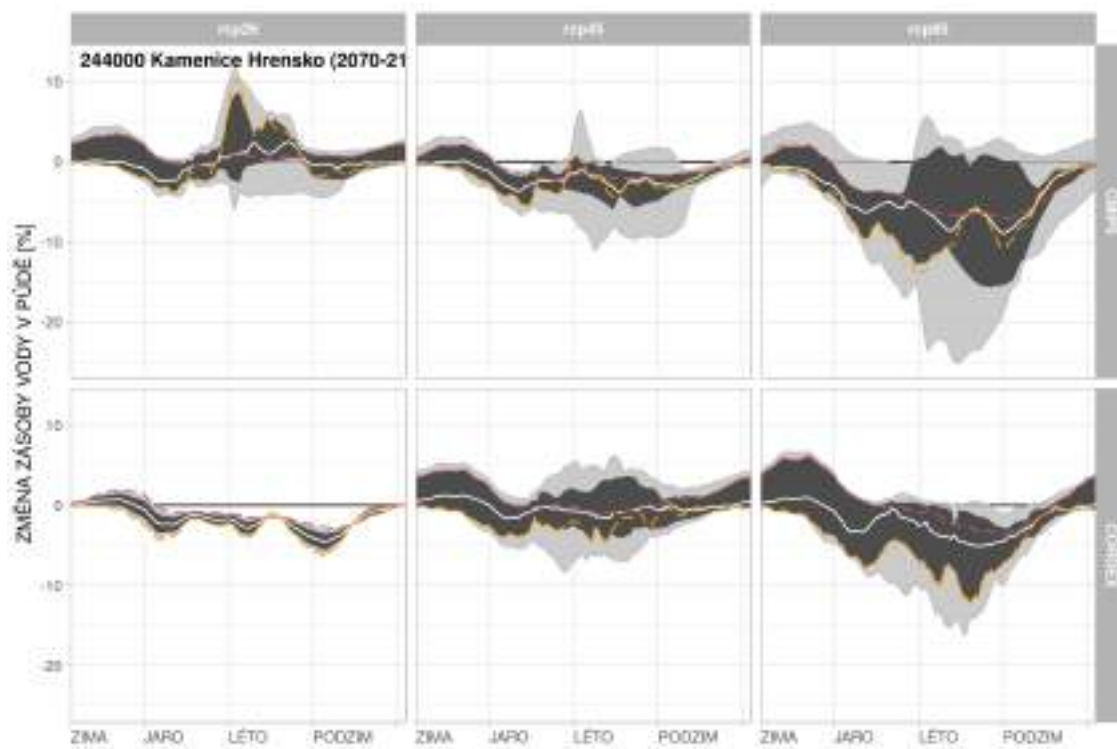
Obrázek 124: Změny zásoby půdní vody v povodí Labe-Ústí pro období 2070–2100.



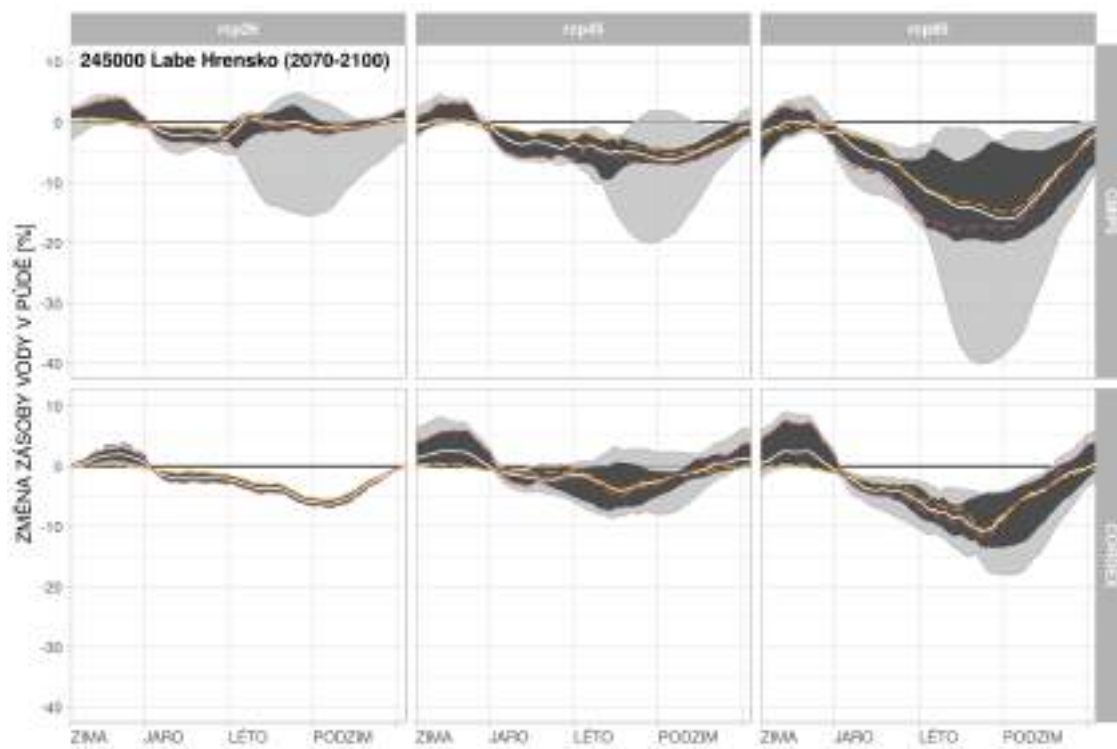
Obrázek 125: Změny zásoby půdní vody v povodí Bílina-Trmice pro období 2070–2100.



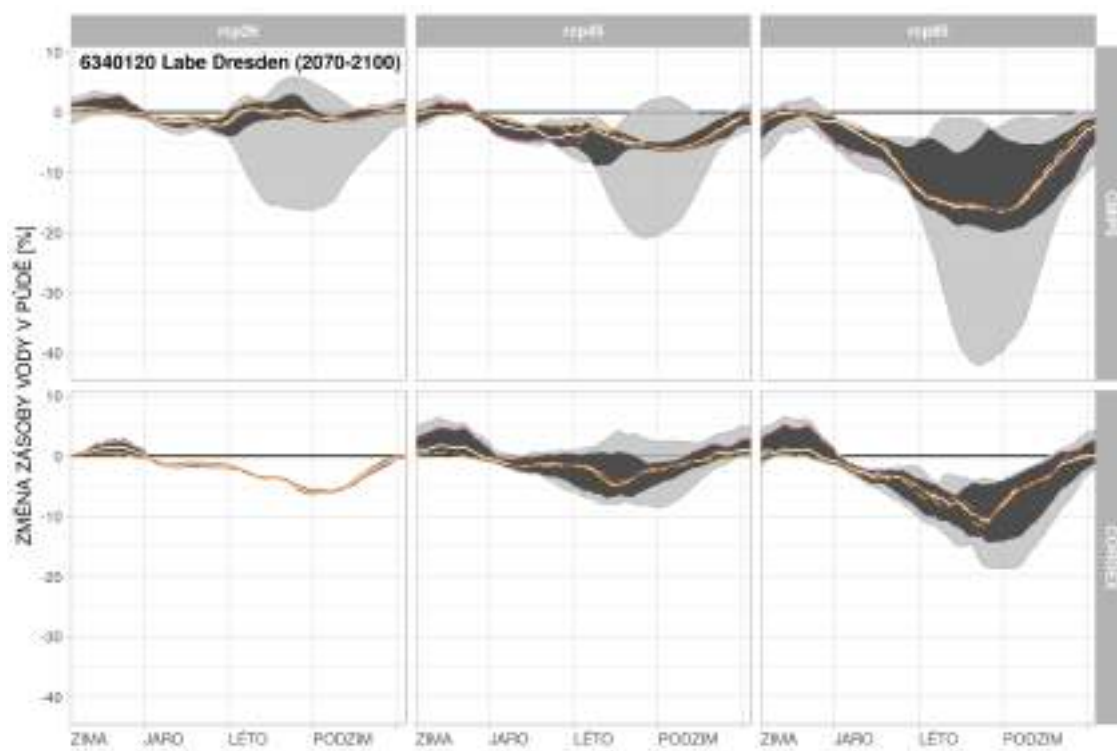
Obrázek 126: Změny zásoby půdní vody v povodí Labe-Děčín pro období 2070–2100.



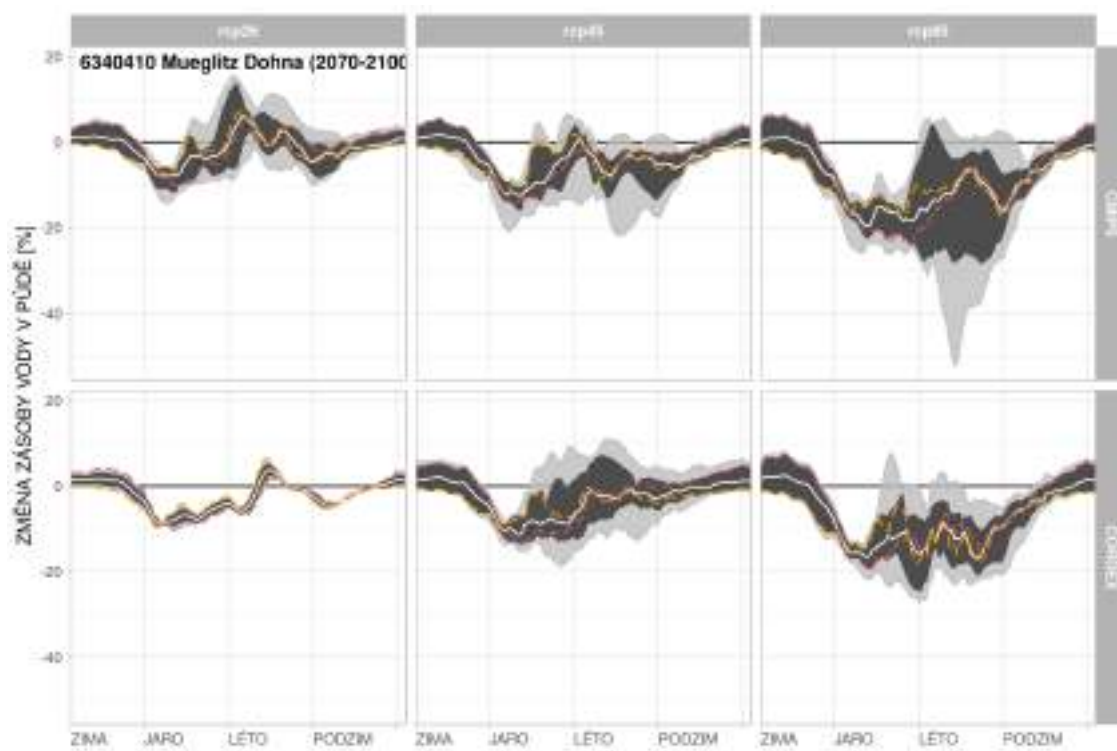
Obrázek 127: Změny zásoby půdní vody v povodí Kamenice-Hřensko pro období 2070–2100.



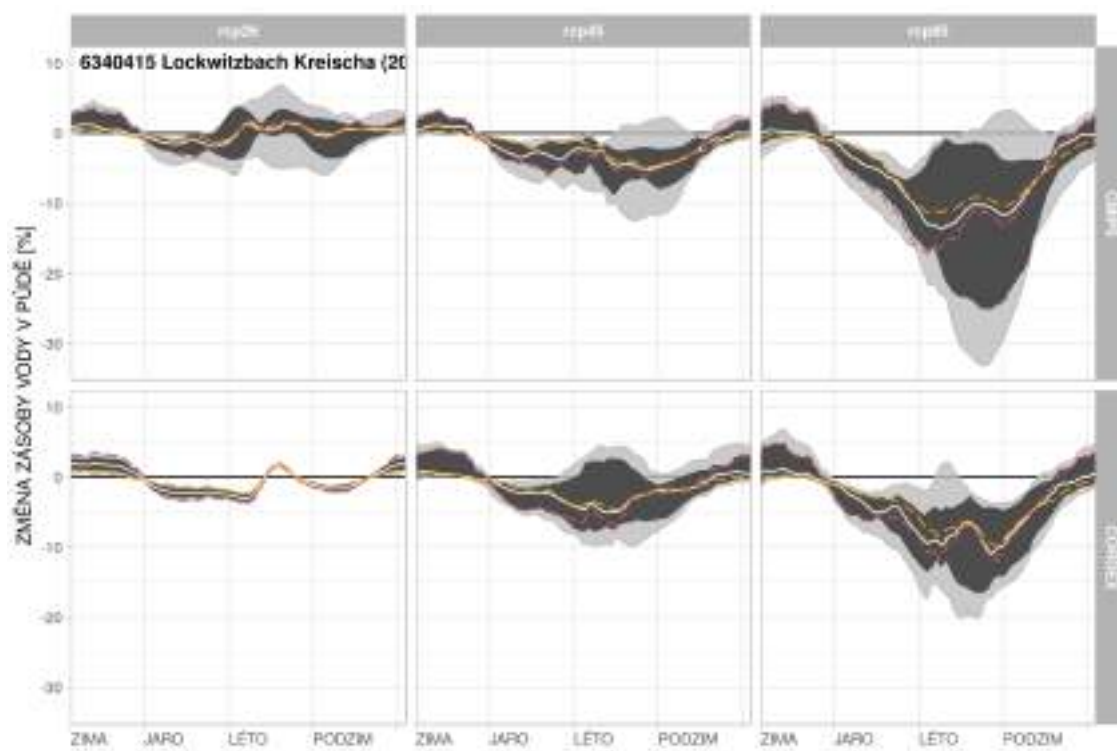
Obrázek 128: Změny zásoby půdní vody v povodí Labe-Hřensko pro období 2070–2100.



Obrázek 129: Změny zásoby půdní vody v povodí Labe-Dresden pro období 2070–2100.

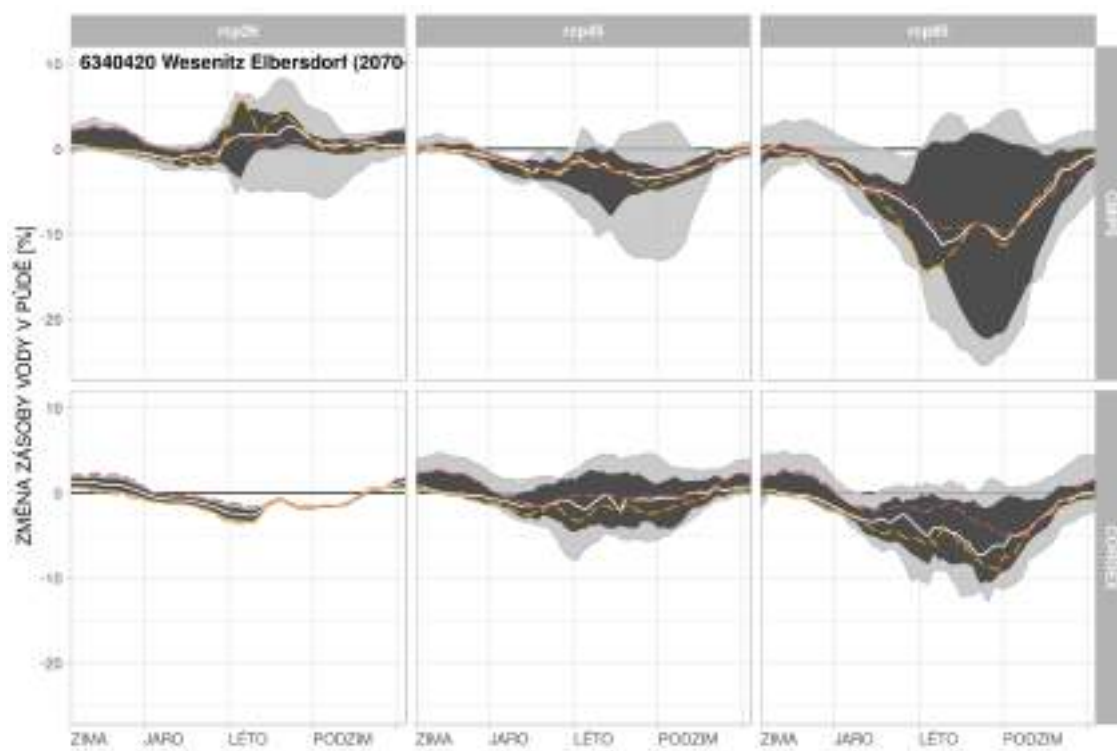


Obrázek 130: Změny zásoby půdní vody v povodí Mueglitz-Dohna pro období 2070–2100.

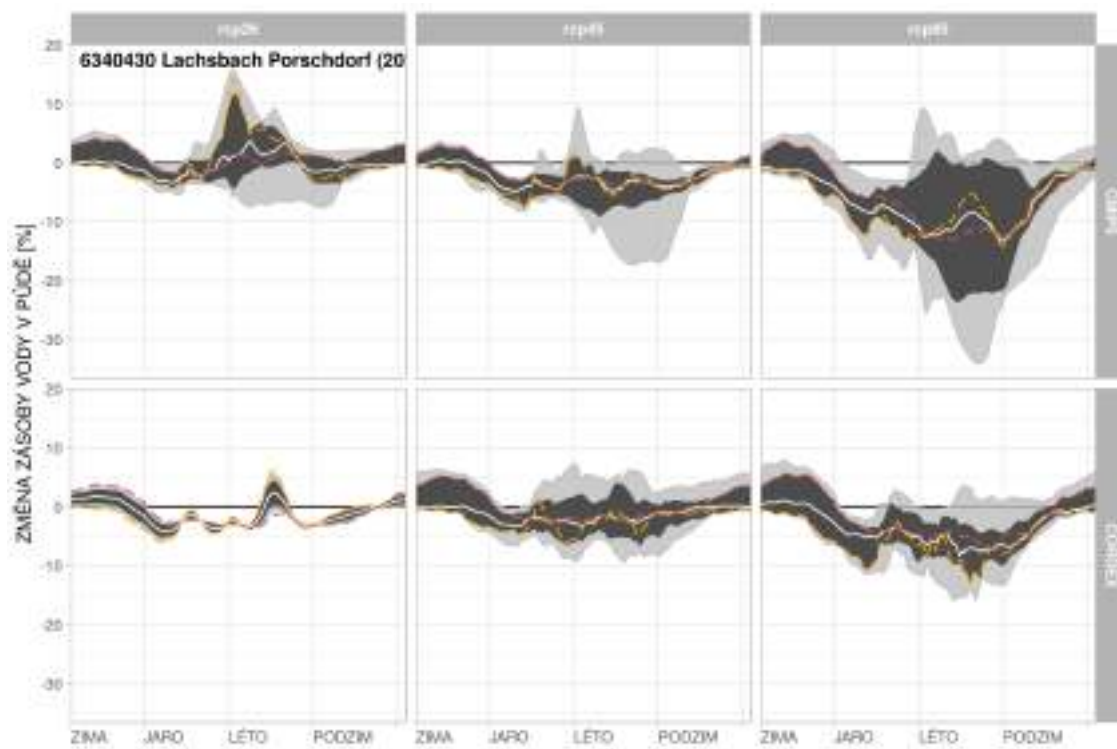


Obrázek 131: Změny zásoby půdní vody v povodí Lockwitzbach-Kreischa pro období 2070–2100.

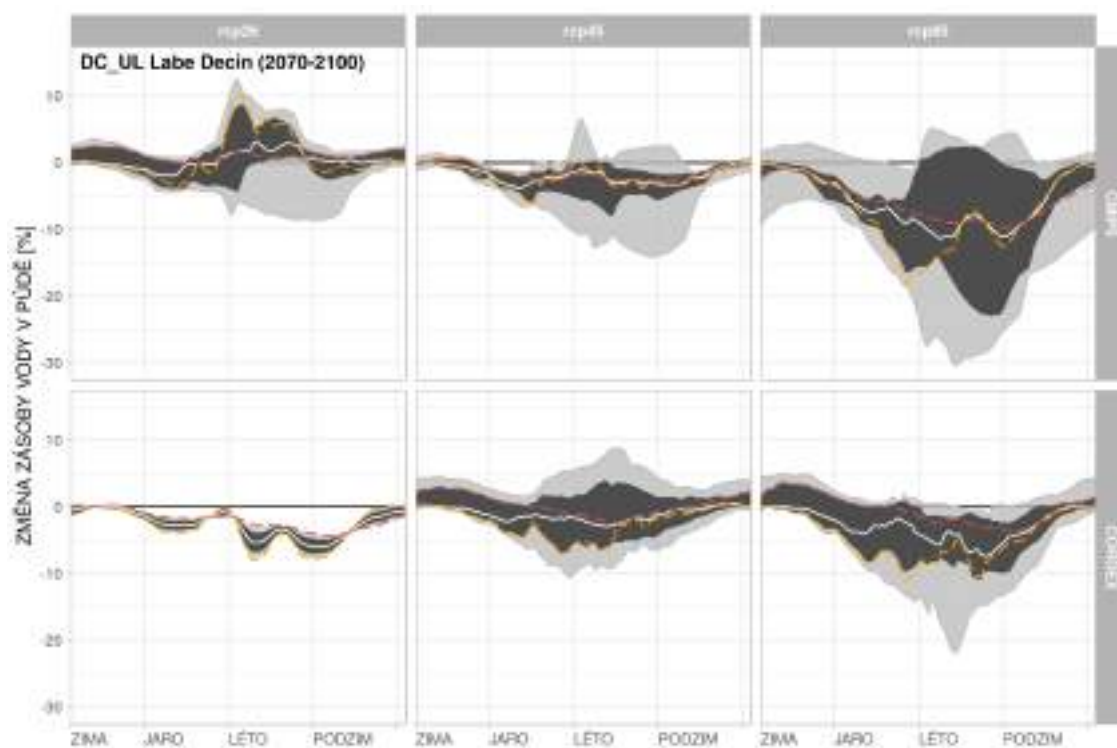




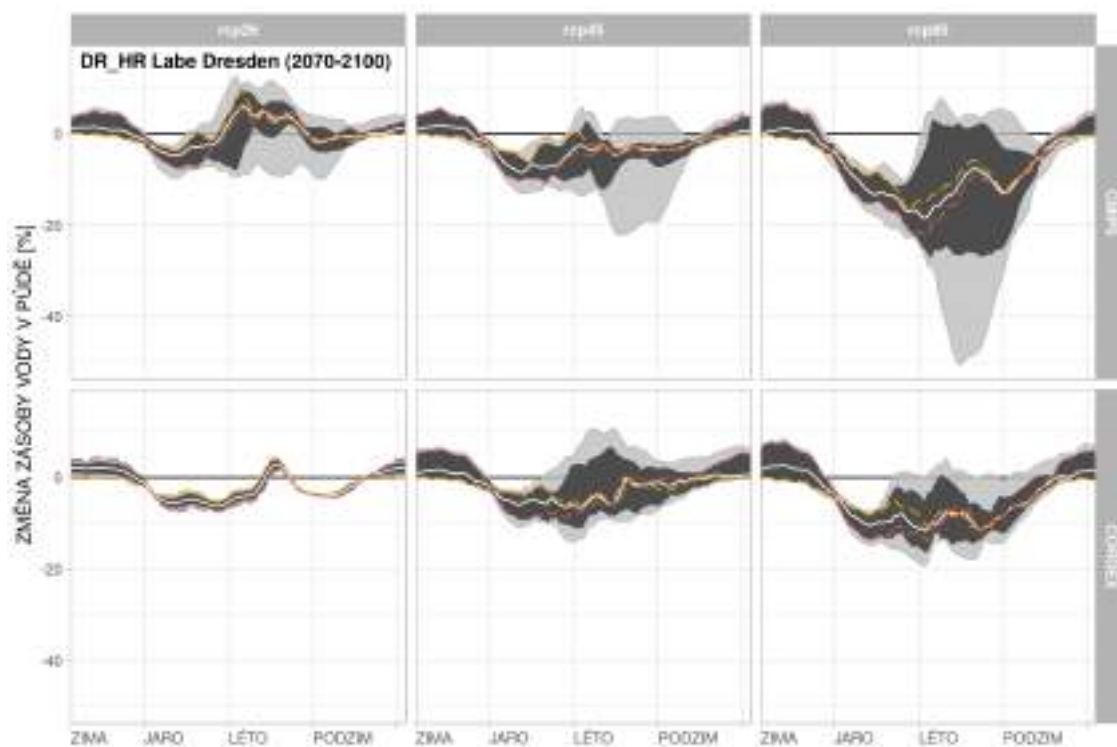
Obrázek 132: Změny zásoby půdní vody v povodí Wesenitz-Elbersdorf pro období 2070–2100.



Obrázek 133: Změny zásoby půdní vody v povodí Lachsbach-Porschdorf pro období 2070–2100.

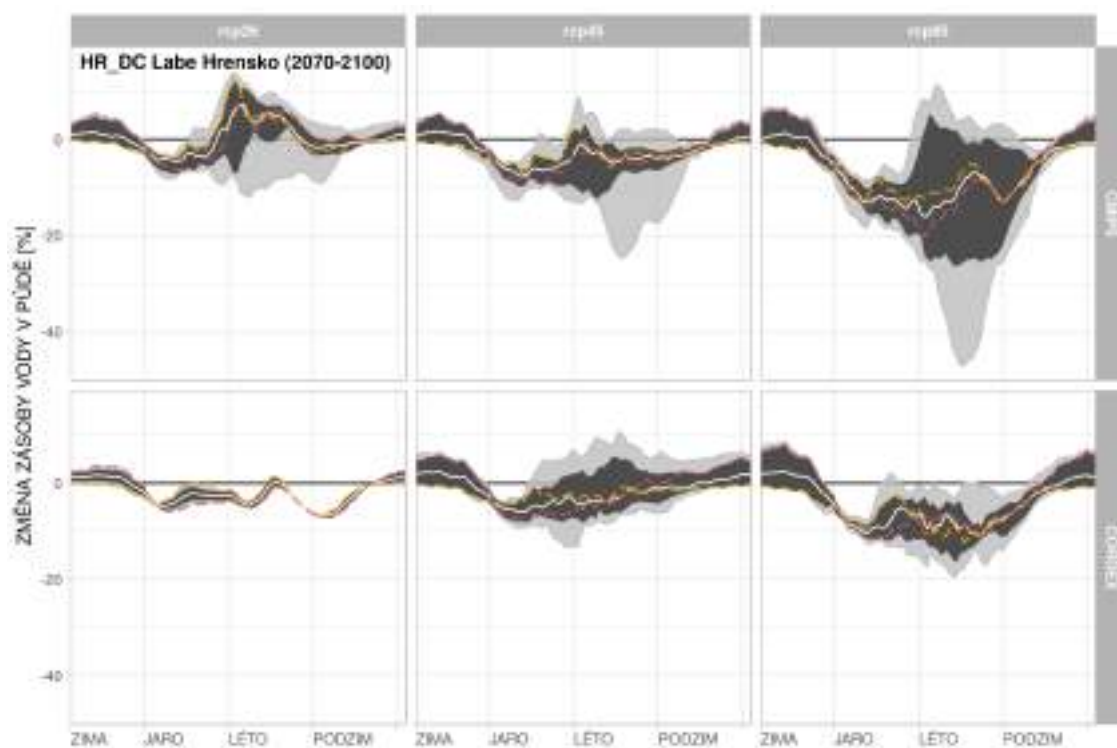


Obrázek 134: Změny zásoby půdní vody v povodí Labe-Děčín-Ústí mezipovodí pro období 2070–2100.

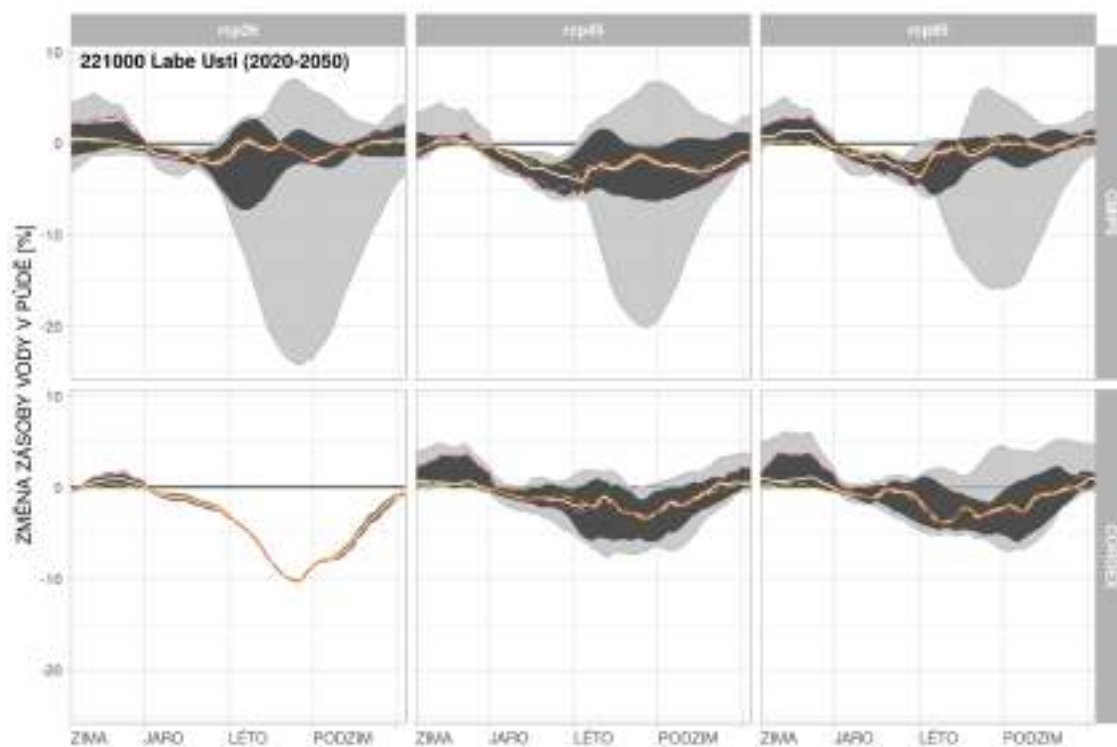


Obrázek 135: Změny zásoby půdní vody v povodí Labe-Dresden-Hřensko mezipovodí pro období 2070–2100.

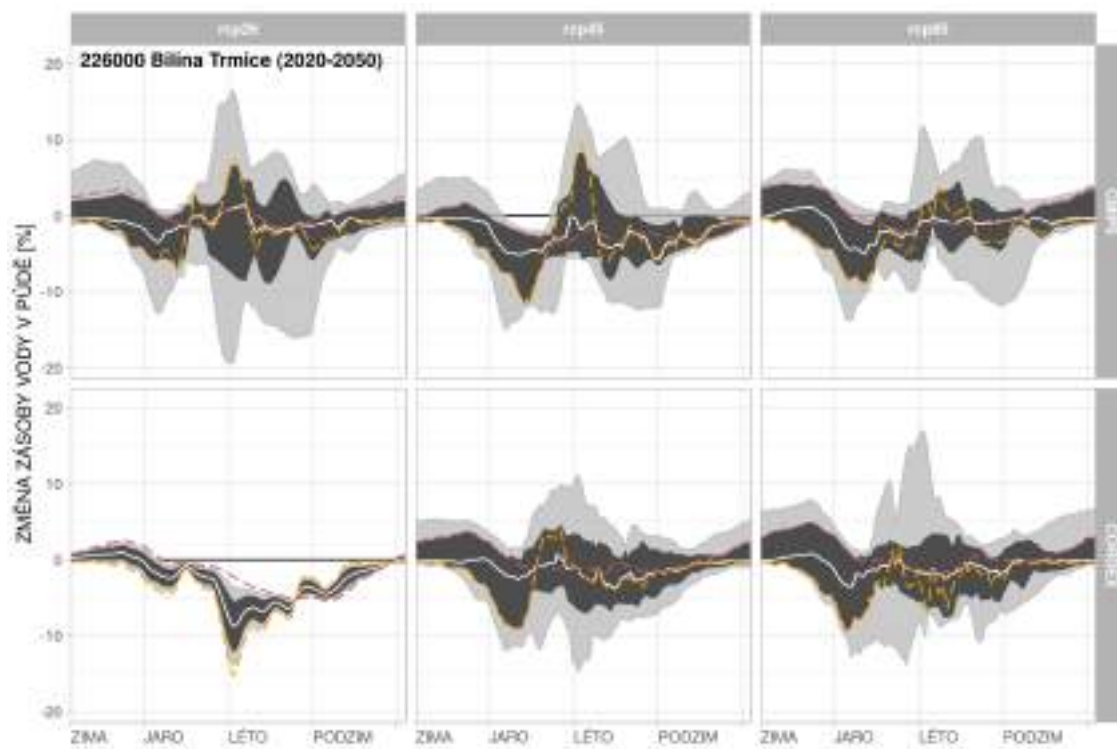




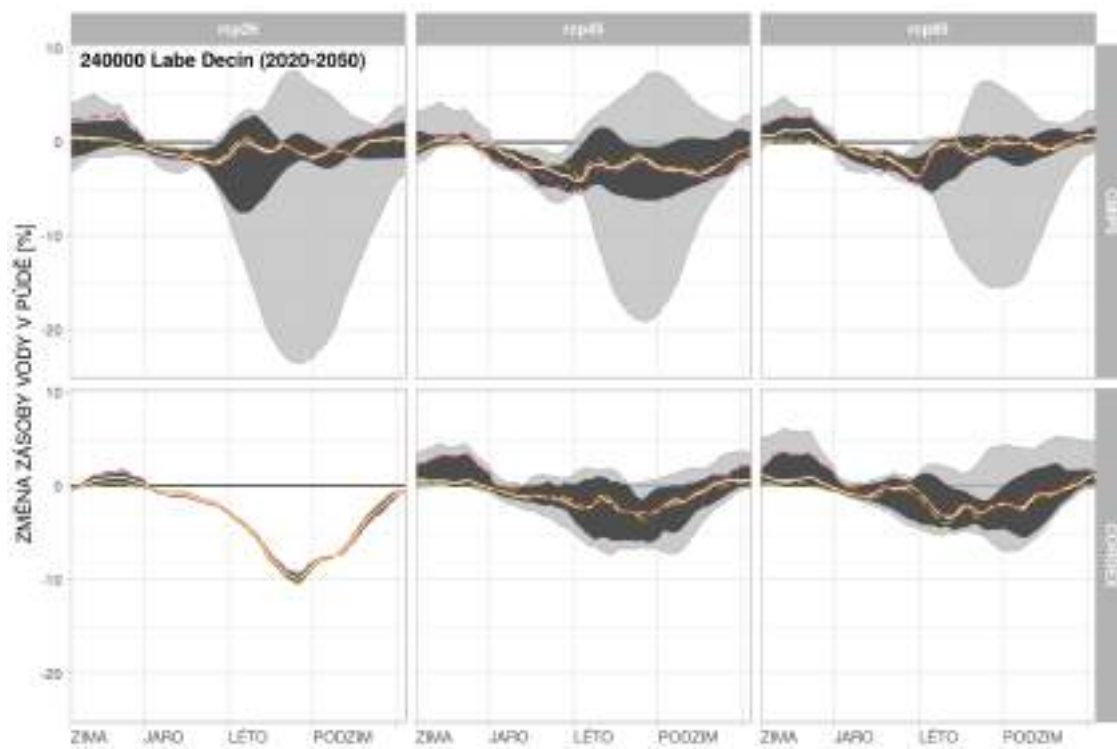
Obrázek 136: Změny zásoby půdní vody v povodí Labe-Hřensko-Dečín mezipovodí pro období 2070–2100.



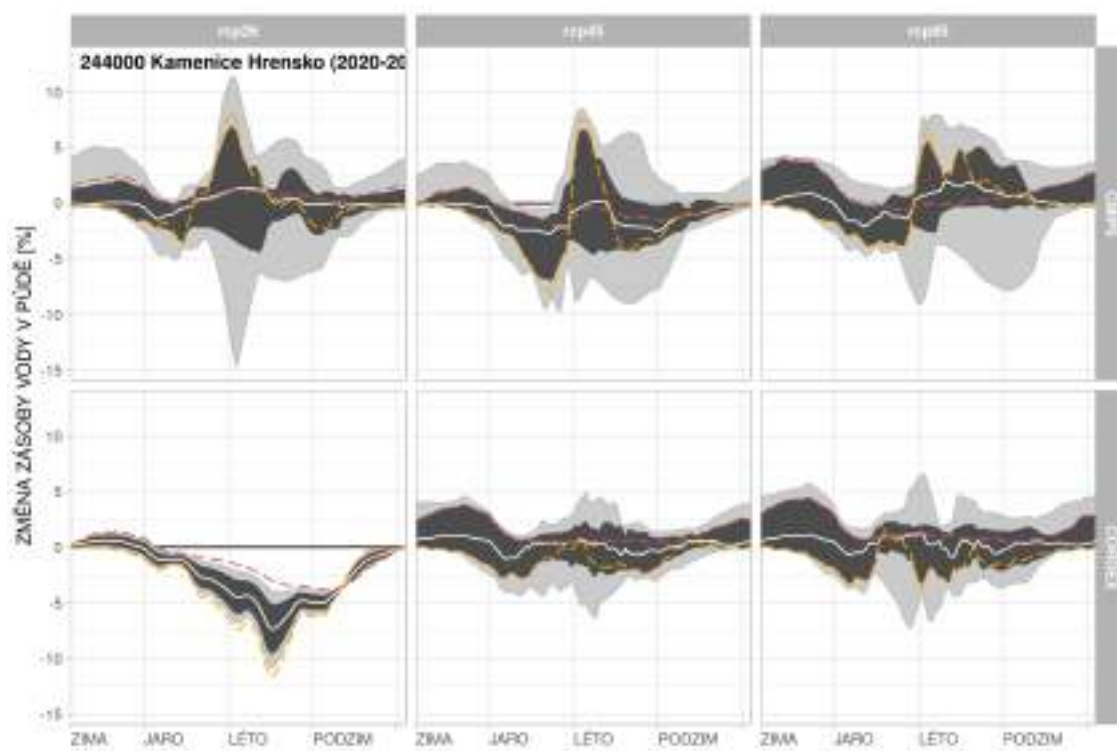
Obrázek 137: Změny zásoby půdní vody v povodí Labe-Ústí pro období 2020–2050.



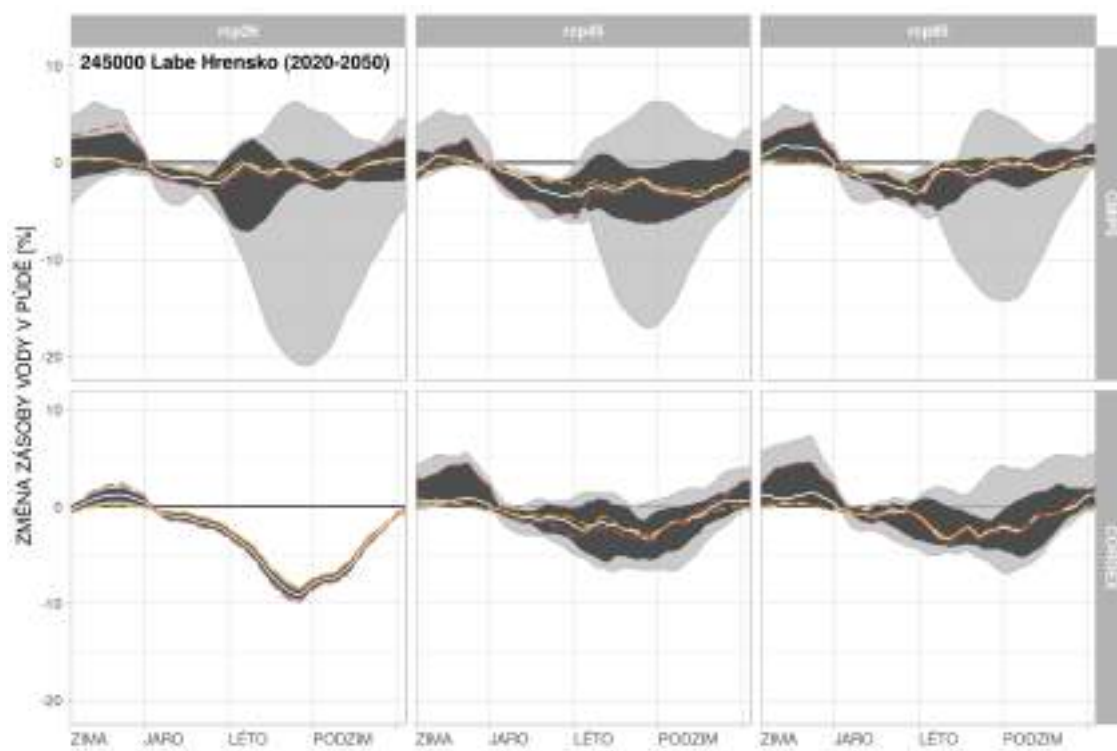
Obrázek 138: Změny zásoby půdní vody v povodí Bílina-Trmice pro období 2020–2050.



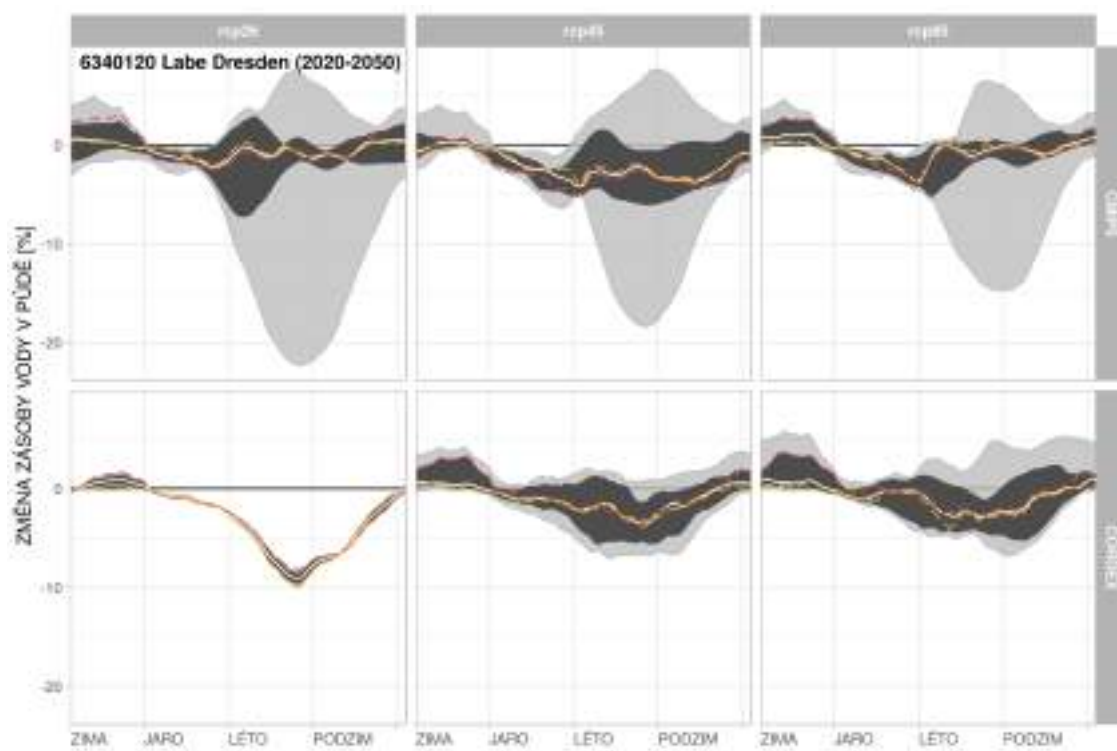
Obrázek 139: Změny zásoby půdní vody v povodí Labe-Děčín pro období 2020–2050.



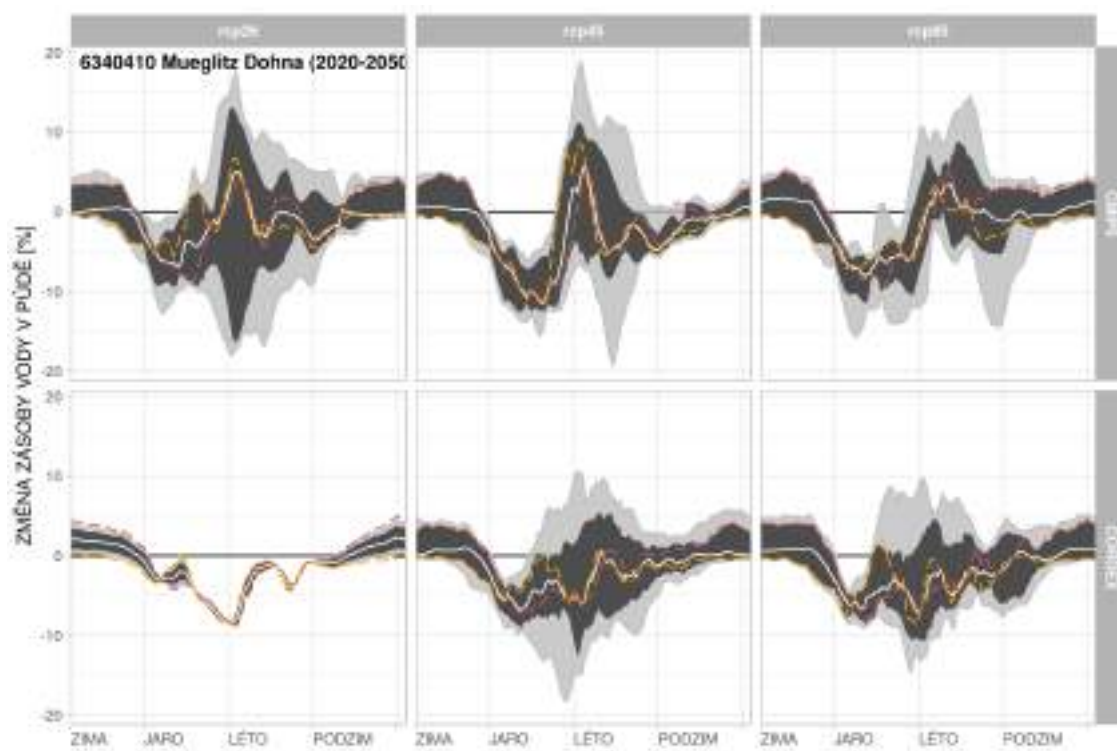
Obrázek 140: Změny zásoby půdní vody v povodí Kamenice-Hřensko pro období 2020–2050.



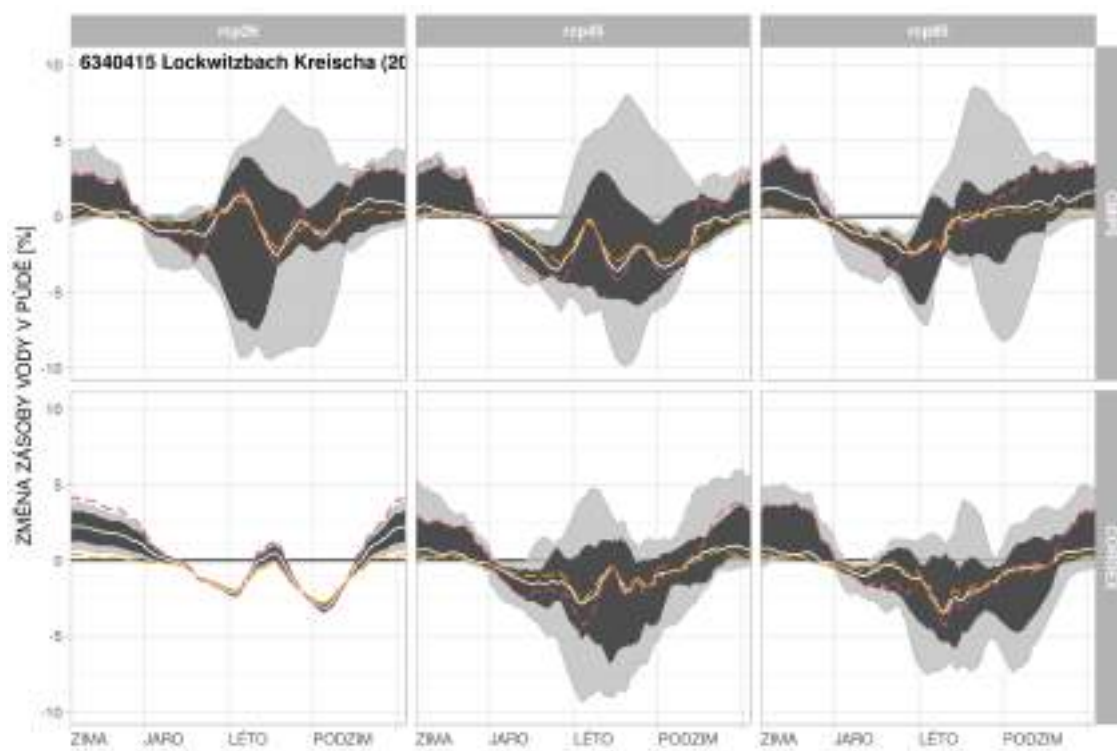
Obrázek 141: Změny zásoby půdní vody v povodí Labe-Hřensko pro období 2020–2050.



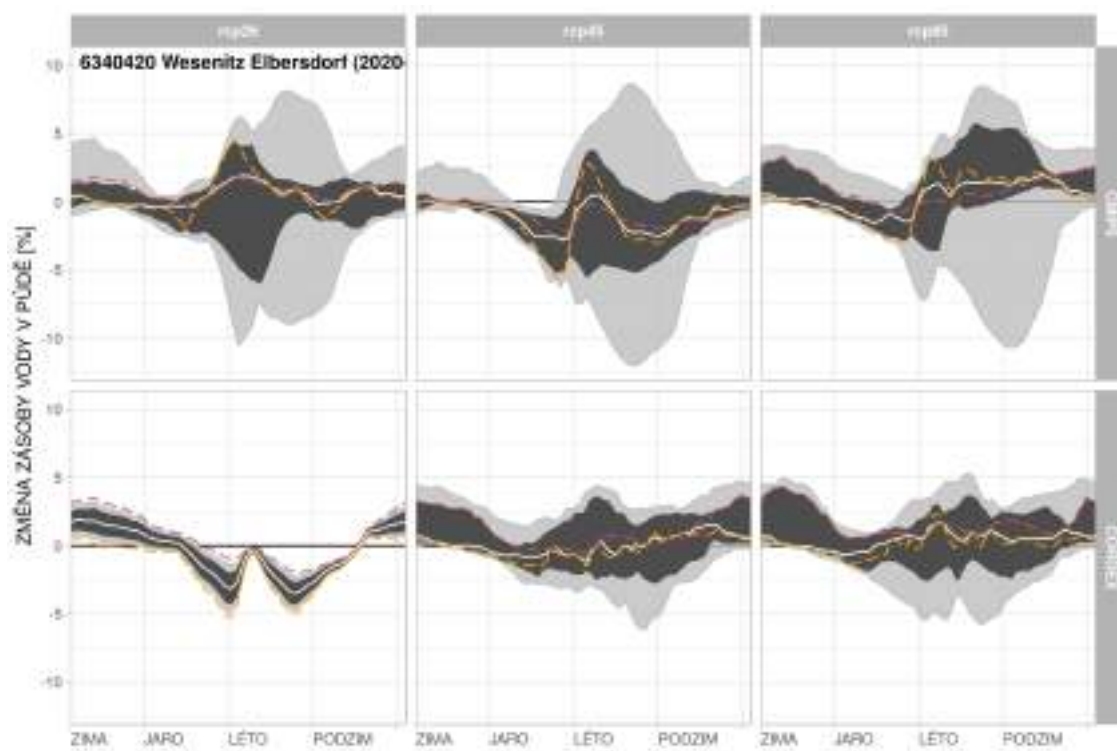
Obrázek 142: Změny zásoby půdní vody v povodí Labe-Dresden pro období 2020–2050.



Obrázek 143: Změny zásoby půdní vody v povodí Mueglitz-Dohna pro období 2020–2050.

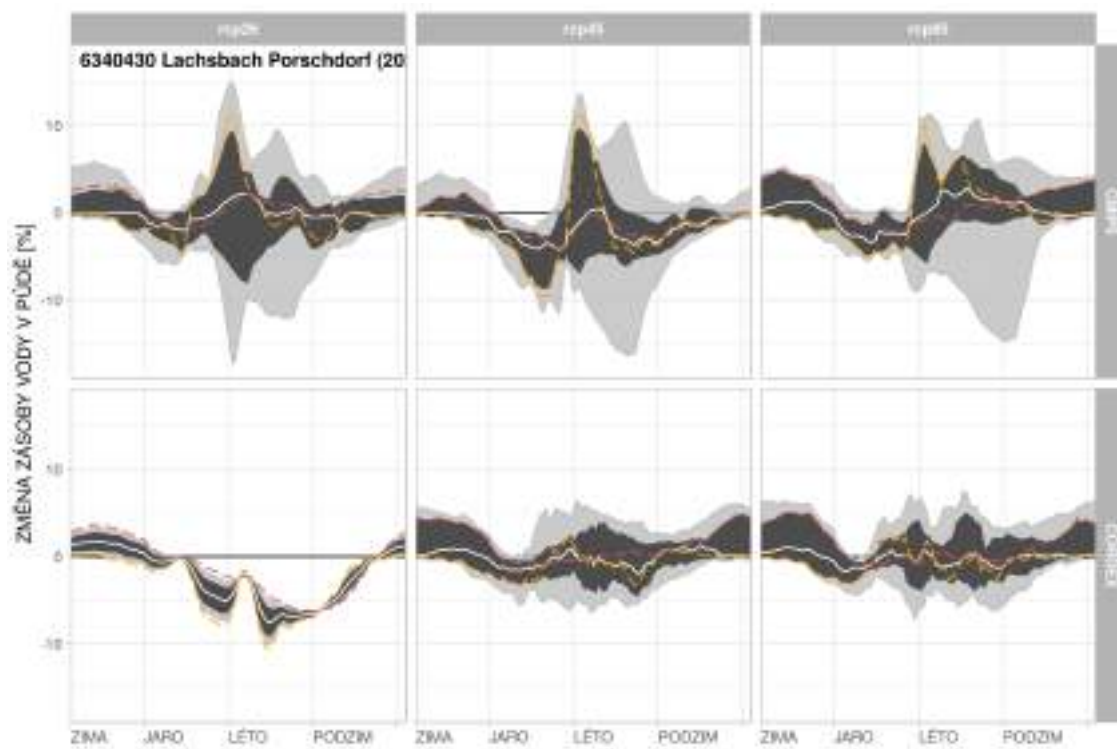


Obrázek 144: Změny zásoby půdní vody v povodí Lockwitzbach-Kreischa pro období 2020–2050.

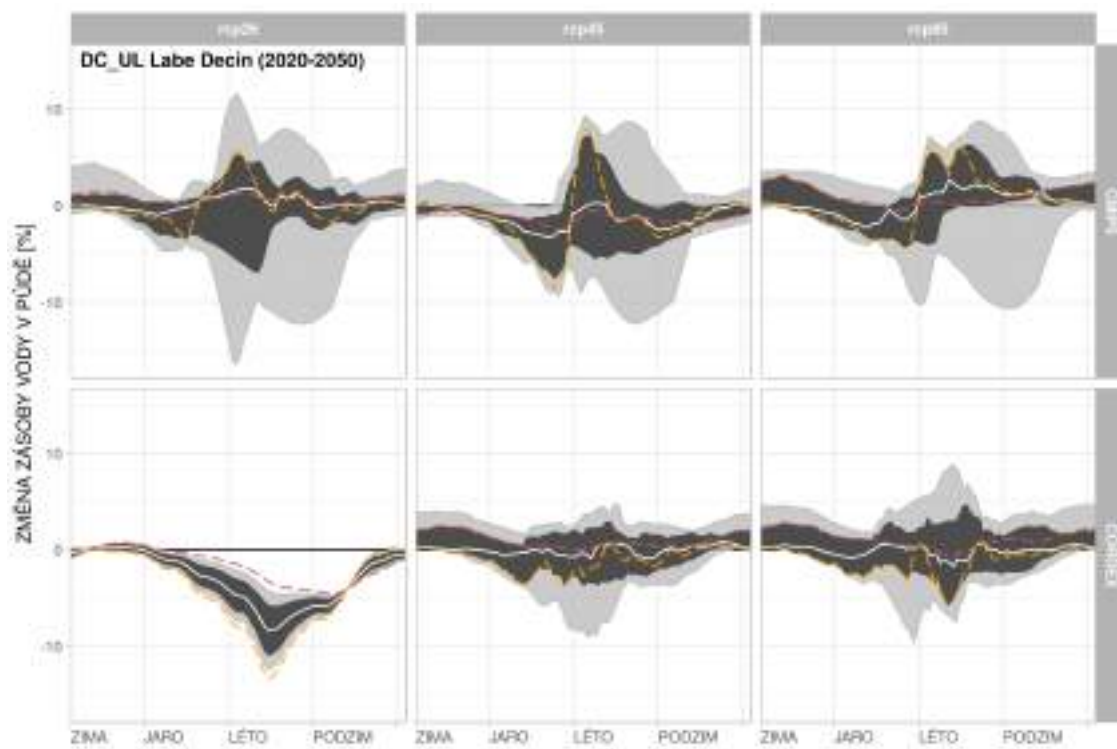


Obrázek 145: Změny zásoby půdní vody v povodí Wesenitz-Elbersdorf pro období 2020–2050.



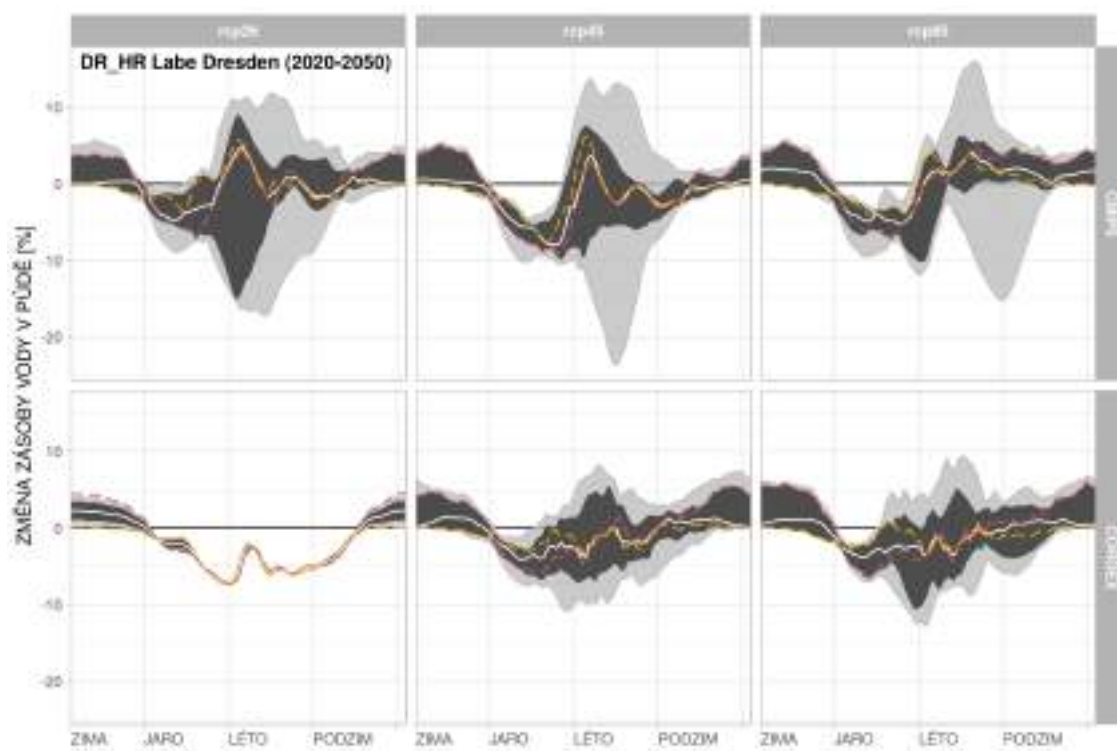


Obrázek 146: Změny zásoby půdní vody v povodí Lachsbach-Porschdorf pro období 2020–2050.

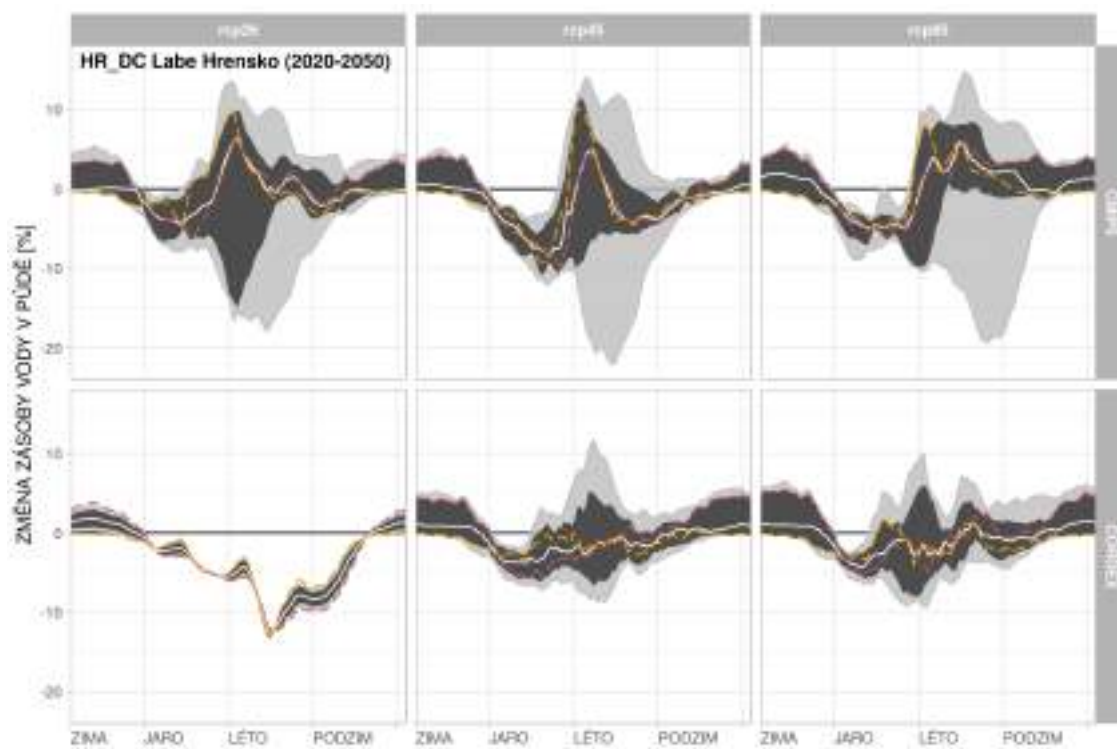


Obrázek 147: Změny zásoby půdní vody v povodí Labe-Děčín-Ústí mezipovodí pro období 2020–2050.



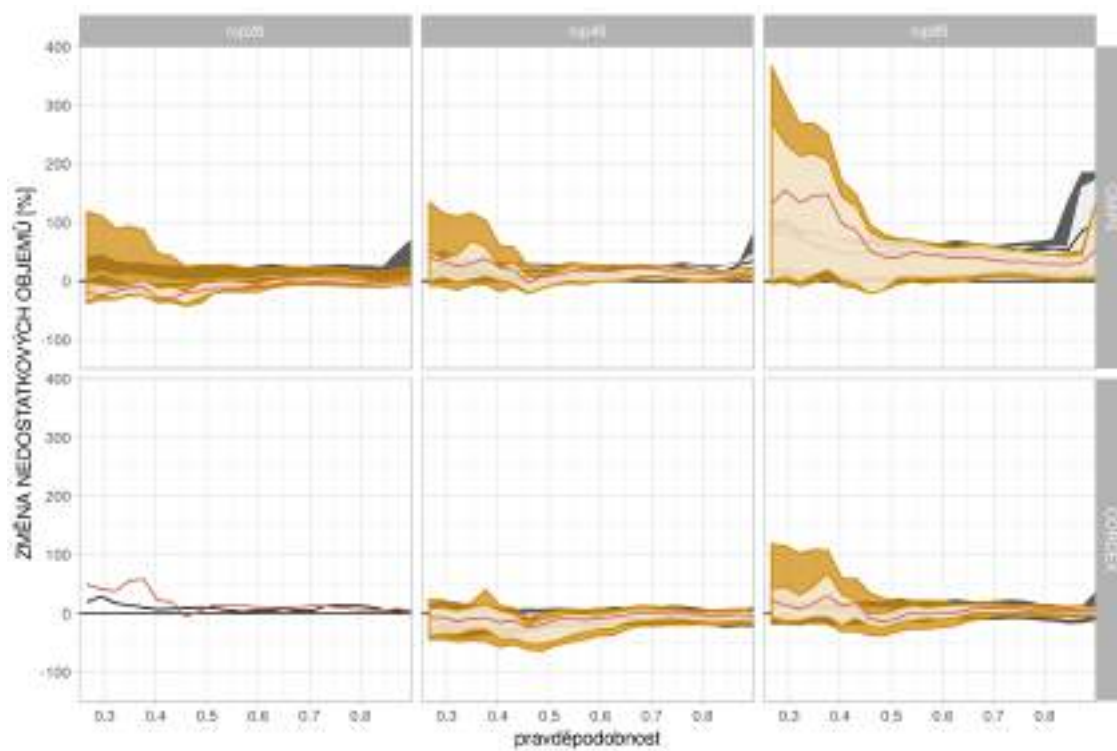


Obrázek 148: Změny zásoby půdní vody v povodí Labe-Dresden-Hřensko mezipovodí pro období 2020–2050.

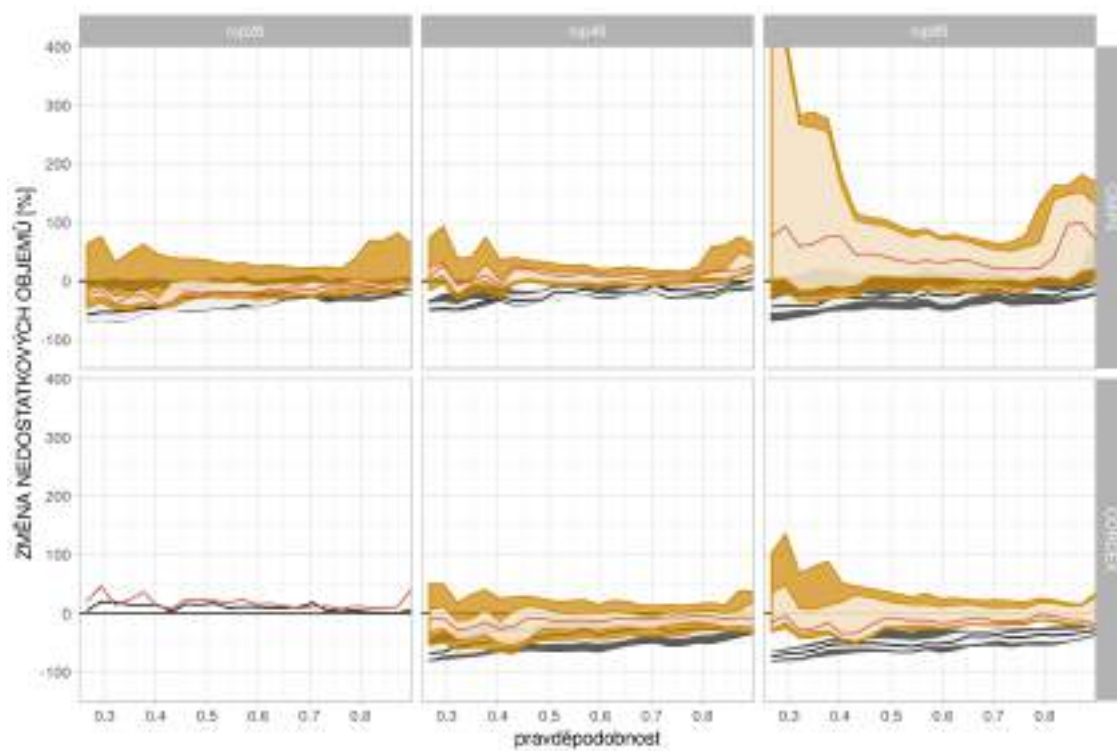


Obrázek 149: Změny zásoby půdní vody v povodí Labe-Hřensko-Dečín mezipovodí pro období 2020–2050.

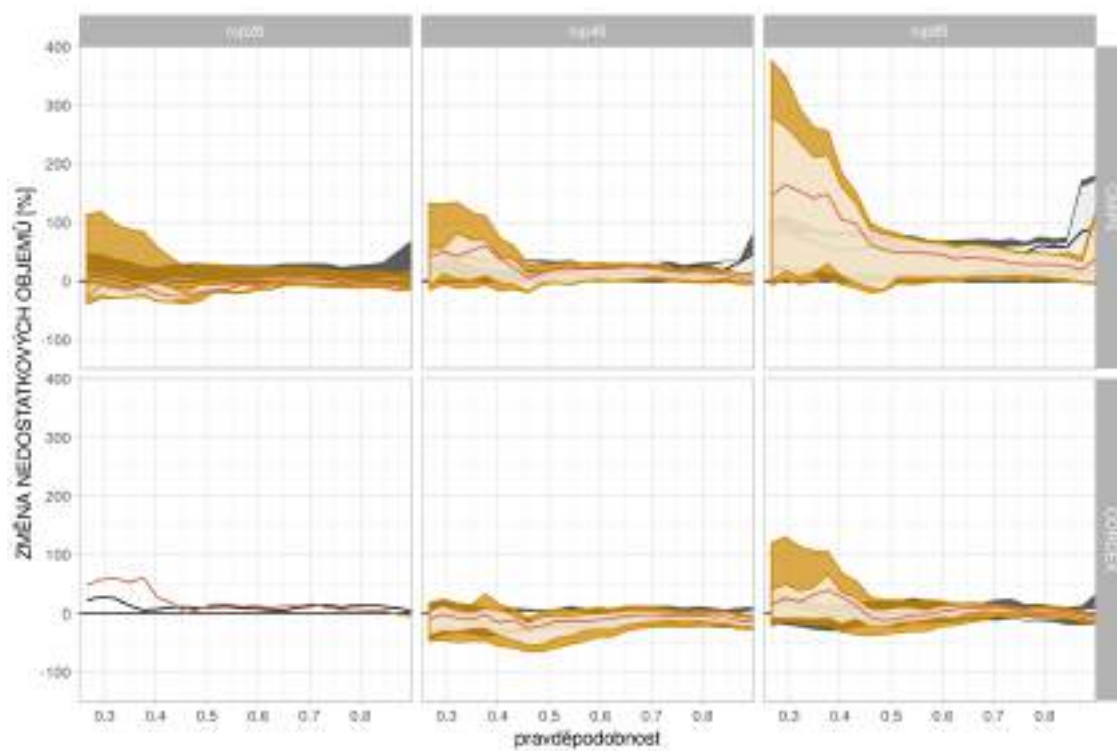
## 6.2 Přílohy - změny deficitních objemů



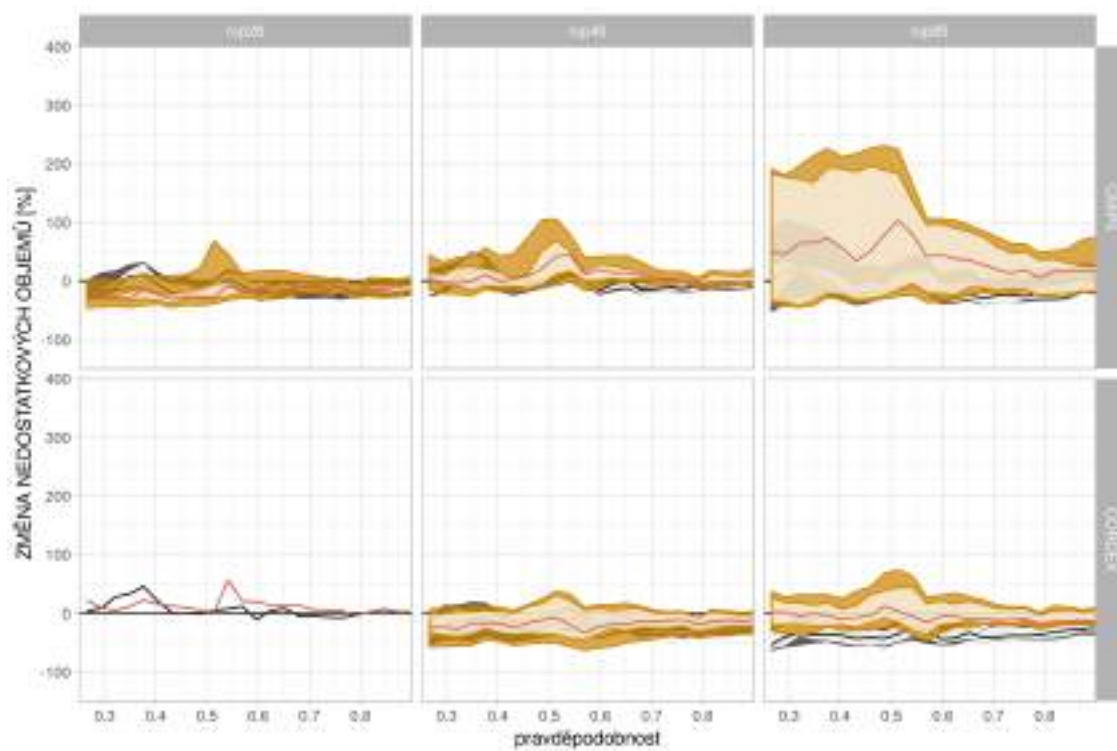
Obrázek 150: Změny deficitních objemů pro  $Q_{180d}$  v povodí Labe-Ústí pro období 2070–2100.



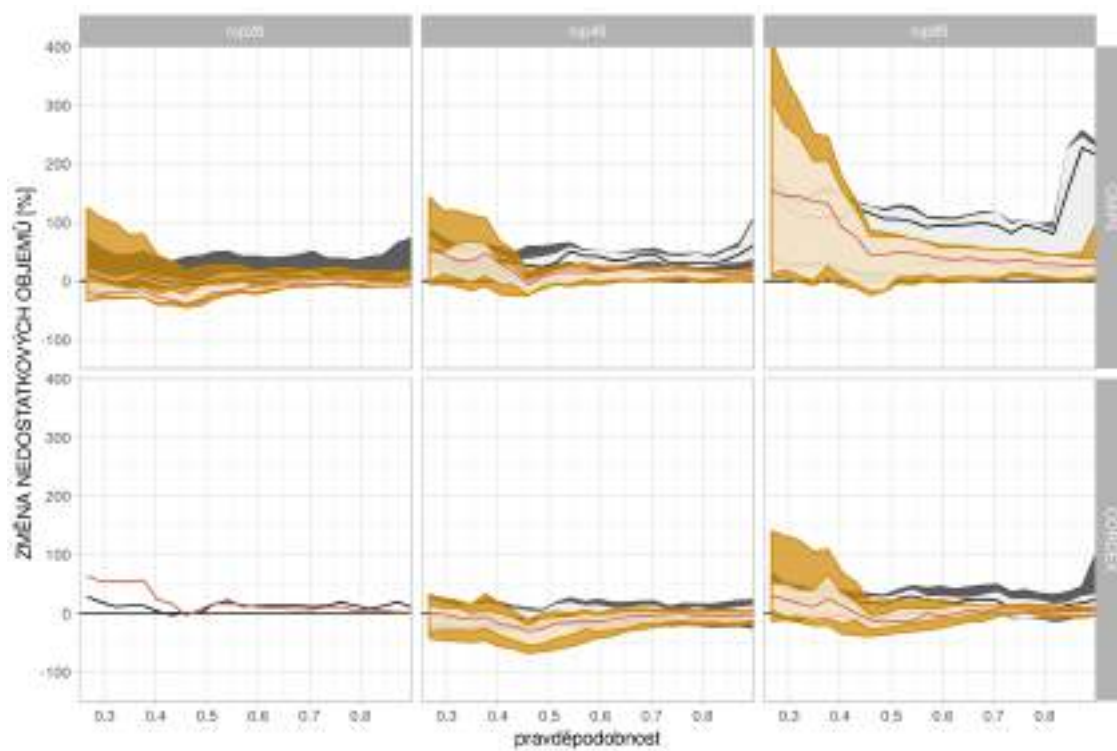
Obrázek 151: Změny deficitních objemů pro  $Q_{180d}$  v povodí Bílina-Trmice pro období 2070–2100.



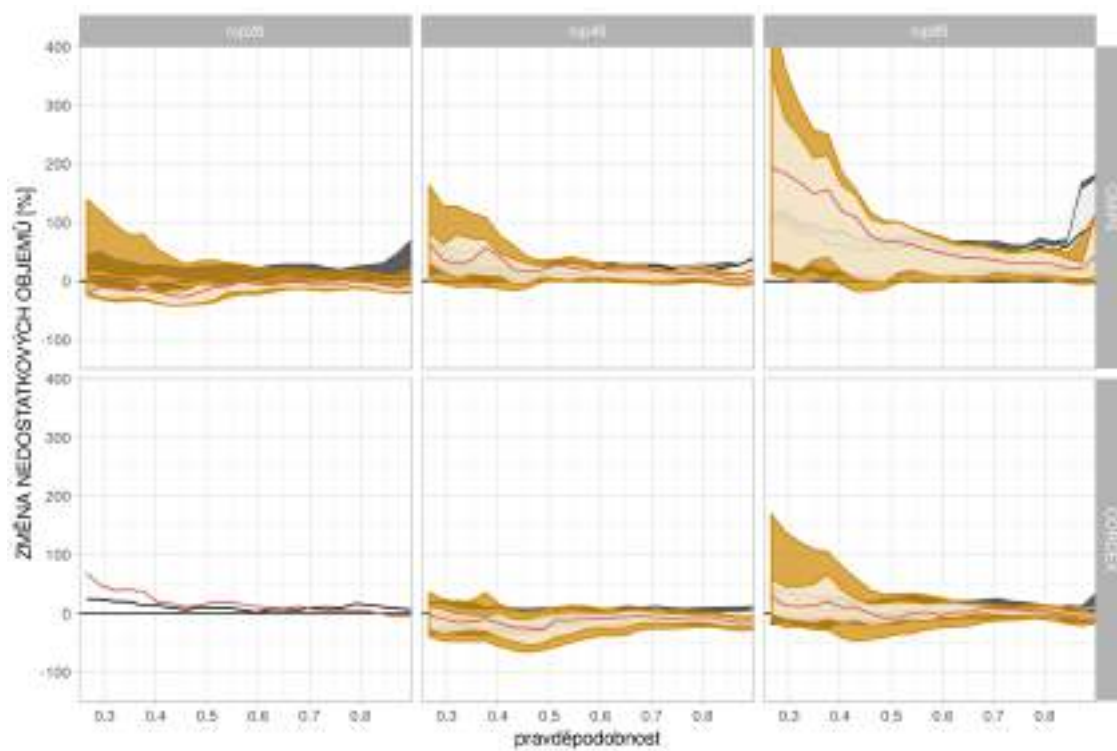
Obrázek 152: Změny deficitních objemů pro  $Q_{180d}$  v povodí Labe-Děčín pro období 2070–2100.



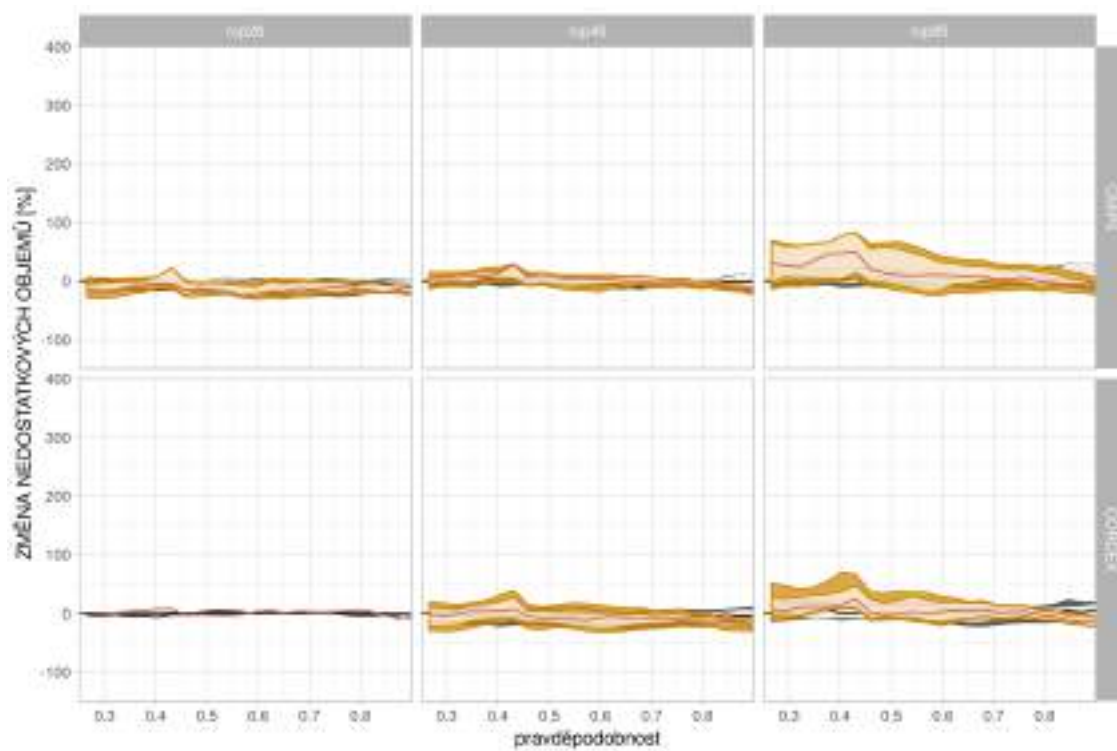
Obrázek 153: Změny deficitních objemů pro  $Q_{180d}$  v povodí Kamenice-Hřensko pro období 2070–2100.



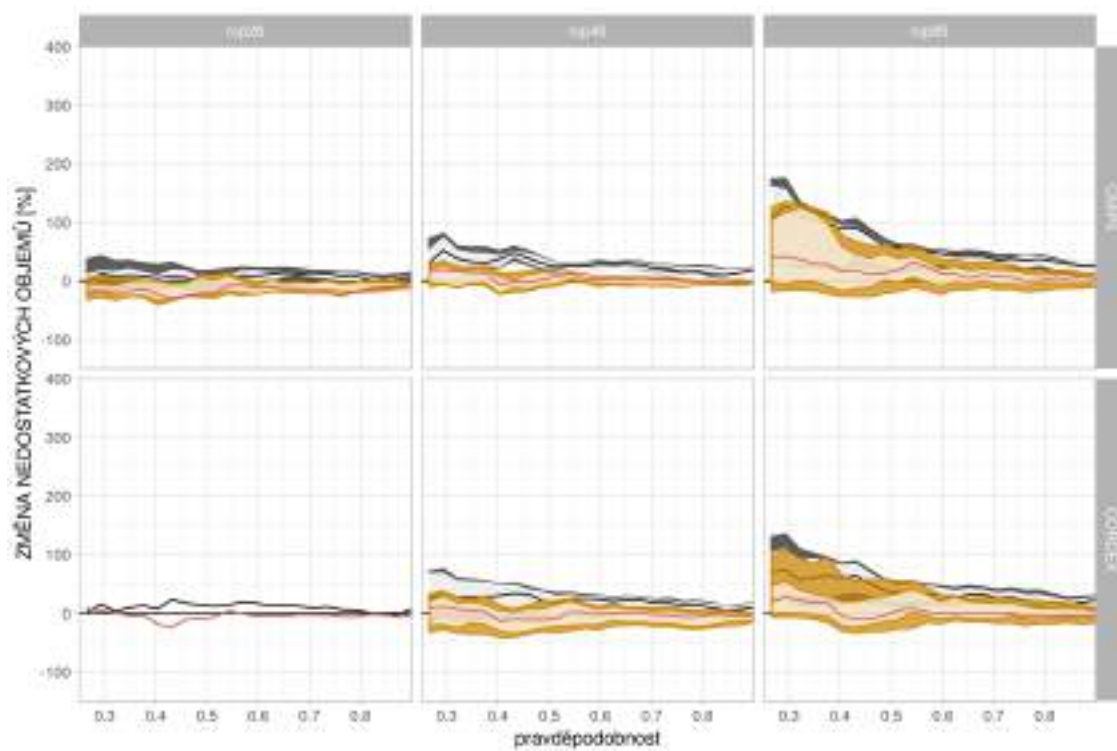
Obrázek 154: Změny deficitních objemů pro  $Q_{180d}$  v povodí Labe-Hřensko pro období 2070–2100.



Obrázek 155: Změny deficitních objemů pro  $Q_{180d}$  v povodí Labe-Dresden pro období 2070–2100.

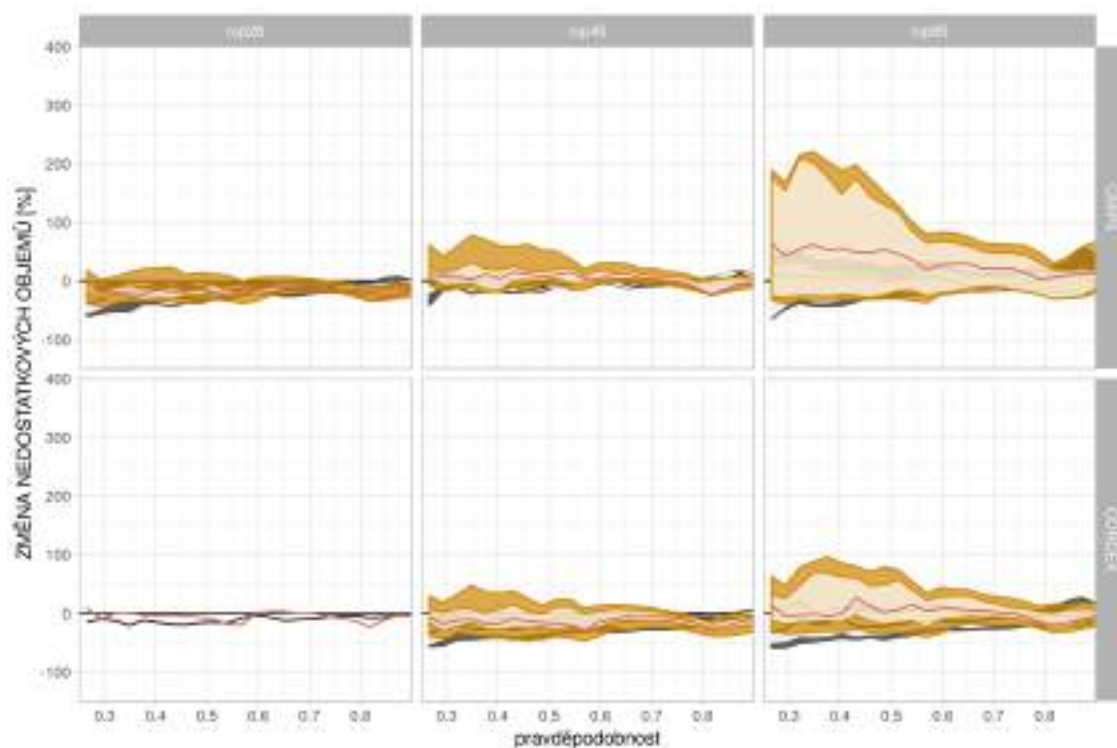


Obrázek 156: Změny deficitních objemů pro  $Q_{180d}$  v povodí Mueglitz-Dohna pro období 2070–2100.

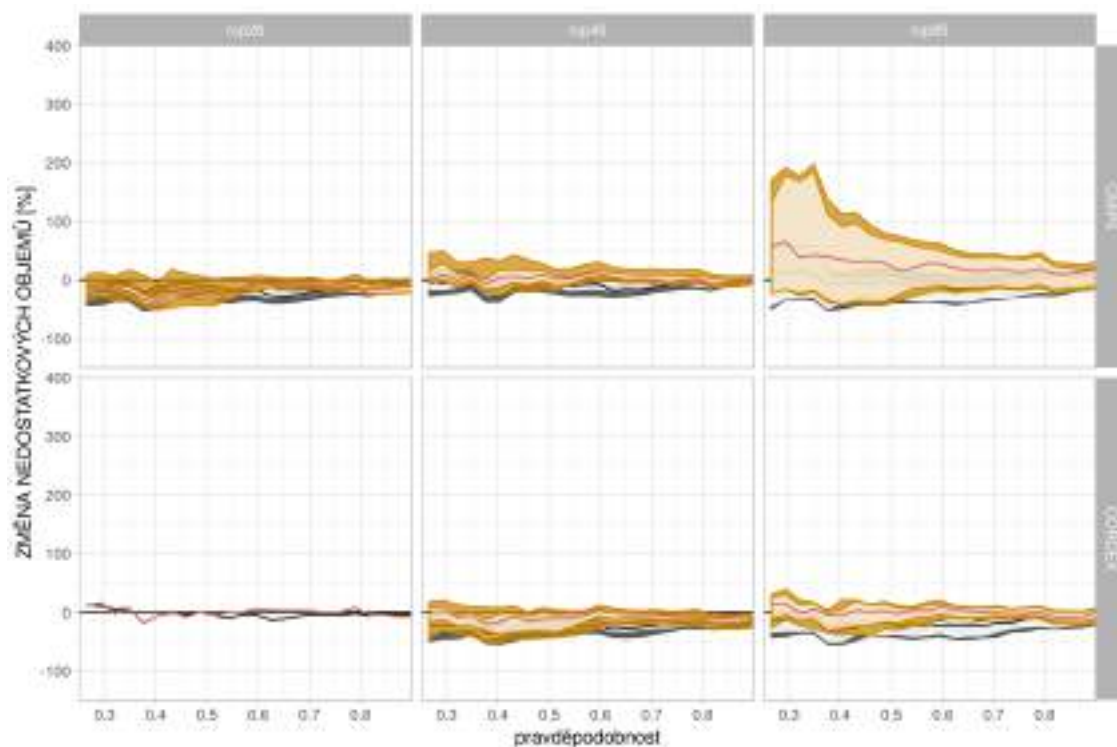


Obrázek 157: Změny deficitních objemů pro  $Q_{180d}$  v povodí Lockwitzbach-Kreischa pro období 2070–2100.

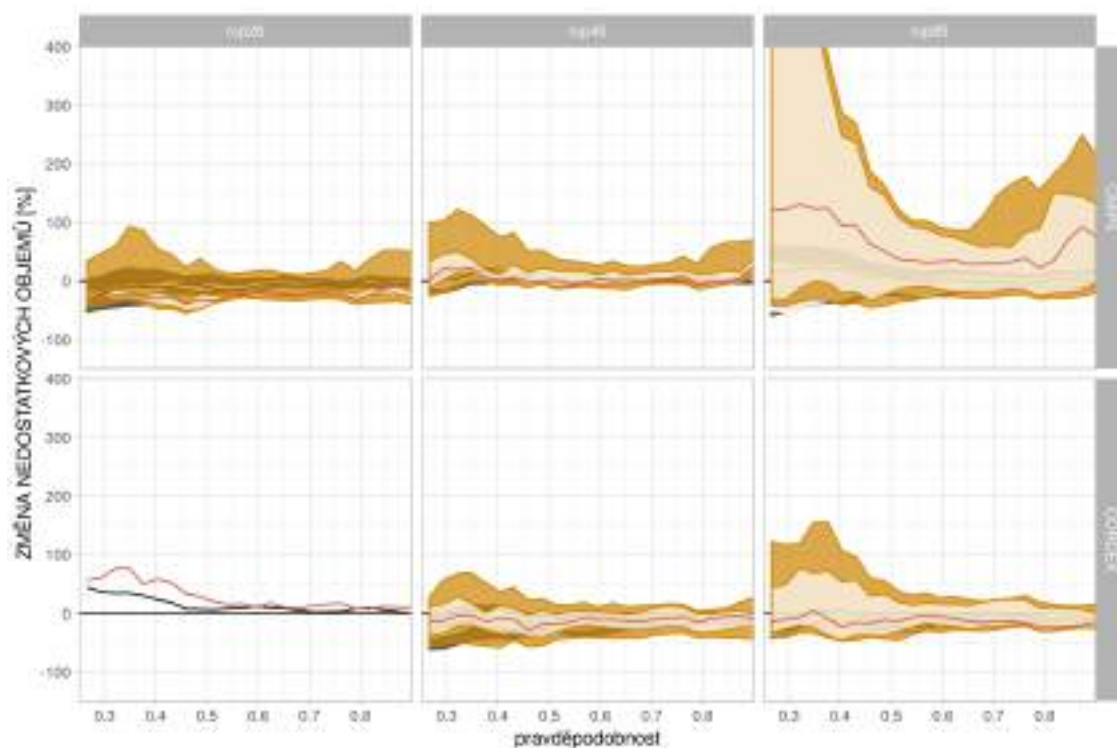




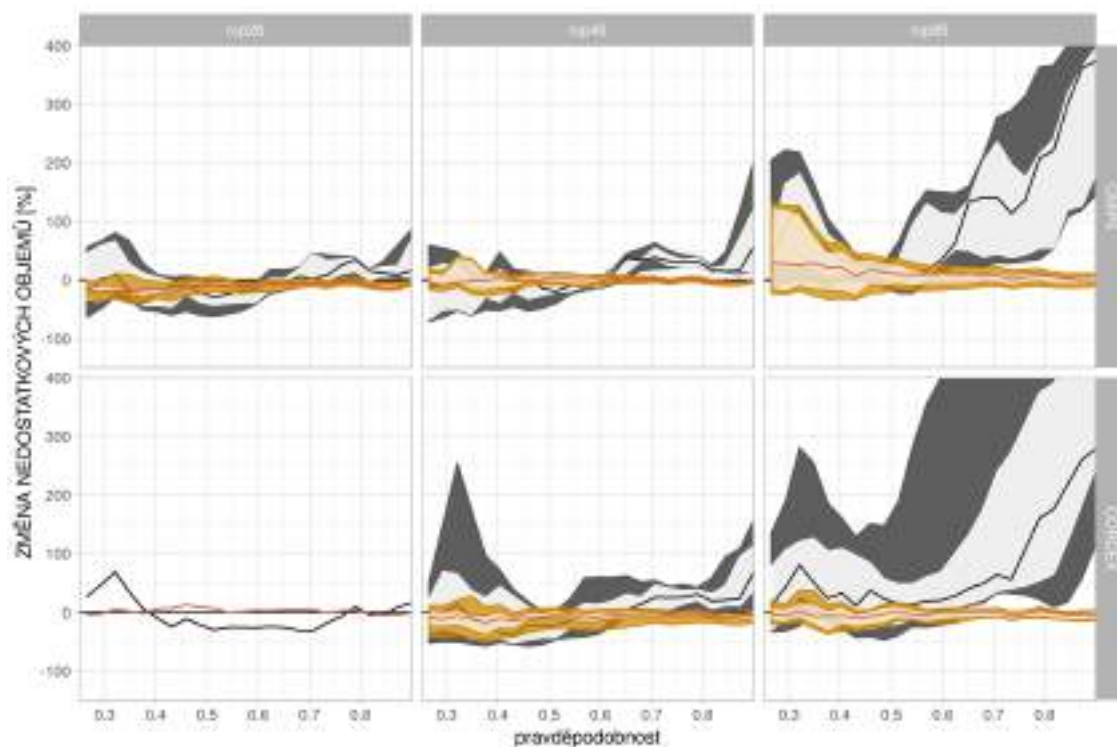
Obrázek 158: Změny deficitních objemů pro  $Q_{180d}$  v povodí Wesenitz-Elbersdorf pro období 2070–2100.



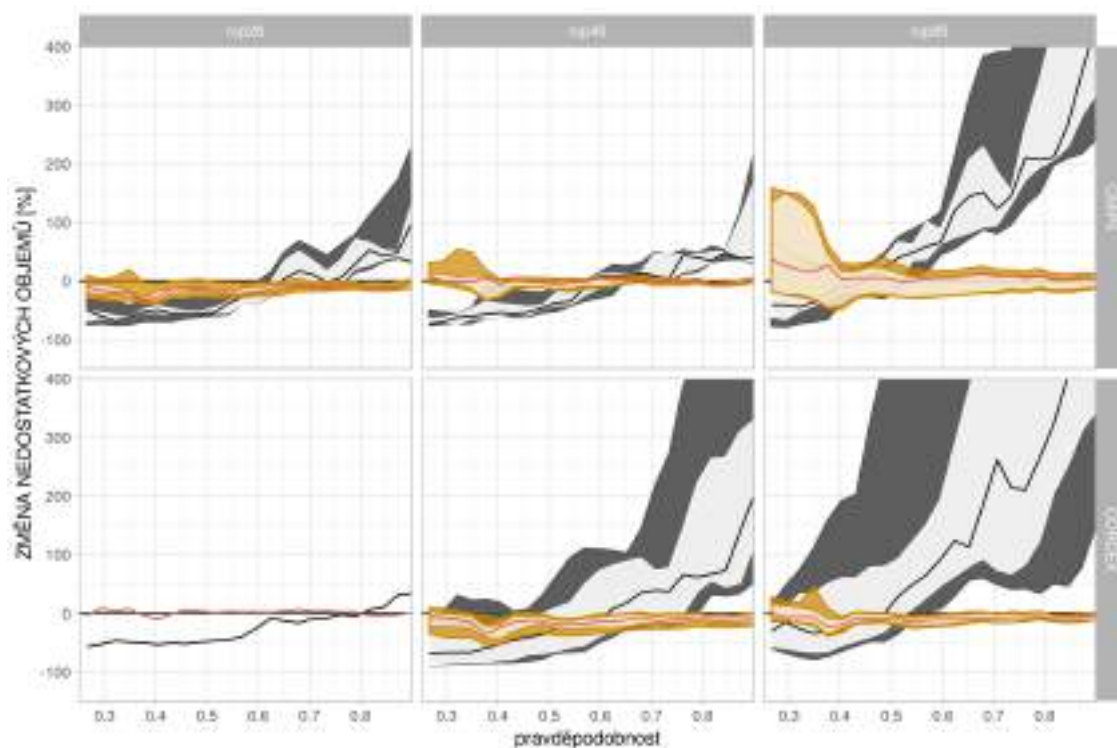
Obrázek 159: Změny deficitních objemů pro  $Q_{180d}$  v povodí Lachsbach-Porschdorf pro období 2070–2100.



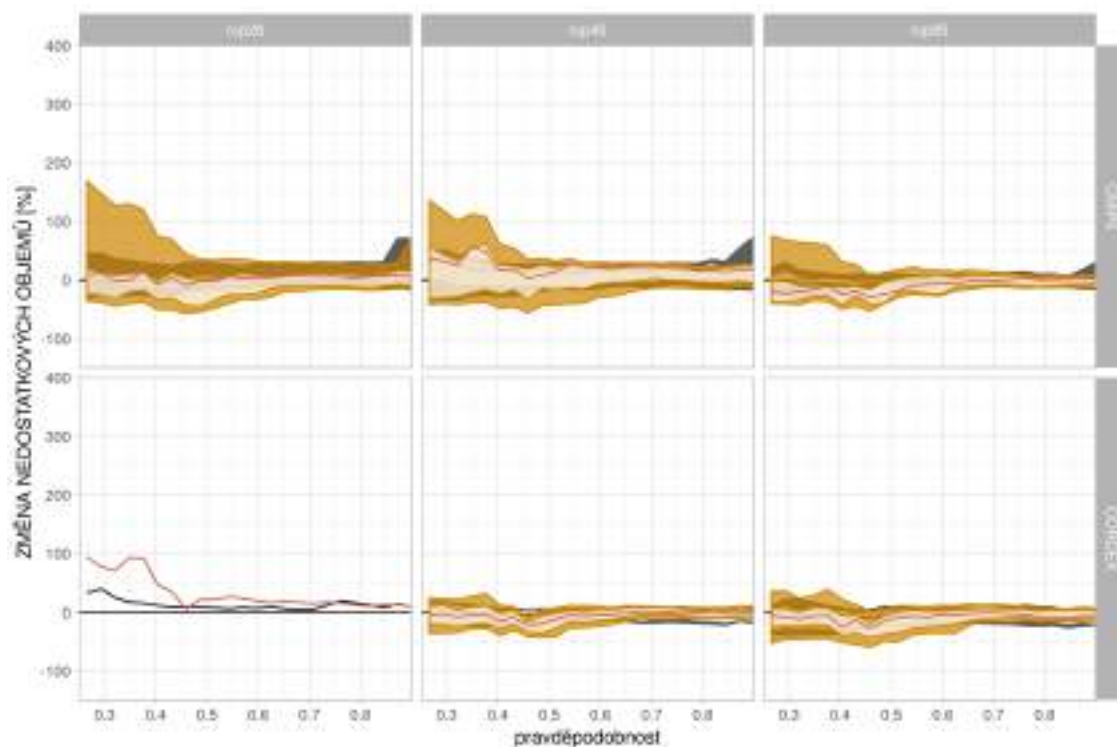
Obrázek 160: Změny deficitních objemů pro  $Q_{180d}$  v povodí Labe-Děčín-Ústí mezipovodí pro období 2070–2100.



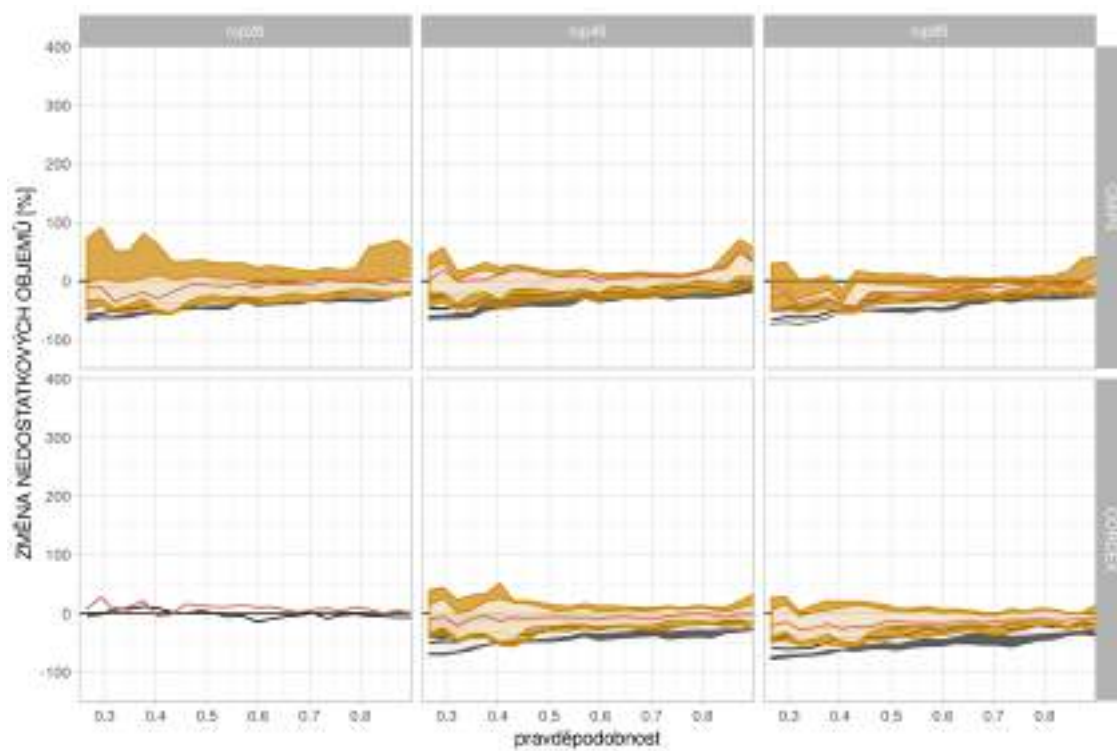
Obrázek 161: Změny deficitních objemů pro  $Q_{180d}$  v povodí Labe-Dresden-Hřensko mezipovodí pro období 2070–2100.



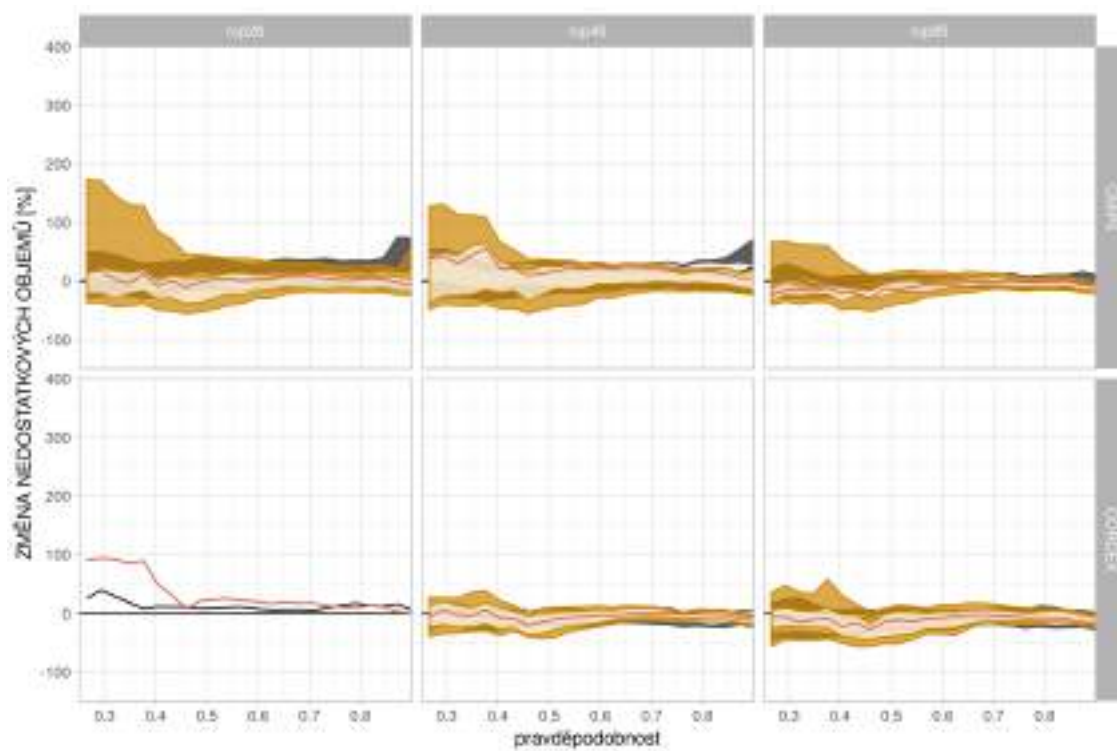
Obrázek 162: Změny deficitních objemů pro  $Q_{180d}$  v povodí Labe-Hřensko-Dečín mezipovodí pro období 2070–2100.



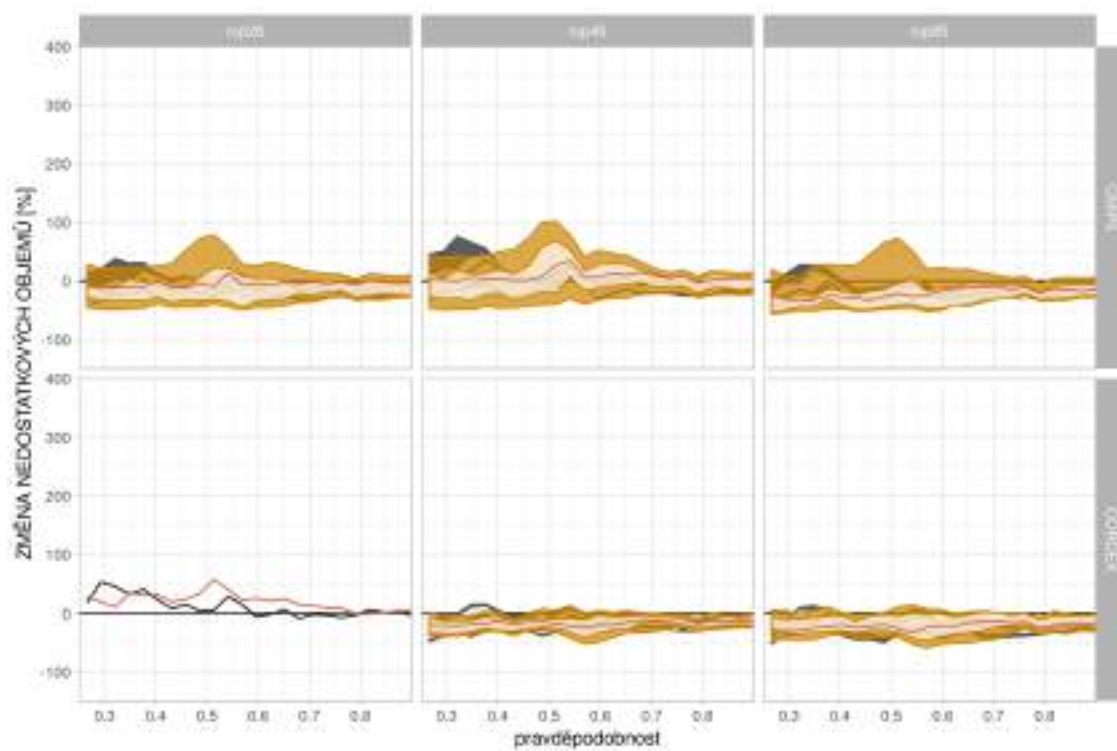
Obrázek 163: Změny deficitních objemů pro  $Q_{180d}$  v povodí Labe-Ústí pro období 2020–2050.



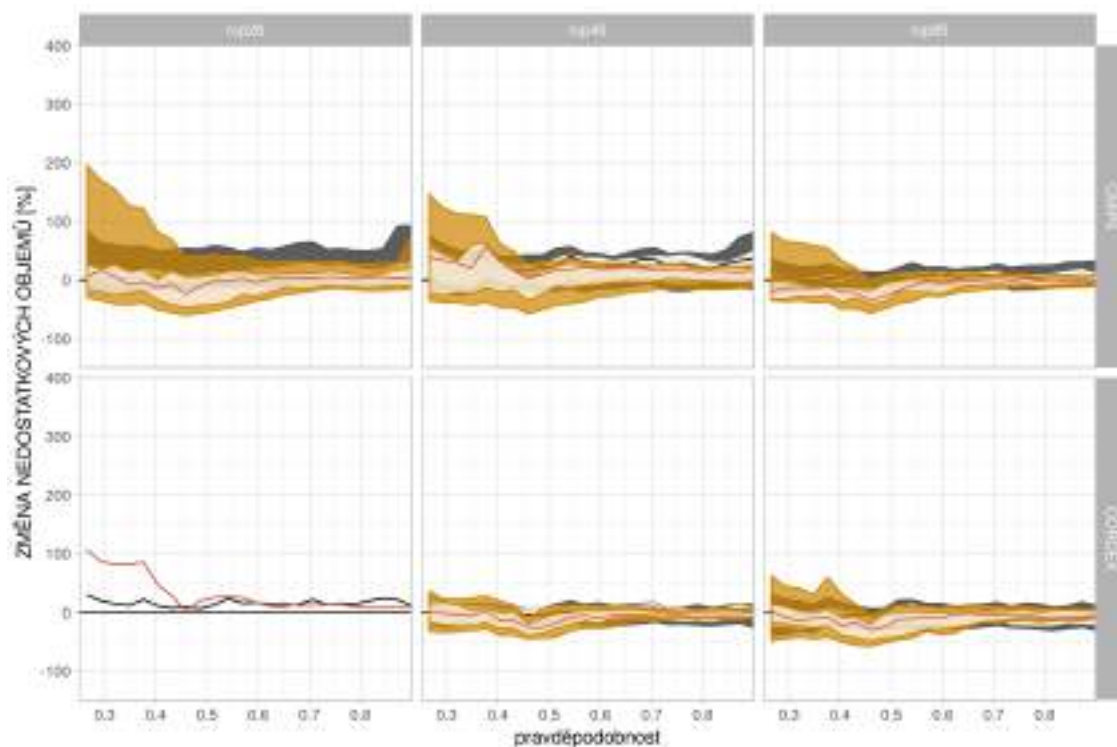
Obrázek 164: Změny deficitních objemů pro  $Q_{180d}$  v povodí Bílina-Trmice pro období 2020–2050.



Obrázek 165: Změny deficitních objemů pro  $Q_{180d}$  v povodí Labe-Děčín pro období 2020–2050.

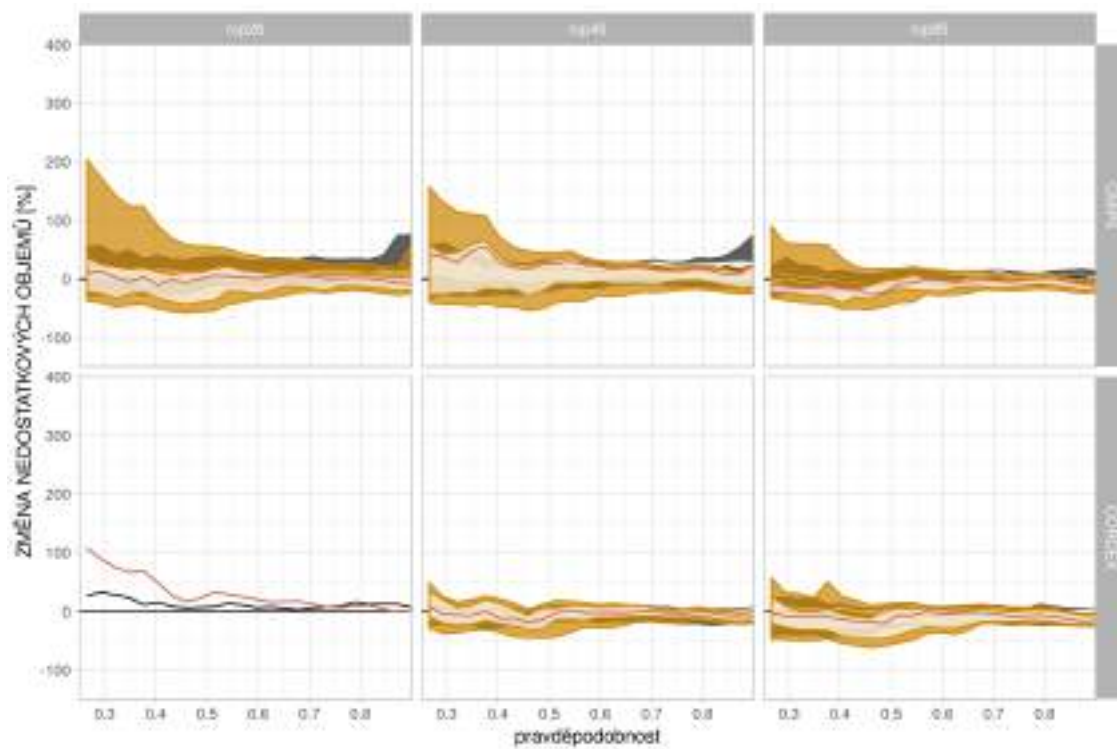


Obrázek 166: Změny deficitních objemů pro  $Q_{180d}$  v povodí Kamenice-Hřensko pro období 2020–2050.

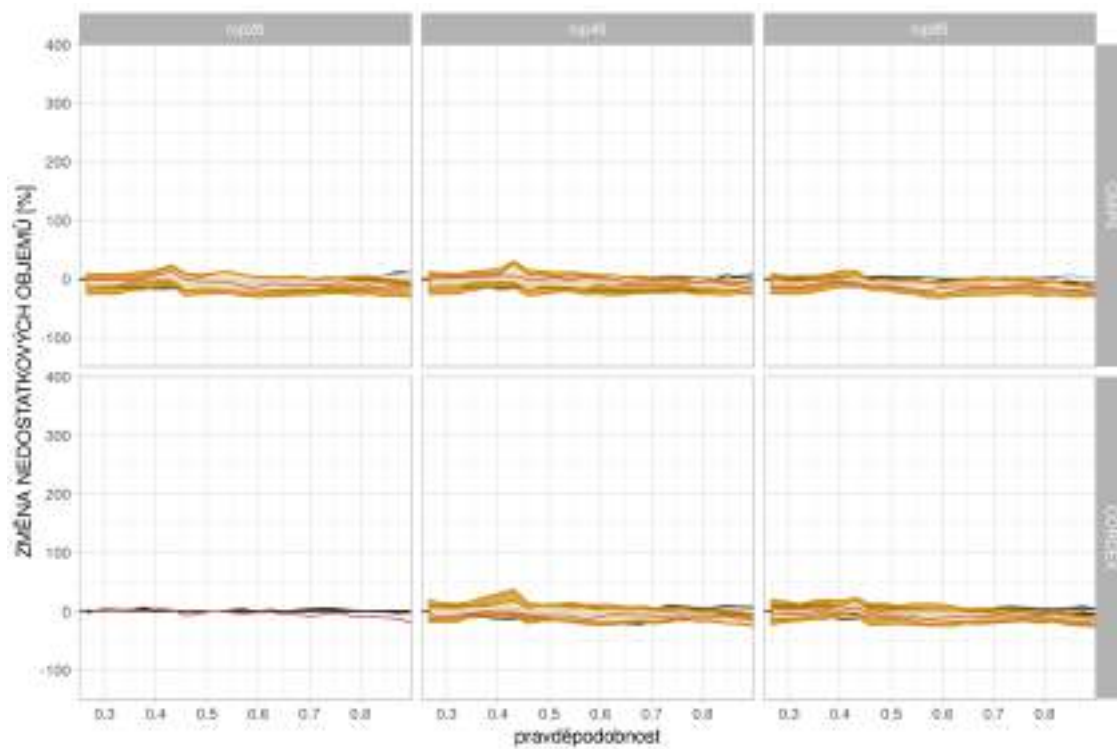


Obrázek 167: Změny deficitních objemů pro  $Q_{180d}$  v povodí Labe-Hřensko pro období 2020–2050.



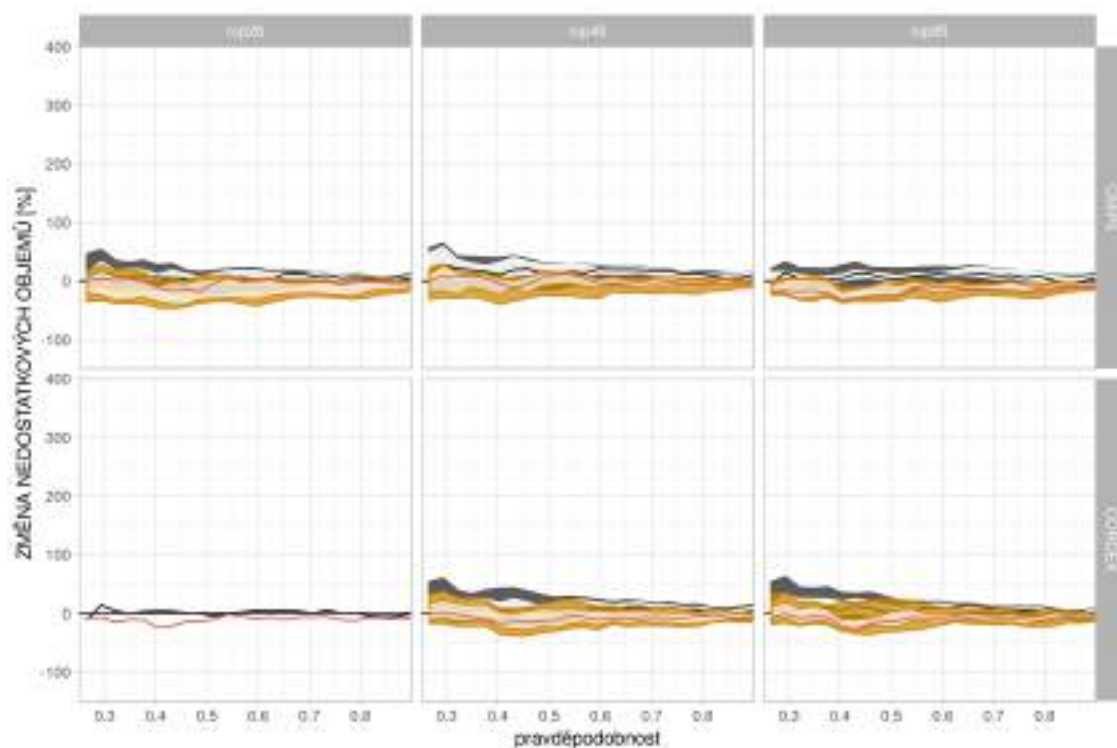


Obrázek 168: Změny deficitních objemů pro  $Q_{180d}$  v povodí Labe-Dresden pro období 2020–2050.

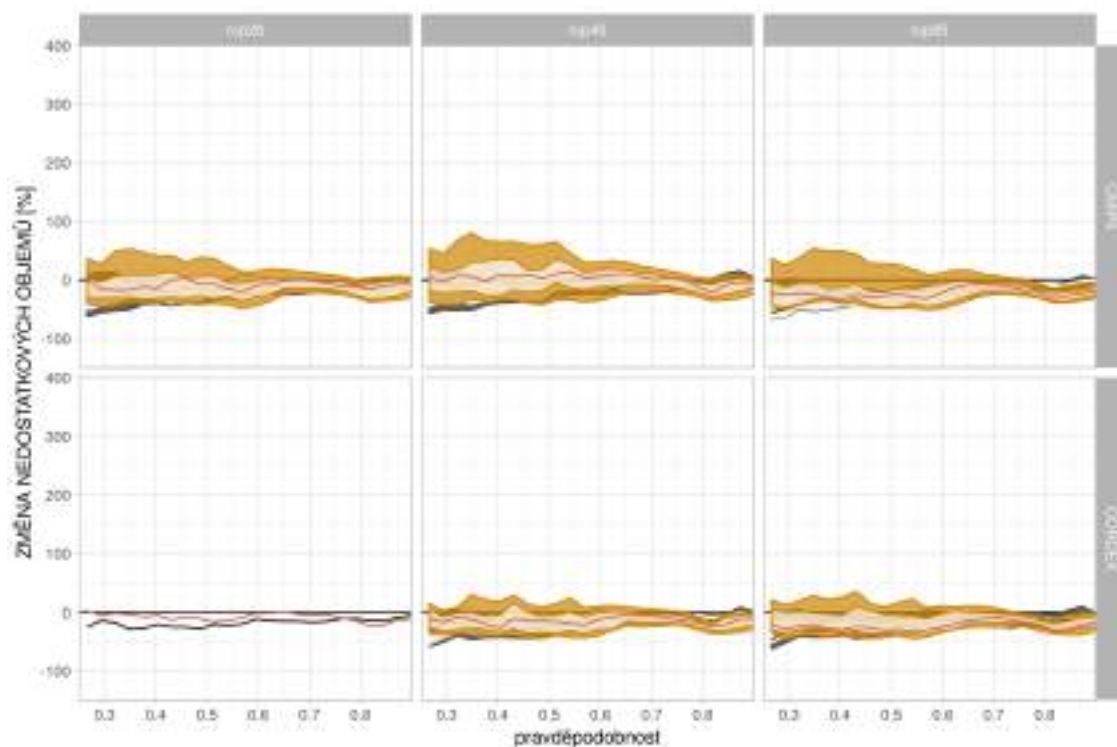


Obrázek 169: Změny deficitních objemů pro  $Q_{180d}$  v povodí Mueglitz-Dohna pro období 2020–2050.

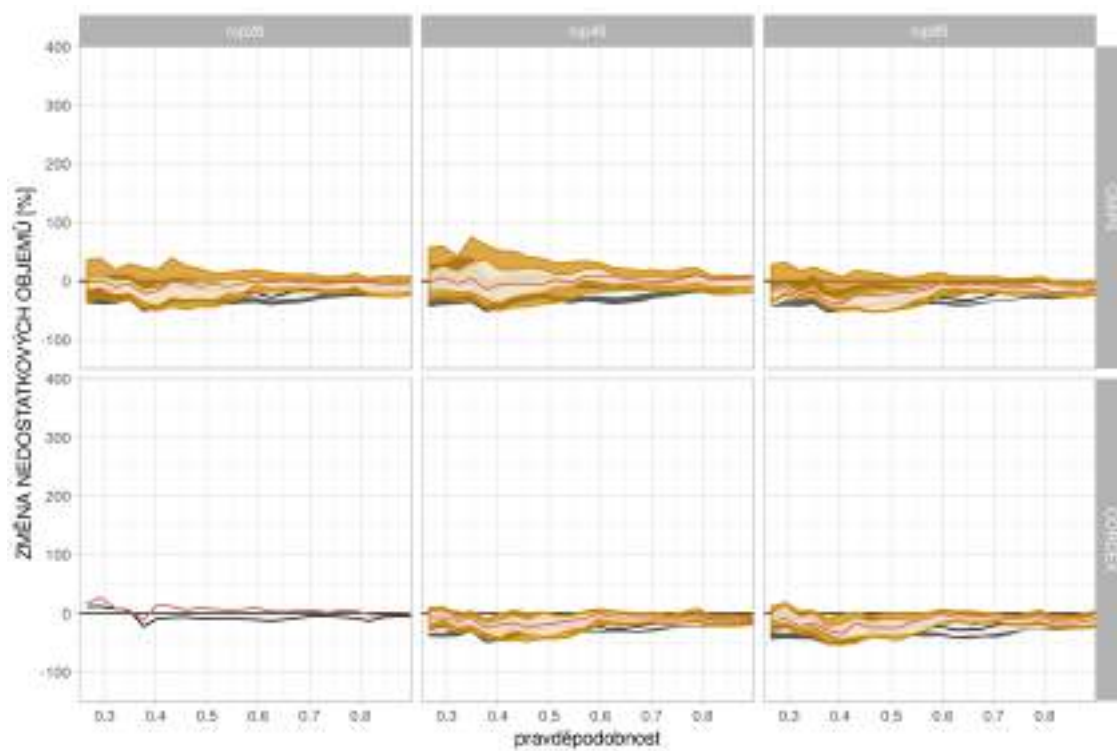




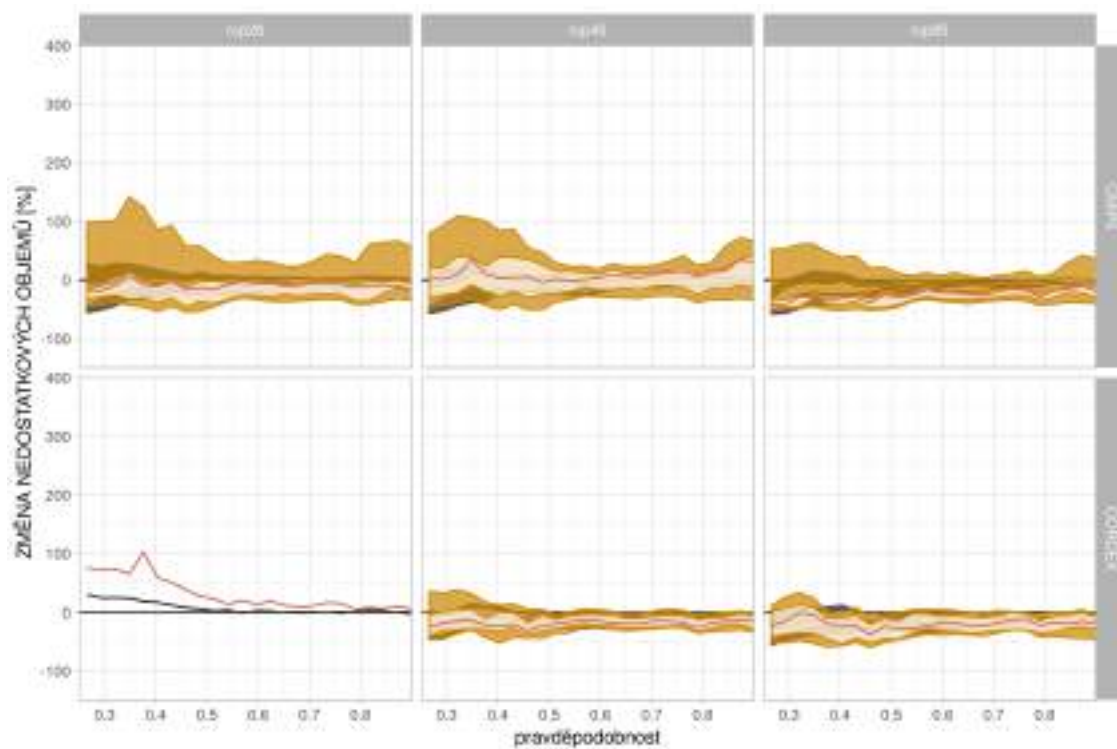
Obrázek 170: Změny deficitních objemů pro  $Q_{180d}$  v povodí Lockwitzbach-Kreischa pro období 2020–2050.



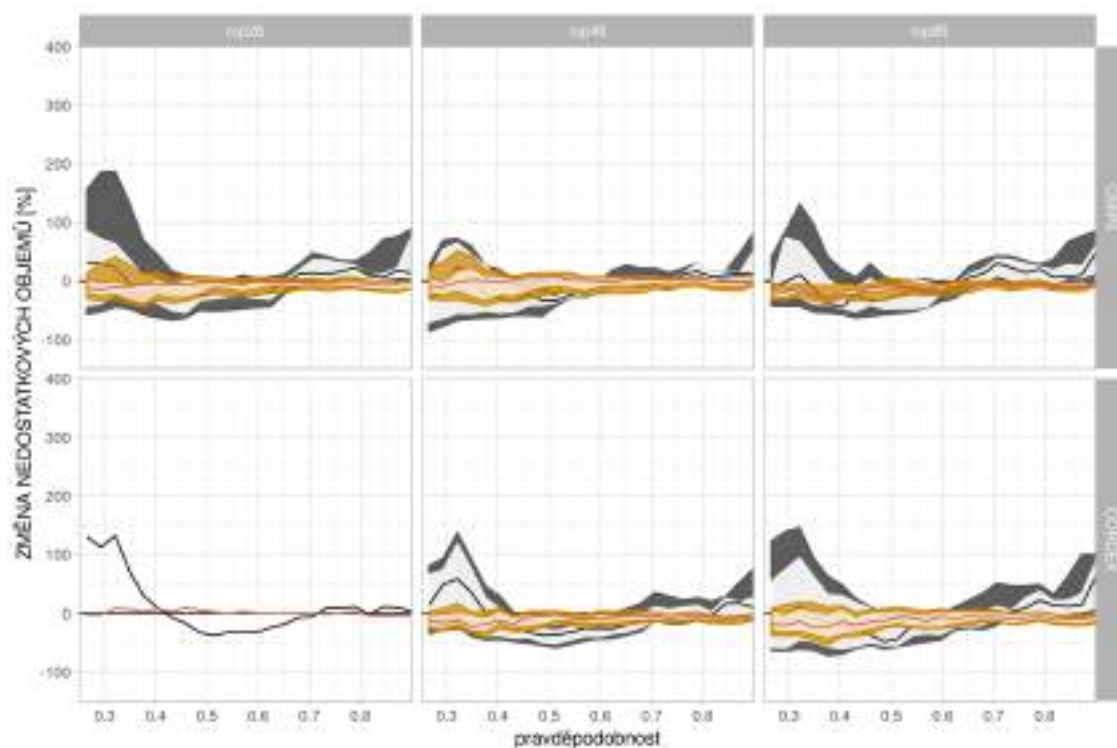
Obrázek 171: Změny deficitních objemů pro  $Q_{180d}$  v povodí Wesenitz-Elbersdorf pro období 2020–2050.



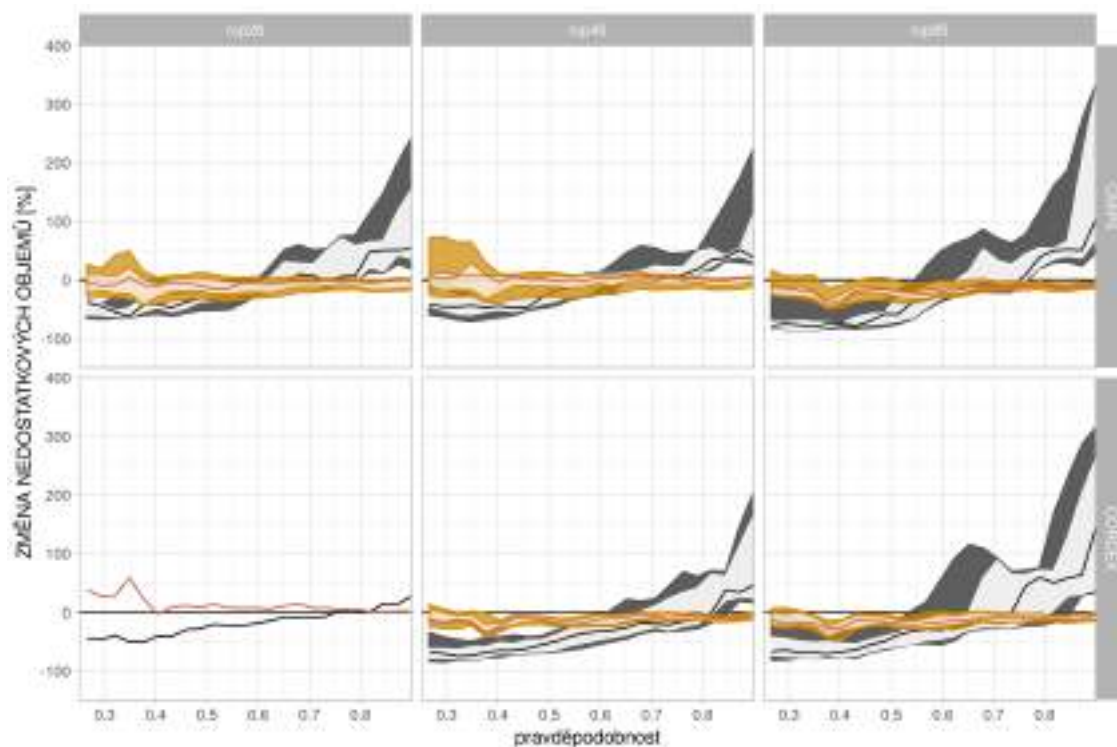
Obrázek 172: Změny deficitních objemů pro  $Q_{180d}$  v povodí Lachsbach-Porschdorf pro období 2020–2050.



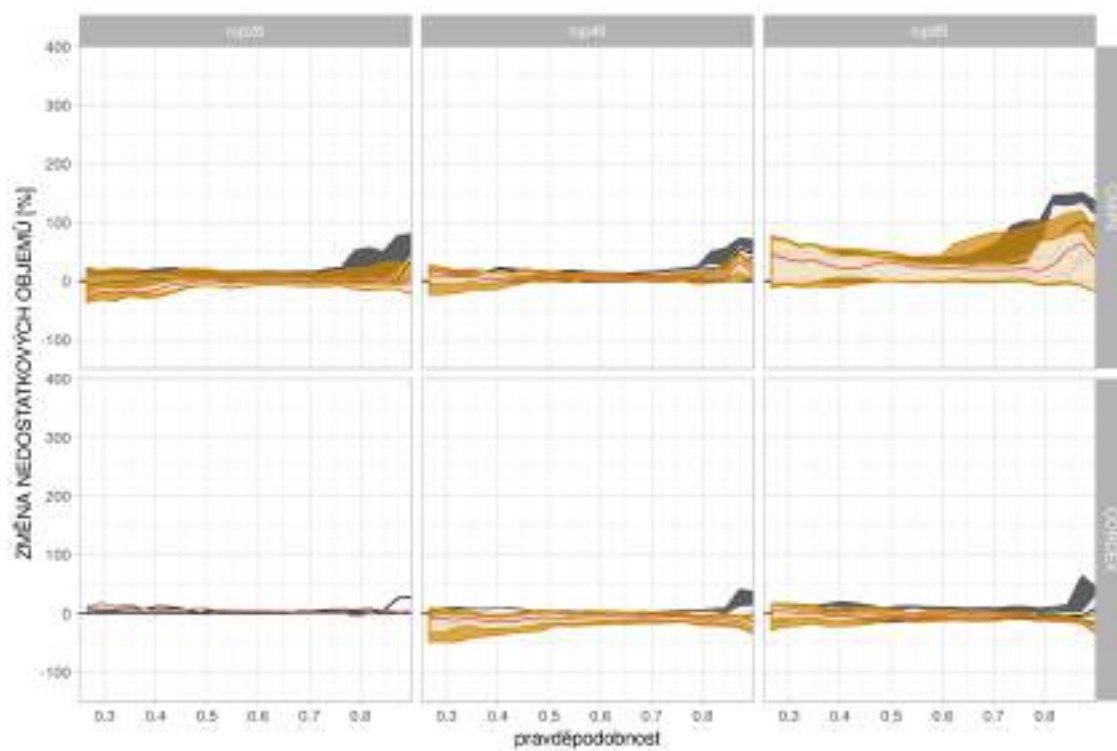
Obrázek 173: Změny deficitních objemů pro  $Q_{180d}$  v povodí Labe-Děčín-Ústí mezipovodí pro období 2020–2050.



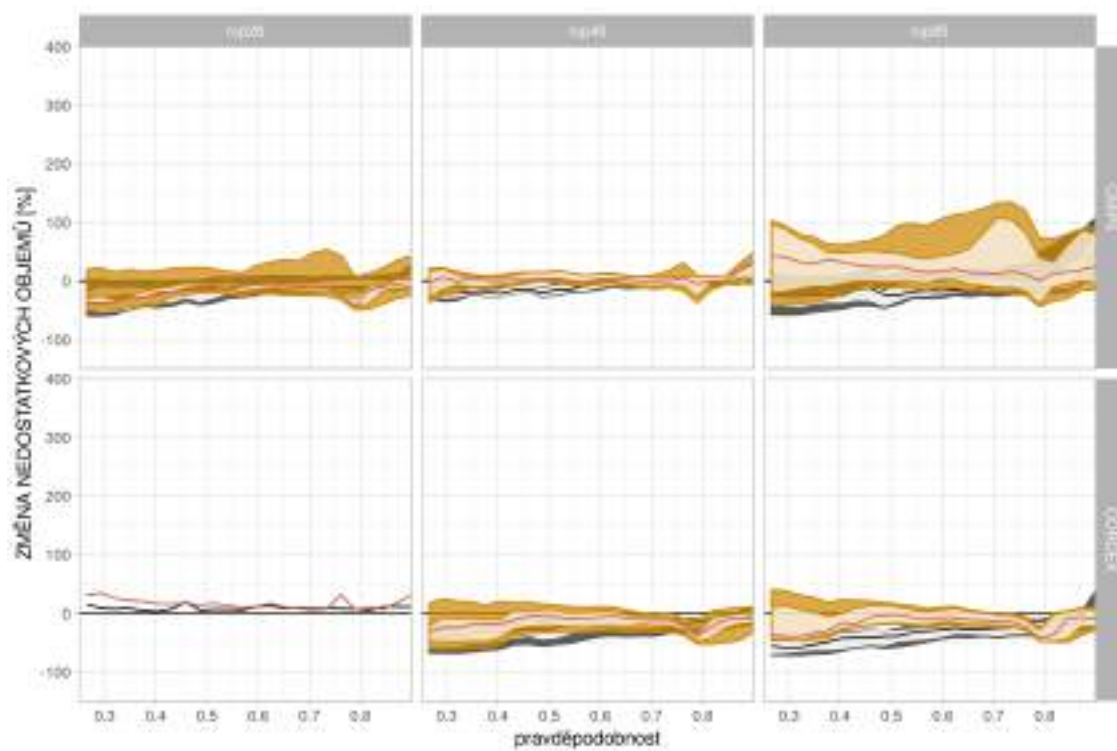
Obrázek 174: Změny deficitních objemů pro  $Q_{180d}$  v povodí Labe-Dresden-Hřensko mezipovodí pro období 2020–2050.



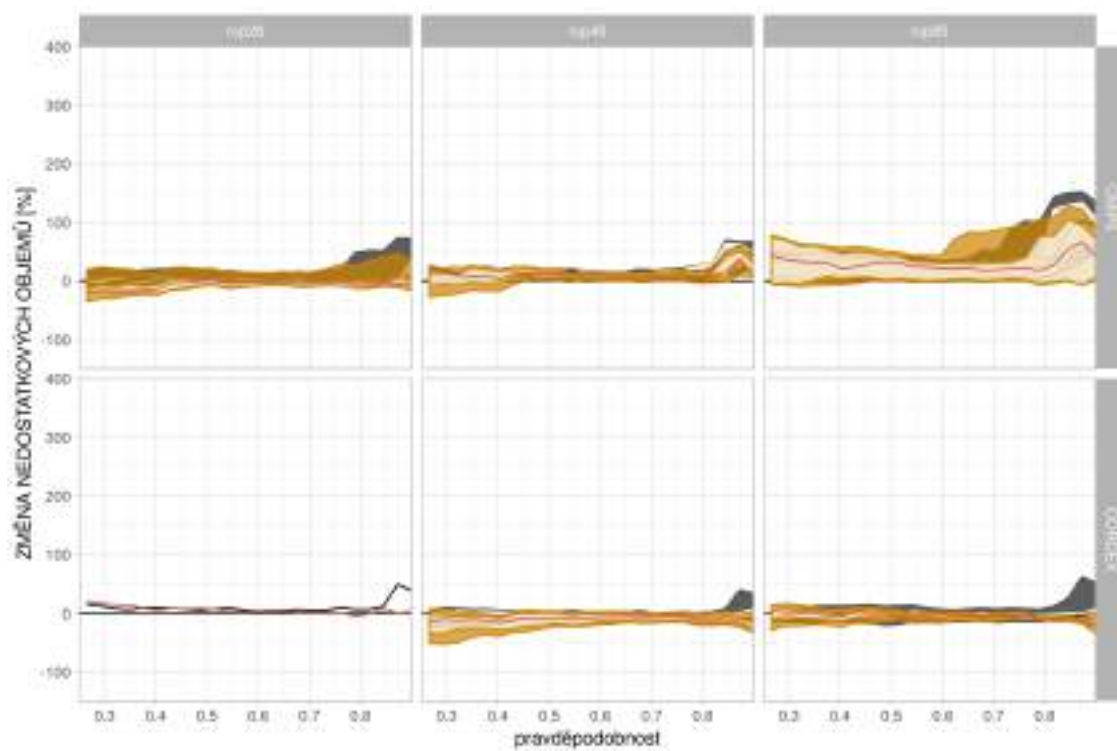
Obrázek 175: Změny deficitních objemů pro  $Q_{180d}$  v povodí Labe-Hřensko-Dečín mezipovodí pro období 2020–2050.



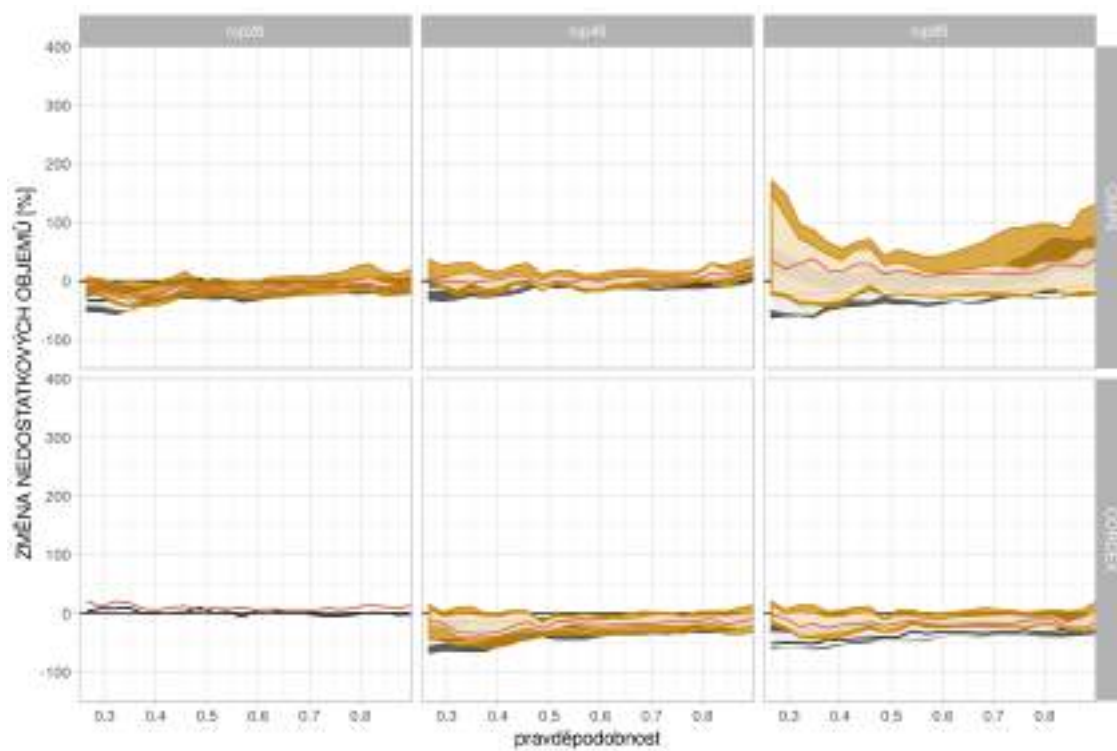
Obrázek 176: Změny deficitních objemů pro  $Q_{270d}$  v povodí Labe-Ústí pro období 2070–2100.



Obrázek 177: Změny deficitních objemů pro  $Q_{270d}$  v povodí Bílina-Trmice pro období 2070–2100.

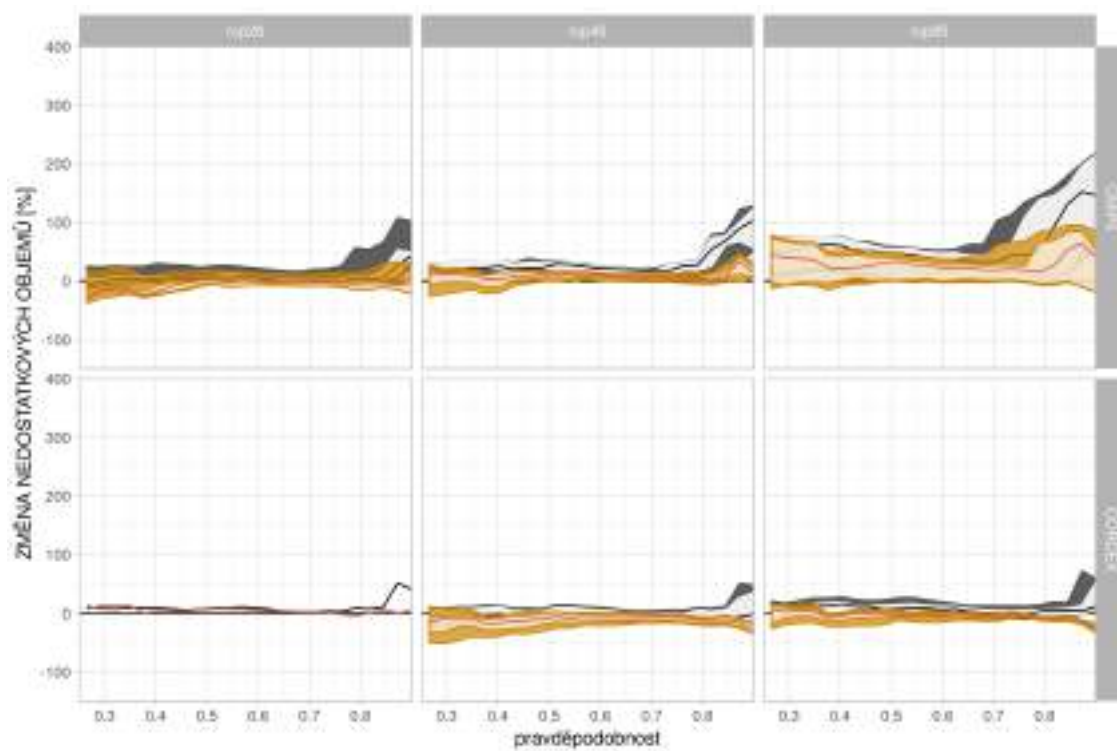


Obrázek 178: Změny deficitních objemů pro  $Q_{270d}$  v povodí Labe-Děčín pro období 2070–2100.

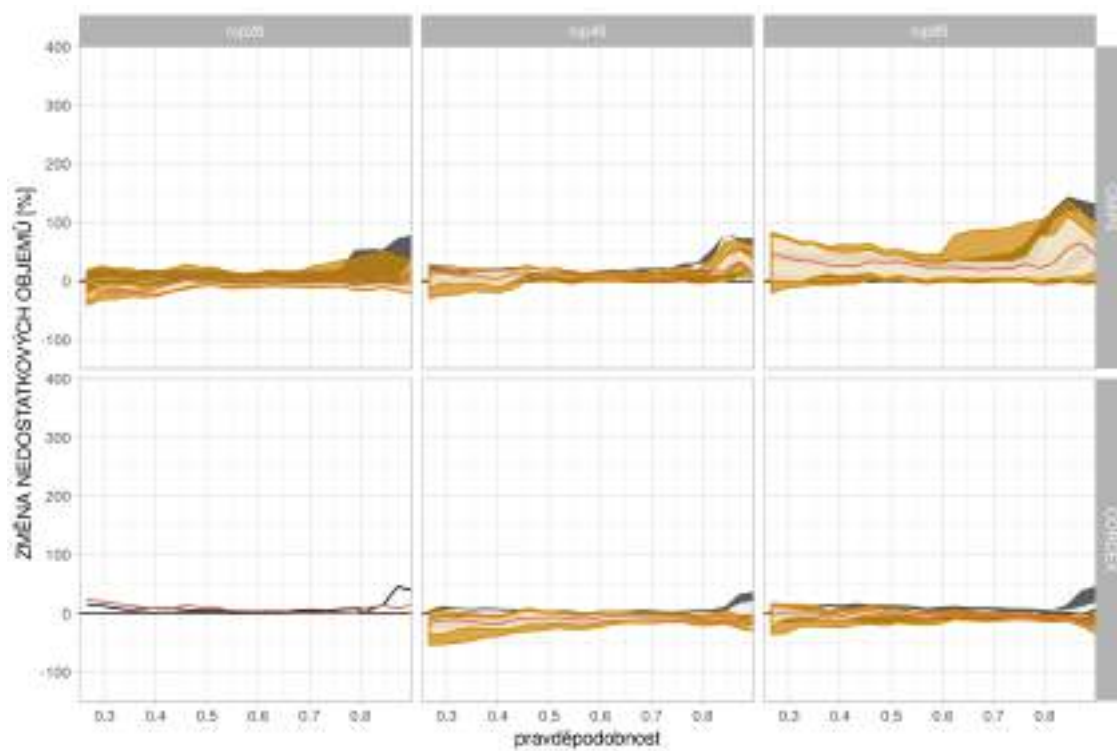


Obrázek 179: Změny deficitních objemů pro  $Q_{270d}$  v povodí Kamenice-Hřensko pro období 2070–2100.



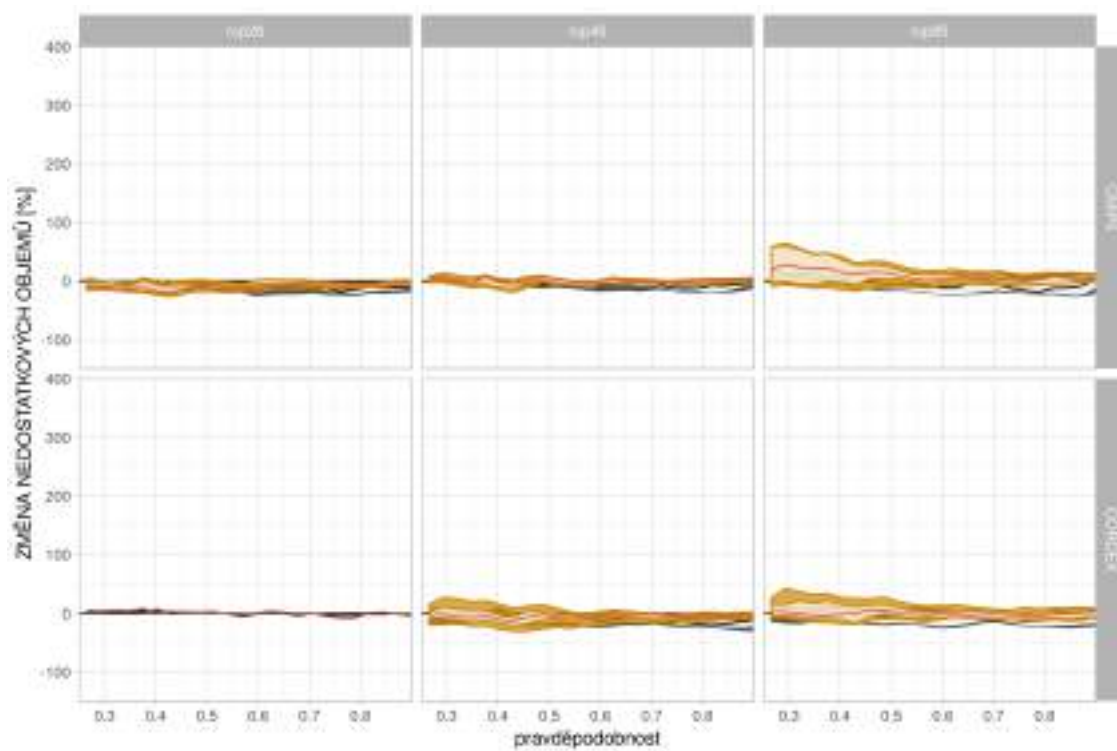


Obrázek 180: Změny deficitních objemů pro  $Q_{270d}$  v povodí Labe-Hřensko pro období 2070–2100.

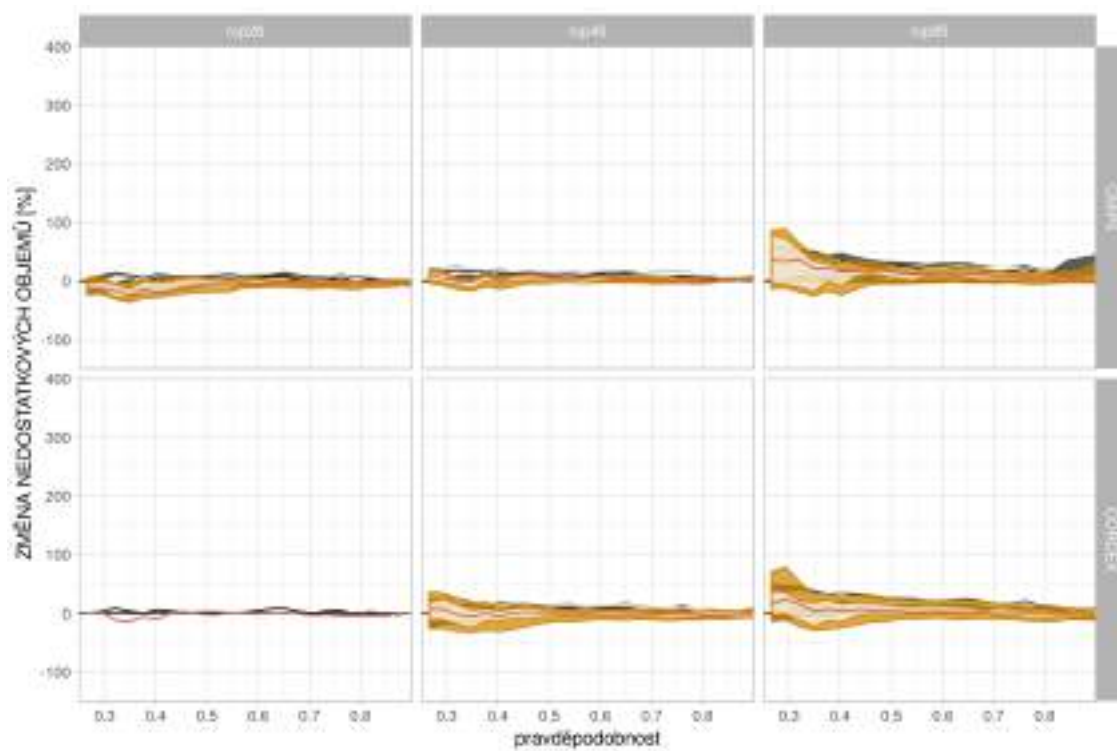


Obrázek 181: Změny deficitních objemů pro  $Q_{270d}$  v povodí Labe-Dresden pro období 2070–2100.

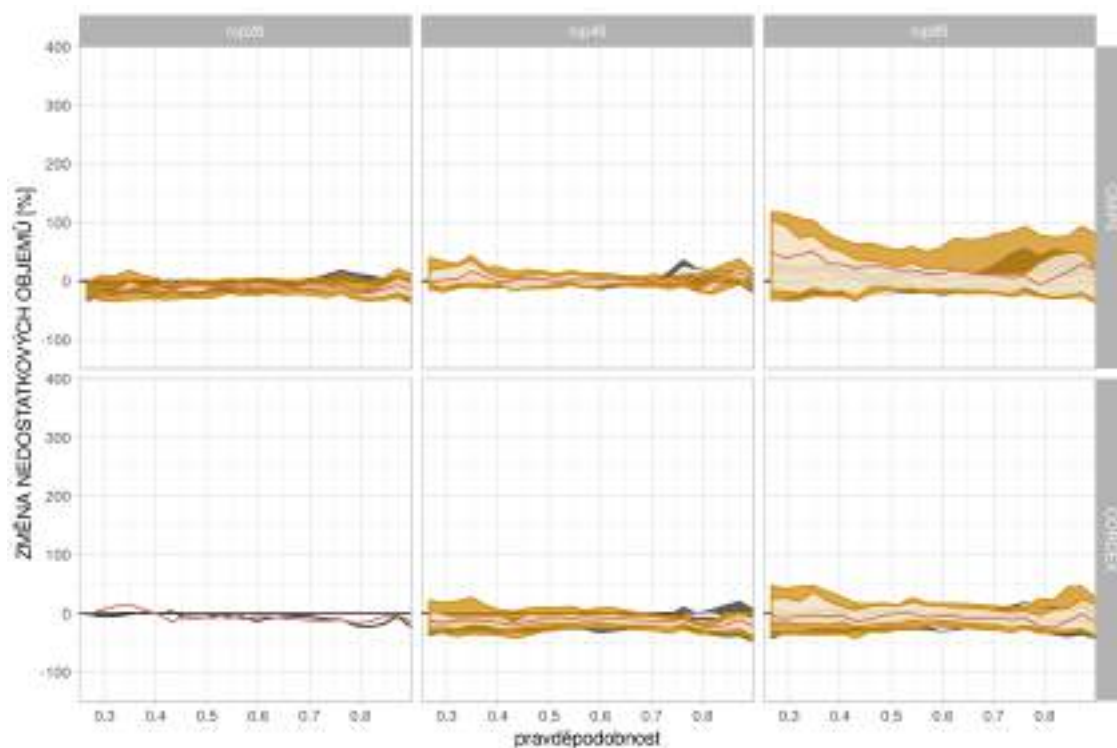




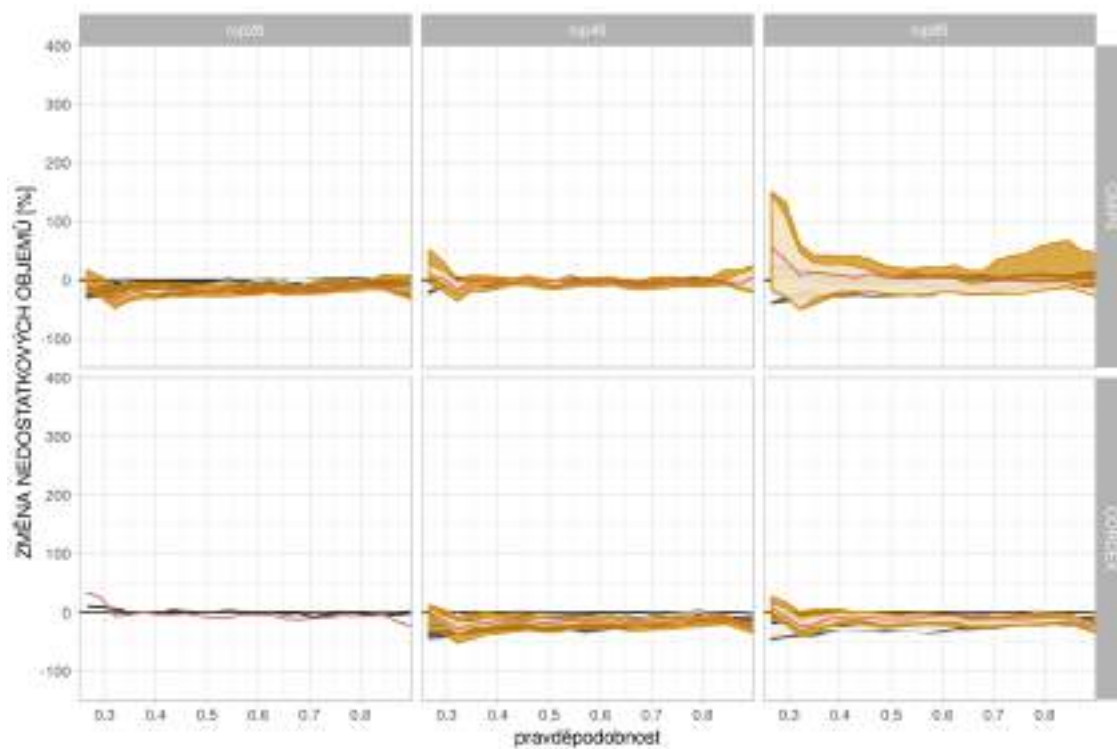
Obrázek 182: Změny deficitních objemů pro  $Q_{270d}$  v povodí Mueglitz-Dohna pro období 2070–2100.



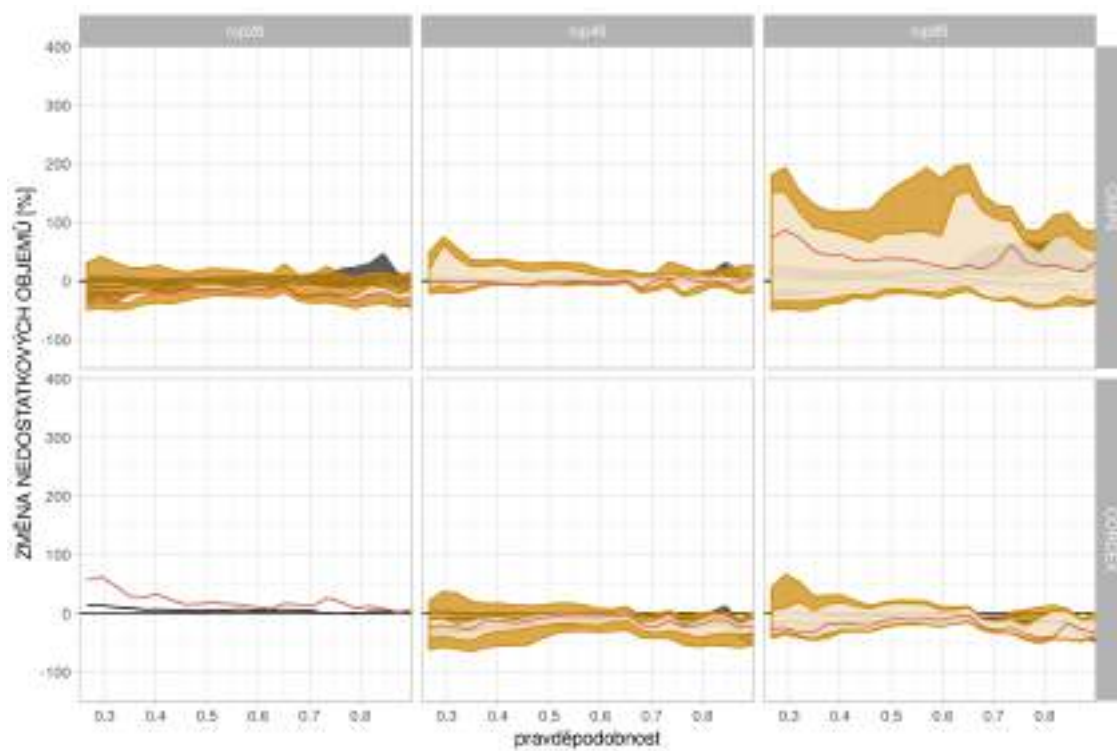
Obrázek 183: Změny deficitních objemů pro  $Q_{270d}$  v povodí Lockwitzbach-Kreischa pro období 2070–2100.



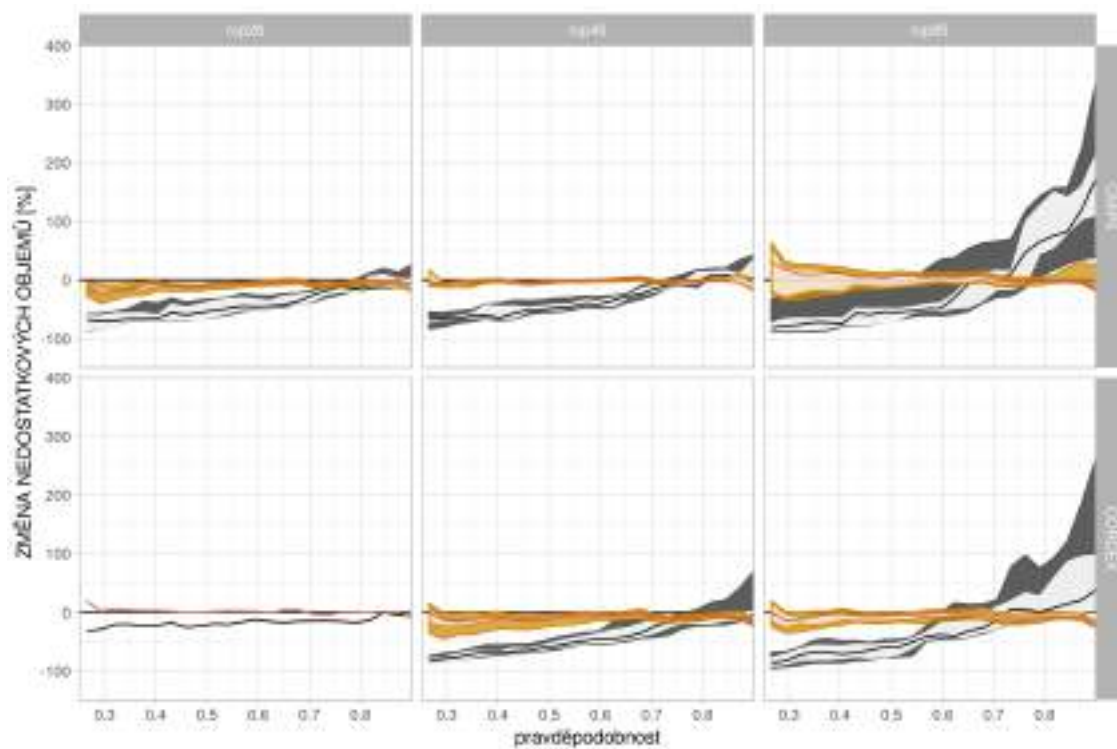
Obrázek 184: Změny deficitních objemů pro  $Q_{270d}$  v povodí Wesenitz-Elbersdorf pro období 2070–2100.



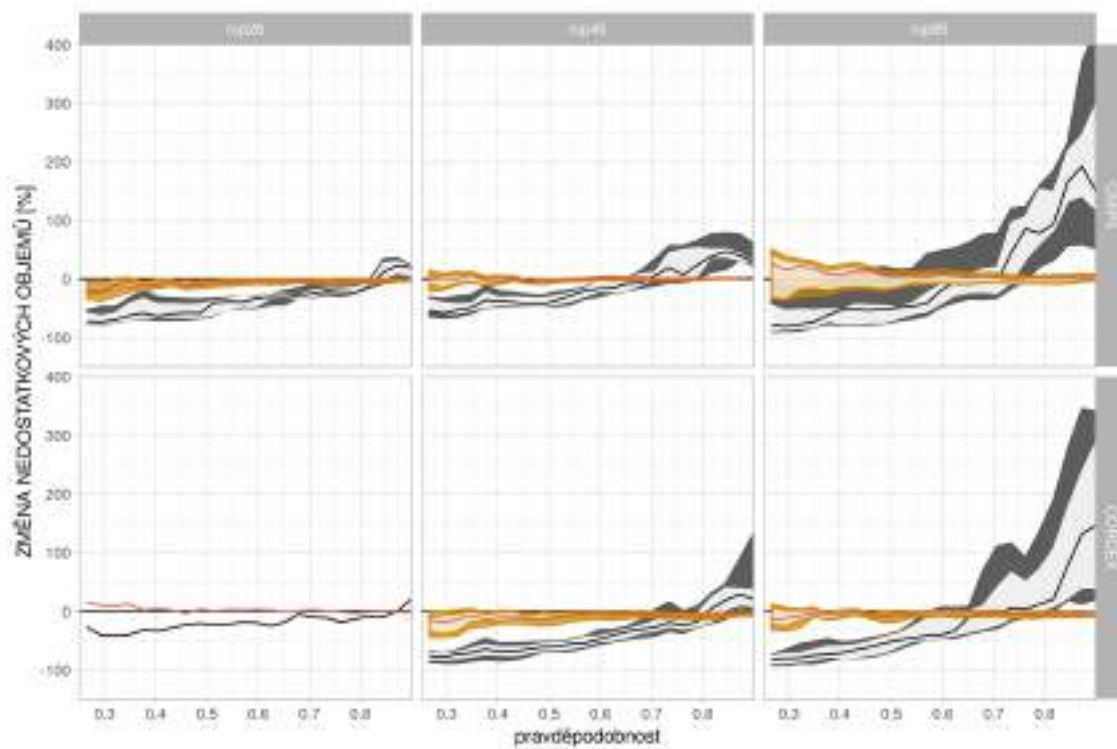
Obrázek 185: Změny deficitních objemů pro  $Q_{270d}$  v povodí Lachsbach-Porschdorf pro období 2070–2100.



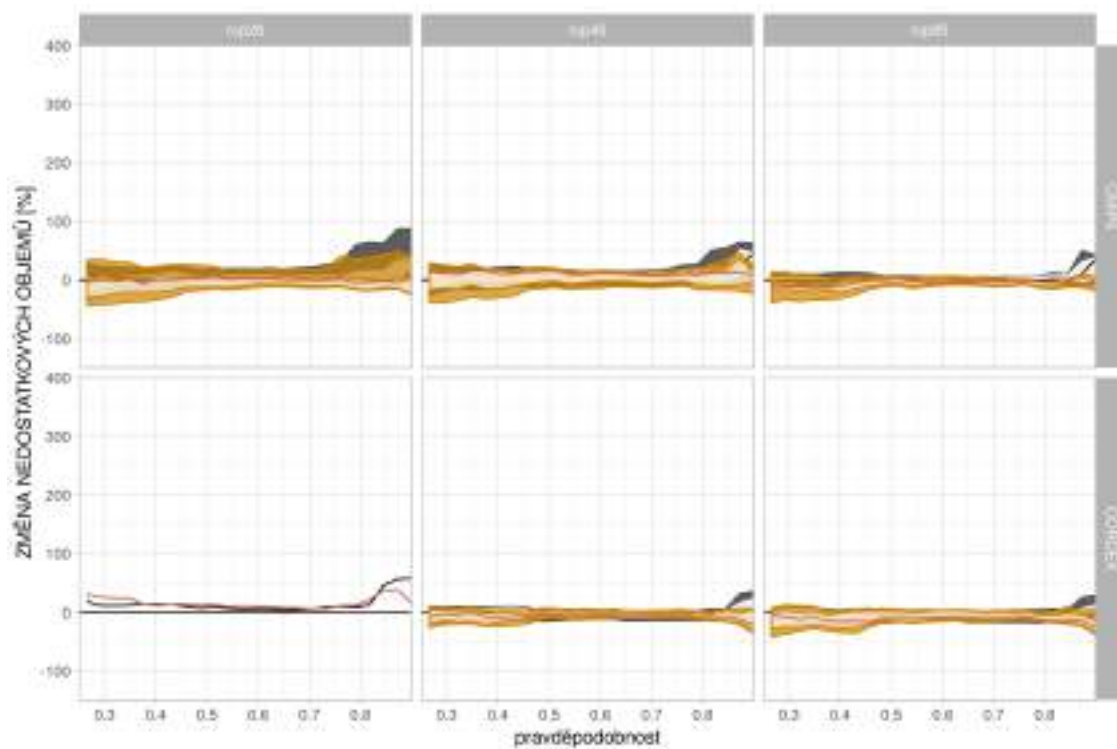
Obrázek 186: Změny deficitních objemů pro  $Q_{270d}$  v povodí Labe-Děčín-Ústí mezipovodí pro období 2070–2100.



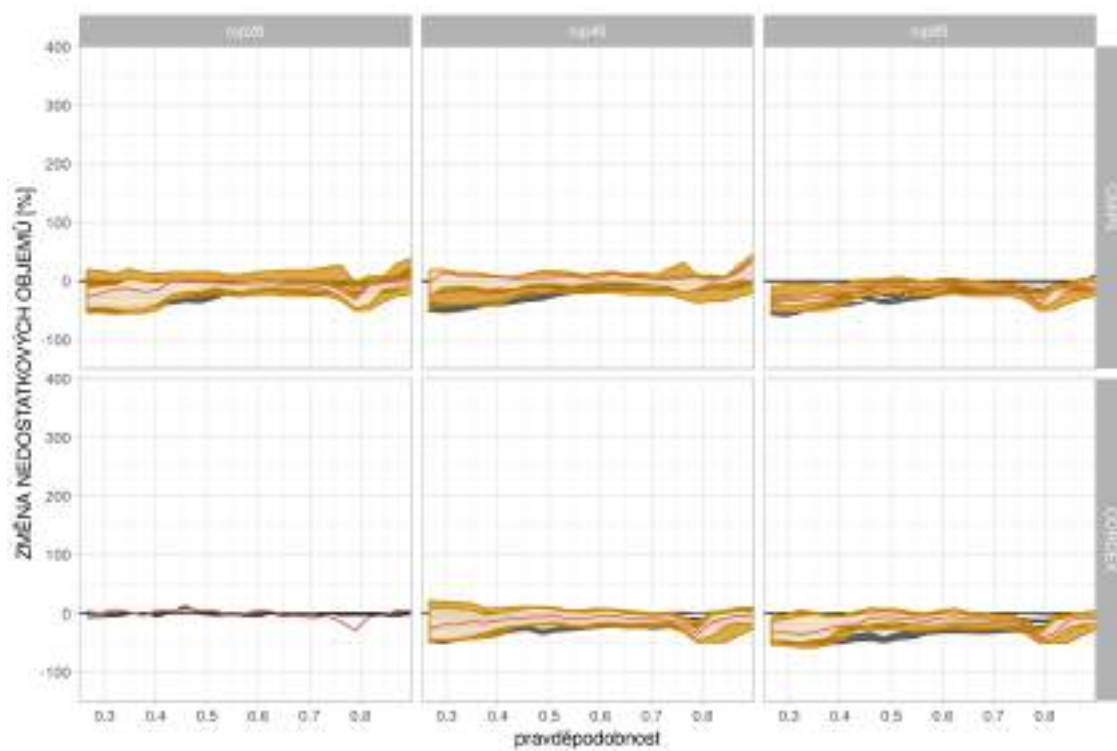
Obrázek 187: Změny deficitních objemů pro  $Q_{270d}$  v povodí Labe-Dresden-Hřensko mezipovodí pro období 2070–2100.



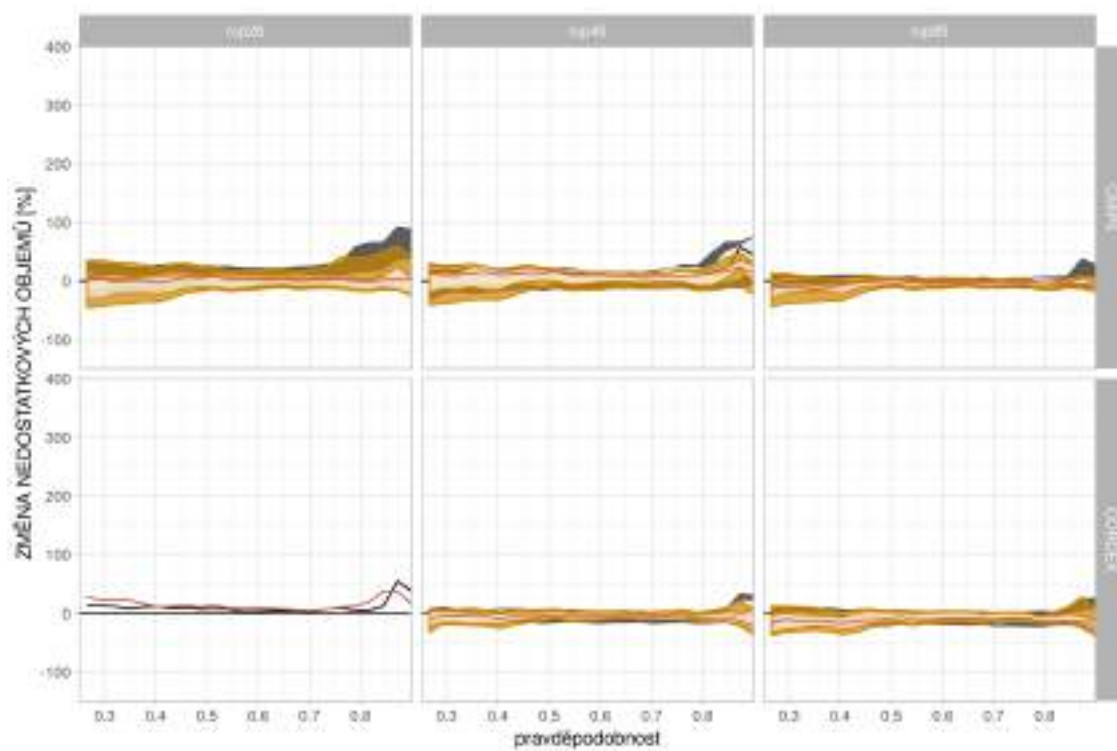
Obrázek 188: Změny deficitních objemů pro  $Q_{270d}$  v povodí Labe-Hřensko-Dečín mezipovodí pro období 2070–2100.



Obrázek 189: Změny deficitních objemů pro  $Q_{270d}$  v povodí Labe-Ústí pro období 2020–2050.

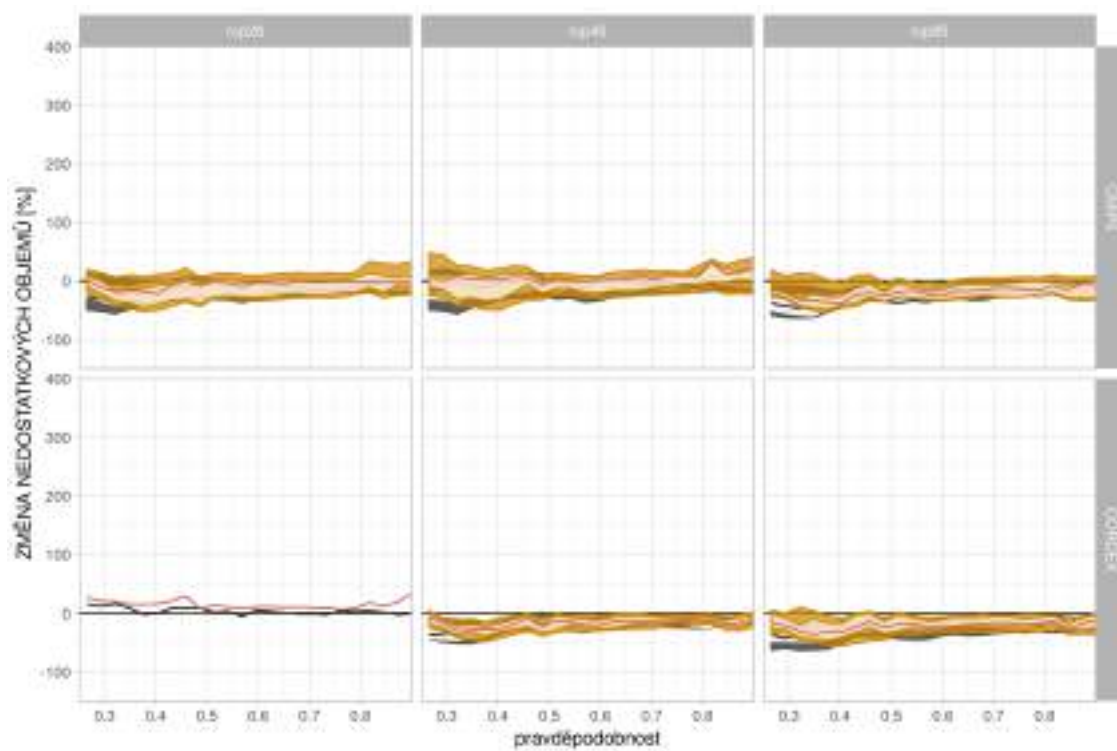


Obrázek 190: Změny deficitních objemů pro  $Q_{270d}$  v povodí Bílina-Trmice pro období 2020–2050.

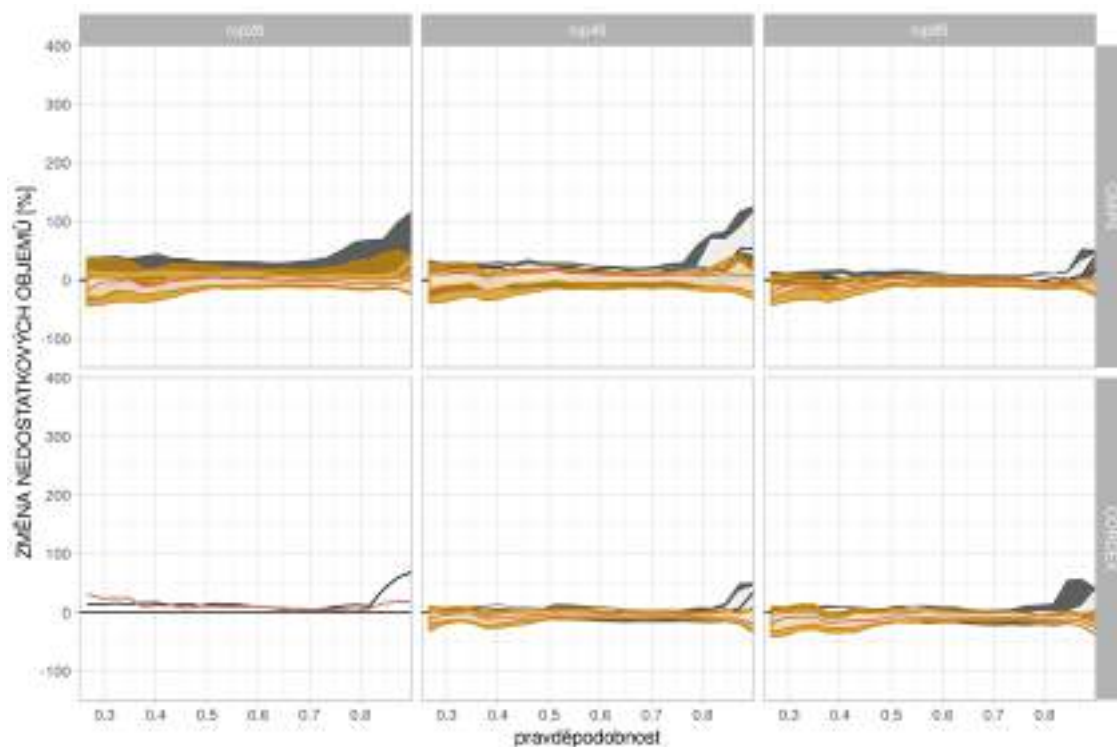


Obrázek 191: Změny deficitních objemů pro  $Q_{270d}$  v povodí Labe-Děčín pro období 2020–2050.



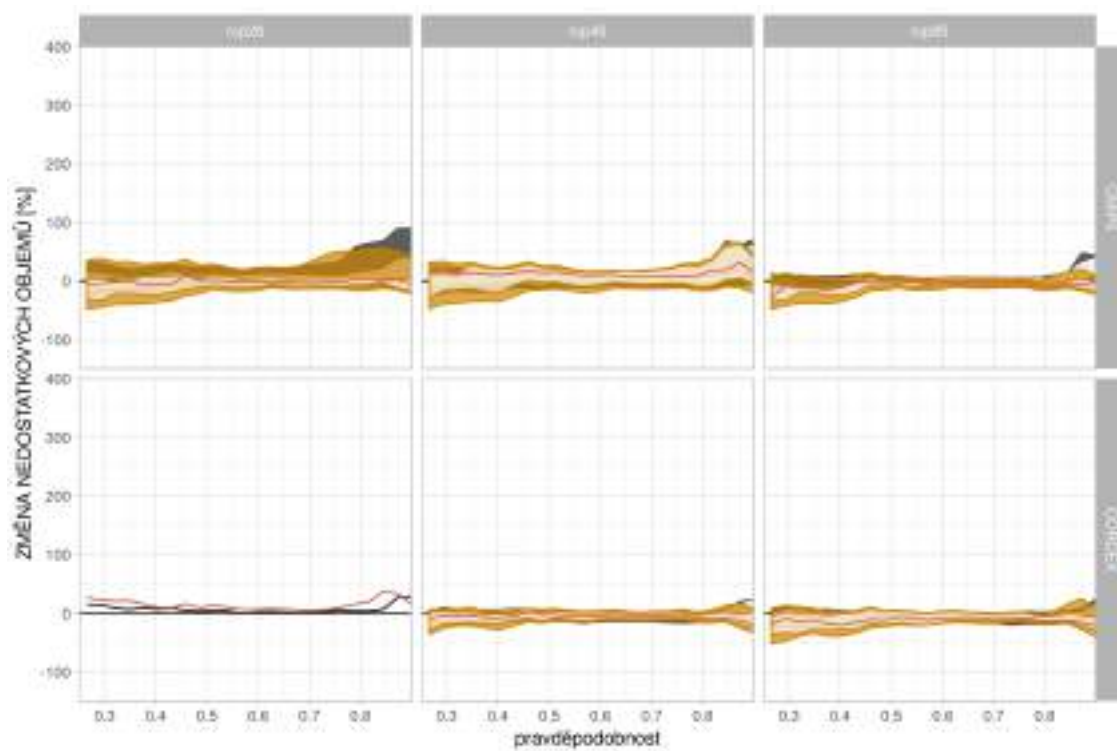


Obrázek 192: Změny deficitních objemů pro  $Q_{270d}$  v povodí Kamenice-Hřensko pro období 2020–2050.

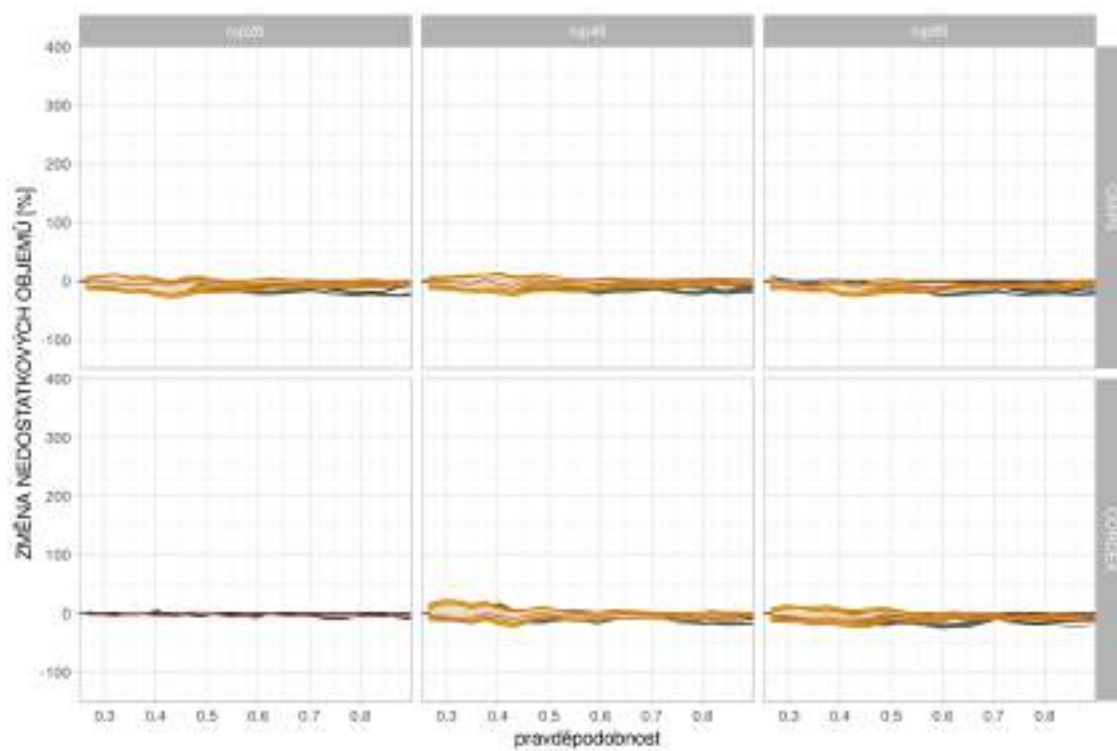


Obrázek 193: Změny deficitních objemů pro  $Q_{270d}$  v povodí Labe-Hřensko pro období 2020–2050.

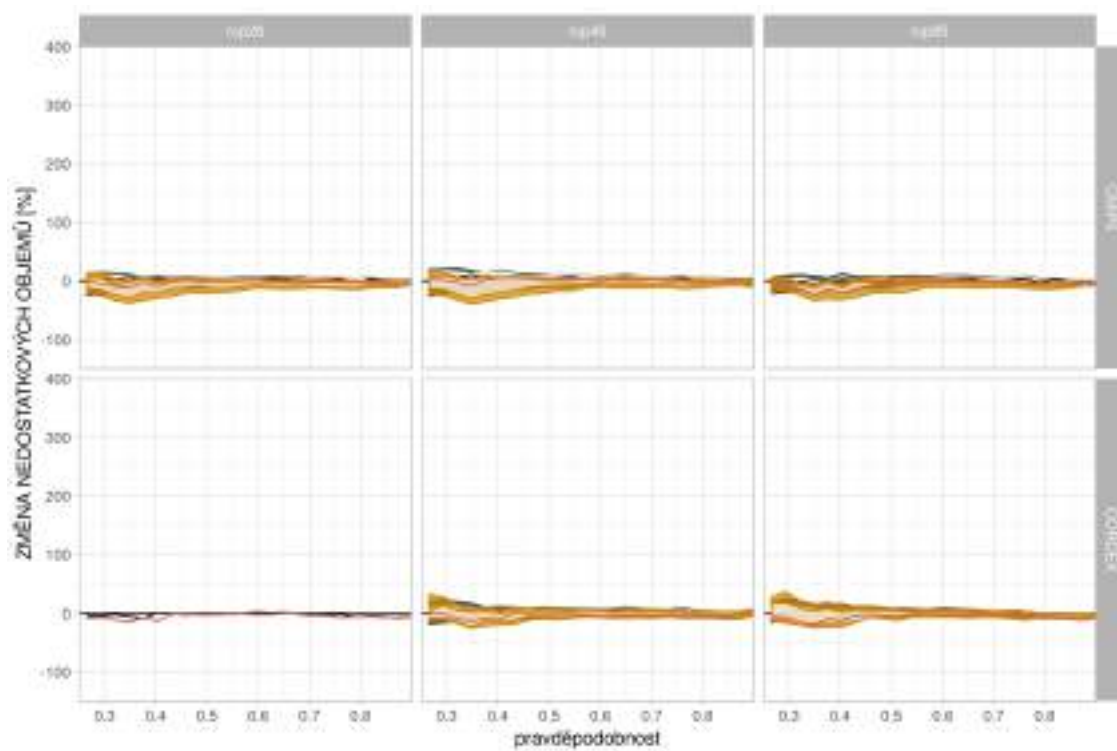




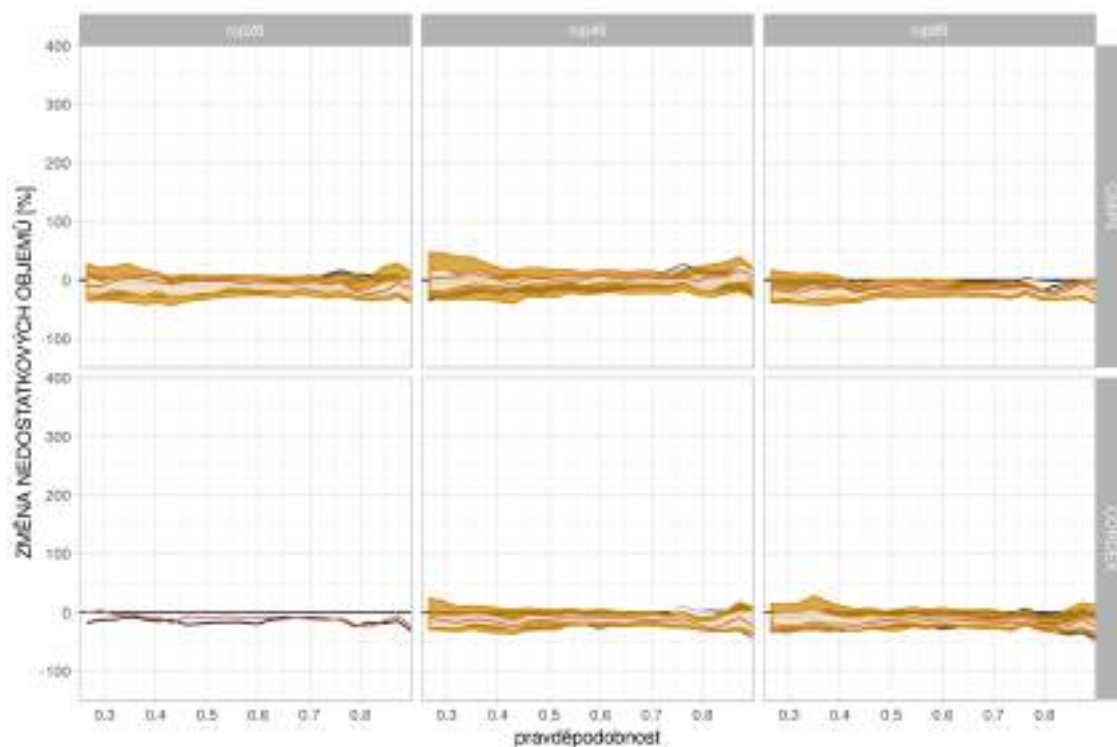
Obrázek 194: Změny deficitních objemů pro  $Q_{270d}$  v povodí Labe-Dresden pro období 2020–2050.



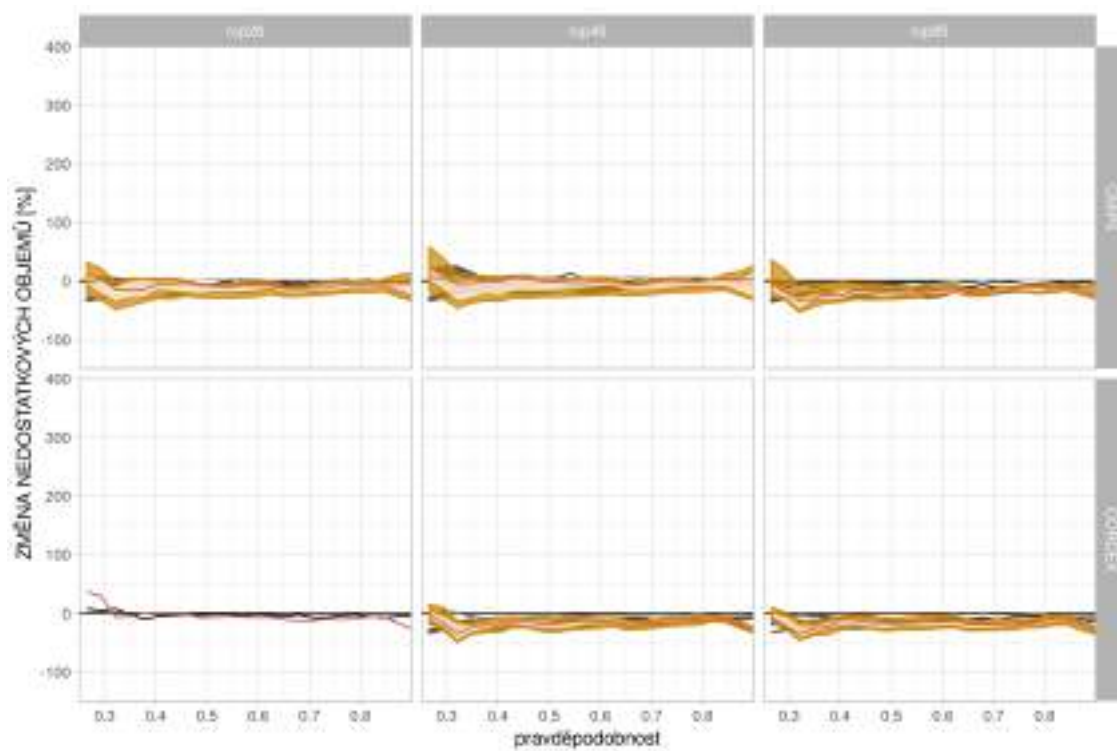
Obrázek 195: Změny deficitních objemů pro  $Q_{270d}$  v povodí Mueglitz-Dohna pro období 2020–2050.



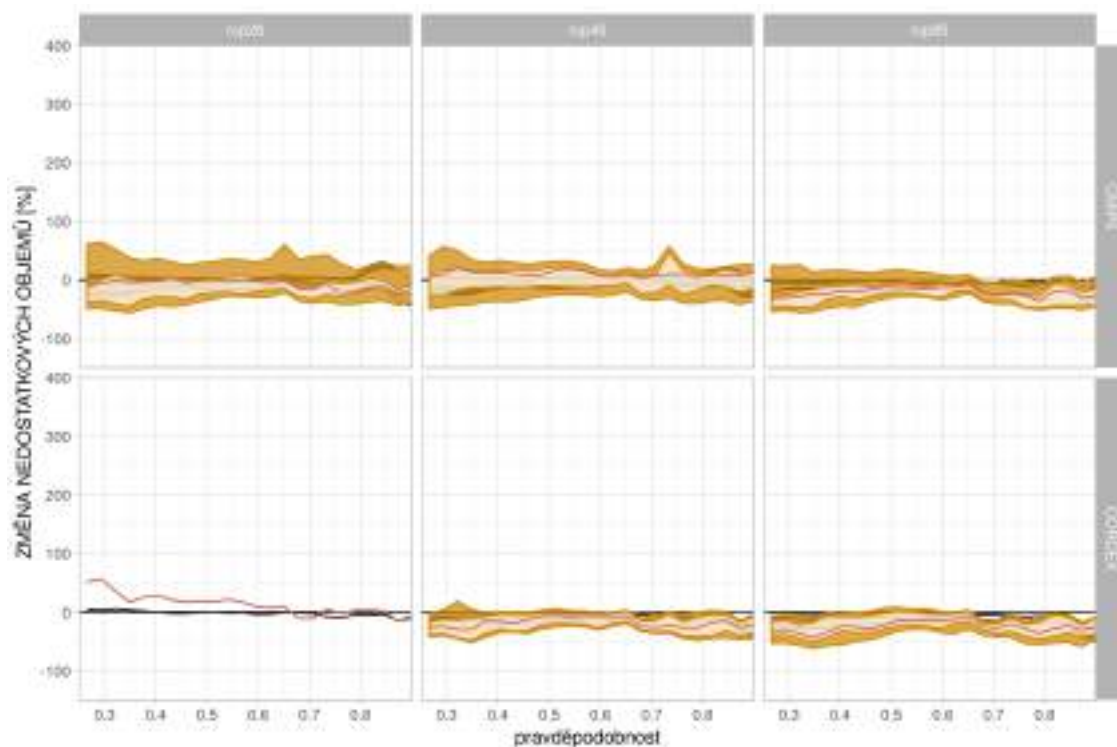
Obrázek 196: Změny deficitních objemů pro  $Q_{270d}$  v povodí Lockwitzbach-Kreischa pro období 2020–2050.



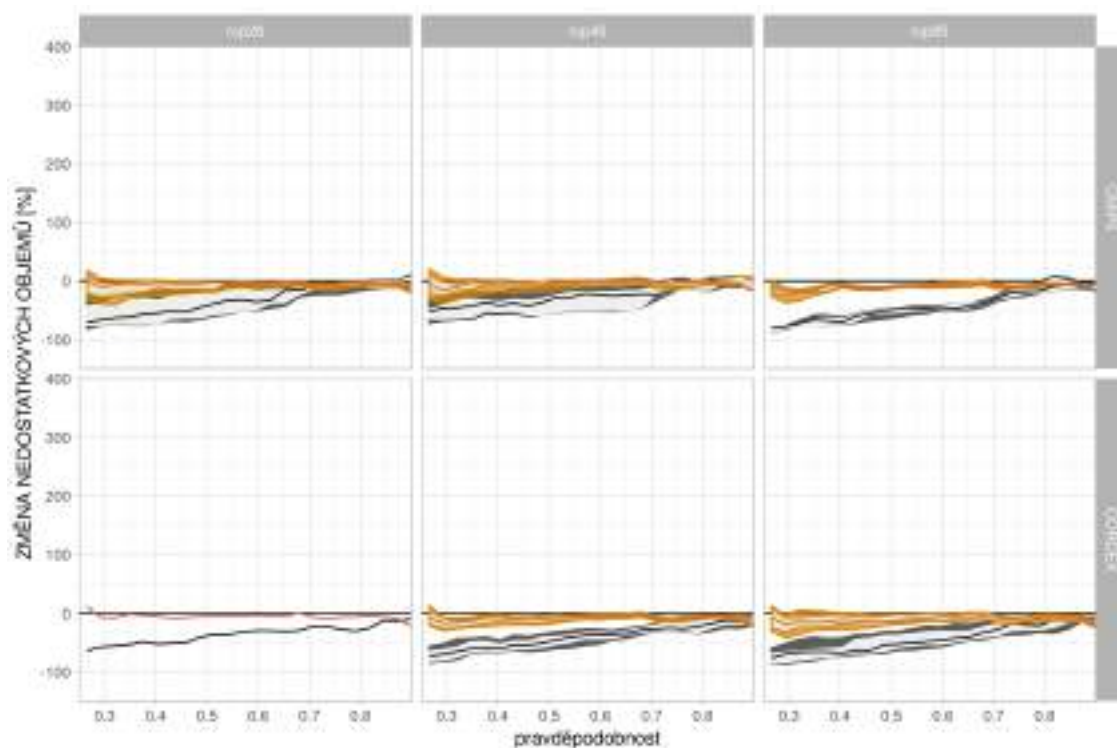
Obrázek 197: Změny deficitních objemů pro  $Q_{270d}$  v povodí Wesenitz-Elbersdorf pro období 2020–2050.



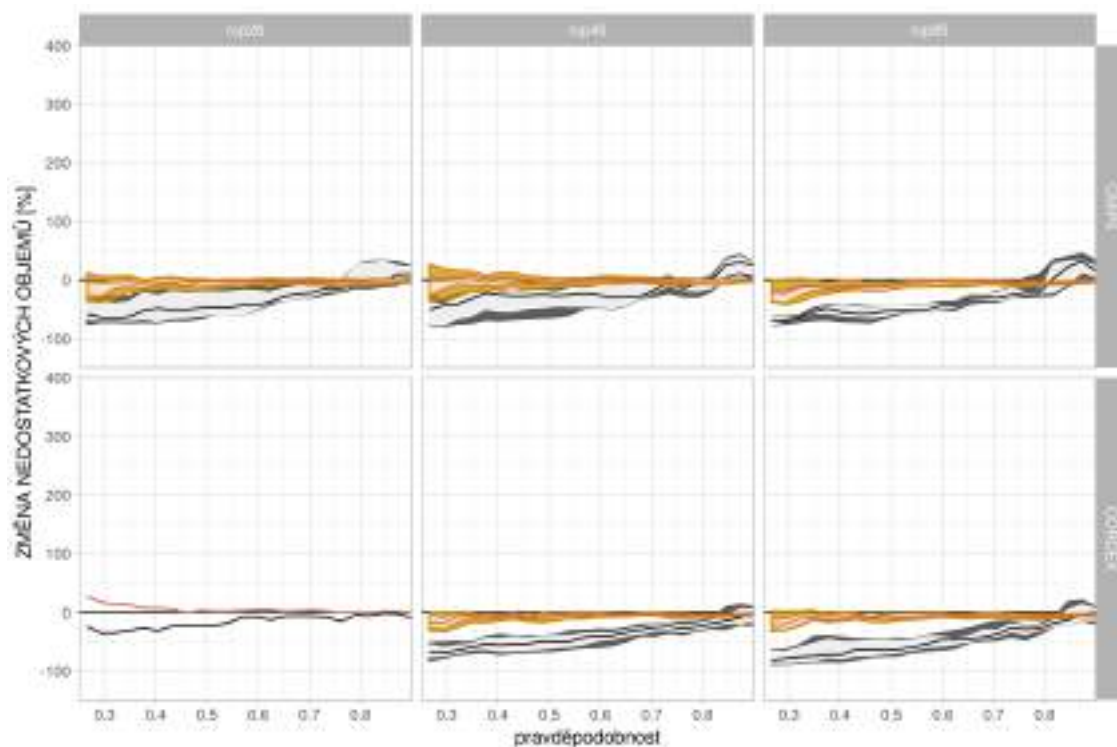
Obrázek 198: Změny deficitních objemů pro  $Q_{270d}$  v povodí Lachsbach-Porschdorf pro období 2020–2050.



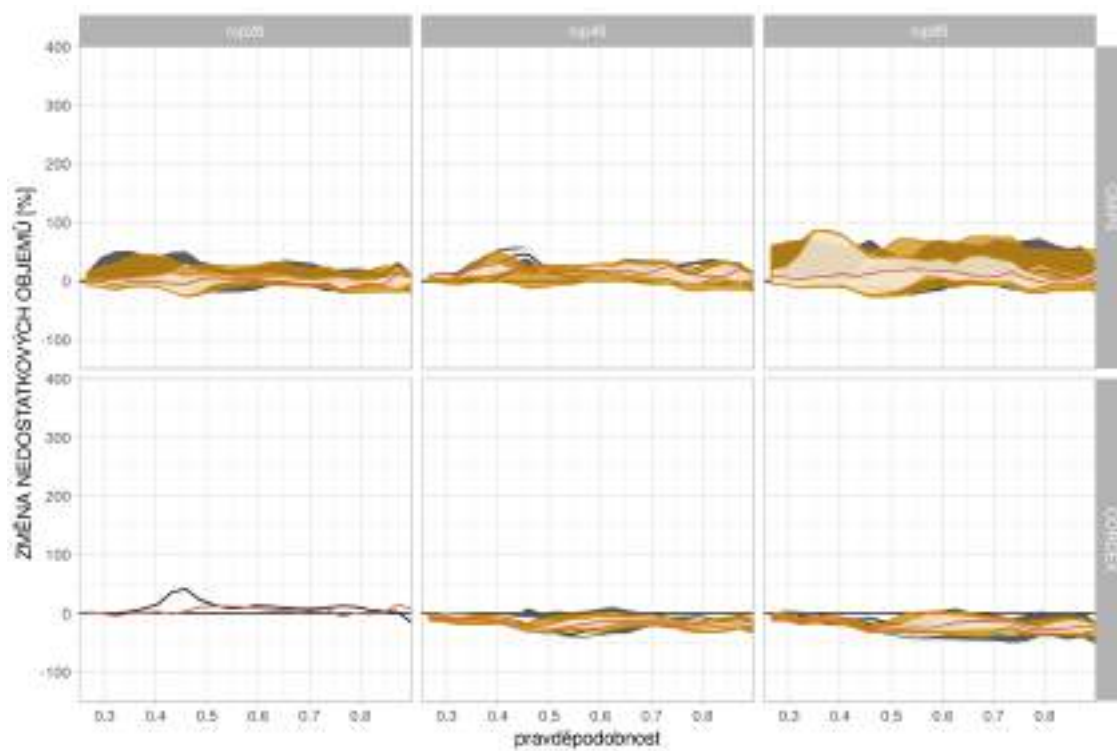
Obrázek 199: Změny deficitních objemů pro  $Q_{270d}$  v povodí Labe-Děčín-Ústí mezipovodí pro období 2020–2050.



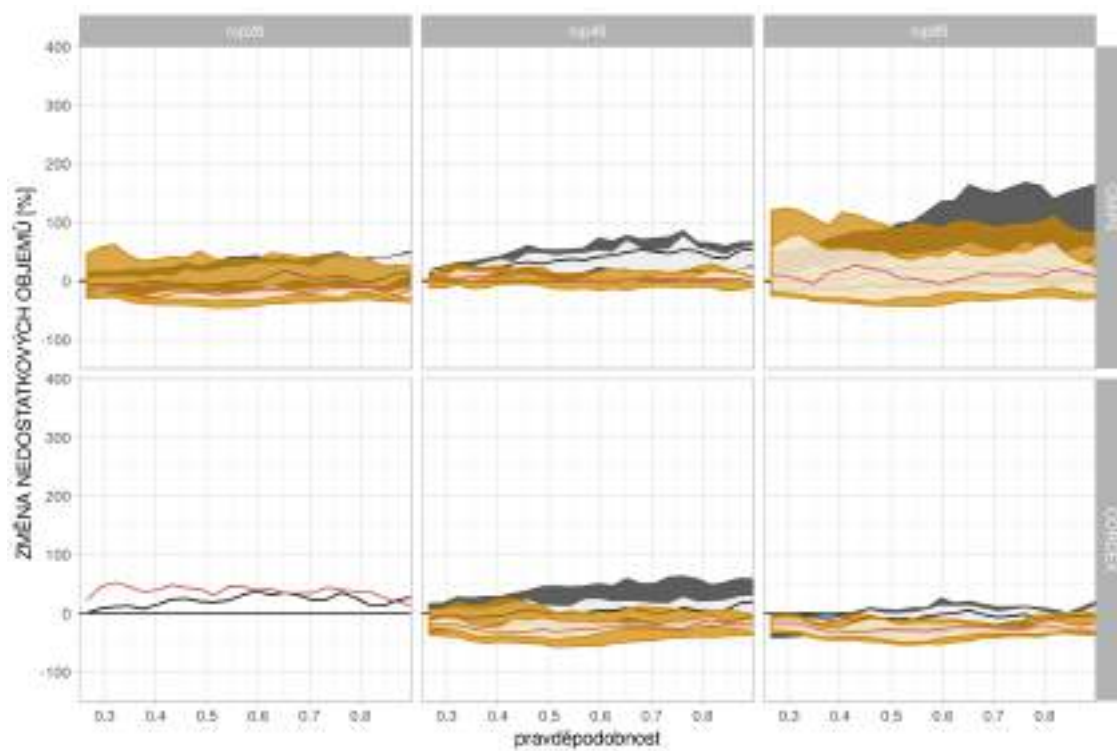
Obrázek 200: Změny deficitních objemů pro  $Q_{270d}$  v povodí Labe-Dresden-Hřensko mezipovodí pro období 2020–2050.



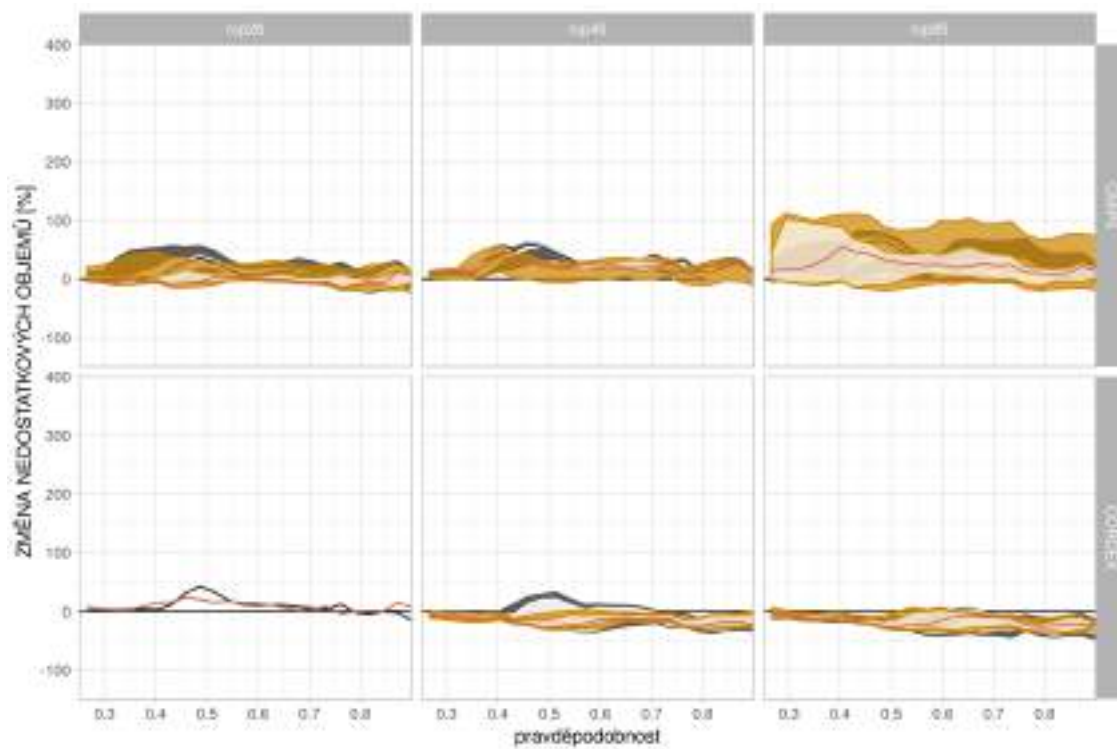
Obrázek 201: Změny deficitních objemů pro  $Q_{270d}$  v povodí Labe-Hřensko-Dečín mezipovodí pro období 2020–2050.



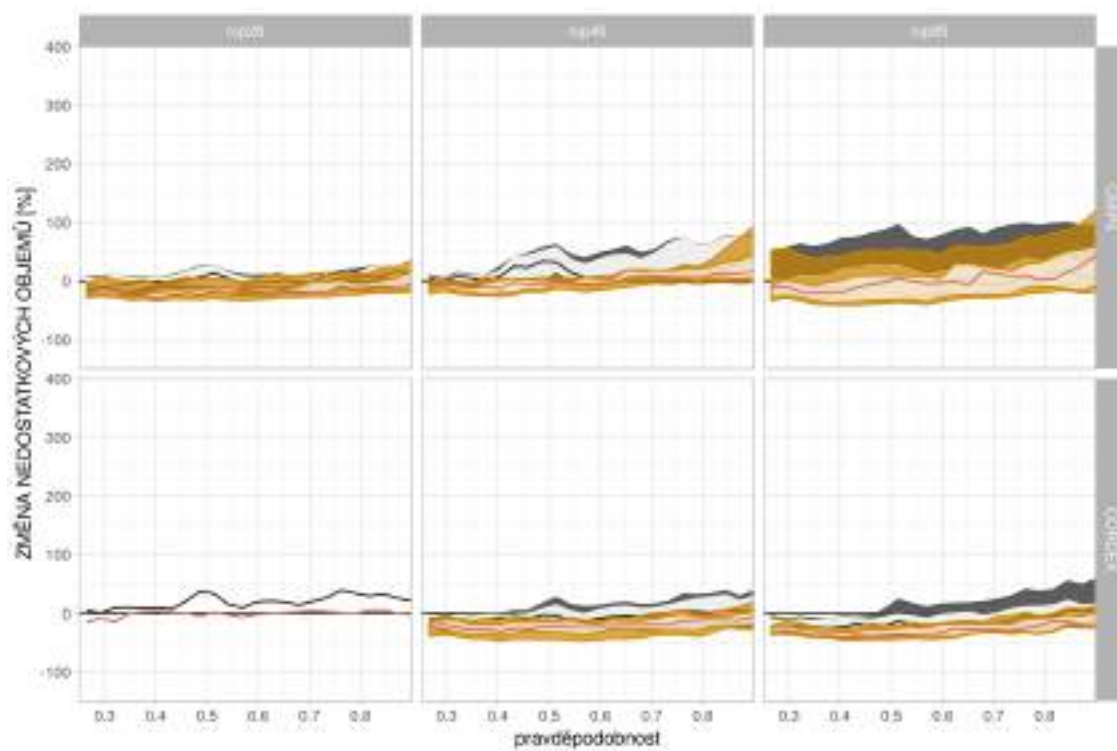
Obrázek 202: Změny deficitních objemů pro  $Q_{345d}$  v povodí Labe-Ústí pro období 2070–2100.



Obrázek 203: Změny deficitních objemů pro  $Q_{345d}$  v povodí Bílina-Trmice pro období 2070–2100.

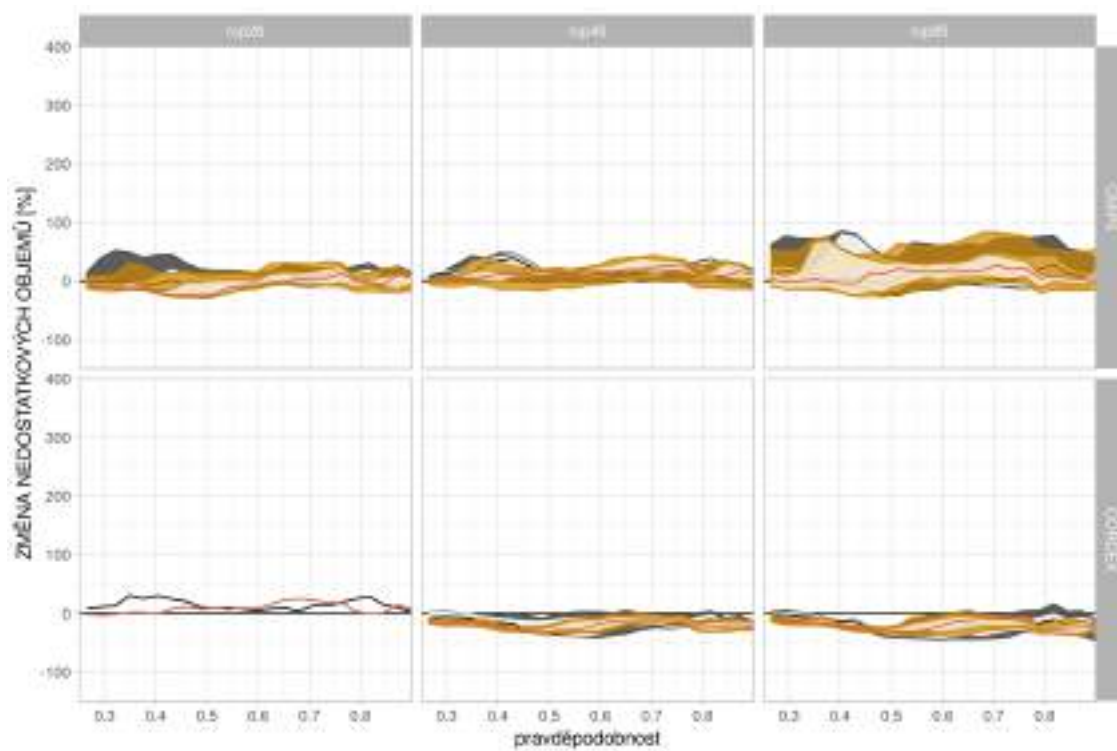


Obrázek 204: Změny deficitních objemů pro  $Q_{345d}$  v povodí Labe-Děčín pro období 2070–2100.

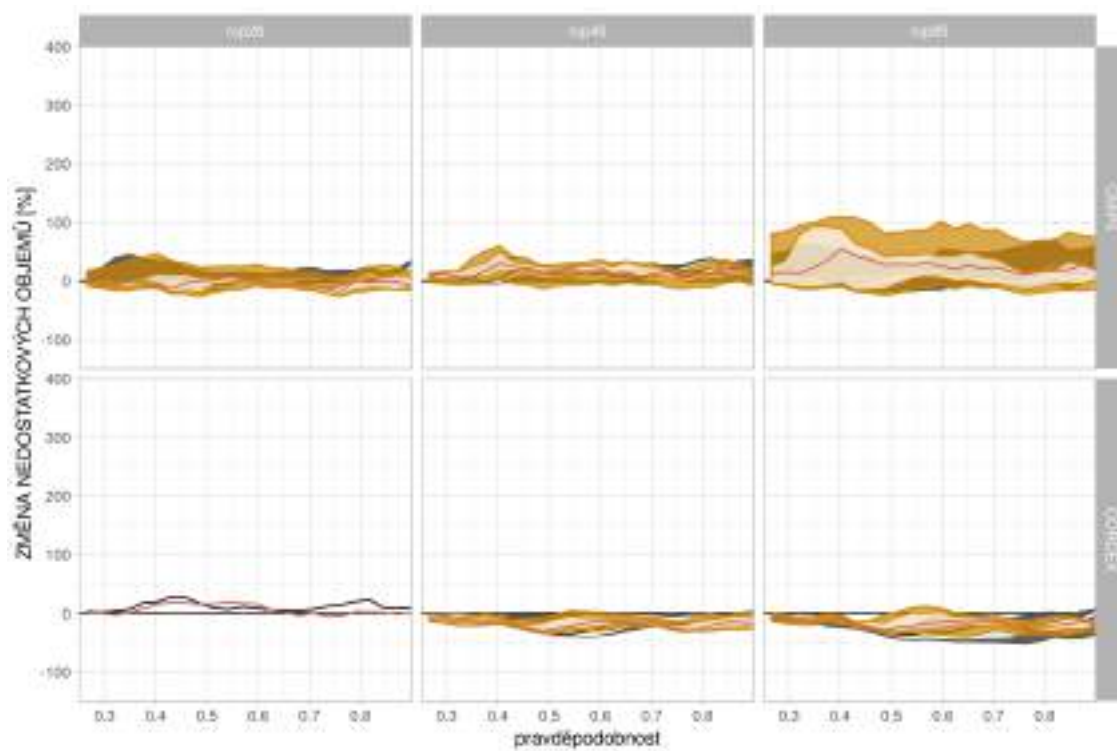


Obrázek 205: Změny deficitních objemů pro  $Q_{345d}$  v povodí Kamenice-Hřensko pro období 2070–2100.

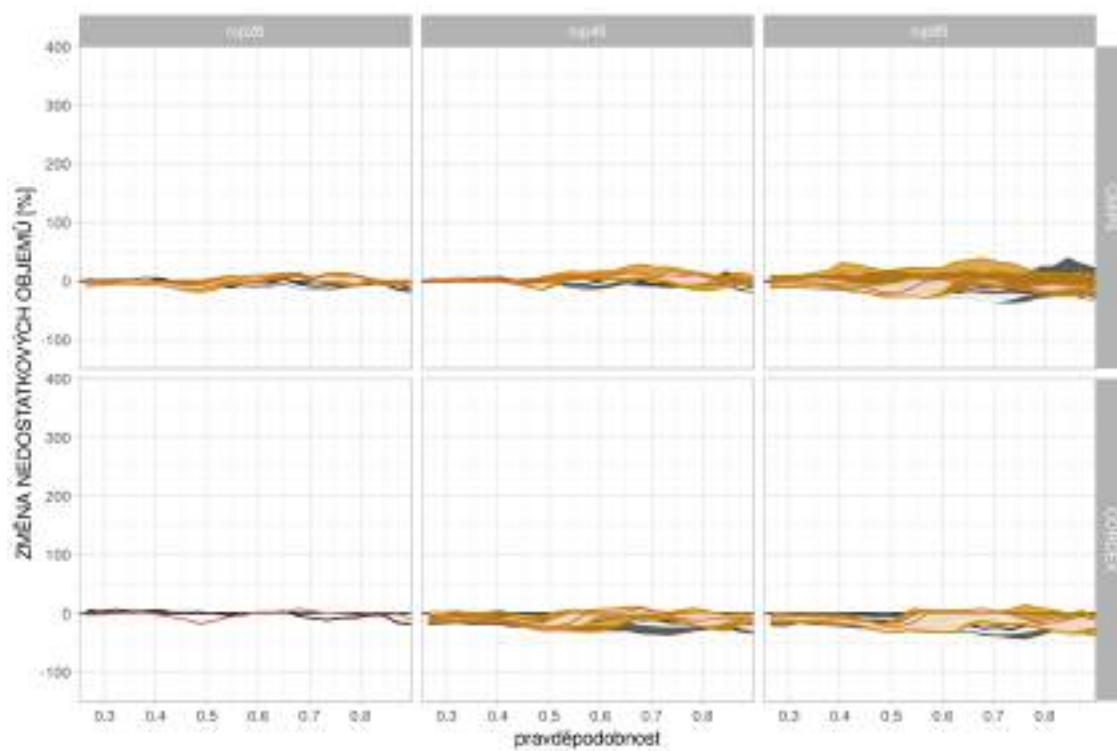




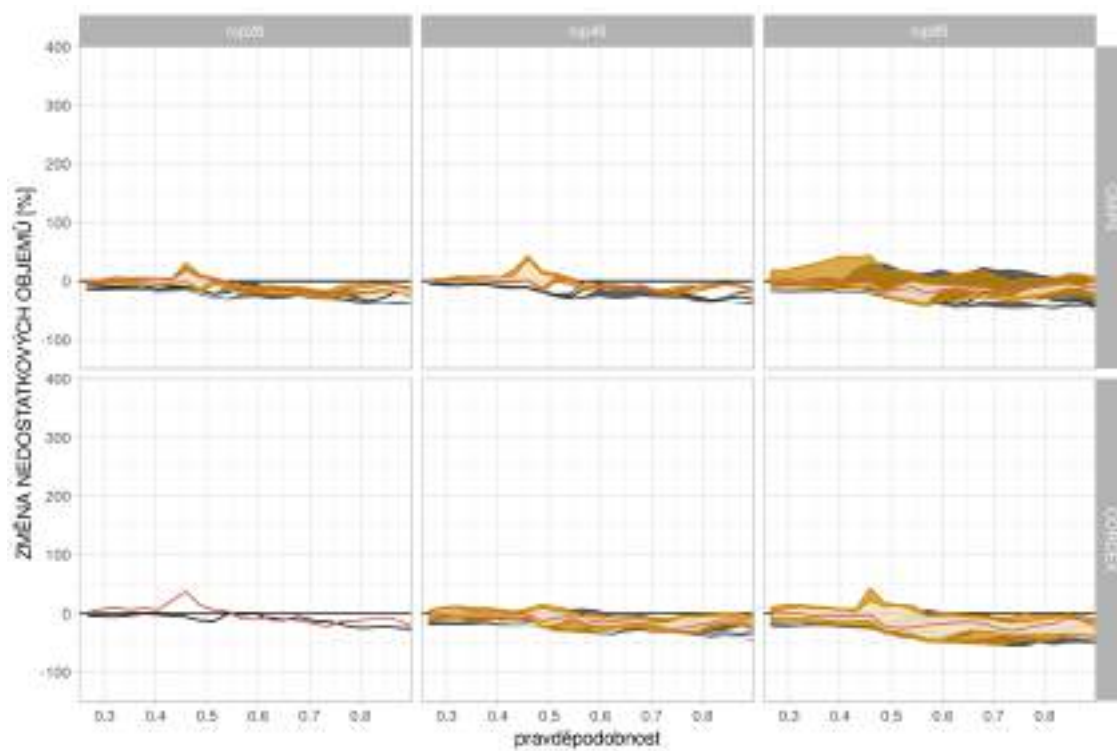
Obrázek 206: Změny deficitních objemů pro  $Q_{345d}$  v povodí Labe-Hřensko pro období 2070–2100.



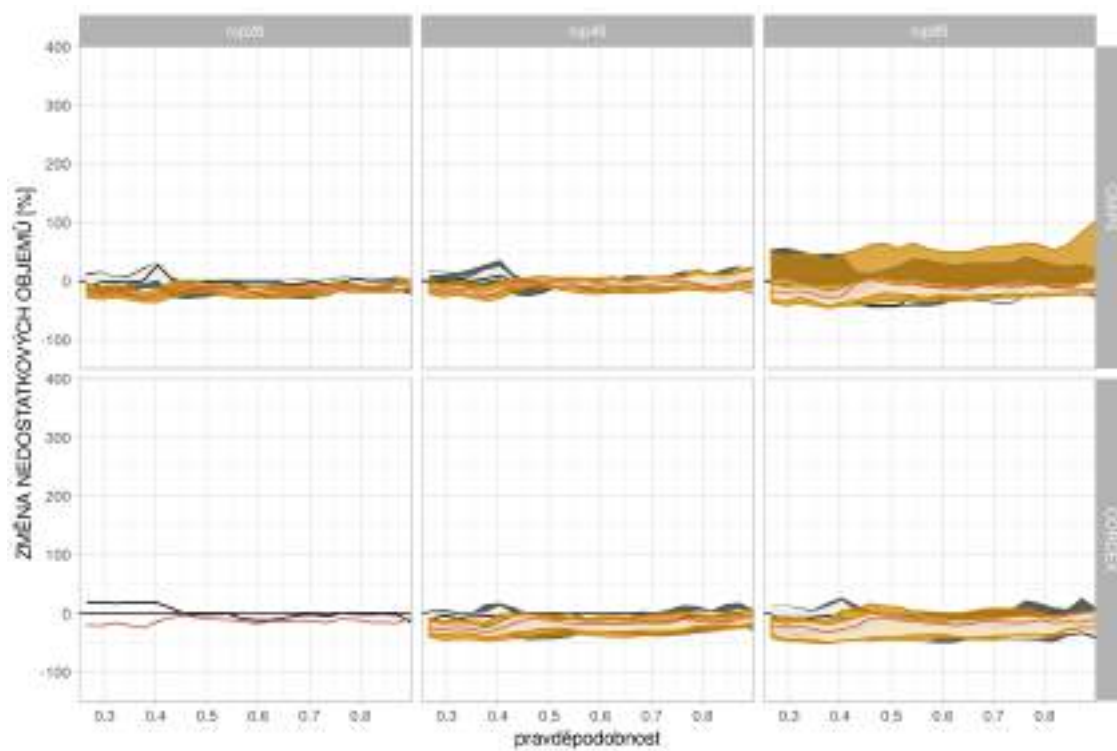
Obrázek 207: Změny deficitních objemů pro  $Q_{345d}$  v povodí Labe-Dresden pro období 2070–2100.



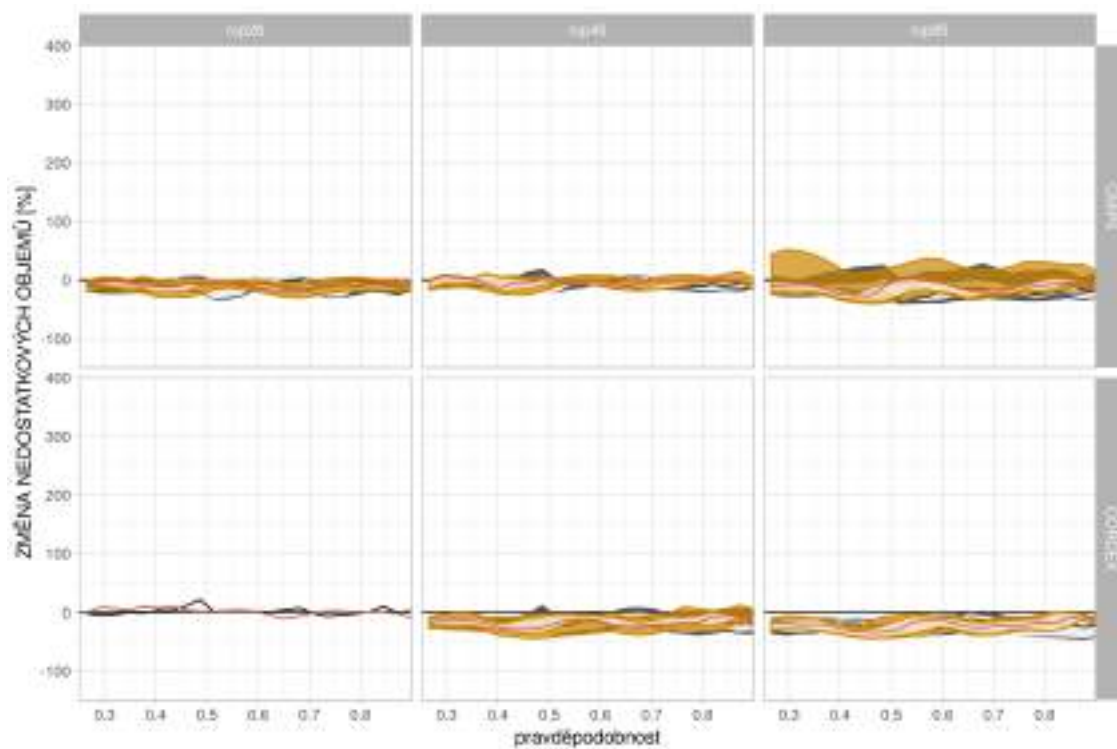
Obrázek 208: Změny deficitních objemů pro  $Q_{345d}$  v povodí Mueglitz-Dohna pro období 2070–2100.



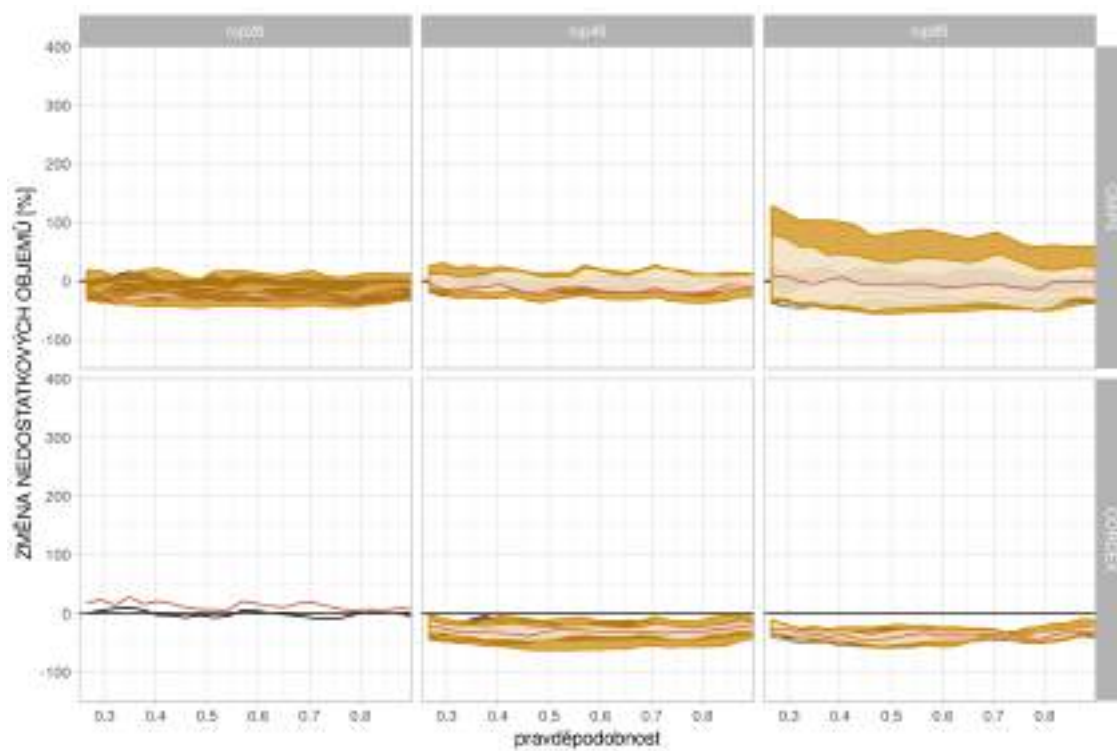
Obrázek 209: Změny deficitních objemů pro  $Q_{345d}$  v povodí Lockwitzbach-Kreischa pro období 2070–2100.



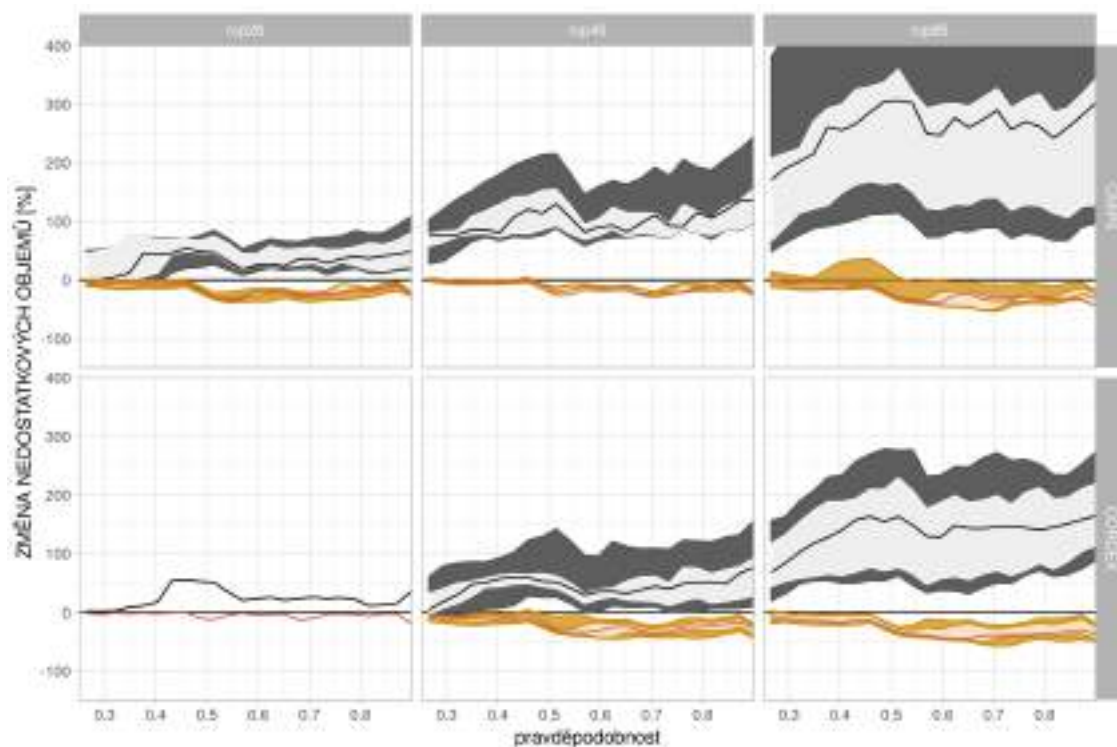
Obrázek 210: Změny deficitních objemů pro  $Q_{345d}$  v povodí Wesenitz-Elbersdorf pro období 2070–2100.



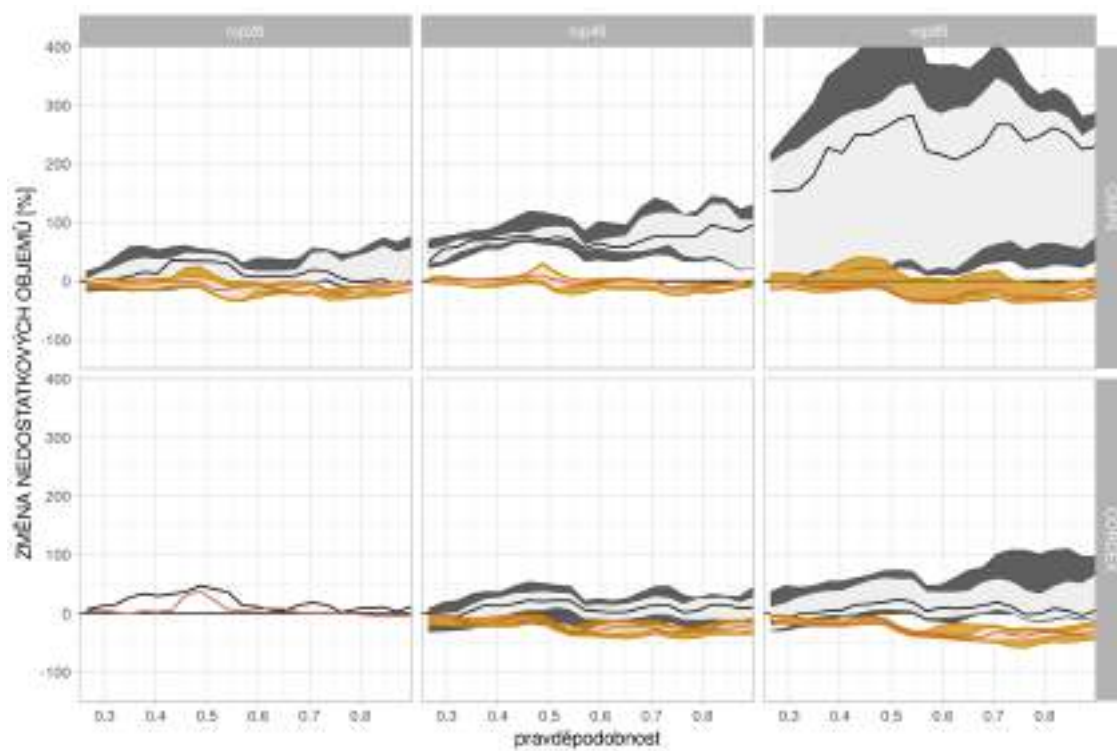
Obrázek 211: Změny deficitních objemů pro  $Q_{345d}$  v povodí Lachsbach-Porschdorf pro období 2070–2100.



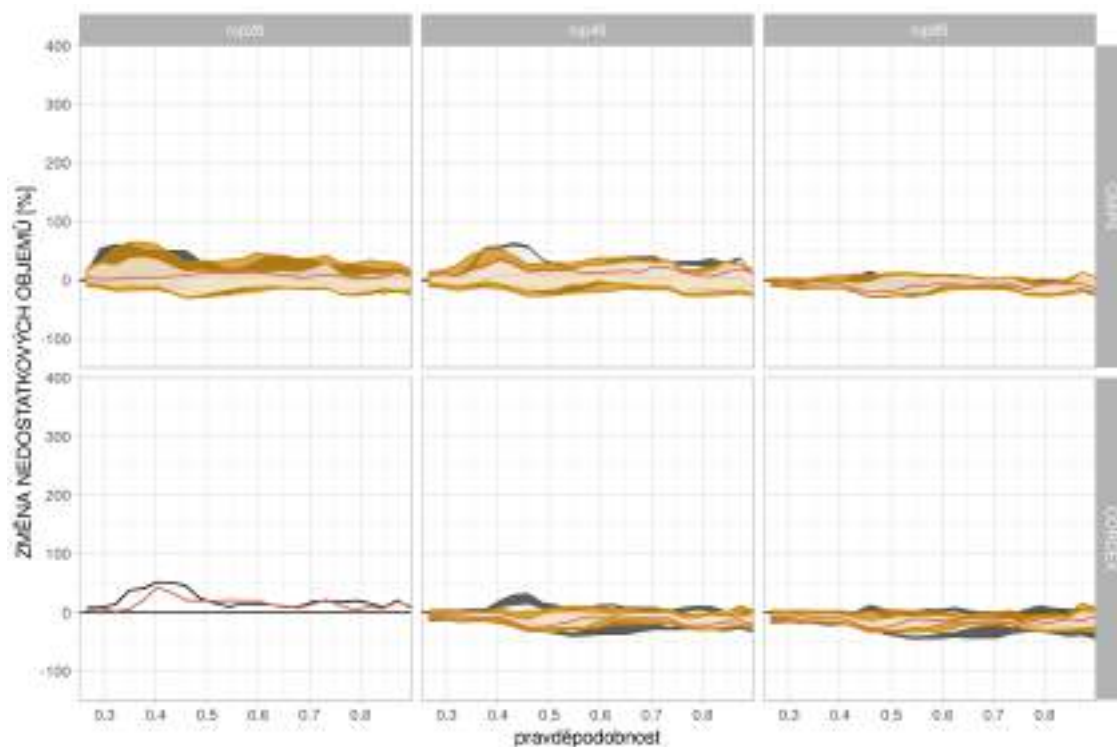
Obrázek 212: Změny deficitních objemů pro  $Q_{345d}$  v povodí Labe-Děčín-Ústí mezipovodí pro období 2070–2100.



Obrázek 213: Změny deficitních objemů pro  $Q_{345d}$  v povodí Labe-Dresden-Hřensko mezipovodí pro období 2070–2100.

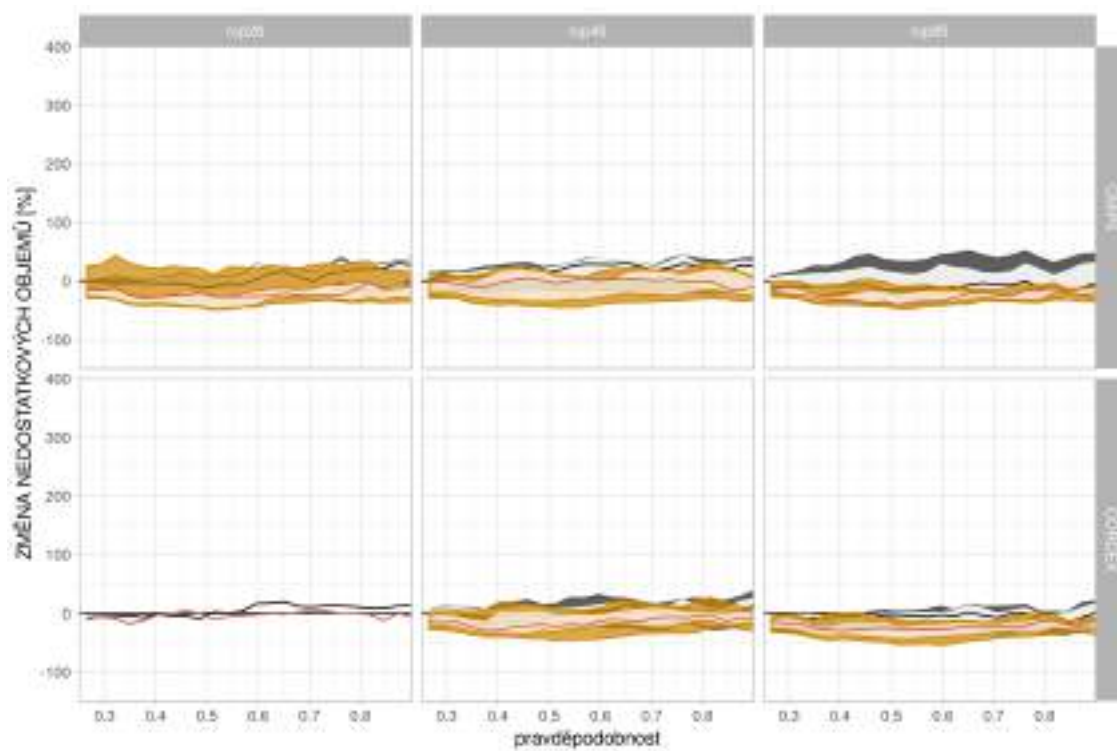


Obrázek 214: Změny deficitních objemů pro  $Q_{345d}$  v povodí Labe-Hřensko-Dečín mezipovodí pro období 2070–2100.

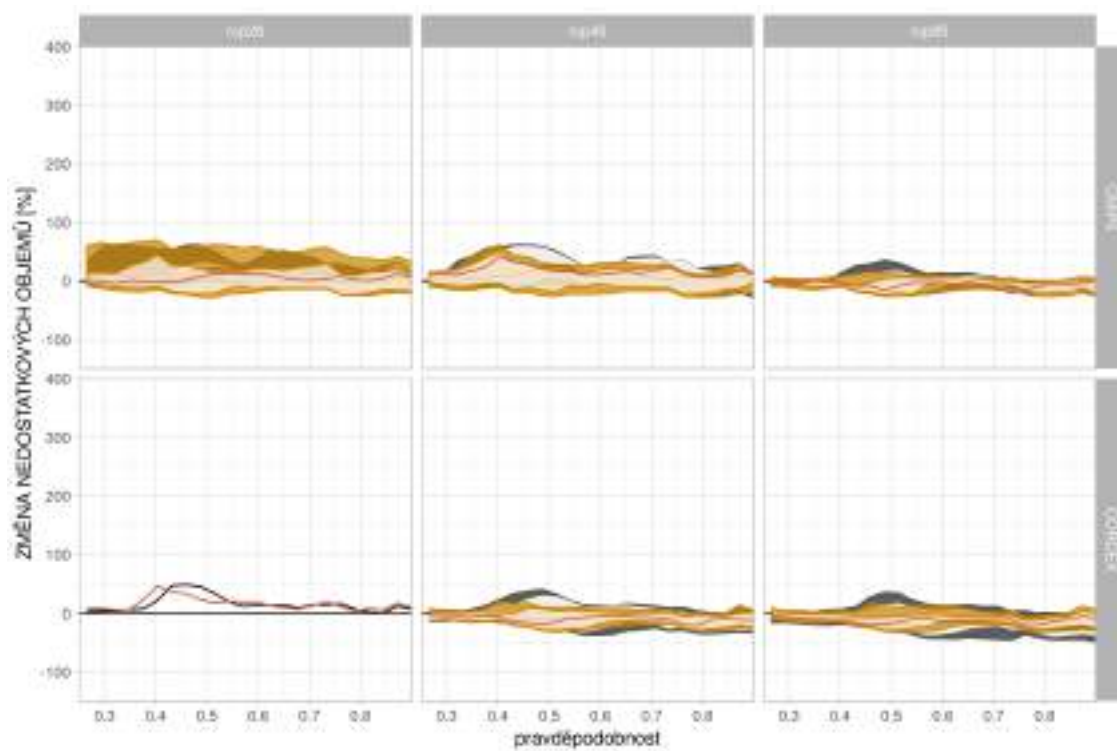


Obrázek 215: Změny deficitních objemů pro  $Q_{345d}$  v povodí Labe-Ústí pro období 2020–2050.



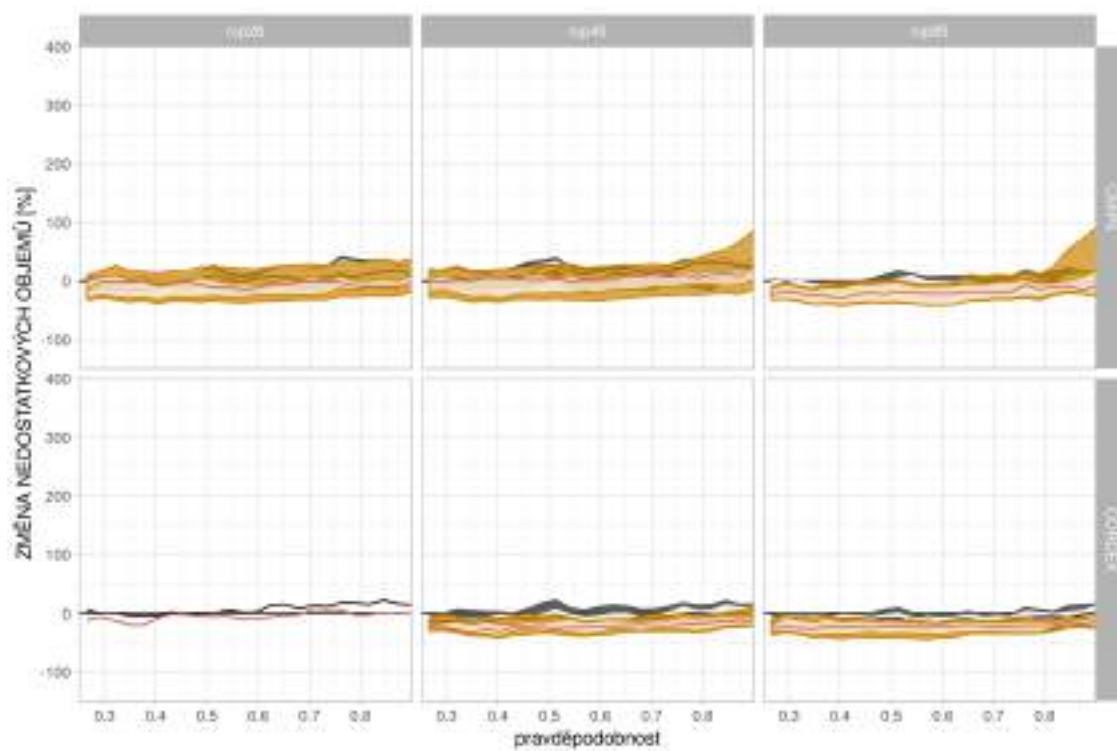


Obrázek 216: Změny deficitních objemů pro  $Q_{345d}$  v povodí Bílina-Trmice pro období 2020–2050.

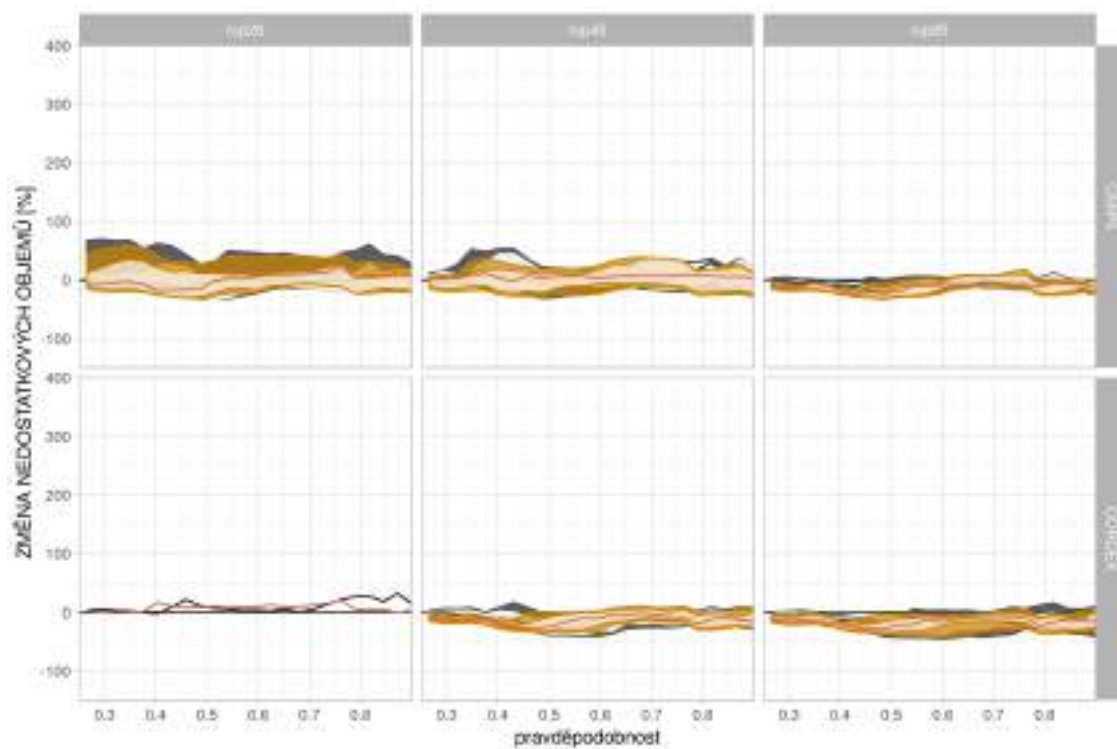


Obrázek 217: Změny deficitních objemů pro  $Q_{345d}$  v povodí Labe-Děčín pro období 2020–2050.

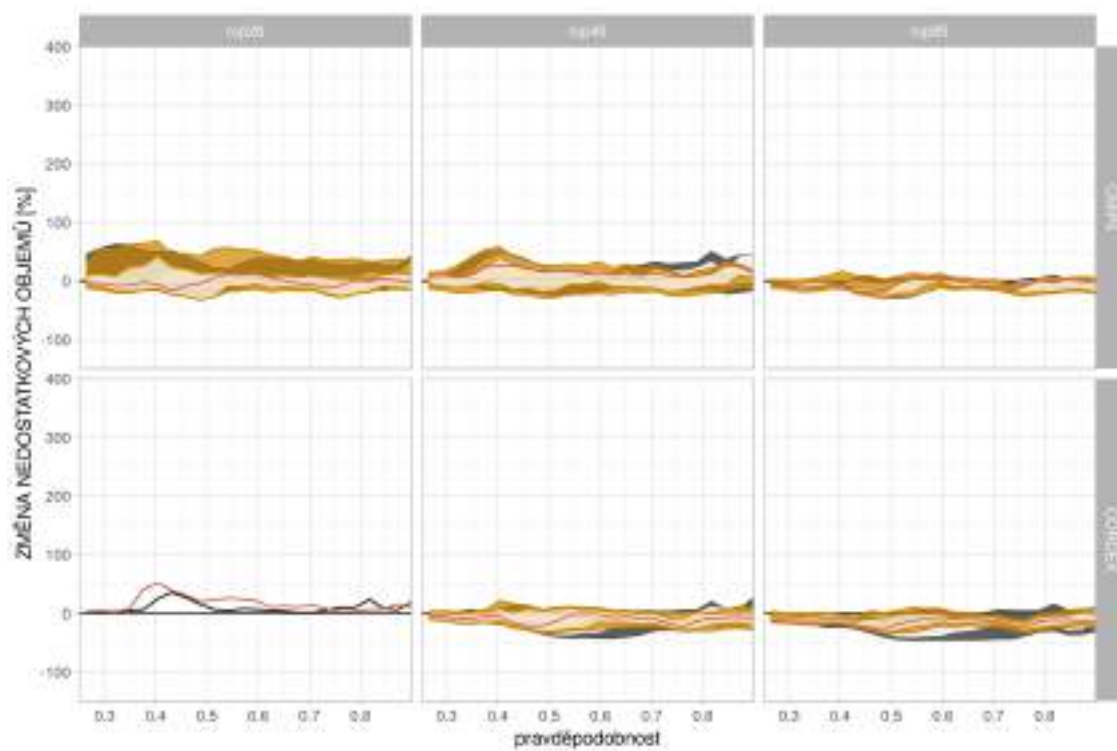




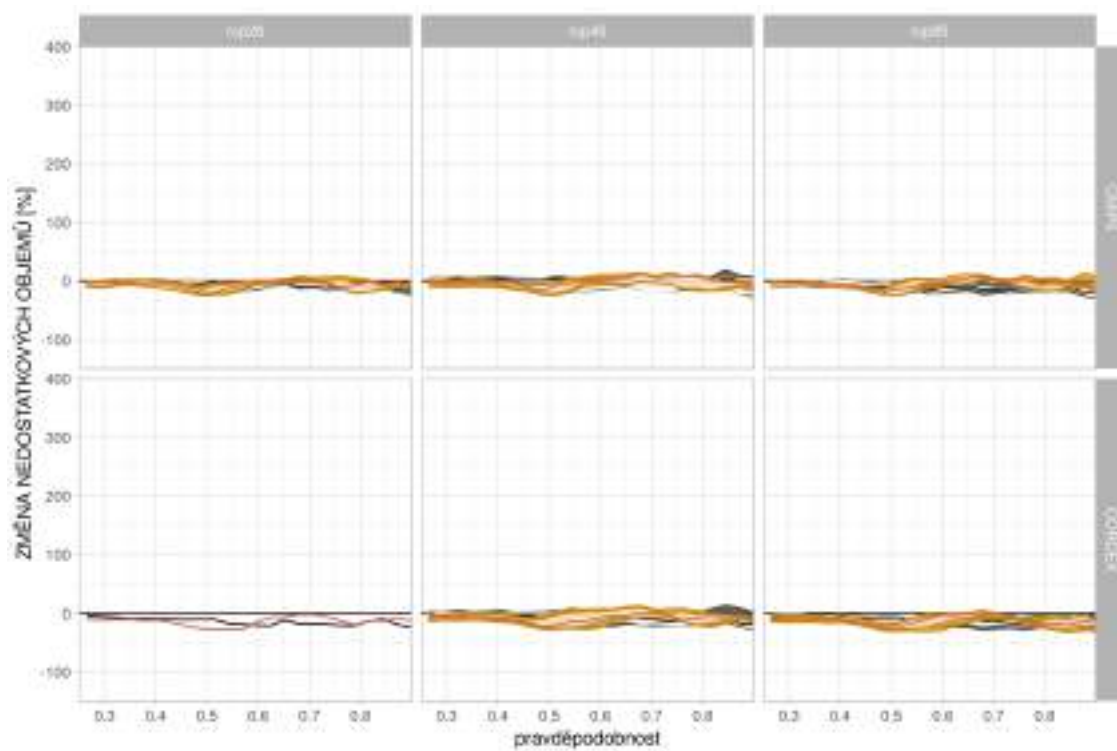
Obrázek 218: Změny deficitních objemů pro  $Q_{345d}$  v povodí Kamenice-Hřensko pro období 2020–2050.



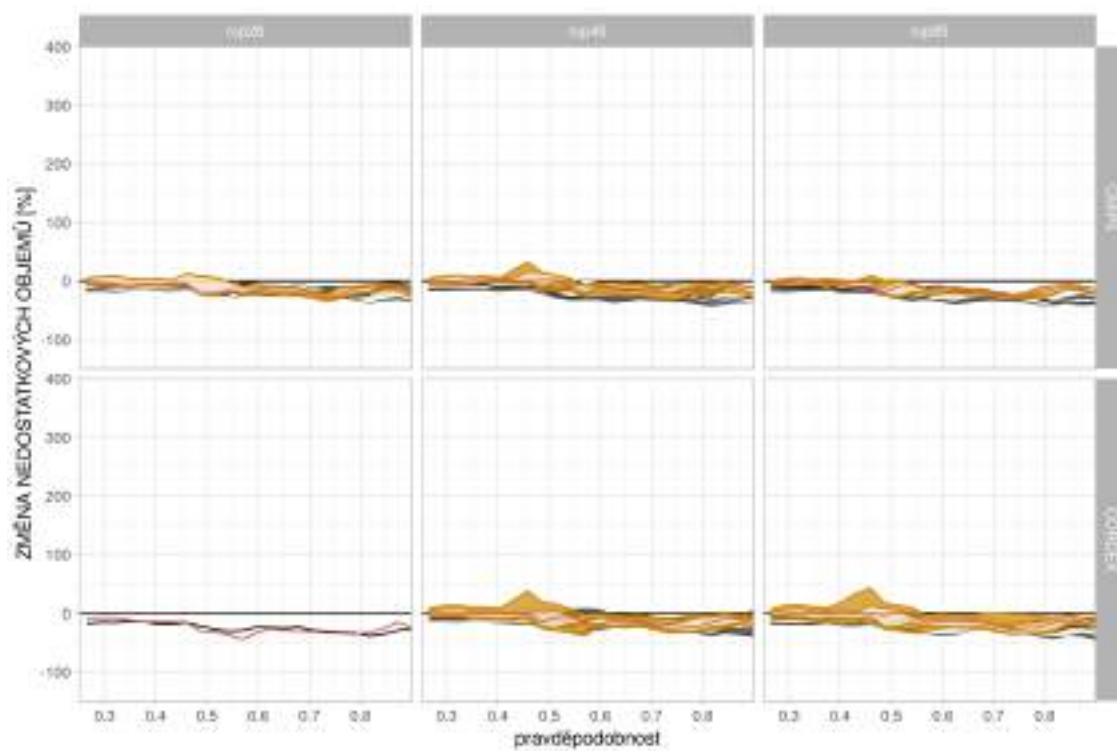
Obrázek 219: Změny deficitních objemů pro  $Q_{345d}$  v povodí Labe-Hřensko pro období 2020–2050.



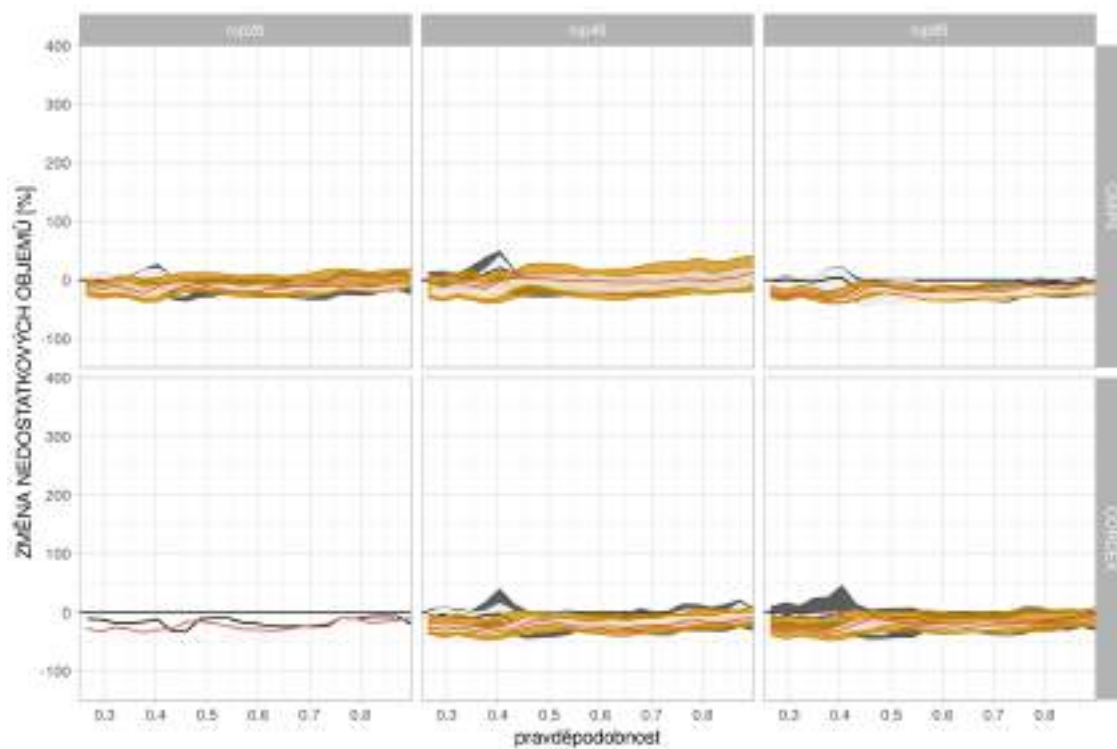
Obrázek 220: Změny deficitních objemů pro  $Q_{345d}$  v povodí Labe-Dresden pro období 2020–2050.



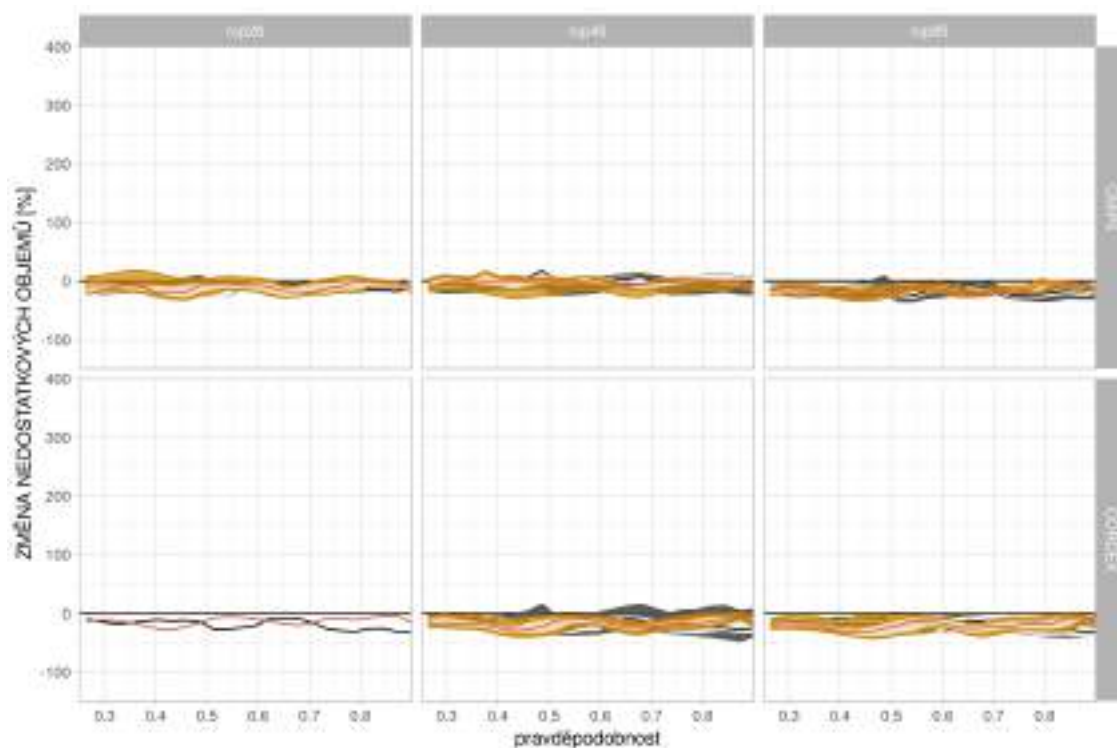
Obrázek 221: Změny deficitních objemů pro  $Q_{345d}$  v povodí Mueglitz-Dohna pro období 2020–2050.



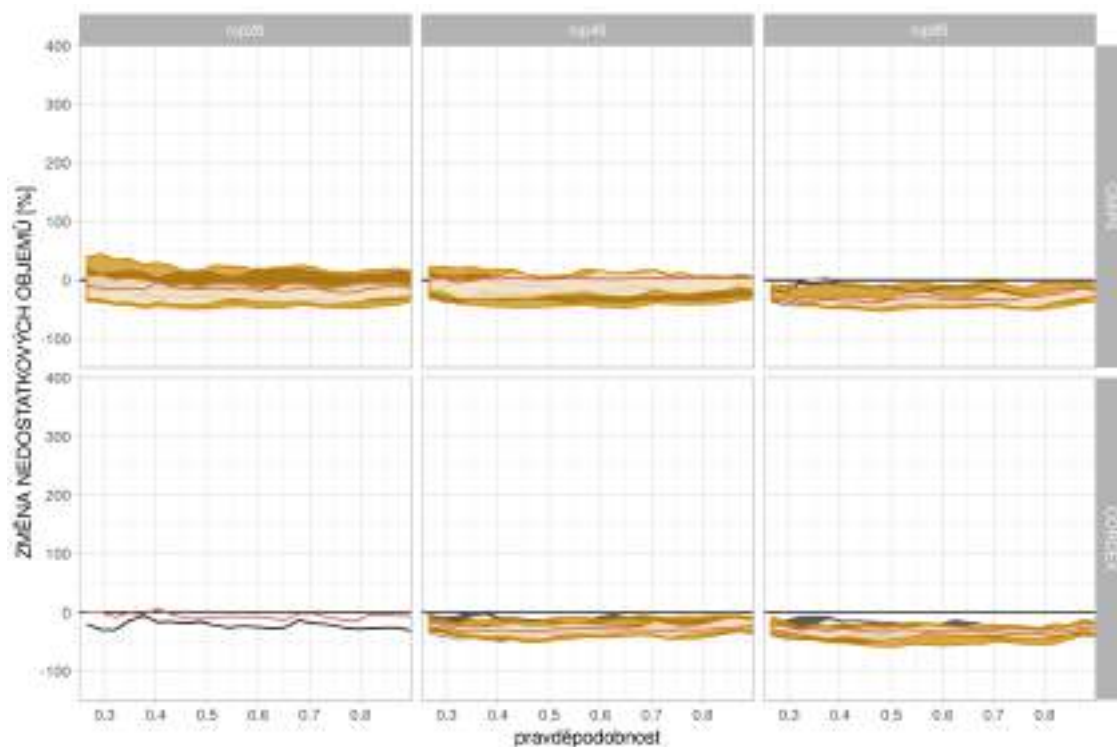
Obrázek 222: Změny deficitních objemů pro  $Q_{345d}$  v povodí Lockwitzbach-Kreischa pro období 2020–2050.



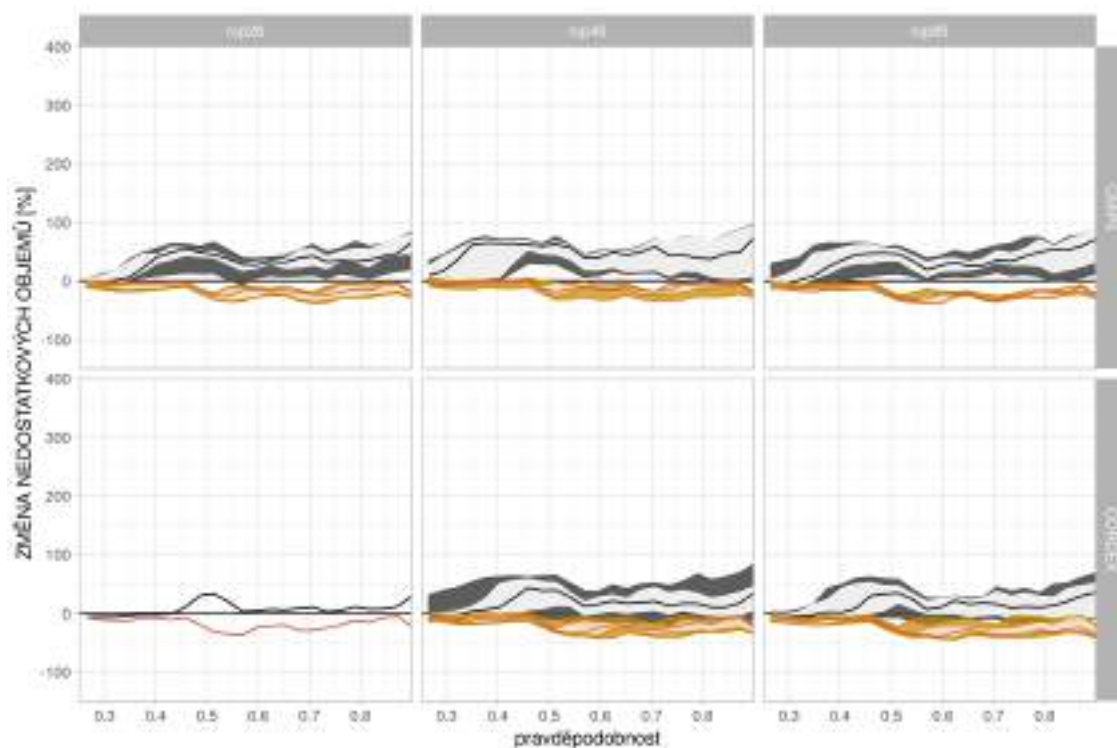
Obrázek 223: Změny deficitních objemů pro  $Q_{345d}$  v povodí Wesenitz-Elbersdorf pro období 2020–2050.



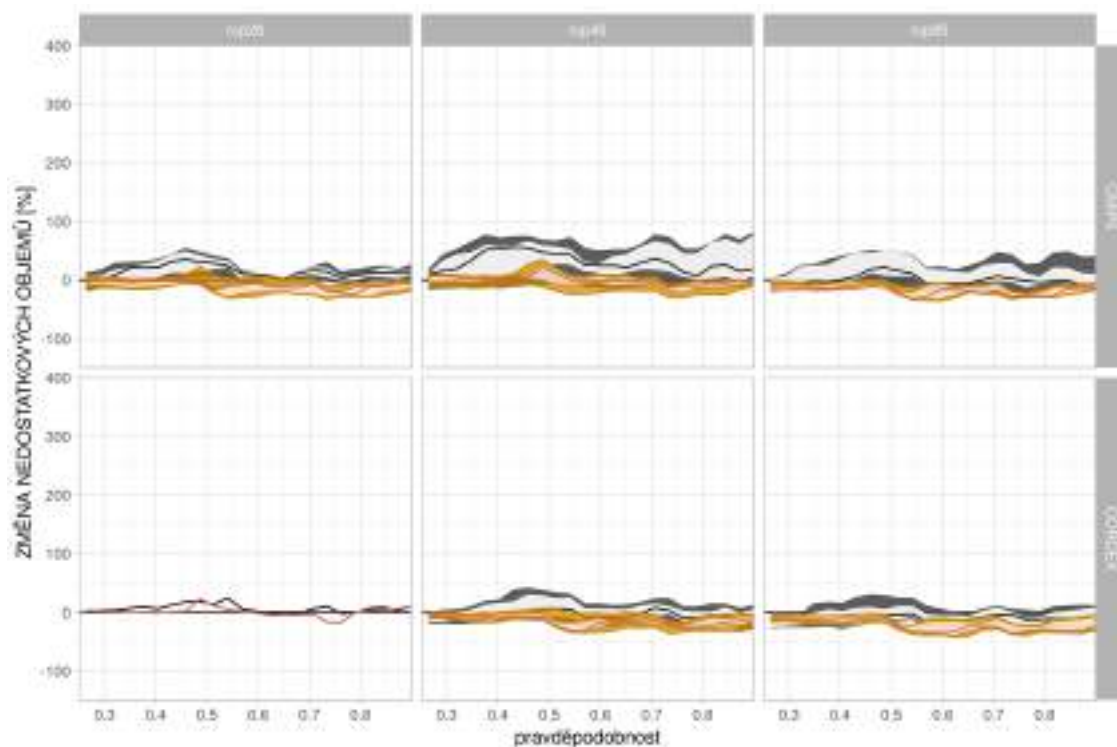
Obrázek 224: Změny deficitních objemů pro  $Q_{345d}$  v povodí Lachsbach-Porschdorf pro období 2020–2050.



Obrázek 225: Změny deficitních objemů pro  $Q_{345d}$  v povodí Labe-Děčín-Ústí mezipovodí pro období 2020–2050.



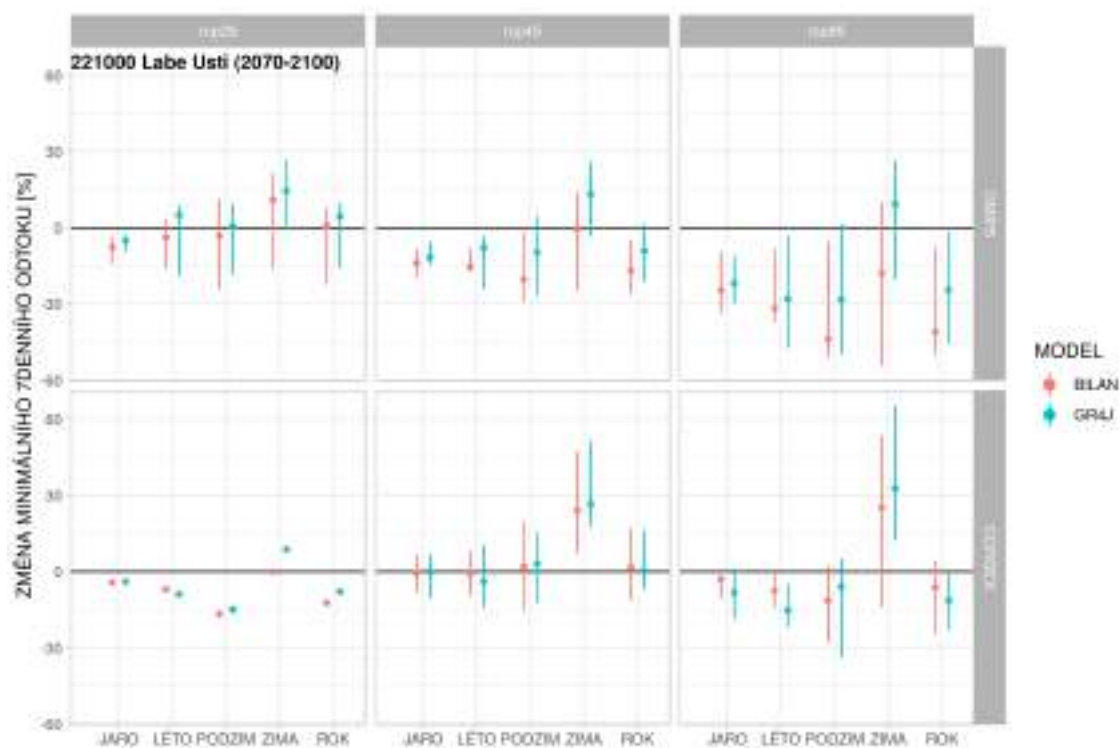
Obrázek 226: Změny deficitních objemů pro  $Q_{345d}$  v povodí Labe-Dresden-Hřensko mezipovodí pro období 2020–2050.



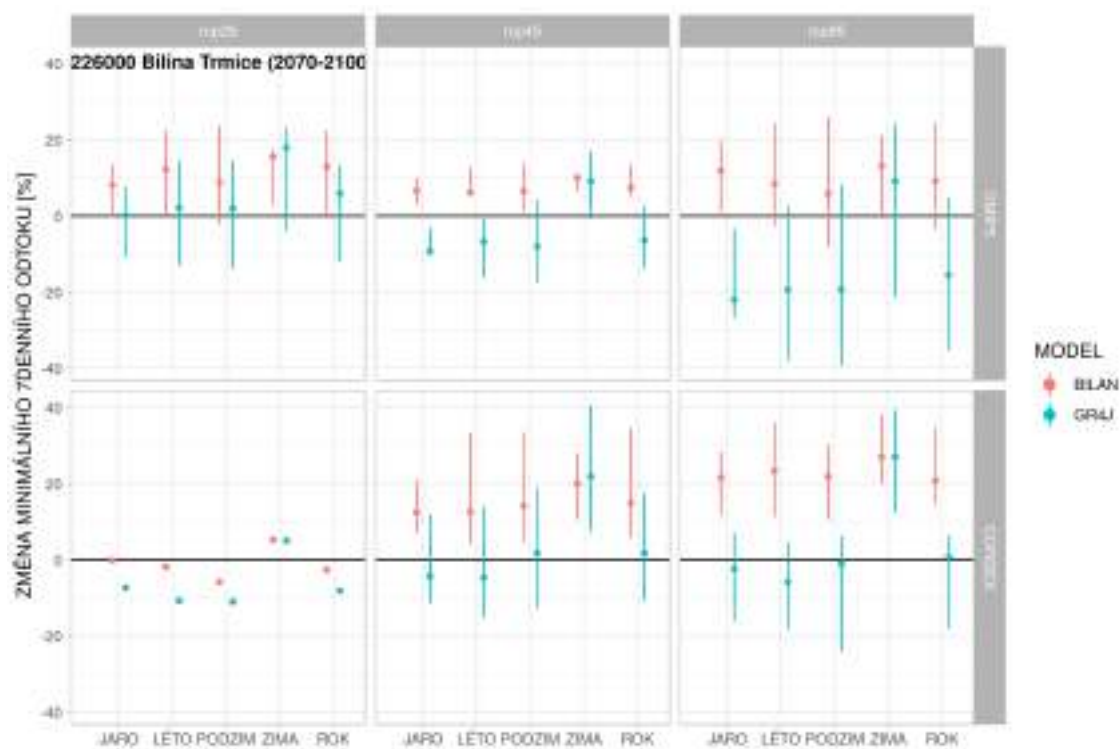
Obrázek 227: Změny deficitních objemů pro  $Q_{345d}$  v povodí Labe-Hřensko-Dečín mezipovodí pro období 2020–2050.

### **6.3 Přílohy - změny minimálních sedmi denních průtoků**

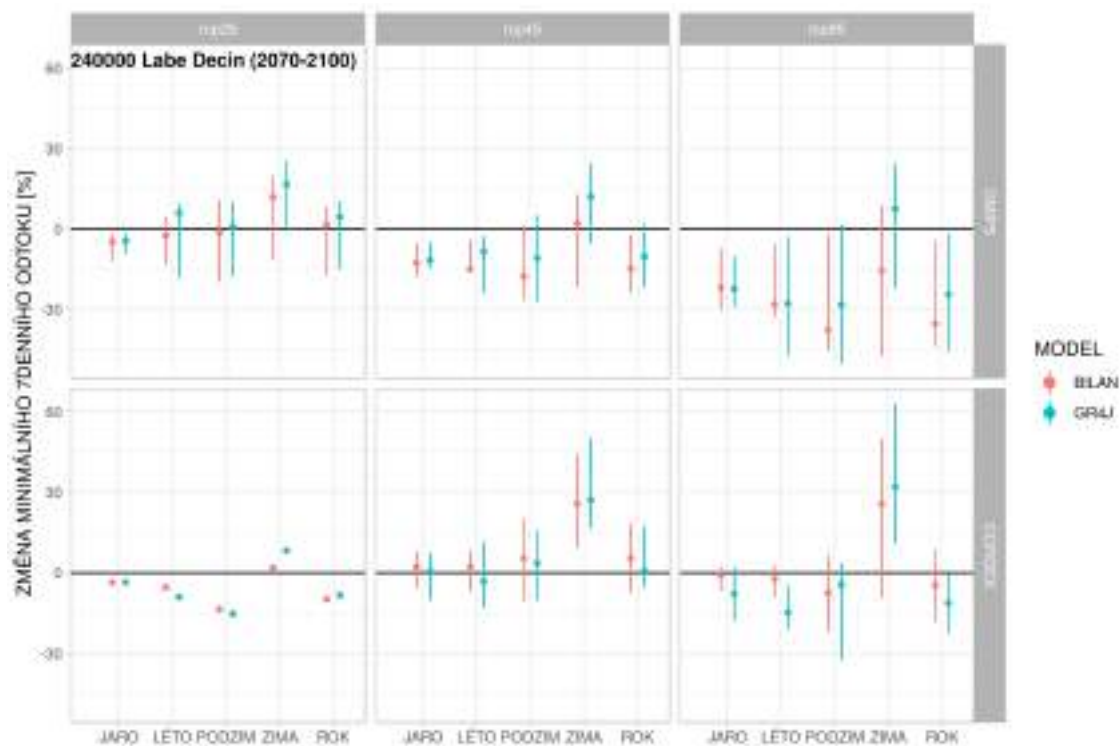




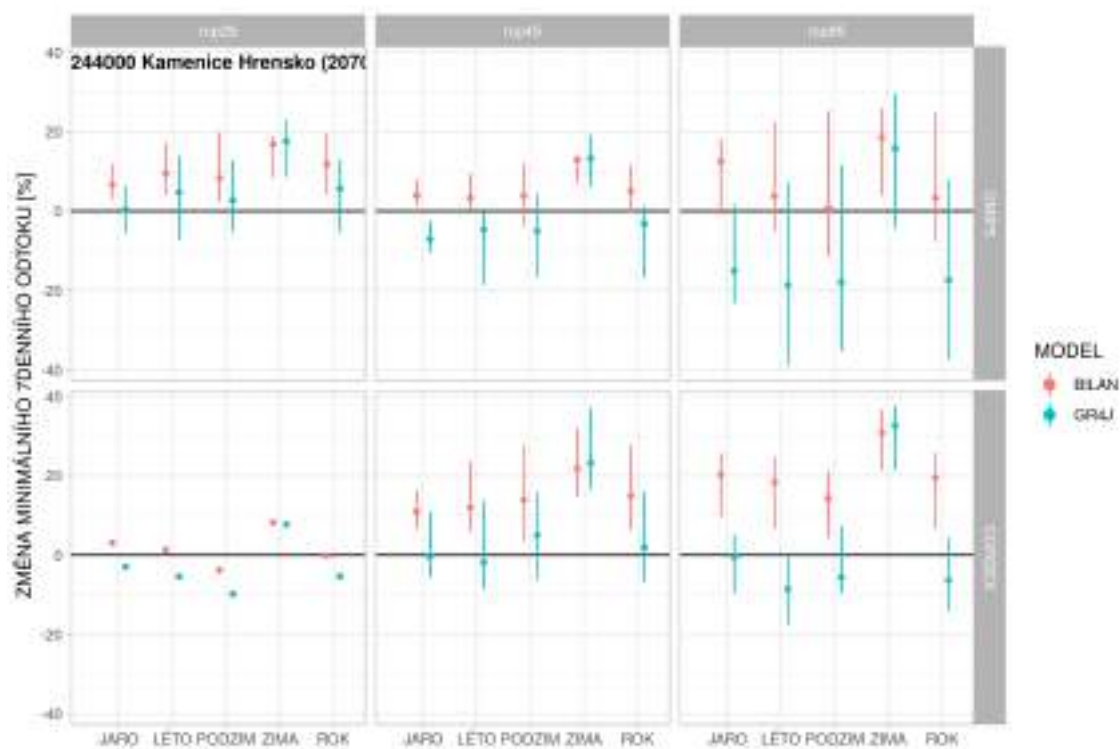
Obrázek 228: Změny minimálních 7-denních průtoků v povodí Labe-Ústí pro období 2070–2100.



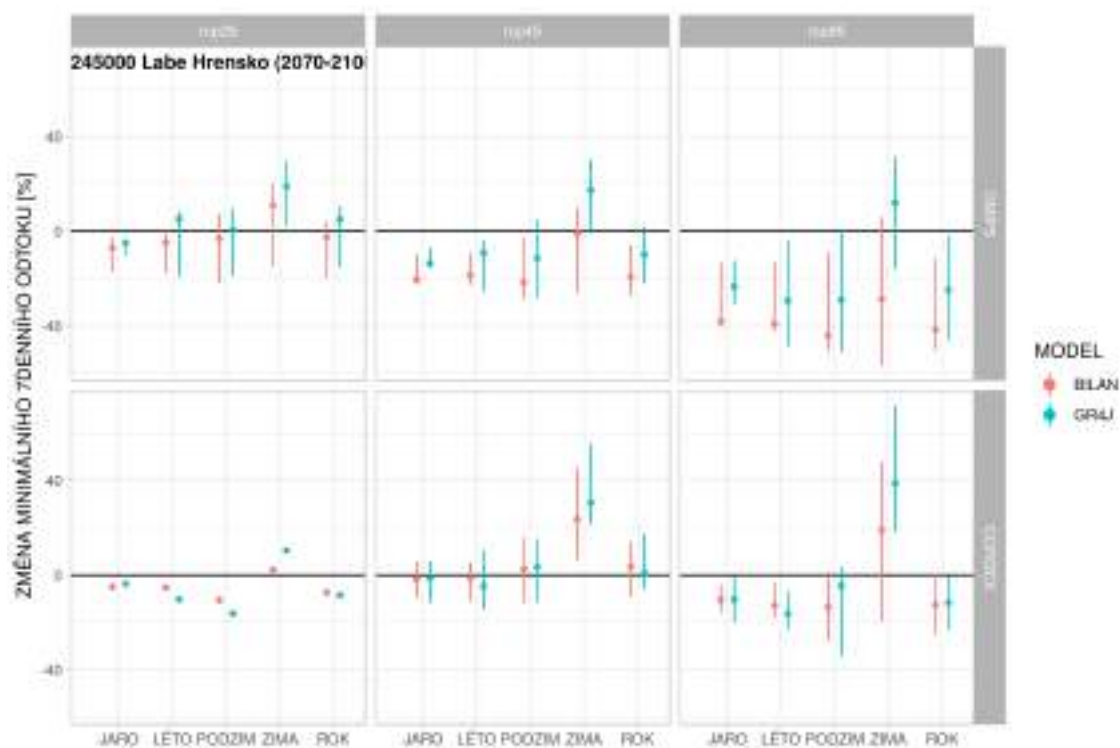
Obrázek 229: Změny minimálních 7-denních průtoků v povodí Bílina-Trmice pro období 2070–2100.



Obrázek 230: Změny minimálních 7-denních průtoků v povodí Labe-Děčín pro období 2070–2100.



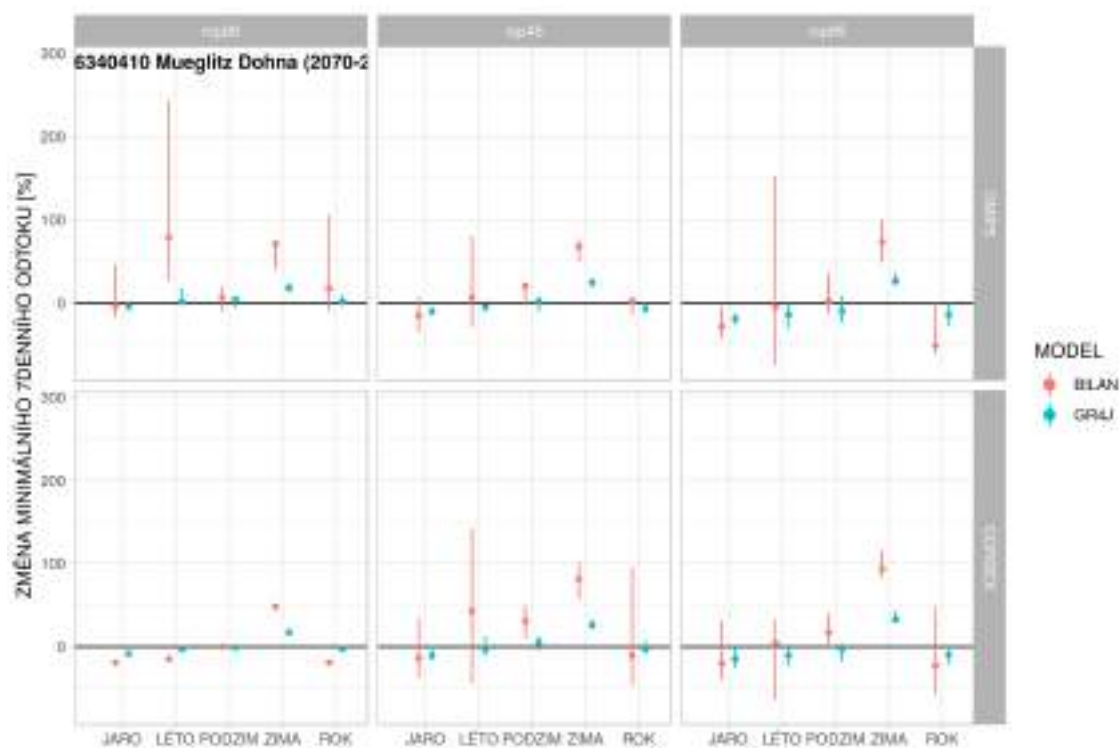
Obrázek 231: Změny minimálních 7-denních průtoků v povodí Kamenice-Hřensko pro období 2070–2100.



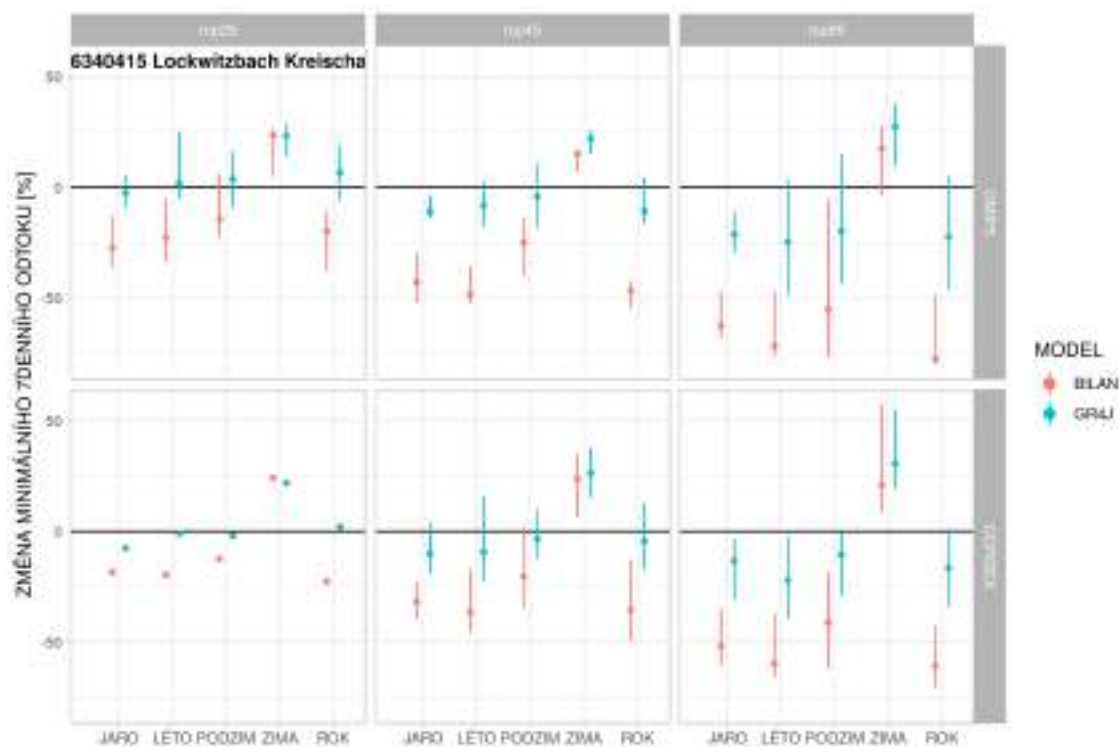
Obrázek 232: Změny minimálních 7-denních průtoků v povodí Labe-Hřensko pro období 2070–2100.



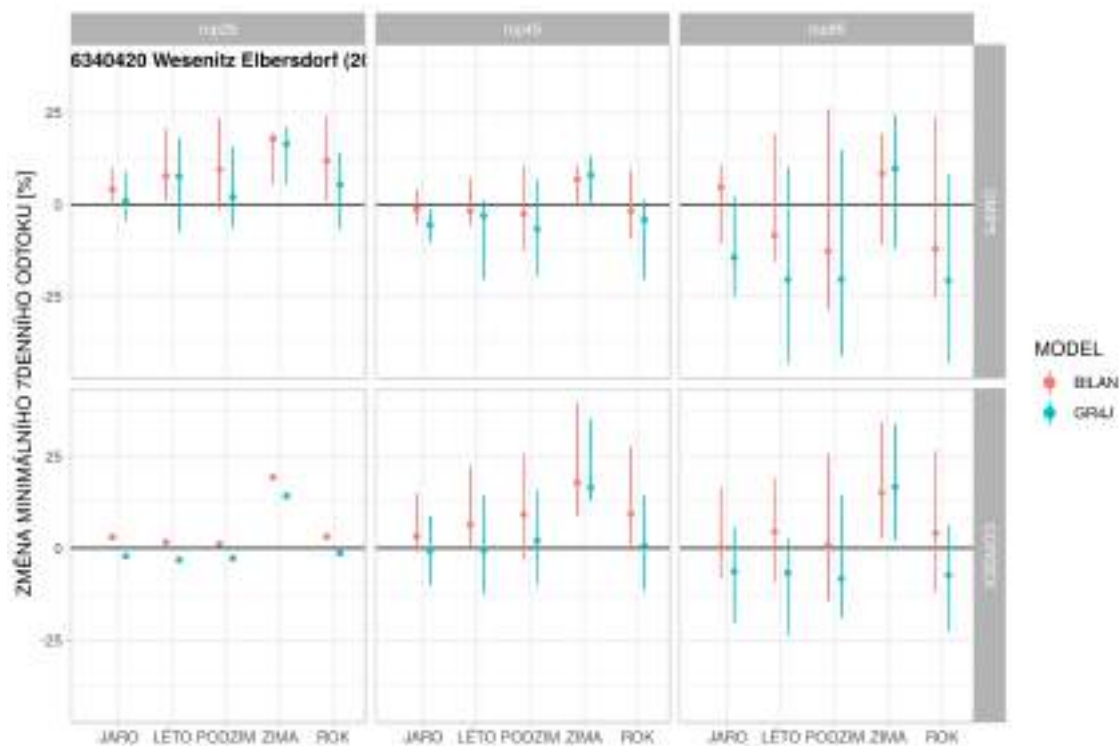
Obrázek 233: Změny minimálních 7-denních průtoků v povodí Labe-Dresden pro období 2070–2100.



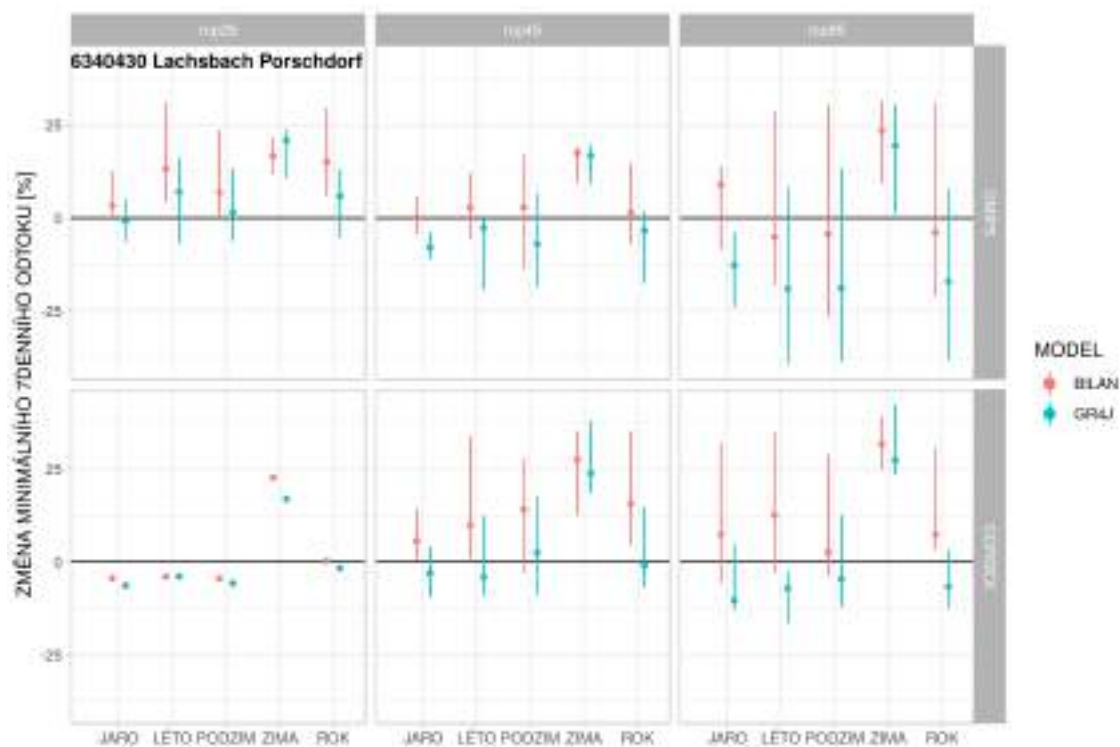
Obrázek 234: Změny minimálních 7-denních průtoků v povodí Mueglitz-Dohna pro období 2070–2100.



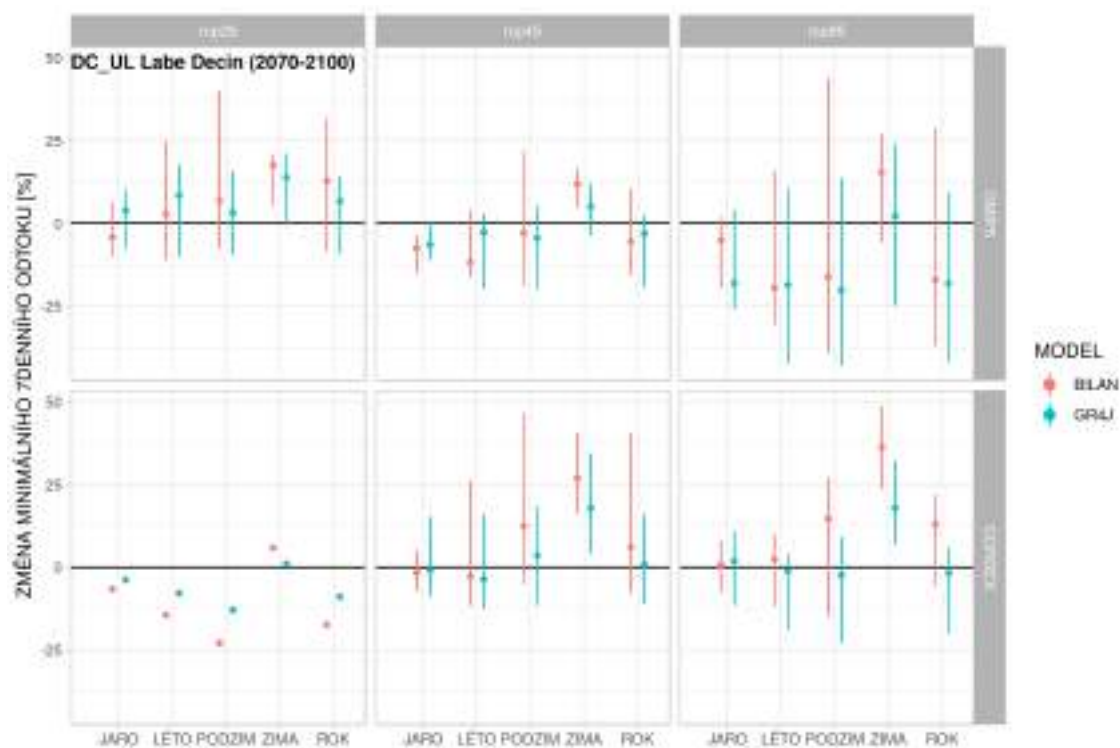
Obrázek 235: Změny minimálních 7-denních průtoků v povodí Lockwitzbach-Kreischa pro období 2070–2100.



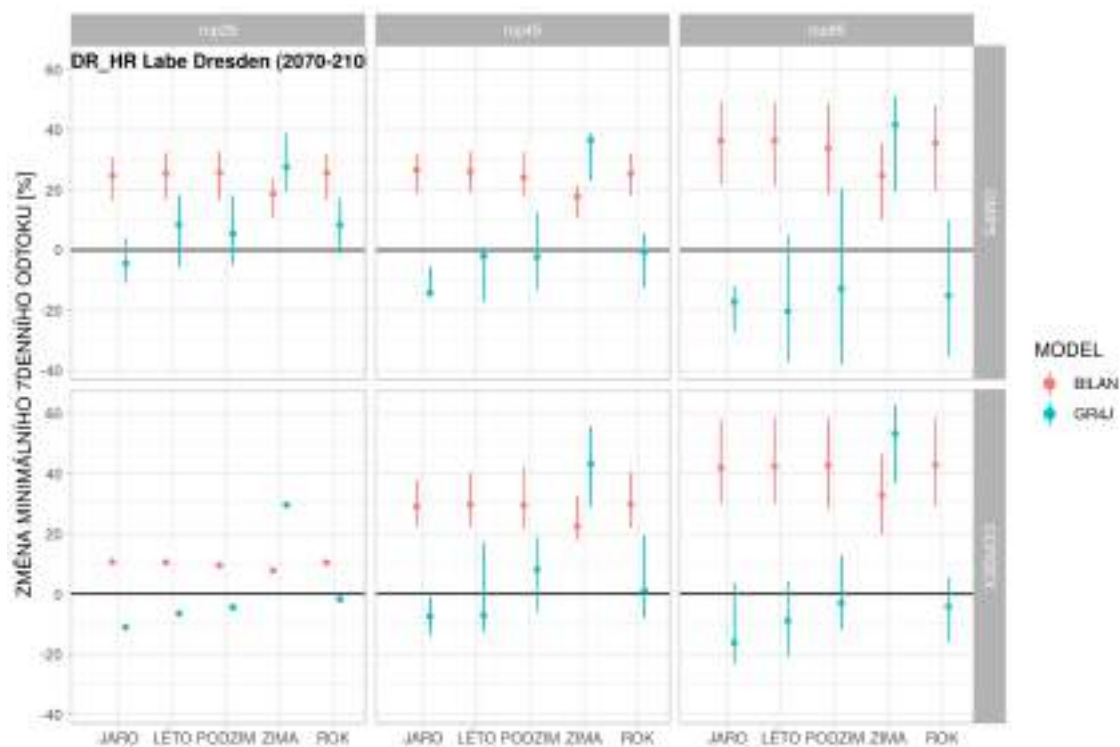
Obrázek 236: Změny minimálních 7-denních průtoků v povodí Wesenitz-Elbersdorf pro období 2070–2100.



Obrázek 237: Změny minimálních 7-denních průtoků v povodí Lachsbach-Porschdorf pro období 2070–2100.

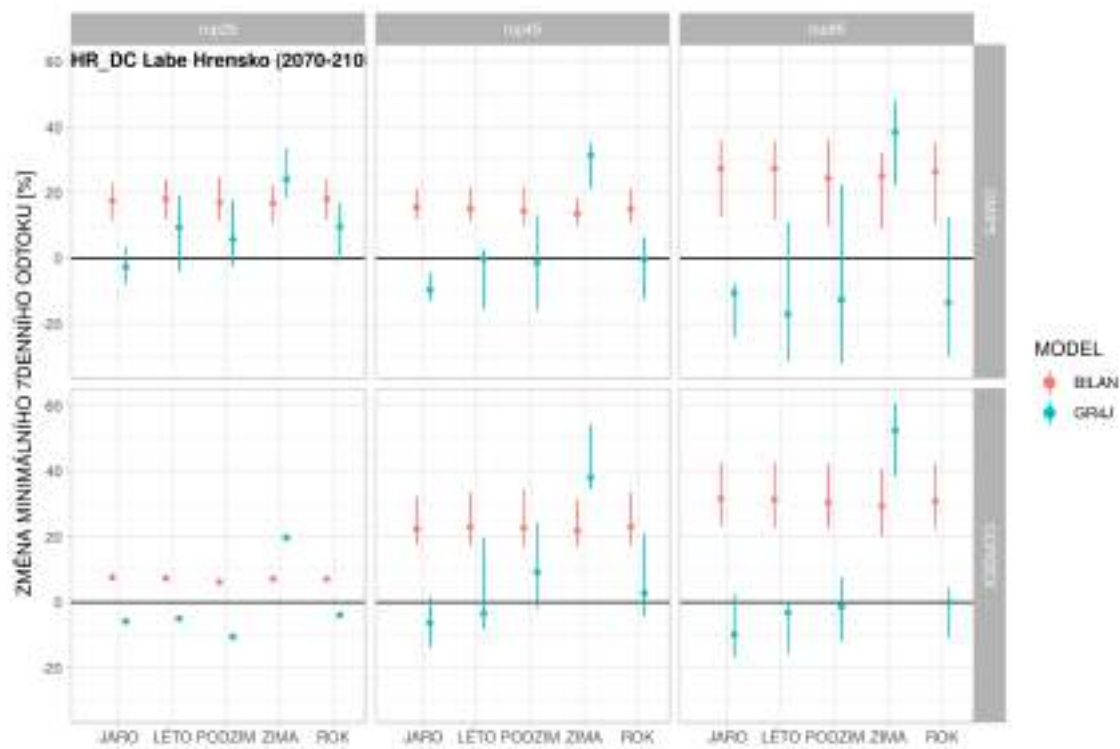


Obrázek 238: Změny minimálních 7-denních průtoků v povodí Labe-Děčín-Ústí mezipovodí pro období 2070–2100.

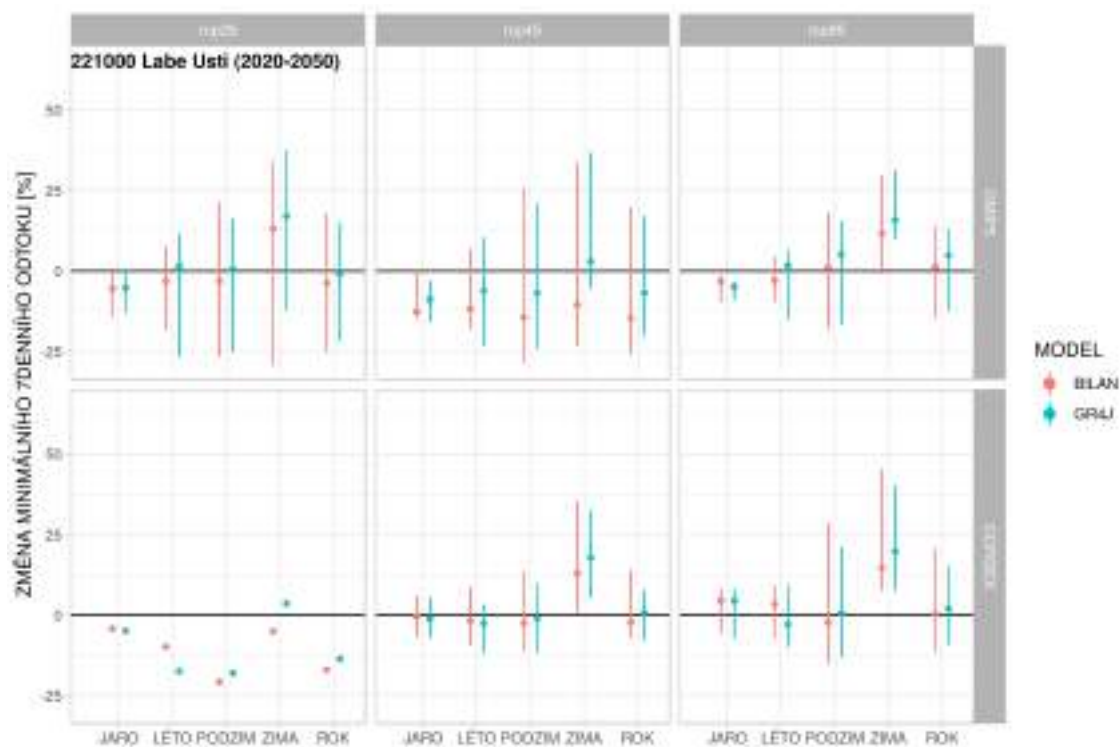


Obrázek 239: Změny minimálních 7-denních průtoků v povodí Labe-Dresden-Hřensko mezipovodí pro období 2070–2100.

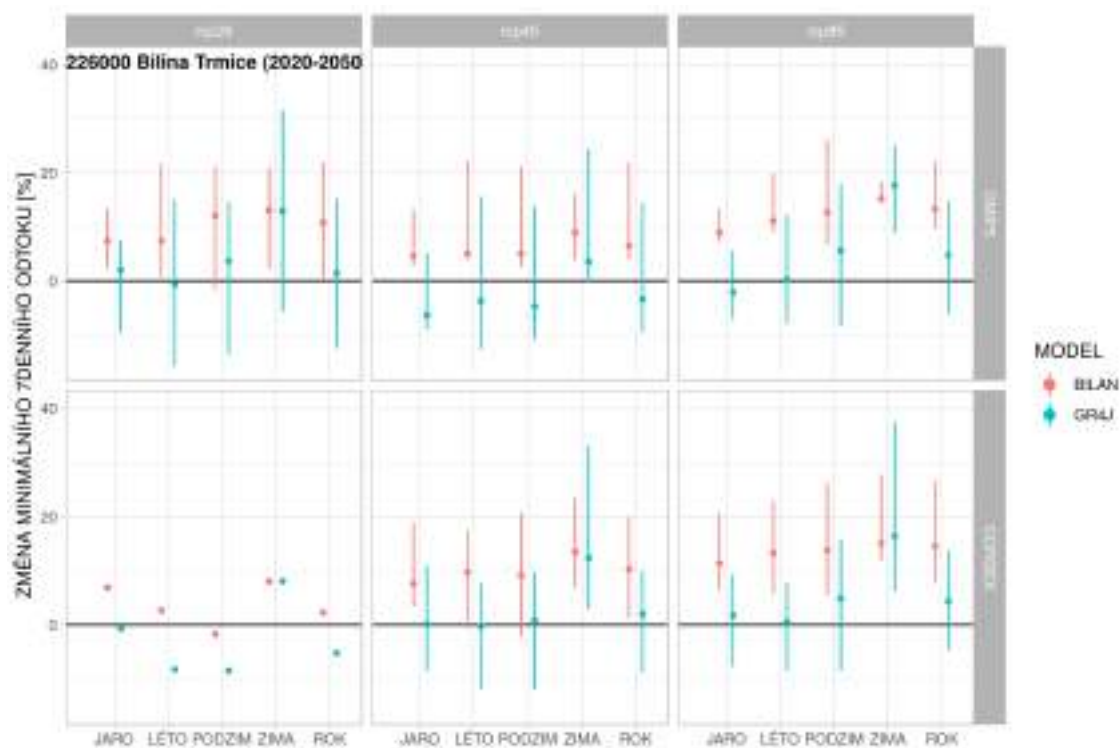




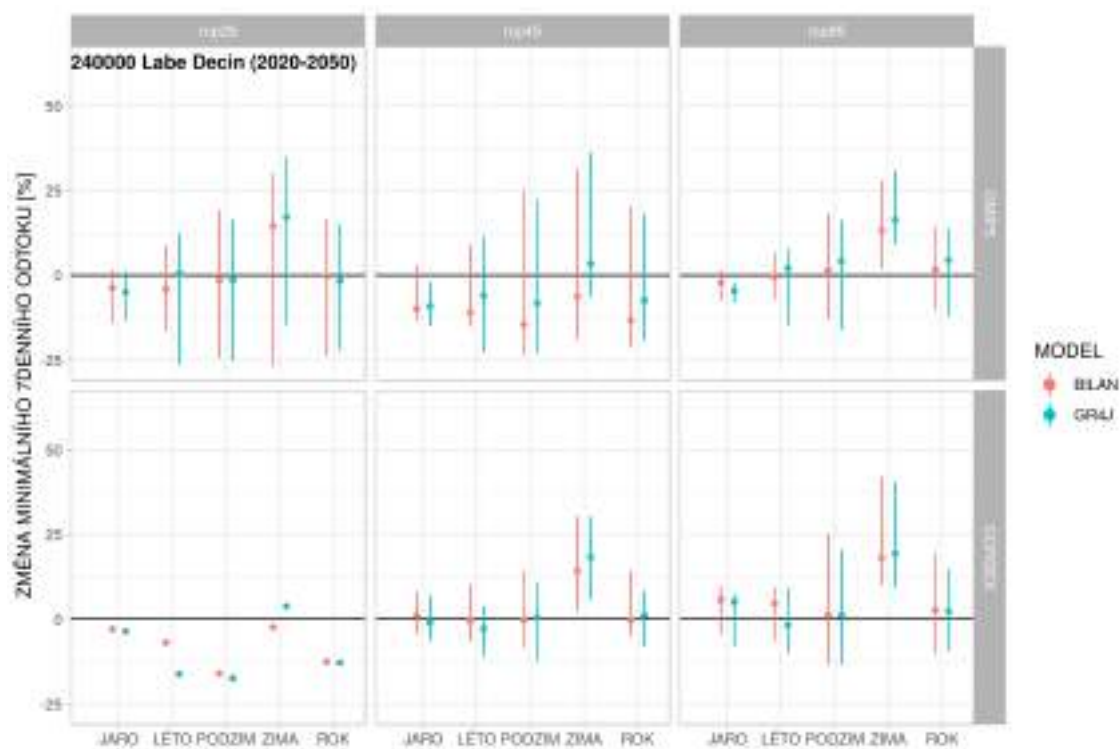
Obrázek 240: Změny minimálních 7-denních průtoků v povodí Labe-Hřensko-Dečín mezipovodí pro období 2070–2100.



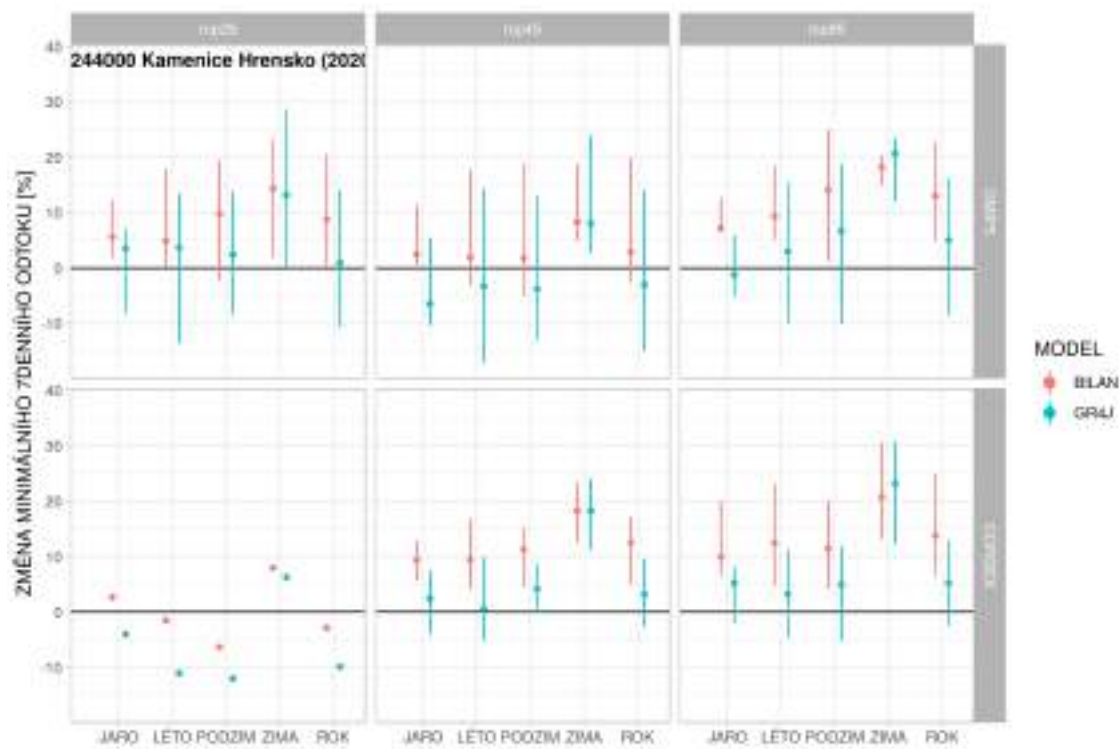
Obrázek 241: Změny minimálních 7-denních průtoků v povodí Labe-Ústí pro období 2020–2050.



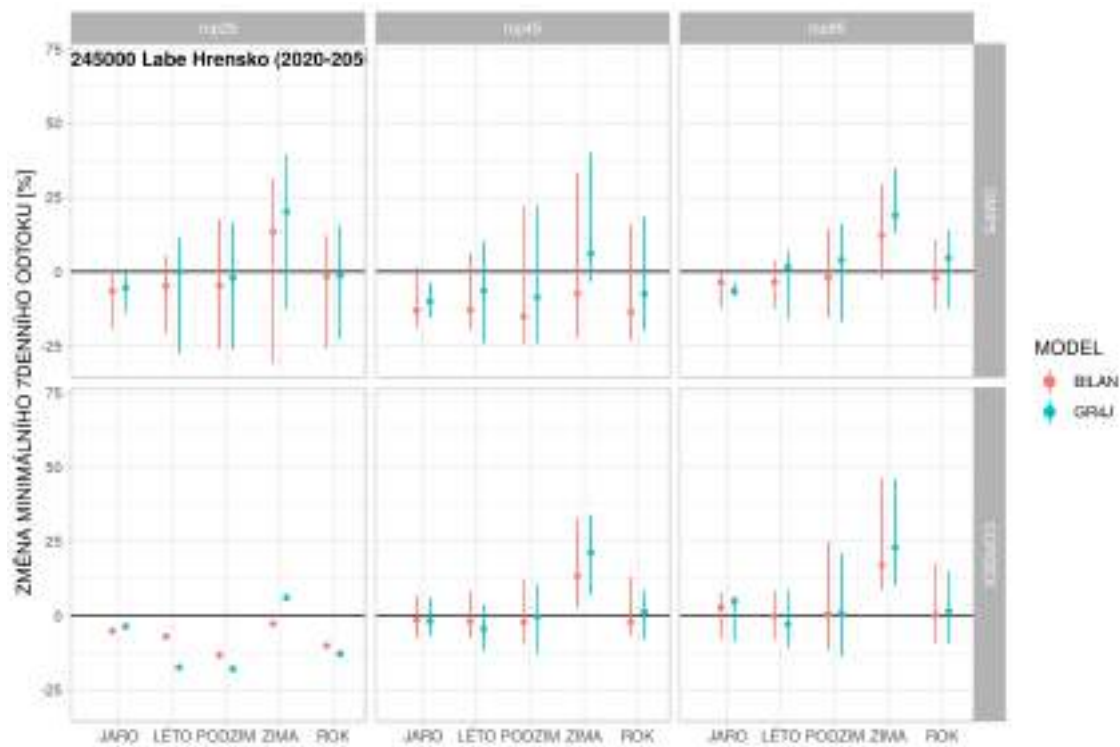
Obrázek 242: Změny minimálních 7-denních průtoků v povodí Bílina-Trmice pro období 2020–2050.



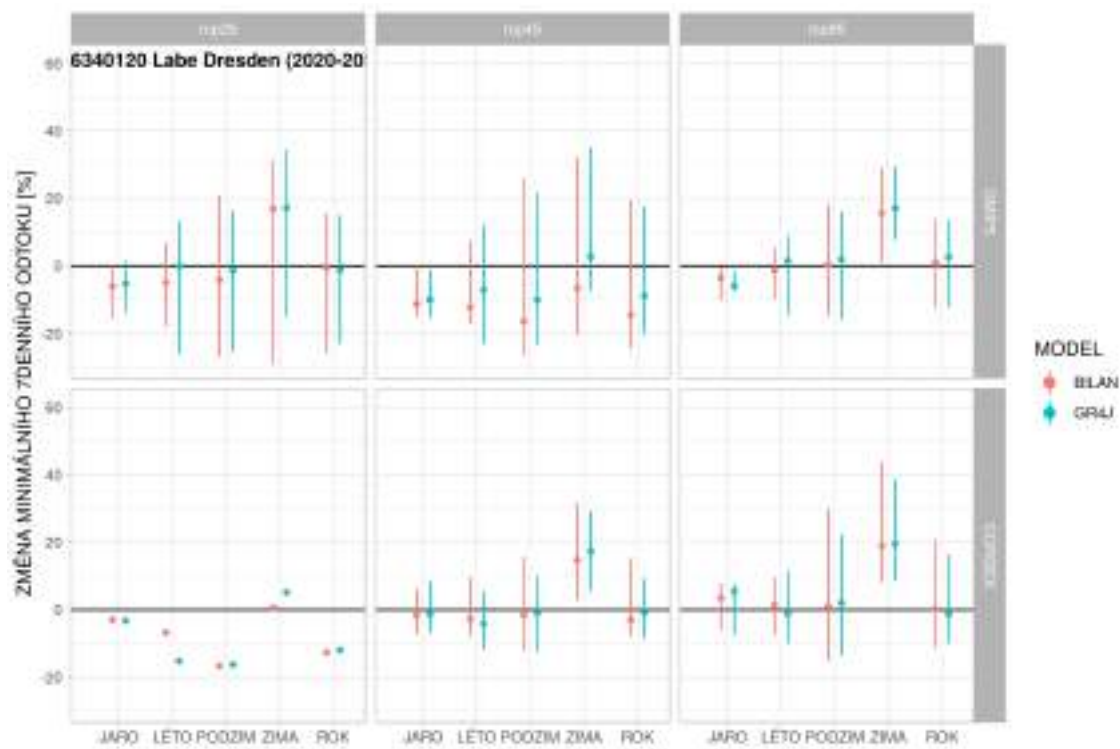
Obrázek 243: Změny minimálních 7-denních průtoků v povodí Labe-Děčín pro období 2020–2050.



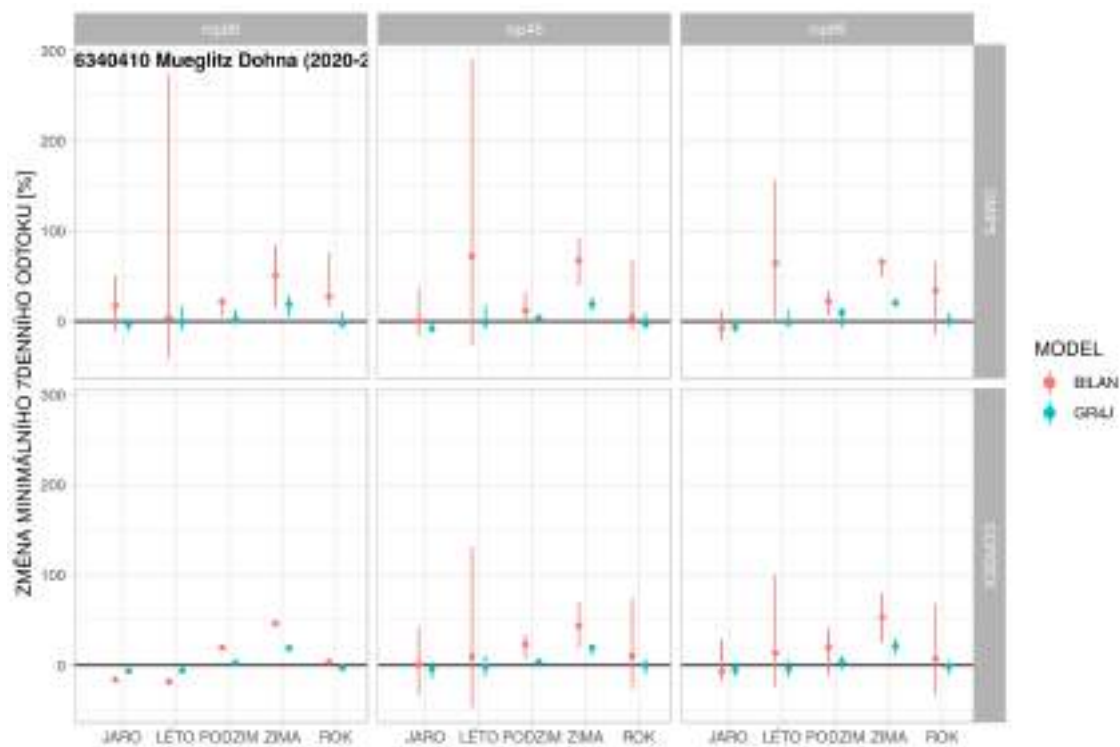
Obrázek 244: Změny minimálních 7-denních průtoků v povodí Kamenice-Hřensko pro období 2020–2050.



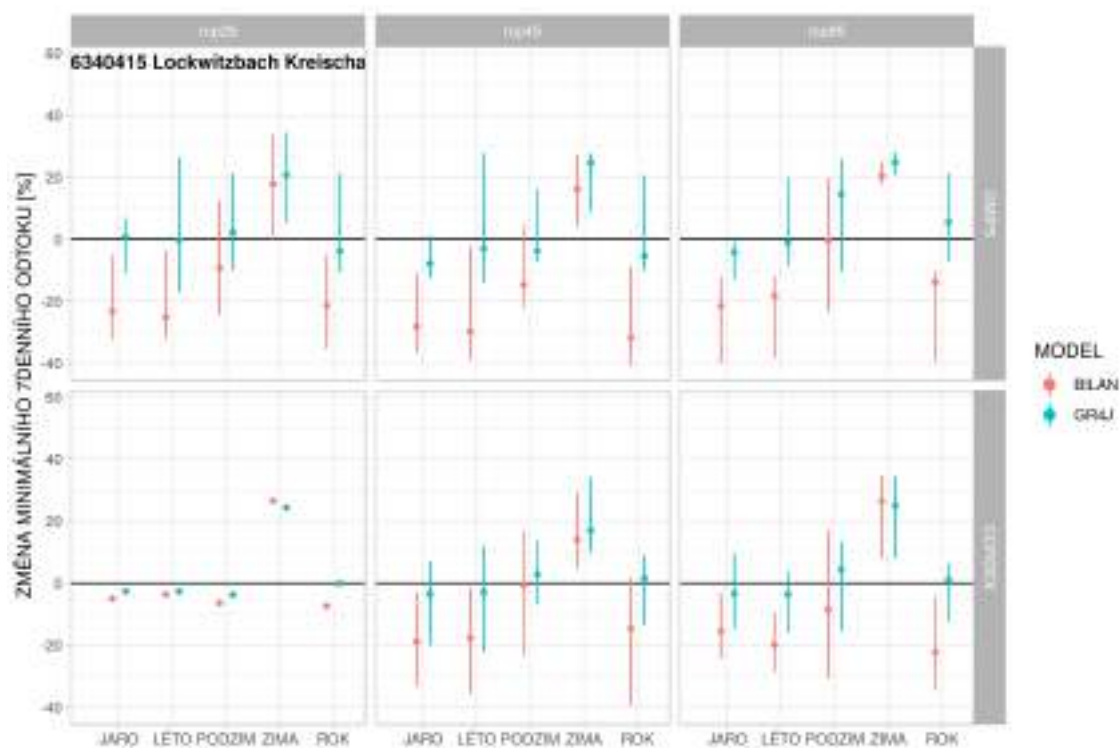
Obrázek 245: Změny minimálních 7-denních průtoků v povodí Labe-Hřensko pro období 2020–2050.



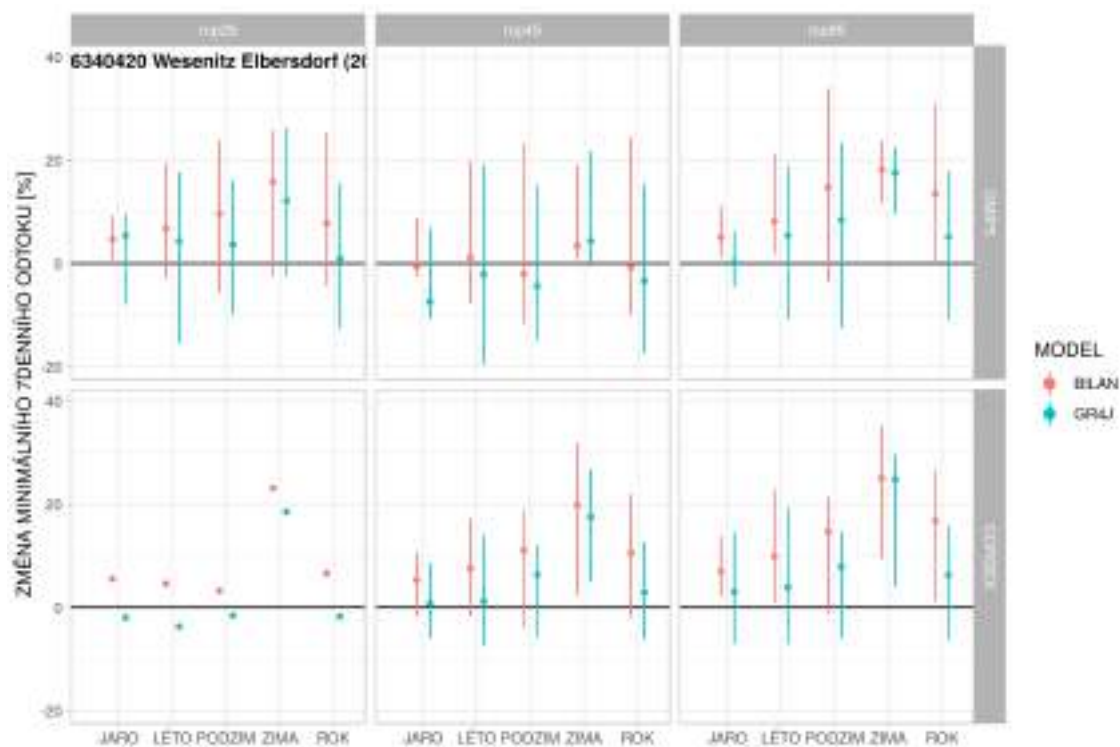
Obrázek 246: Změny minimálních 7-denních průtoků v povodí Labe-Dresden pro období 2020–2050.



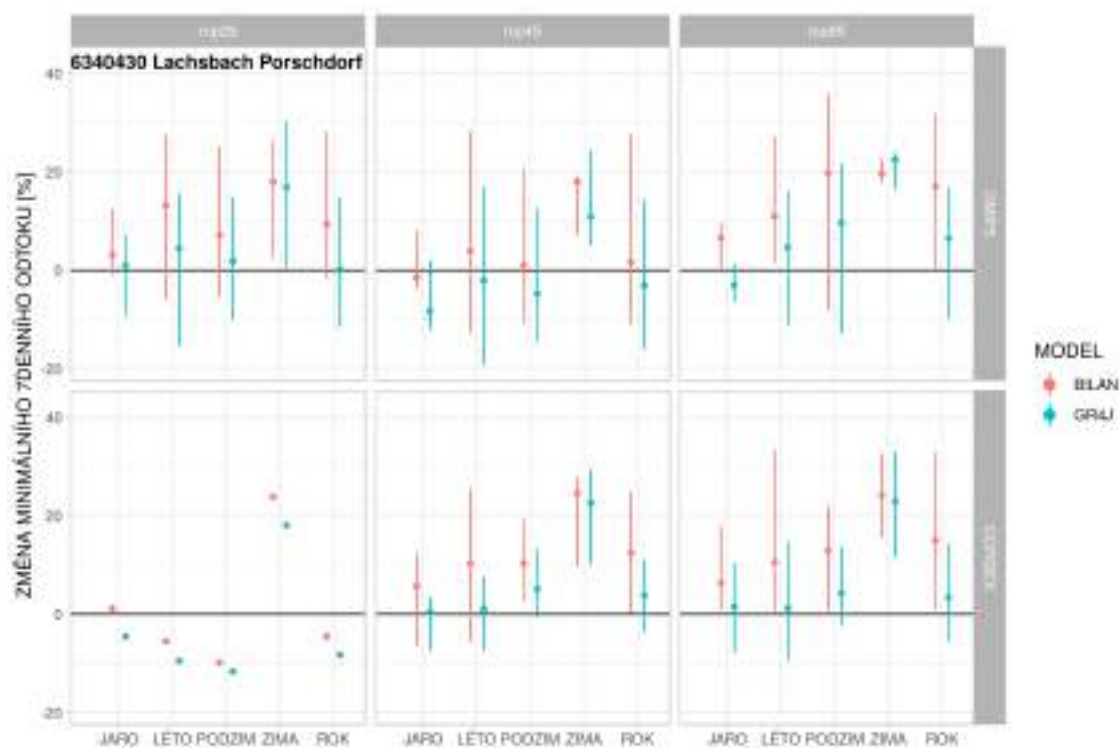
Obrázek 247: Změny minimálních 7-denních průtoků v povodí Mueglitz-Dohna pro období 2020–2050.



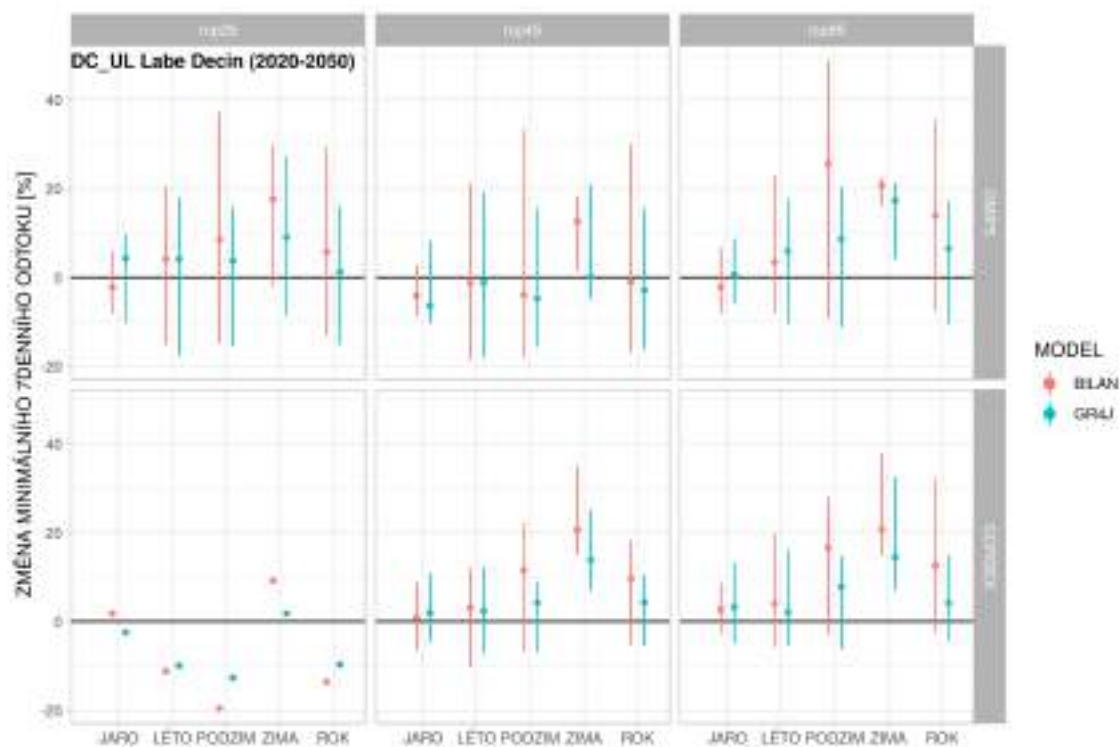
Obrázek 248: Změny minimálních 7-denních průtoků v povodí Lockwitzbach-Kreischa pro období 2020–2050.



Obrázek 249: Změny minimálních 7-denních průtoků v povodí Wesenitz-Elbersdorf pro období 2020–2050.

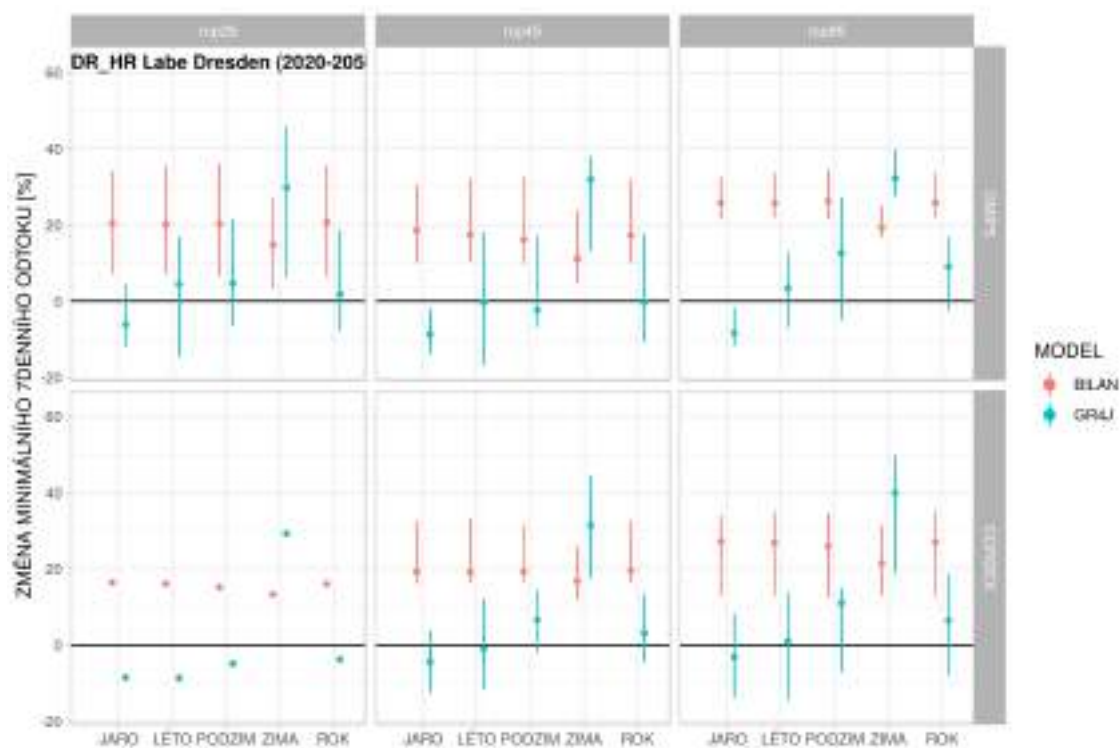


Obrázek 250: Změny minimálních 7-denních průtoků v povodí Lachsbach-Porschdorf pro období 2020–2050.

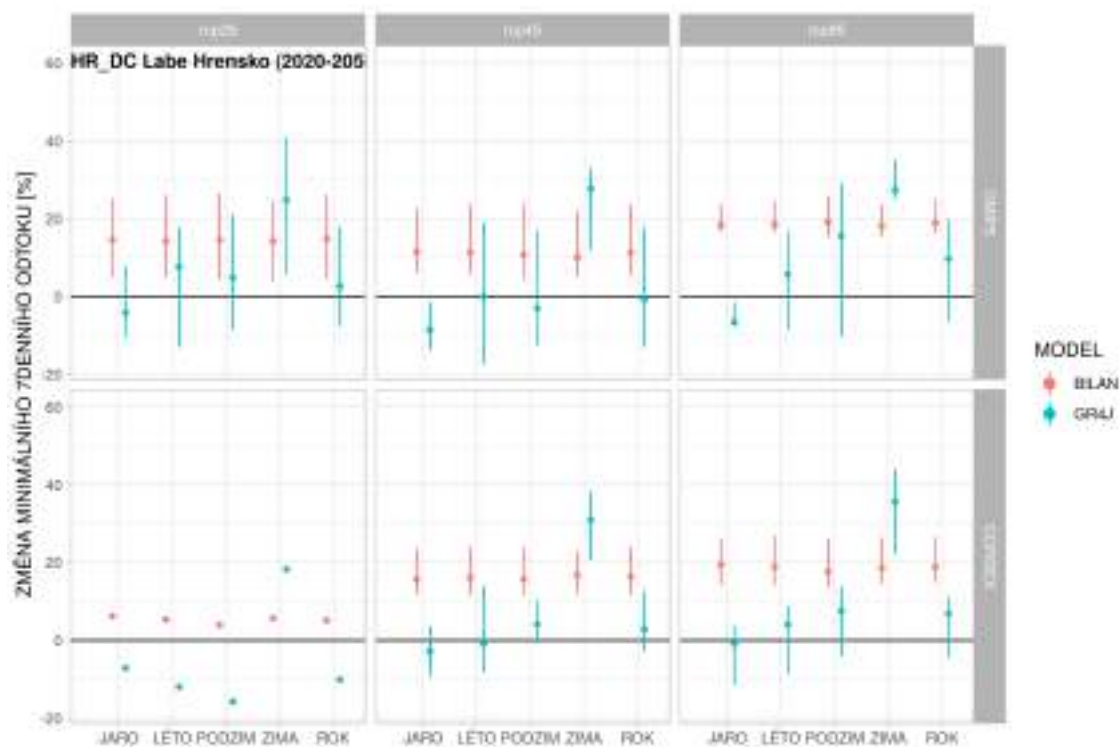


Obrázek 251: Změny minimálních 7-denních průtoků v povodí Labe-Děčín-Ústí mezipovodí pro období 2020–2050.



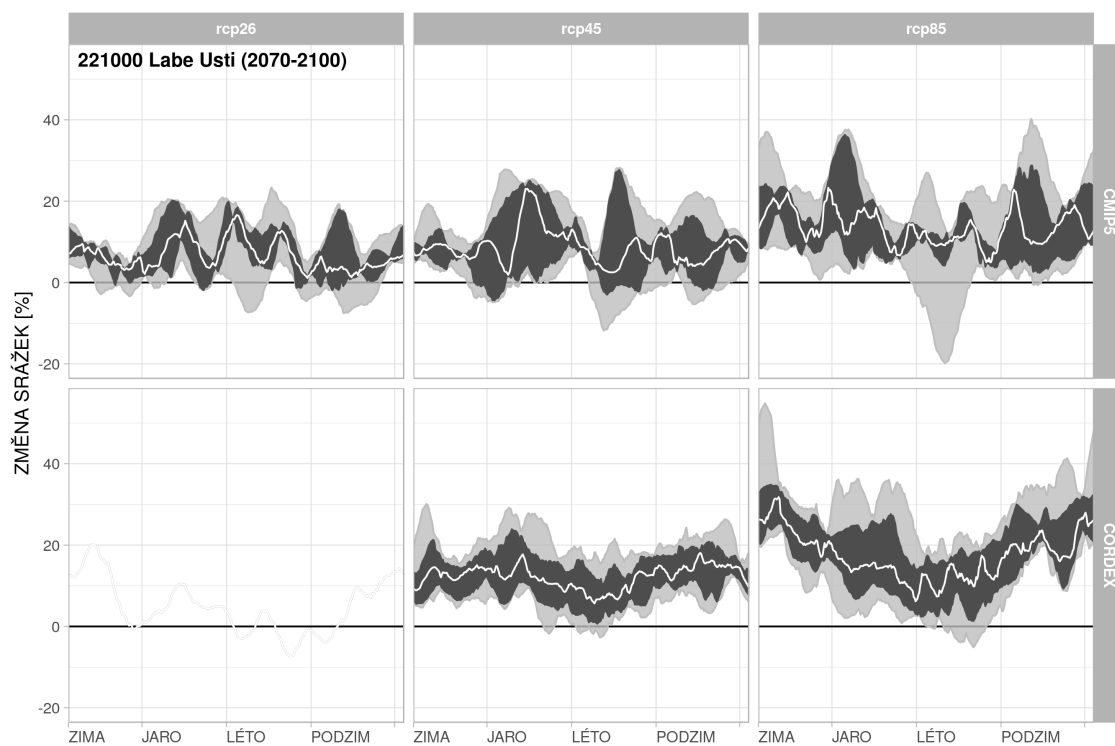


Obrázek 252: Změny minimálních 7-denních průtoků v povodí Labe-Dresden-Hřensko mezipovodí pro období 2020–2050.

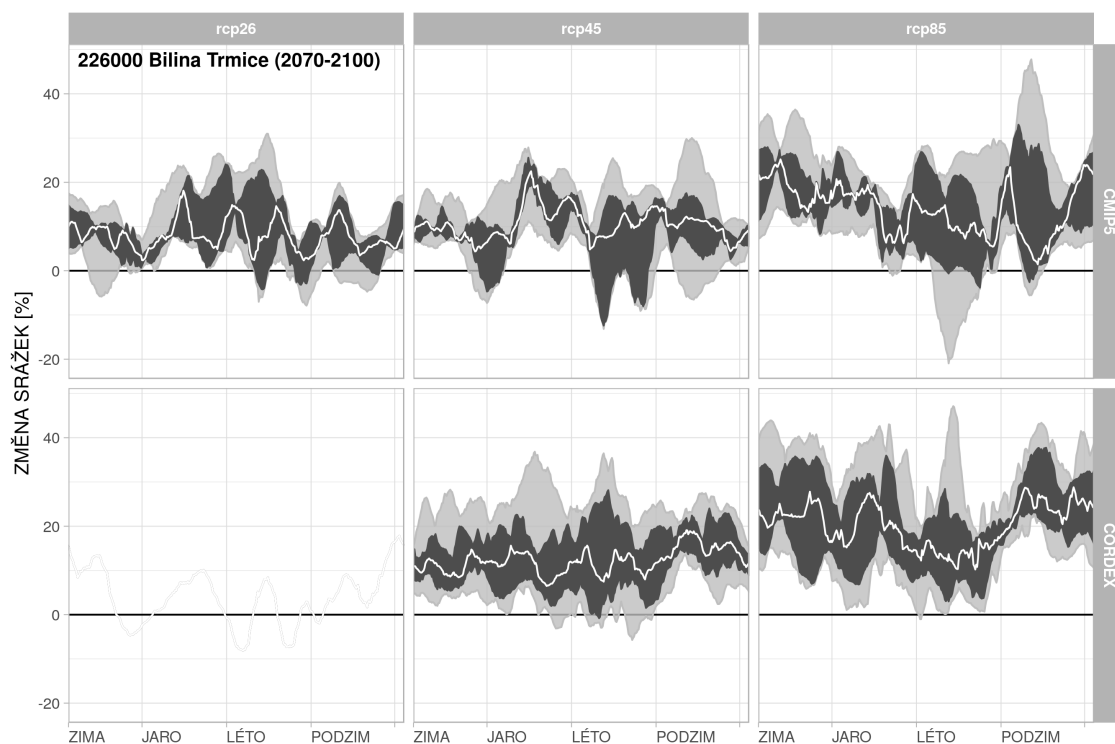


Obrázek 253: Změny minimálních 7-denních průtoků v povodí Labe-Hřensko-Dečín mezipovodí pro období 2020–2050.

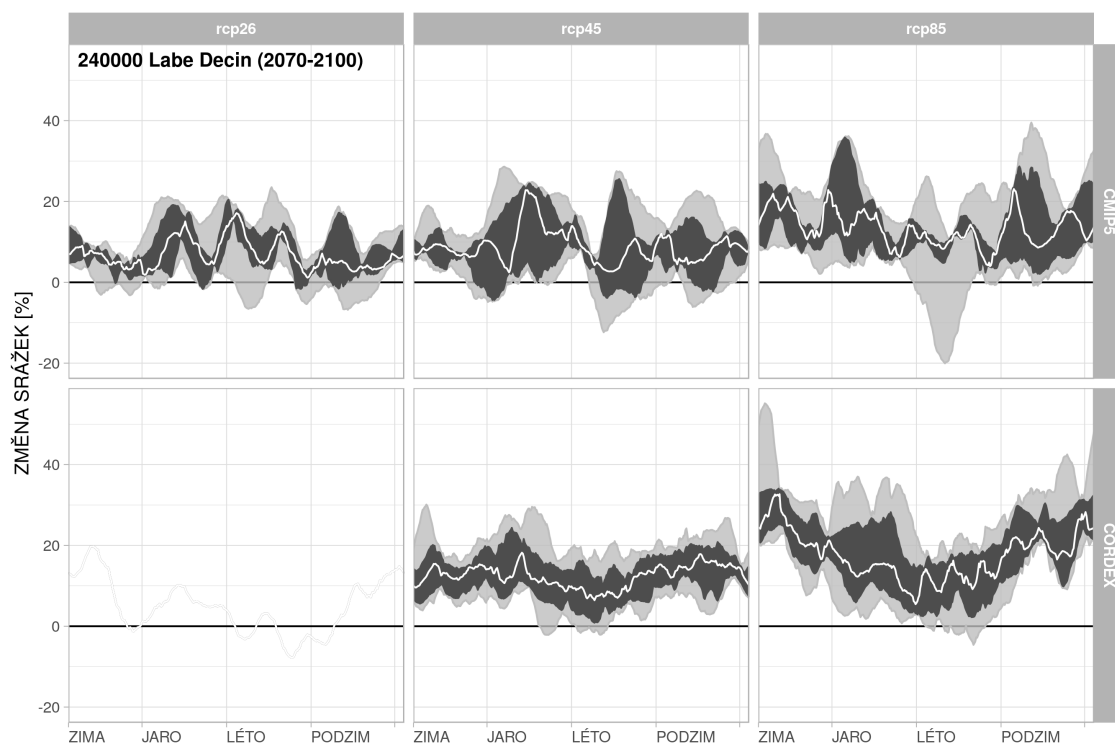
## 6.4 Přílohy - změny meteorologických veličin



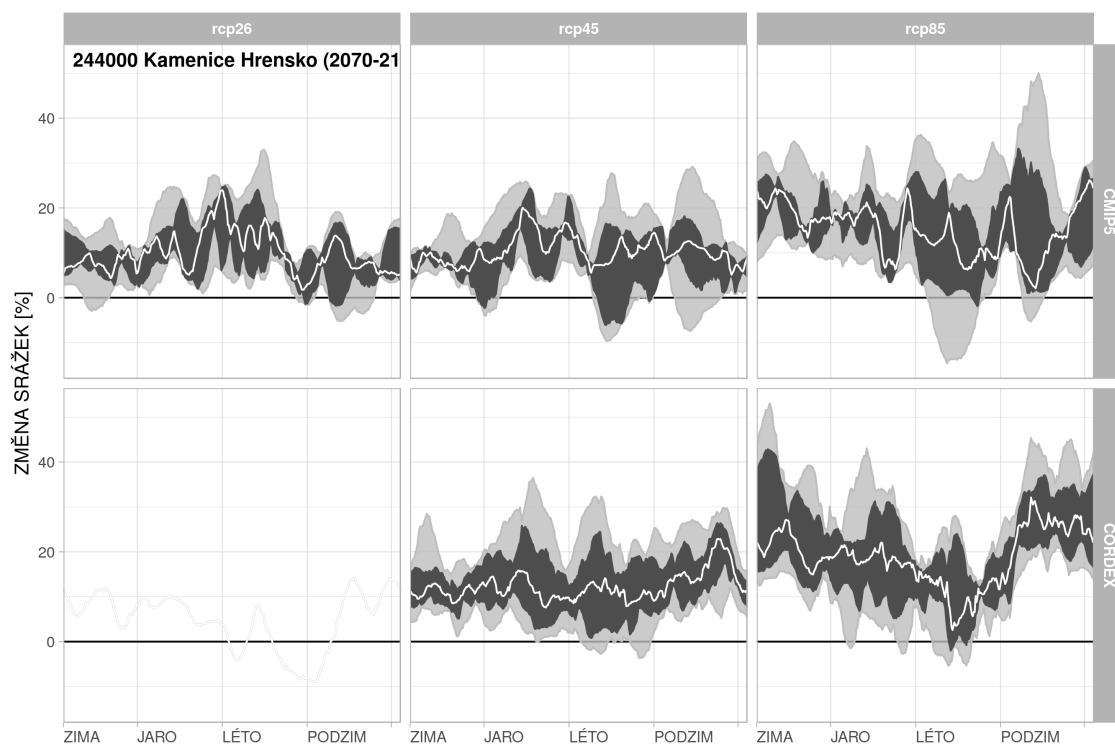
Obrázek 254: Změny srážek v povodí Labe-Ústí pro období 2070–2100.



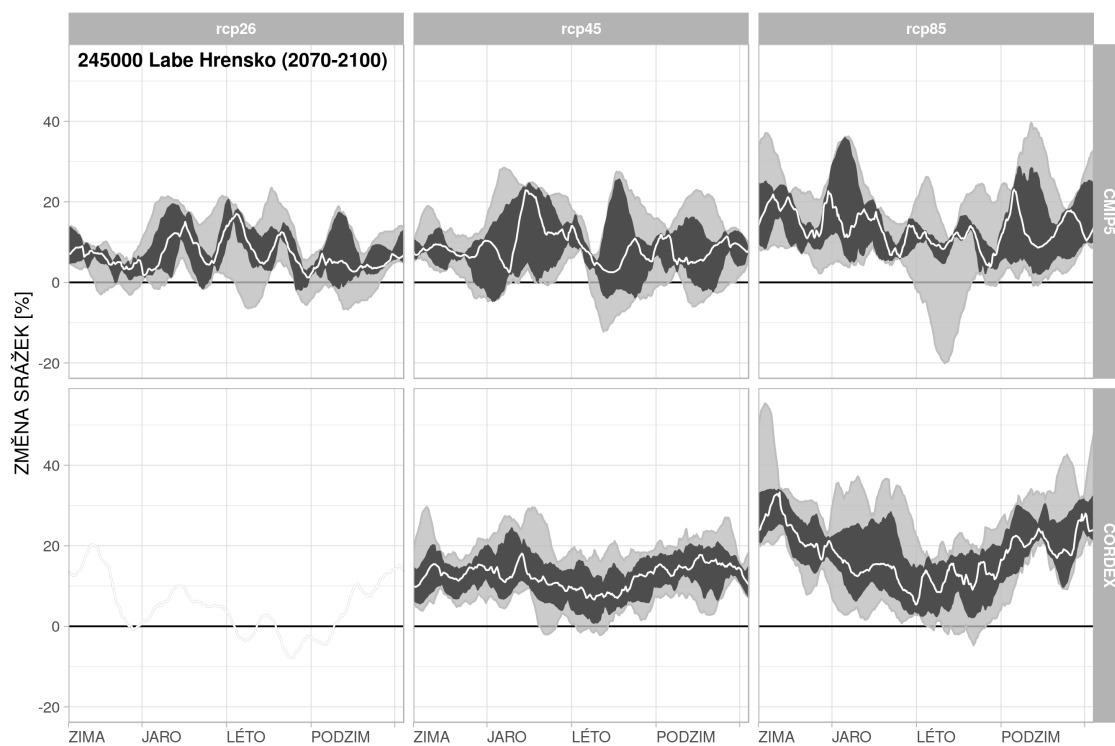
Obrázek 255: Změny srážek v povodí Bílina-Trmice pro období 2070–2100.



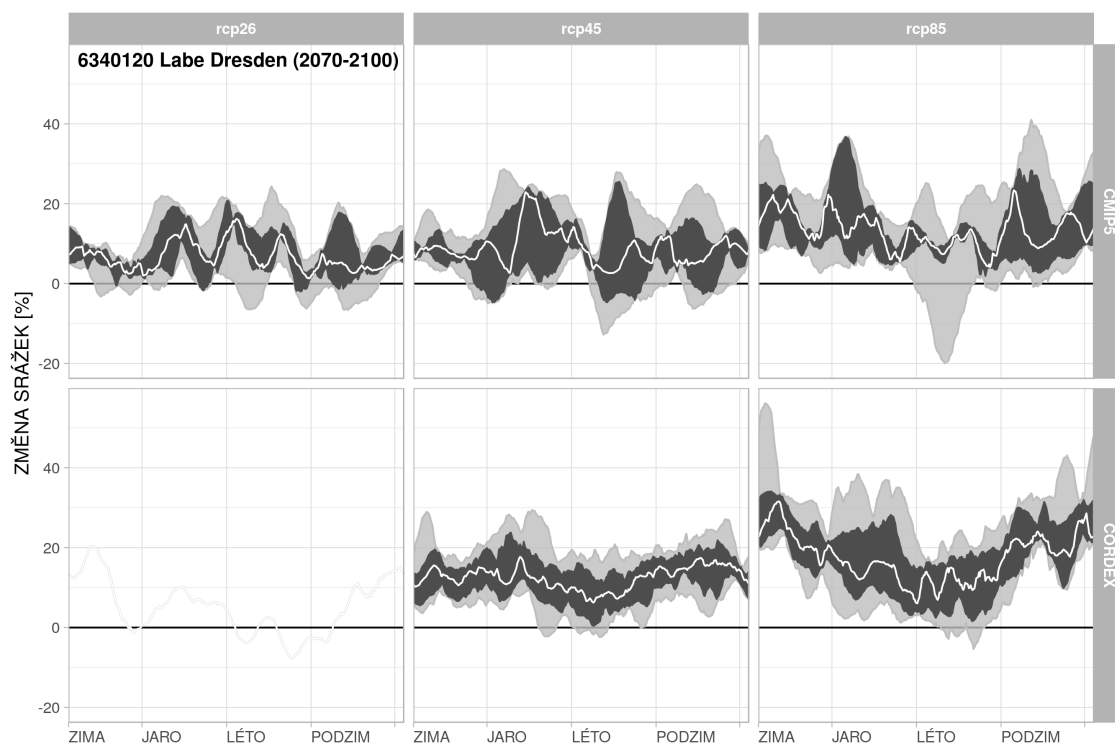
Obrázek 256: Změny srážek v povodí Labe-Děčín pro období 2070–2100.



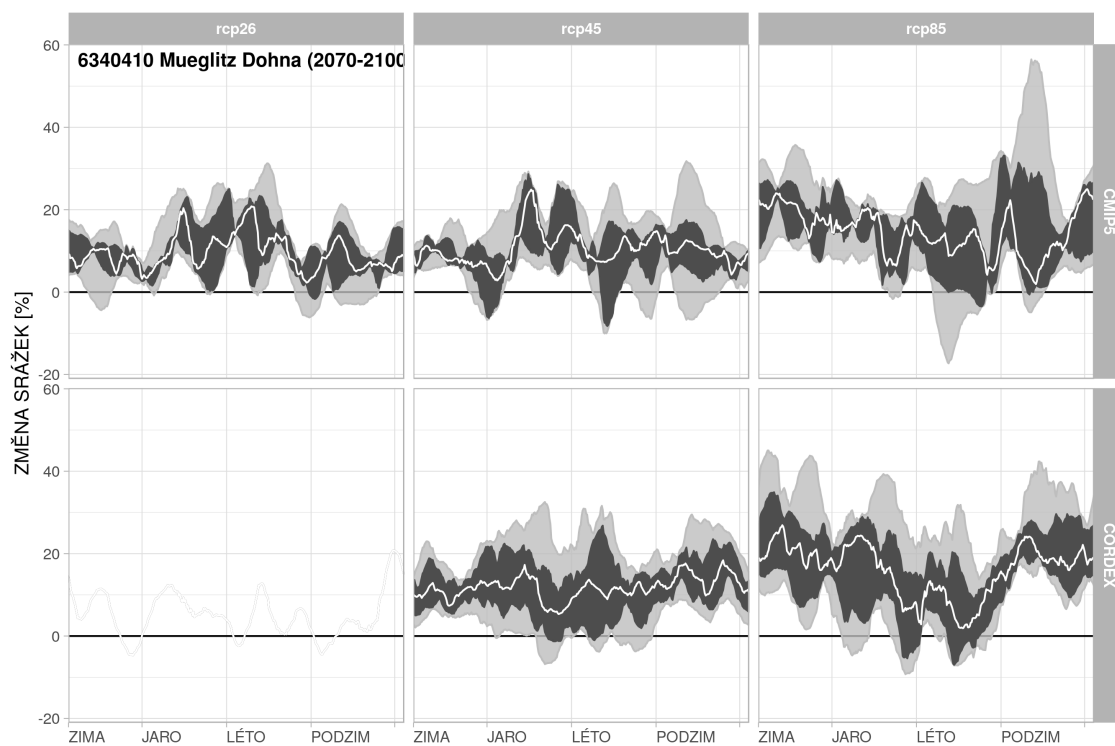
Obrázek 257: Změny srážek v povodí Kamenice-Hřensko pro období 2070–2100.



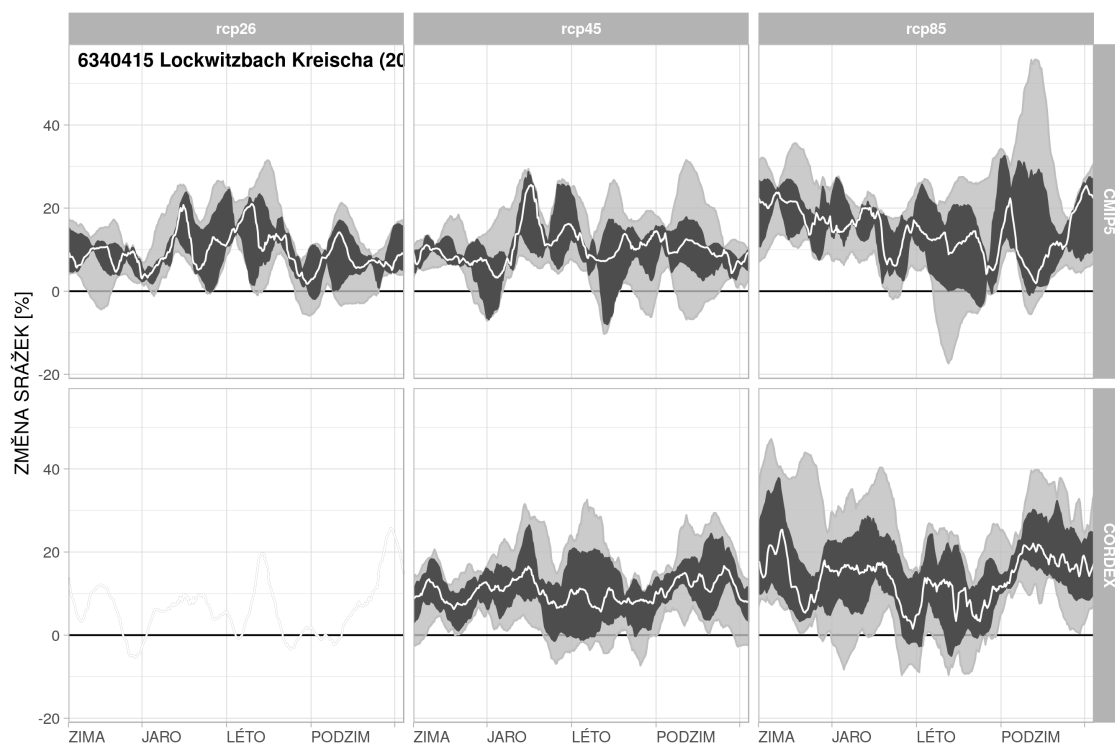
Obrázek 258: Změny srážek v povodí Labe-Hřensko pro období 2070–2100.



Obrázek 259: Změny srážek v povodí Labe-Dresden pro období 2070–2100.

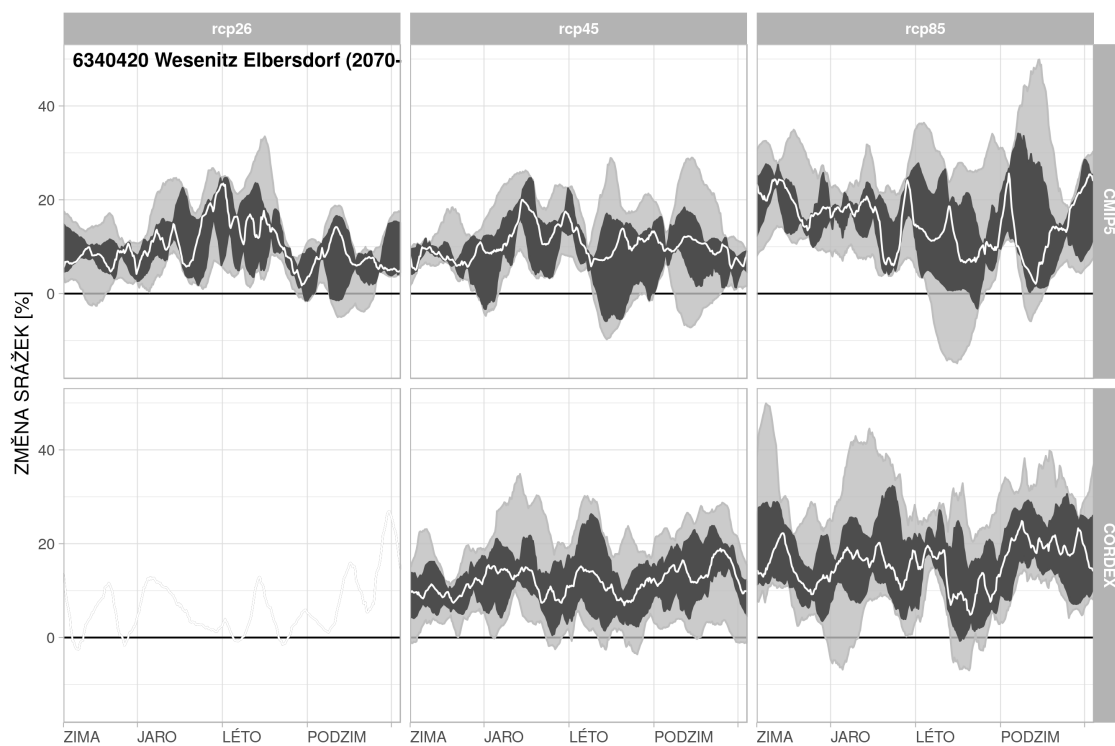


Obrázek 260: Změny srážek v povodí Mueglitz-Dohna pro období 2070–2100.

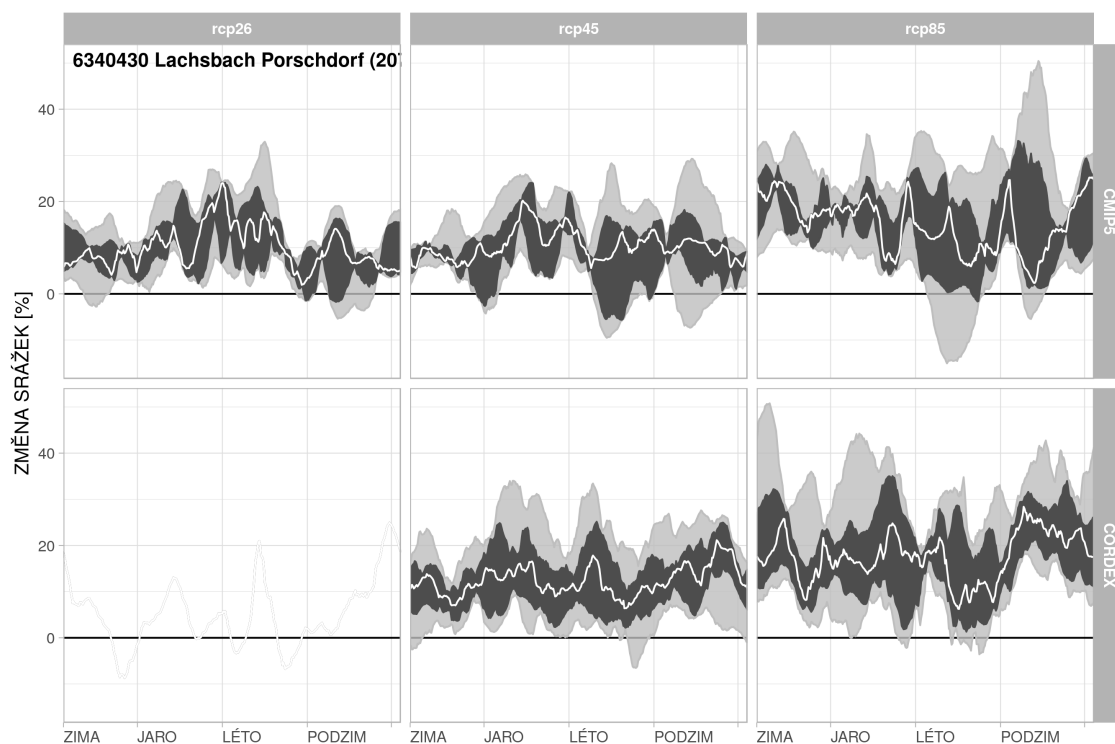


Obrázek 261: Změny srážek v povodí Lockwitzbach-Kreischa pro období 2070–2100.

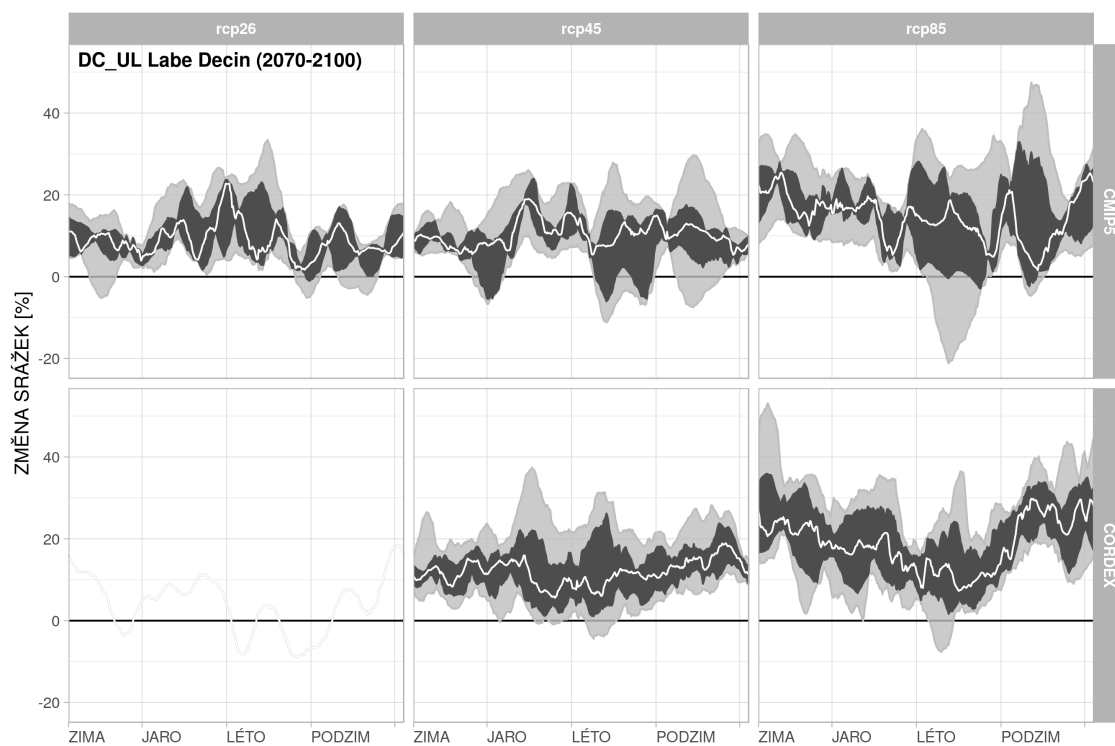




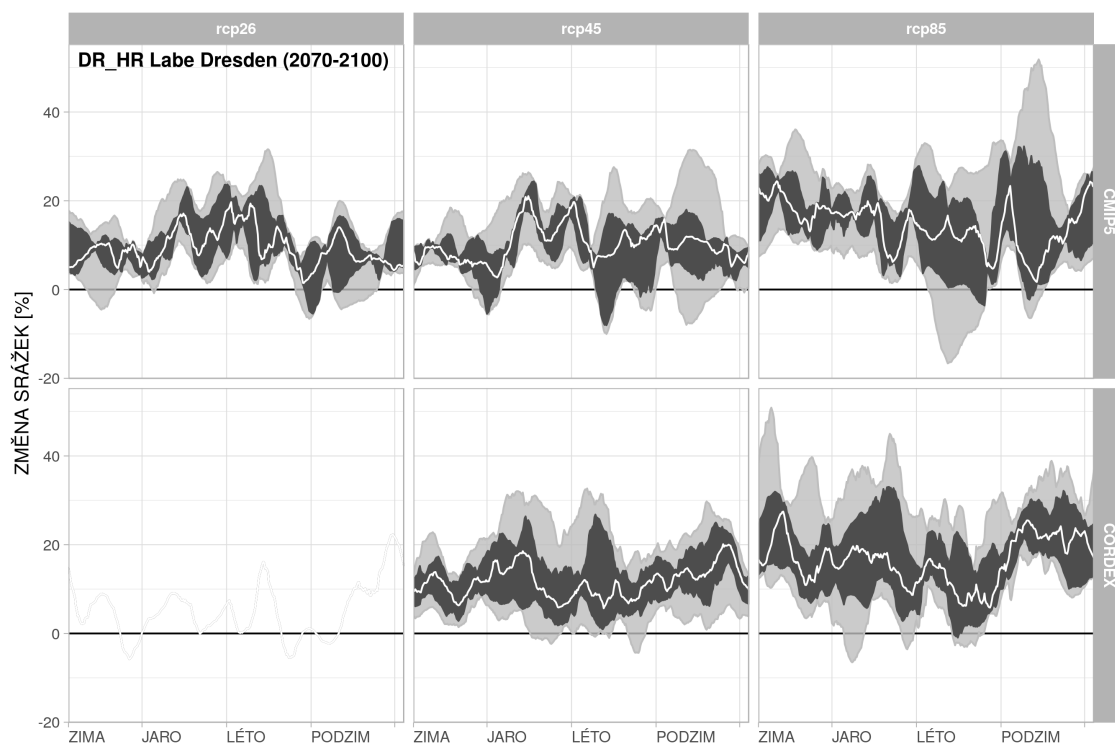
Obrázek 262: Změny srážek v povodí Wesenitz-Elbersdorf pro období 2070–2100.



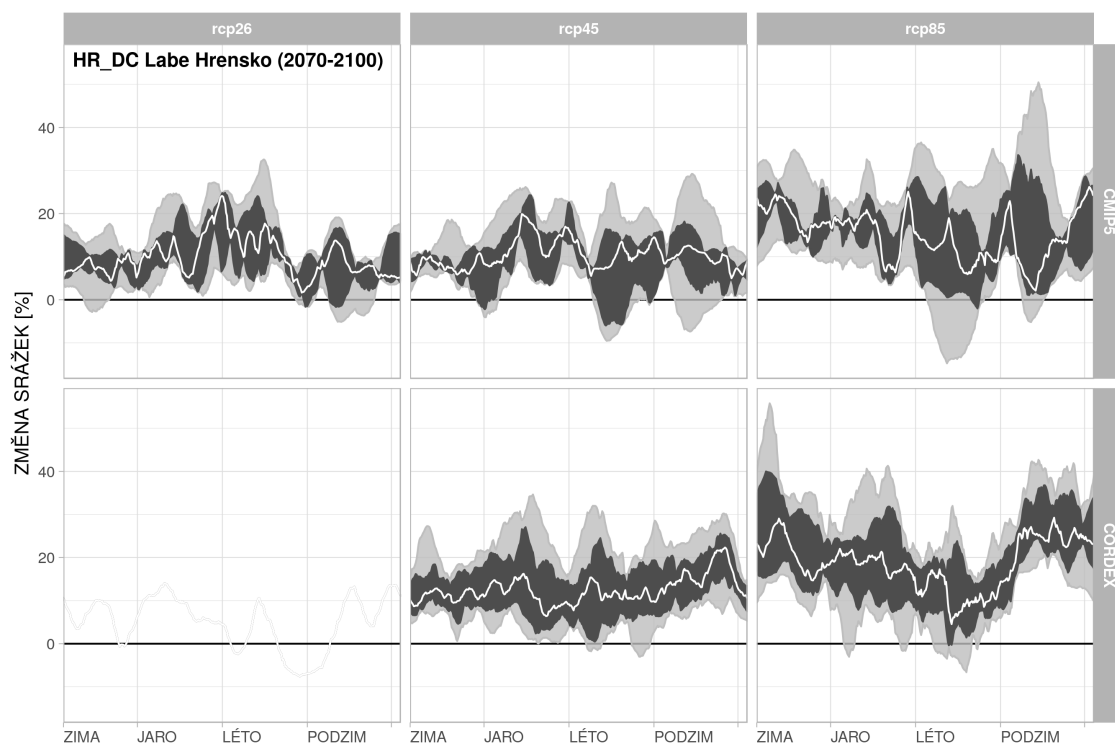
Obrázek 263: Změny srážek v povodí Lachsbach-Porschdorf pro období 2070–2100.



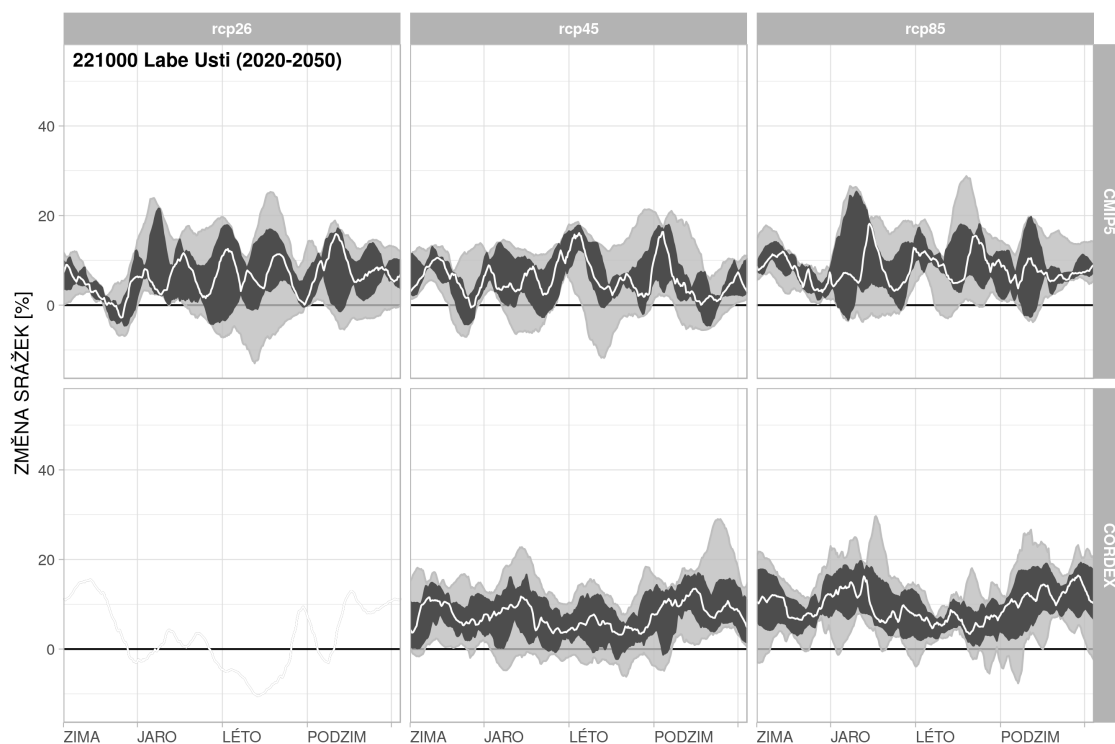
Obrázek 264: Změny srážek v povodí Labe-Děčín-Ústí mezipovodí pro období 2070–2100.



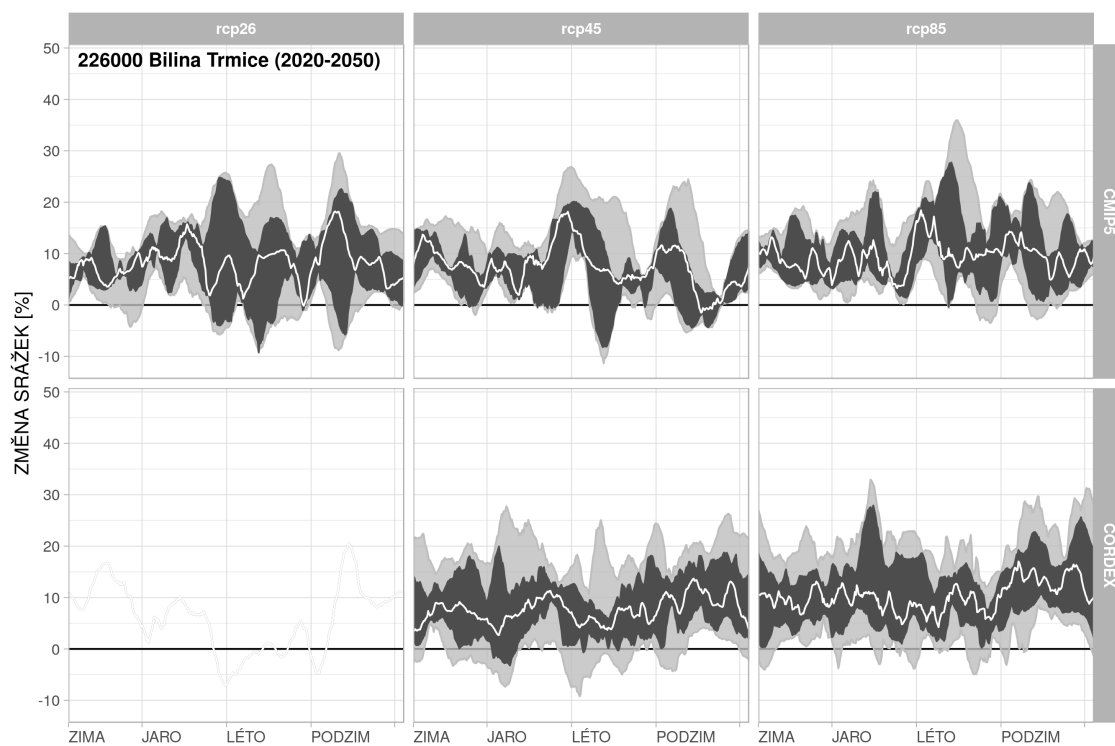
Obrázek 265: Změny srážek v povodí Labe-Dresden-Hřensko mezipovodí pro období 2070–2100.



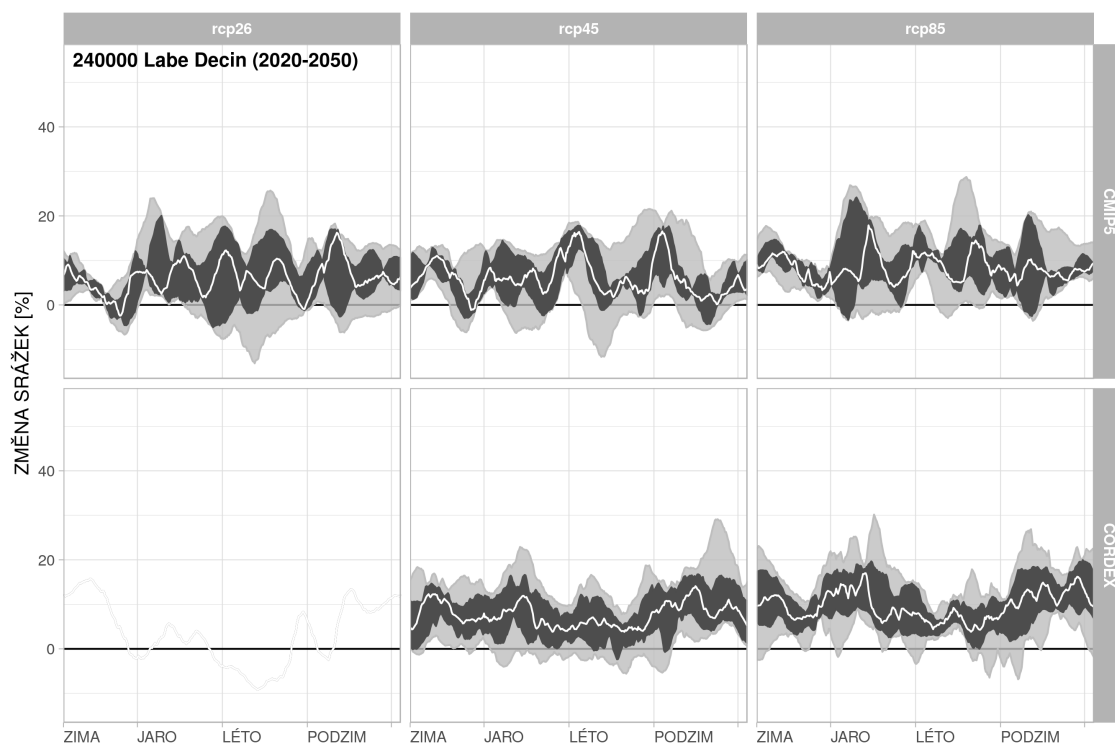
Obrázek 266: Změny srážek v povodí Labe-Hřensko-Dečín mezipovodí pro období 2070–2100.



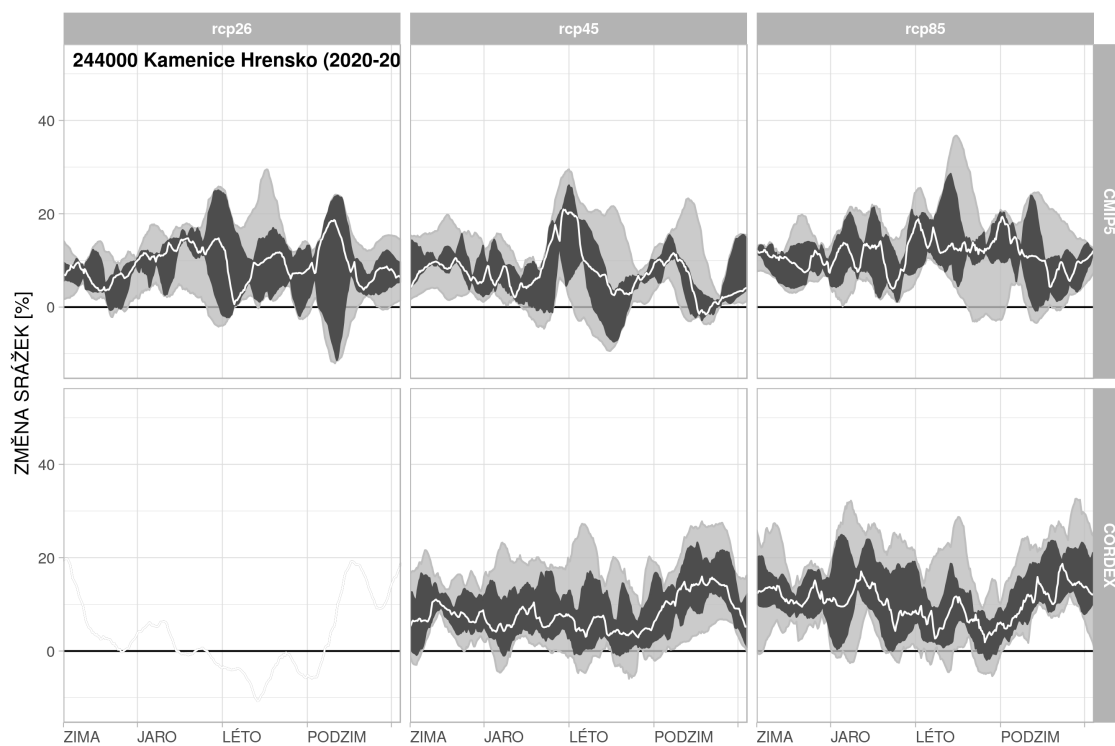
Obrázek 267: Změny srážek v povodí Labe-Ústí pro období 2020–2050.



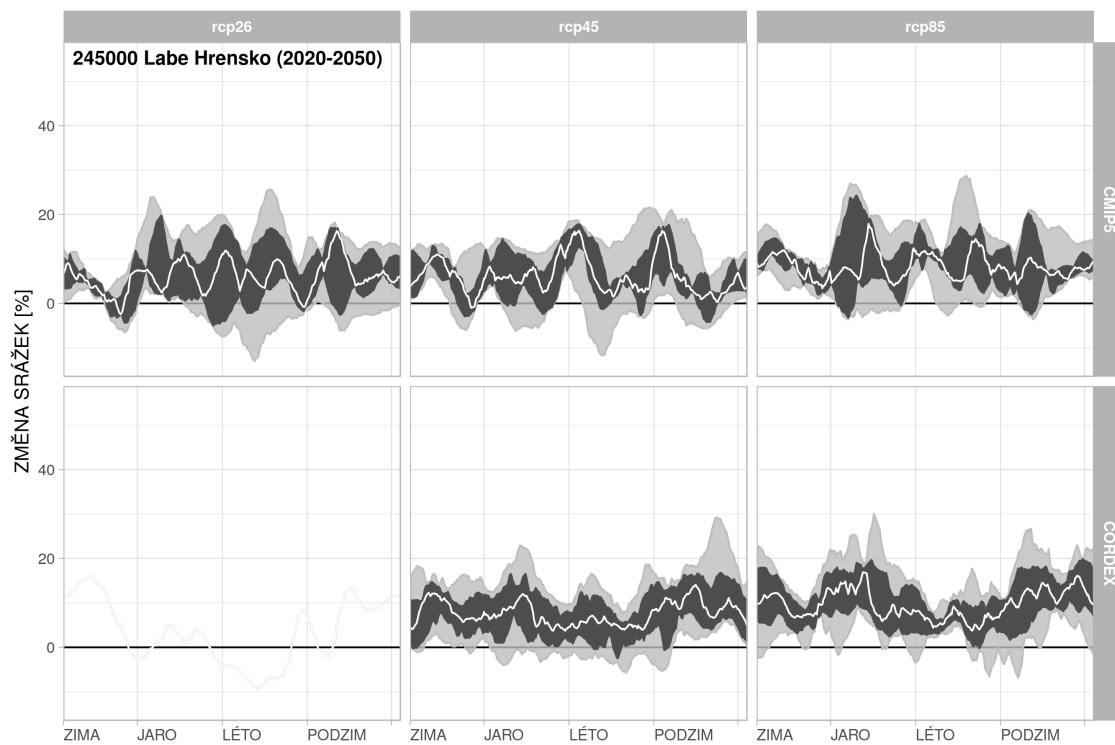
Obrázek 268: Změny srážek v povodí Bílina-Trmice pro období 2020–2050.



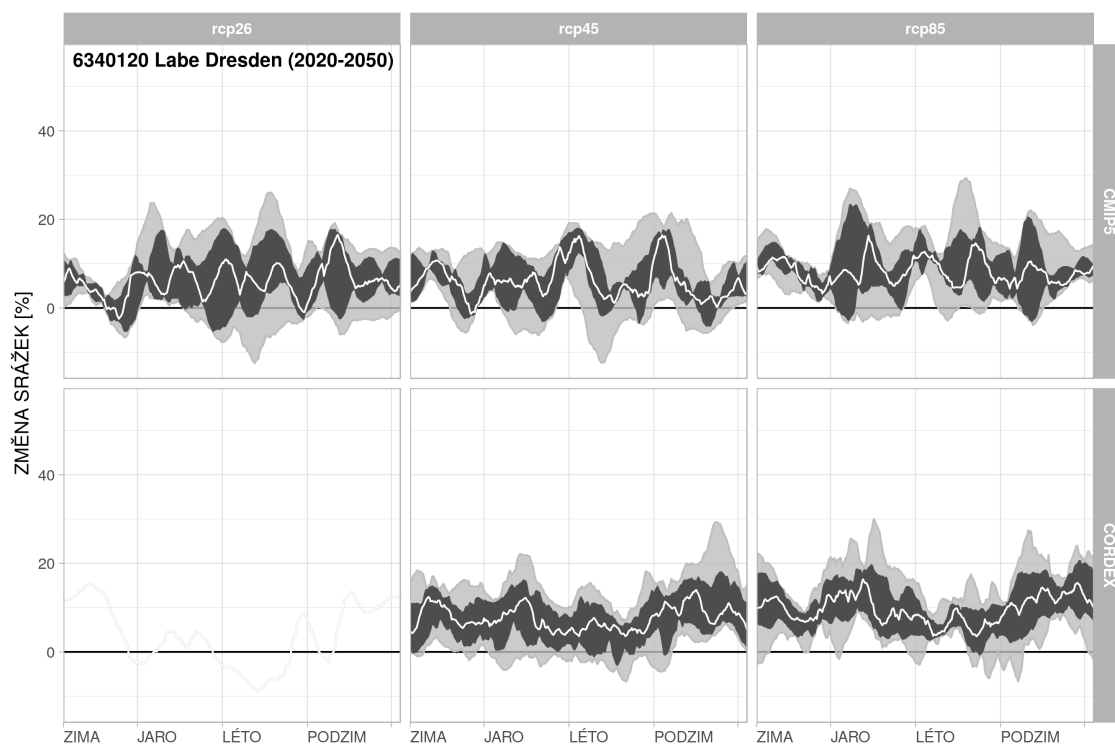
Obrázek 269: Změny srážek v povodí Labe-Děčín pro období 2020–2050.



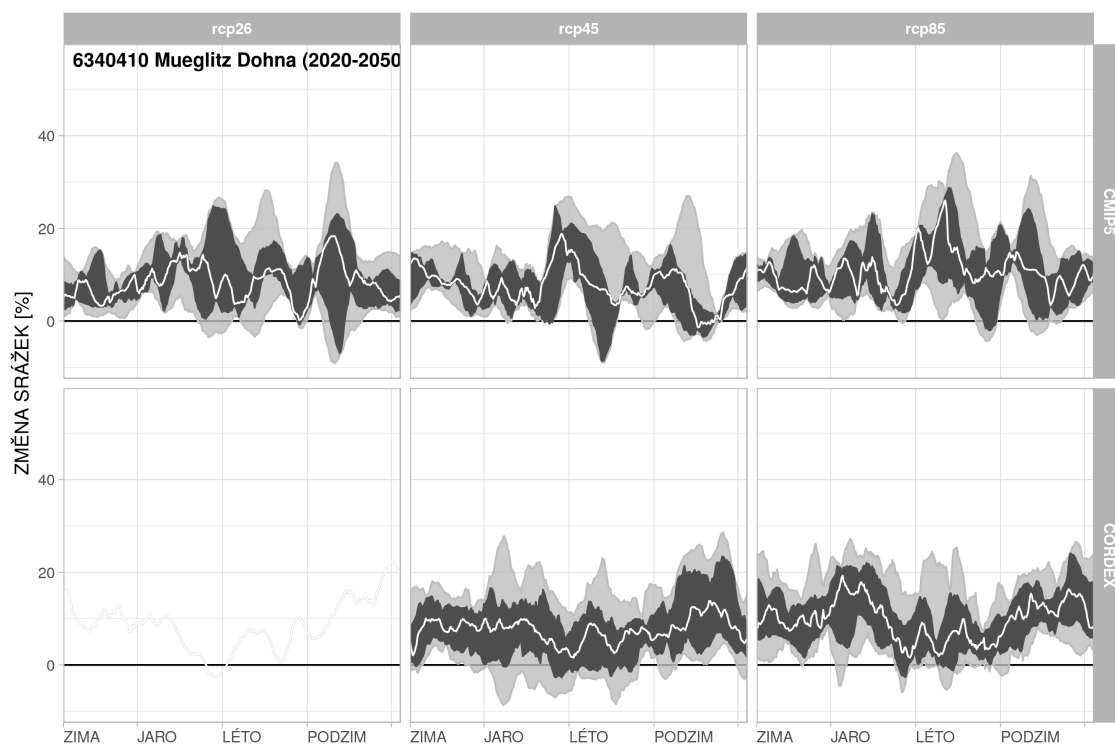
Obrázek 270: Změny srážek v povodí Kamenice-Hřensko pro období 2020–2050.



Obrázek 271: Změny srážek v povodí Labe-Hřensko pro období 2020–2050.

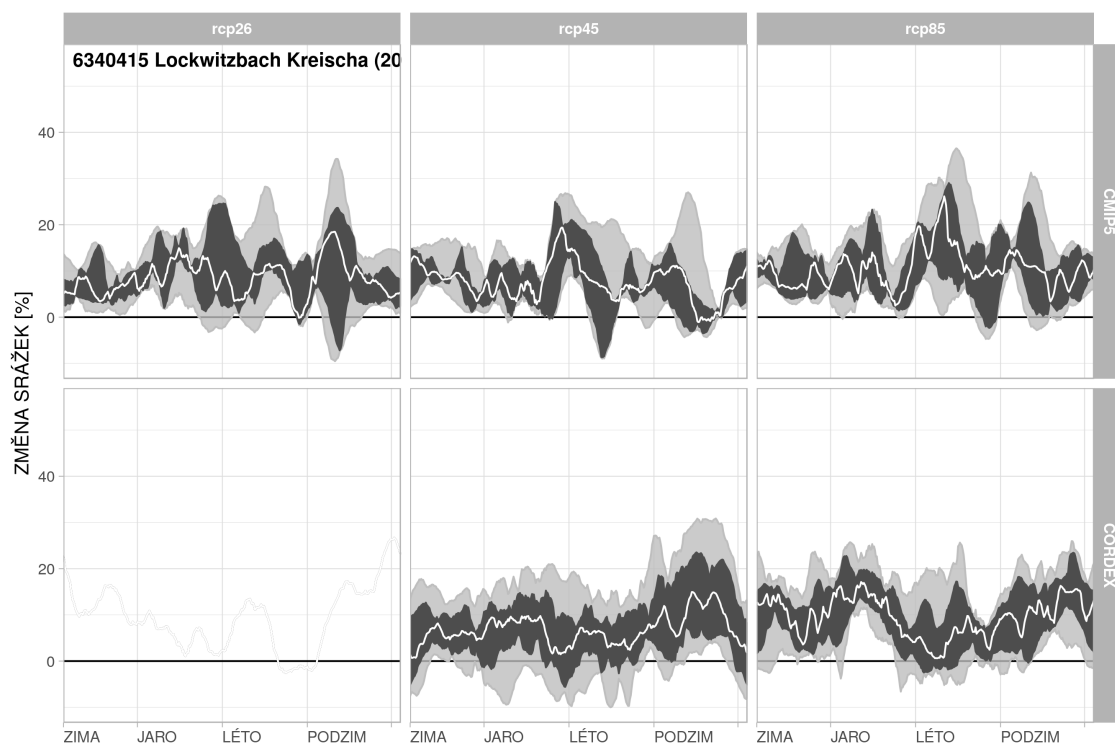


Obrázek 272: Změny srážek v povodí Labe-Dresden pro období 2020–2050.

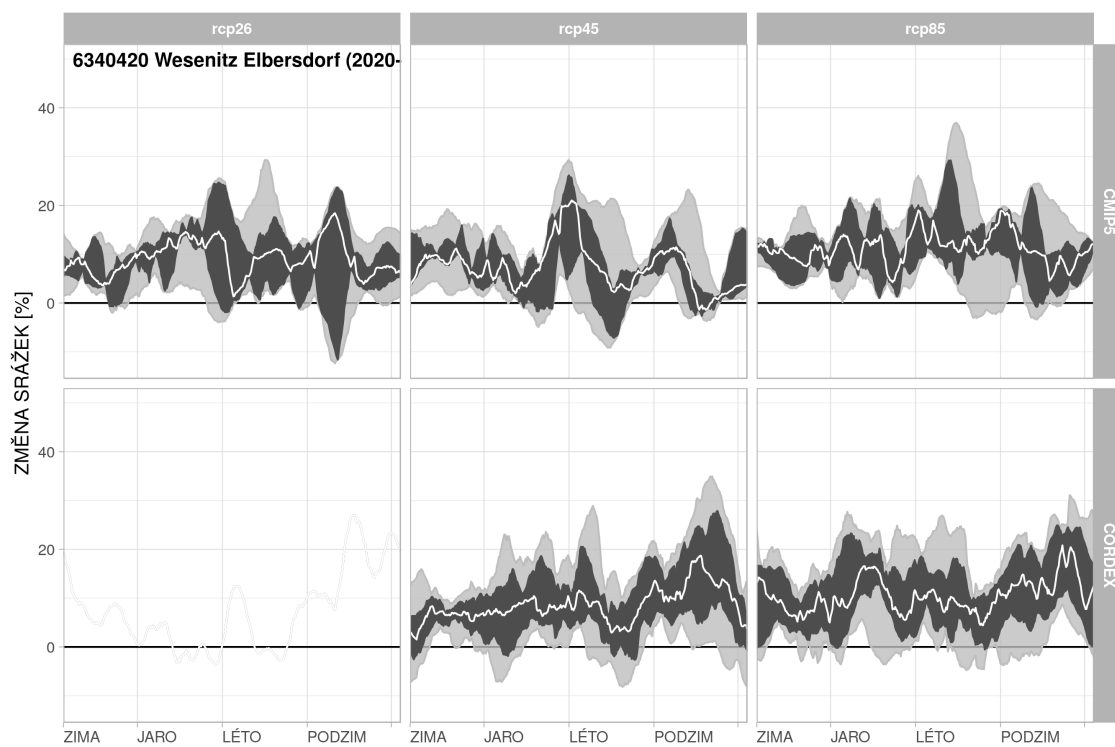


Obrázek 273: Změny srážek v povodí Mueglitz-Dohna pro období 2020–2050.

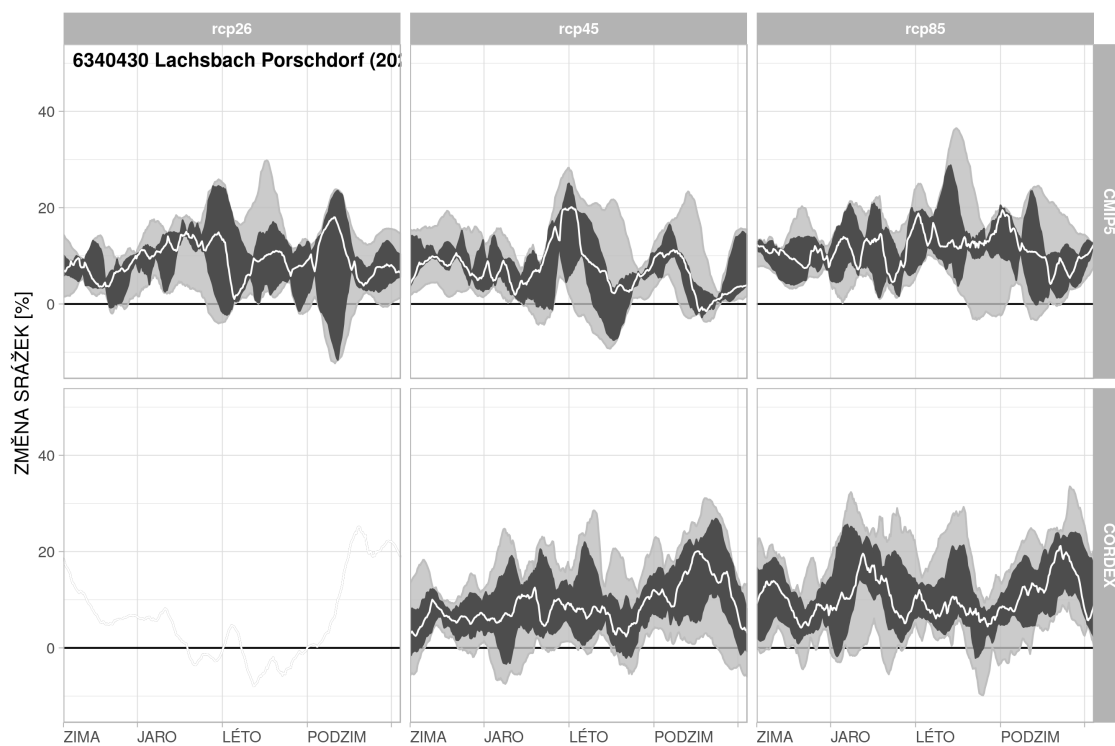




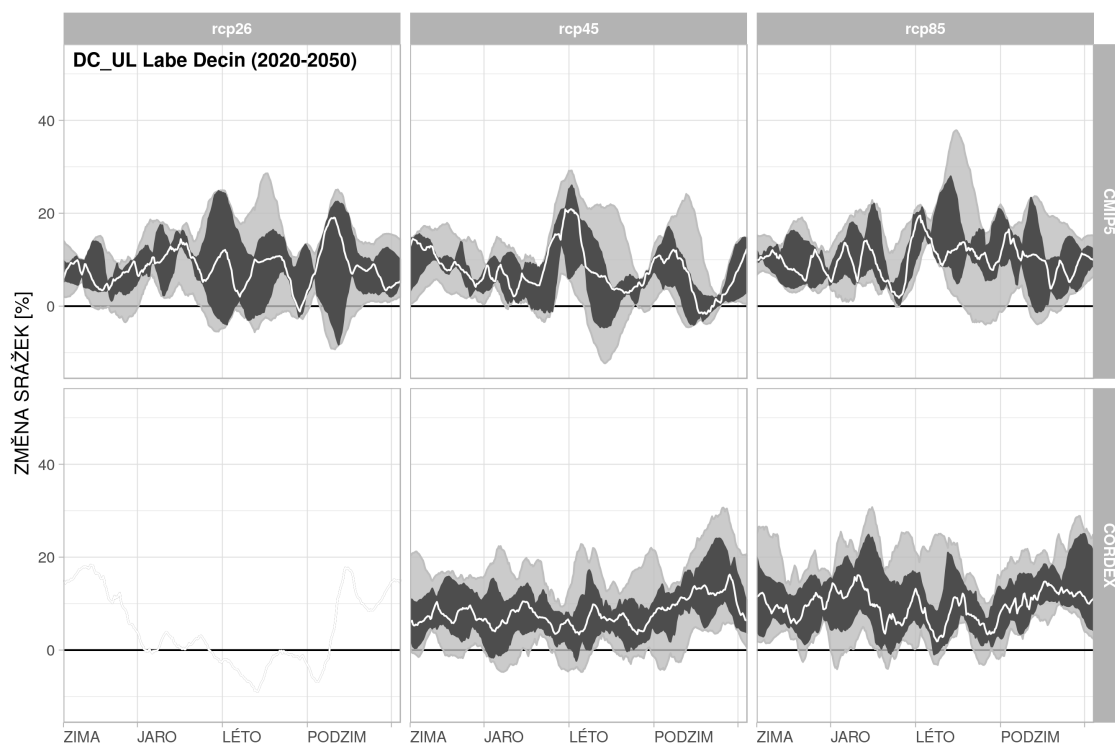
Obrázek 274: Změny srážek v povodí Lockwitzbach-Kreischa pro období 2020–2050.



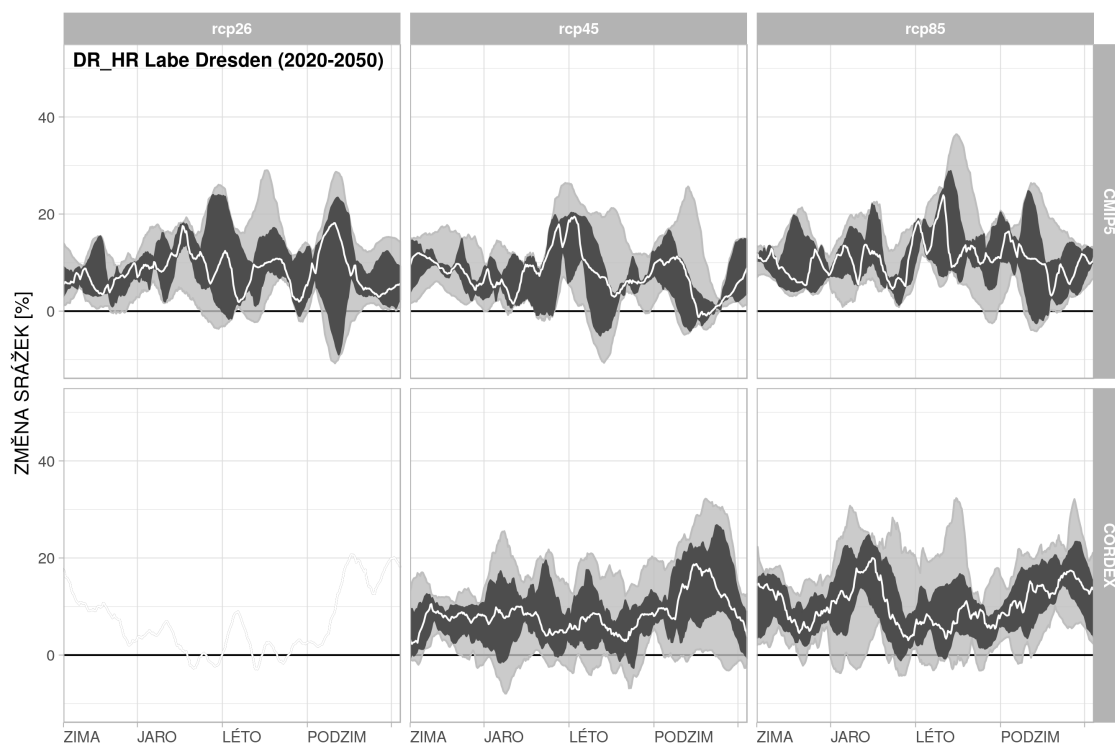
Obrázek 275: Změny srážek v povodí Wesenitz-Elbersdorf pro období 2020–2050.



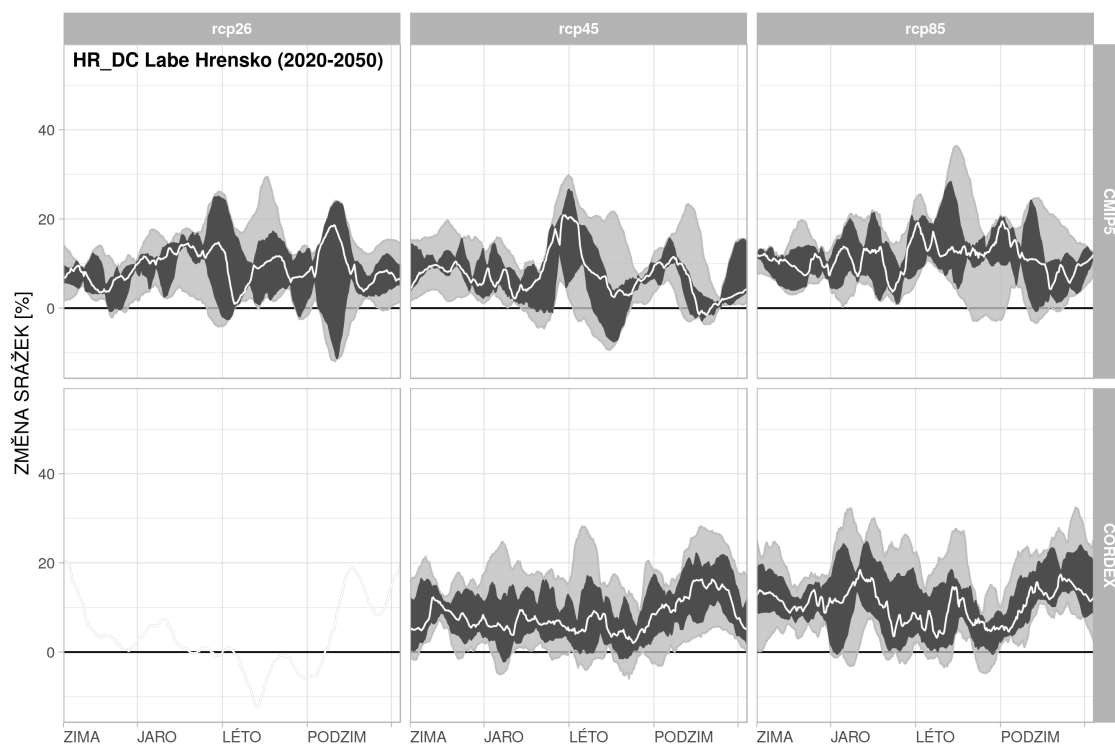
Obrázek 276: Změny srážek v povodí Lachsbach-Porschdorf pro období 2020–2050.



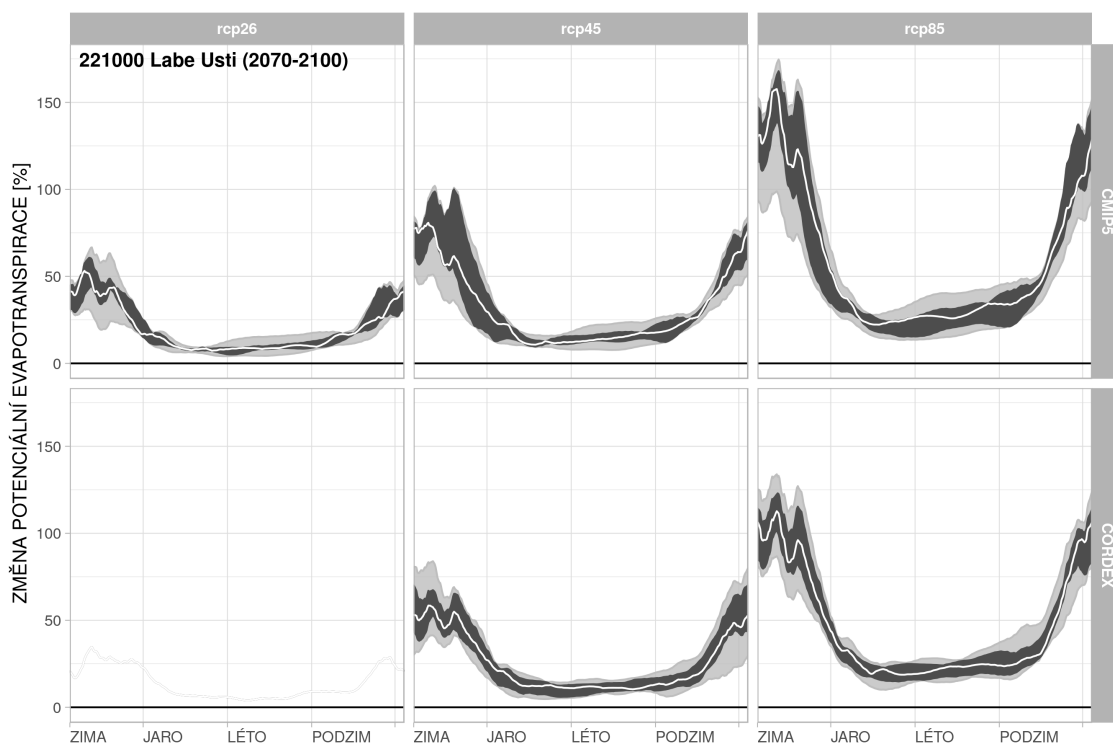
Obrázek 277: Změny srážek v povodí Labe-Děčín-Ústí mezipovodí pro období 2020–2050.



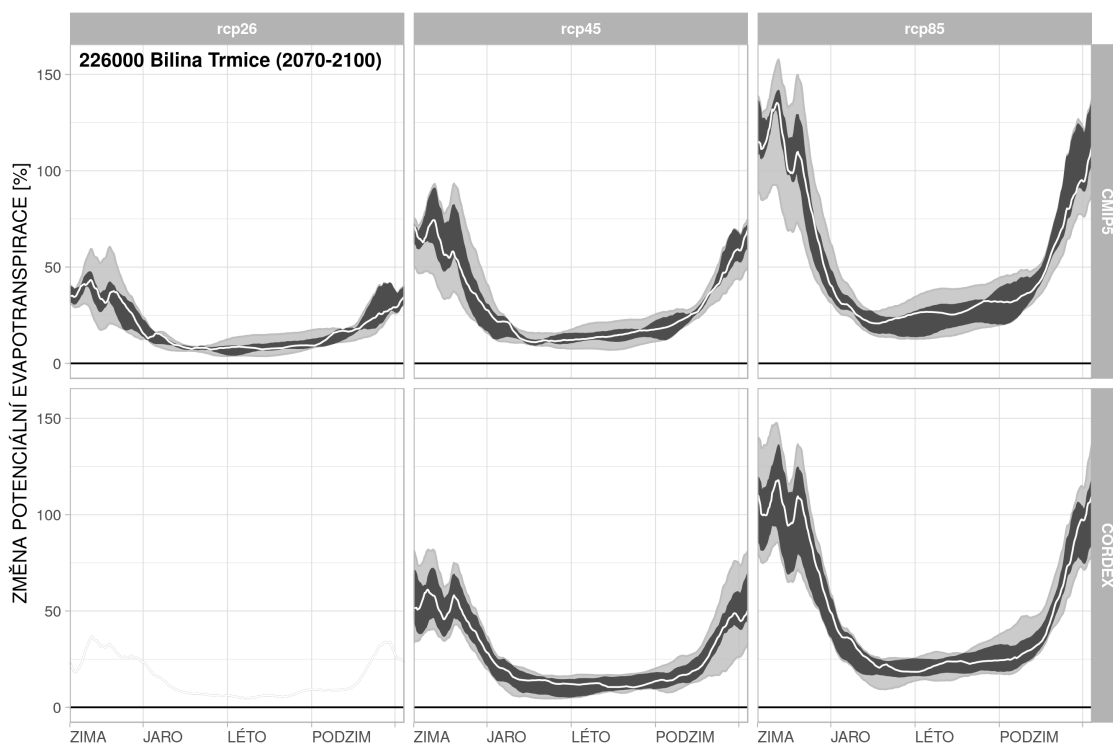
Obrázek 278: Změny srážek v povodí Labe-Dresden-Hřensko mezipovodí pro období 2020–2050.



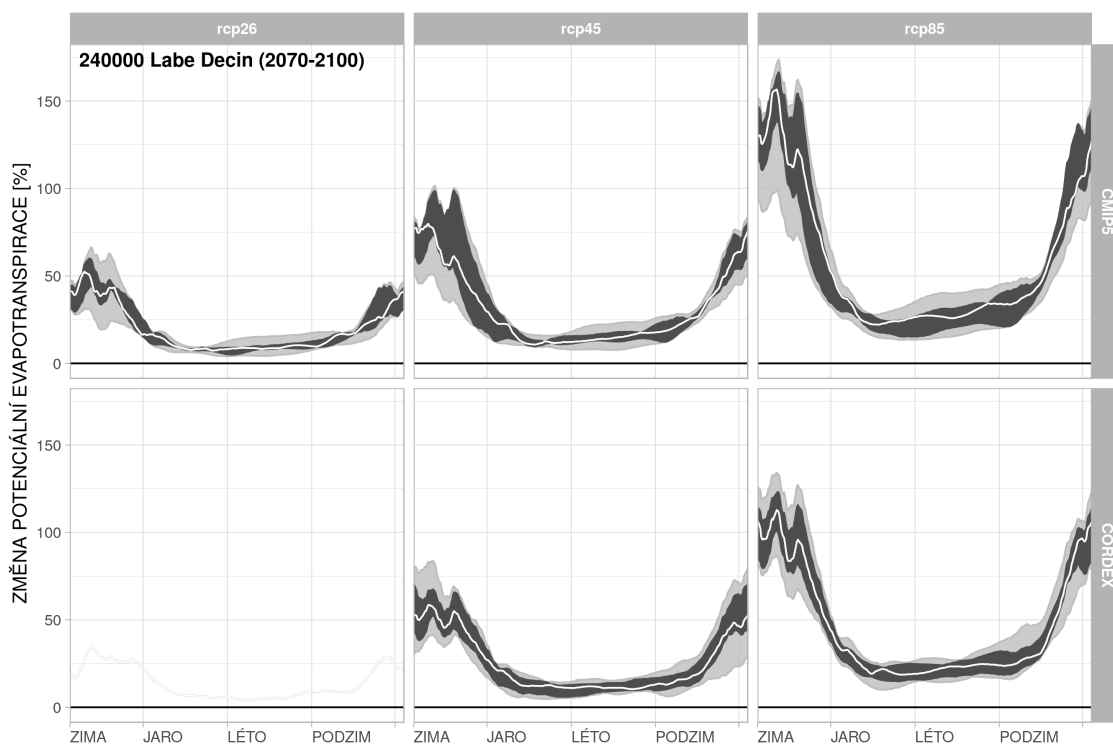
Obrázek 279: Změny srážek v povodí Labe-Hřensko-Dečín mezipovodí pro období 2020–2050.



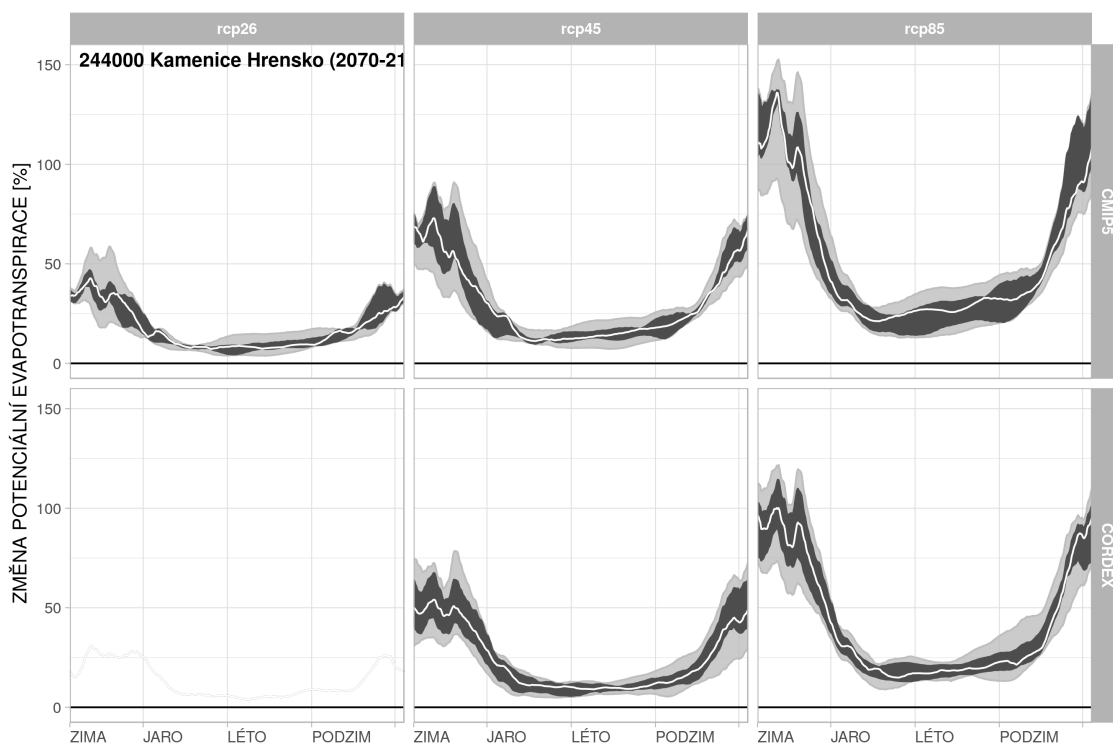
Obrázek 280: Změny potenciální evapotranspirace v povodí Labe-Ústí pro období 2070–2100.



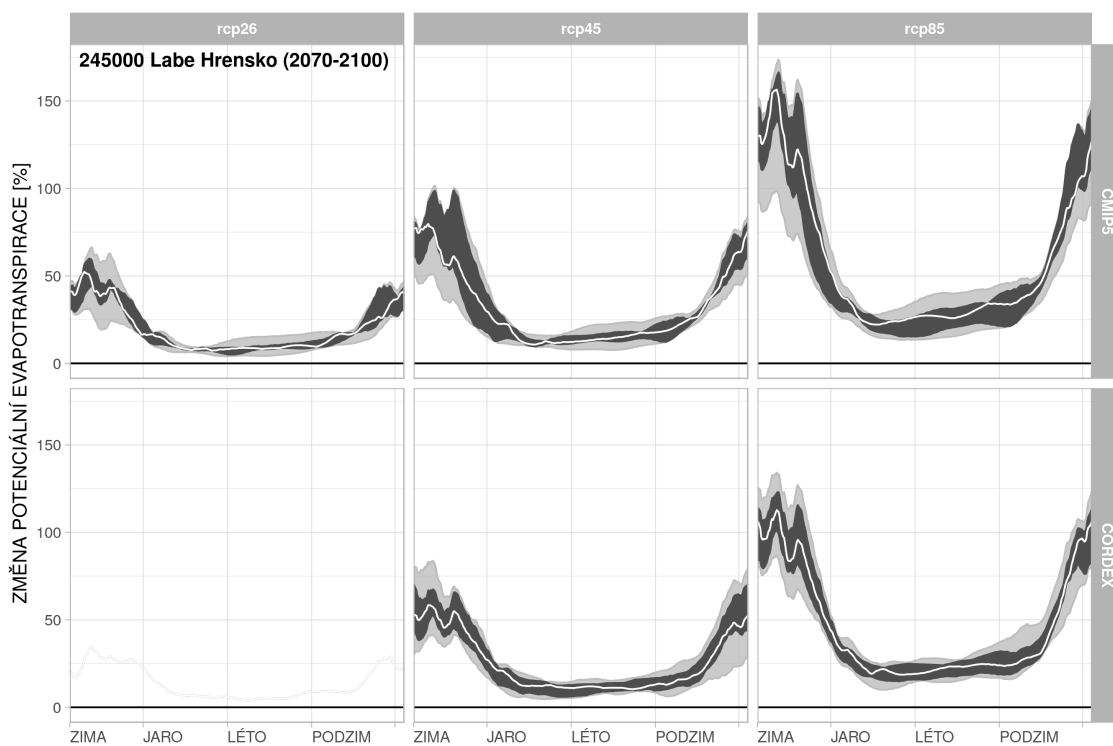
Obrázek 281: Změny potenciální evapotranspirace v povodí Bílina-Trmice pro období 2070–2100.



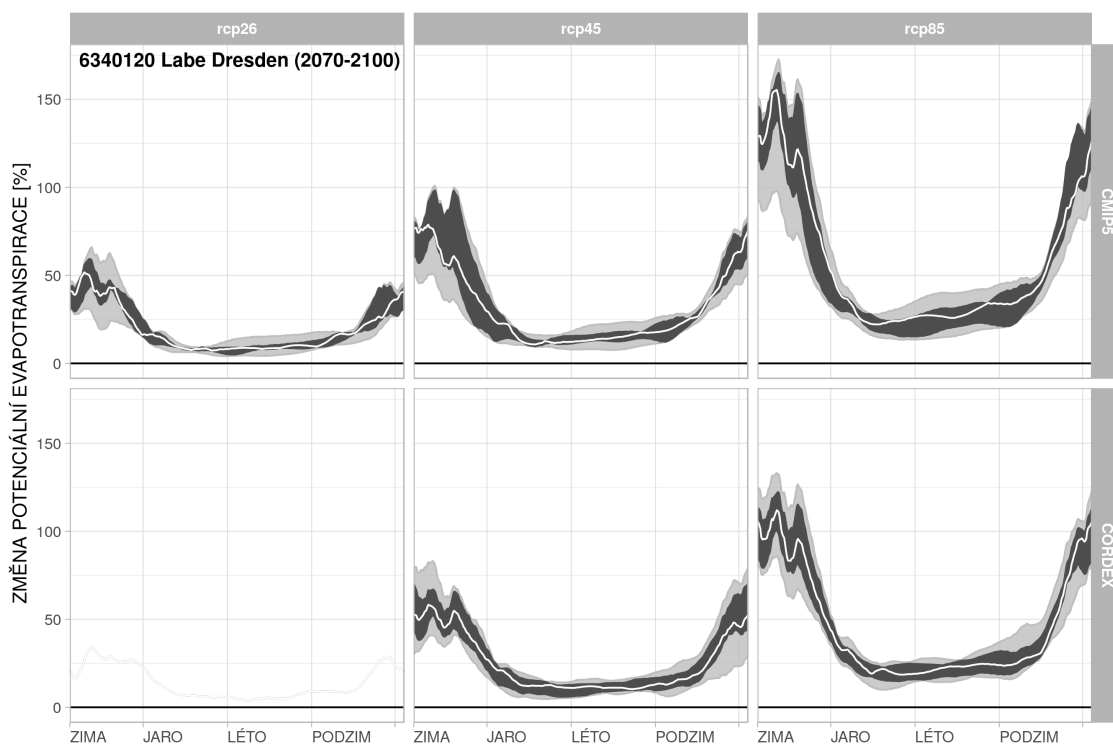
Obrázek 282: Změny potenciální evapotranspirace v povodí Labe-Děčín pro období 2070–2100.



Obrázek 283: Změny potenciální evapotranspirace v povodí Kamenice-Hřensko pro období 2070–2100.

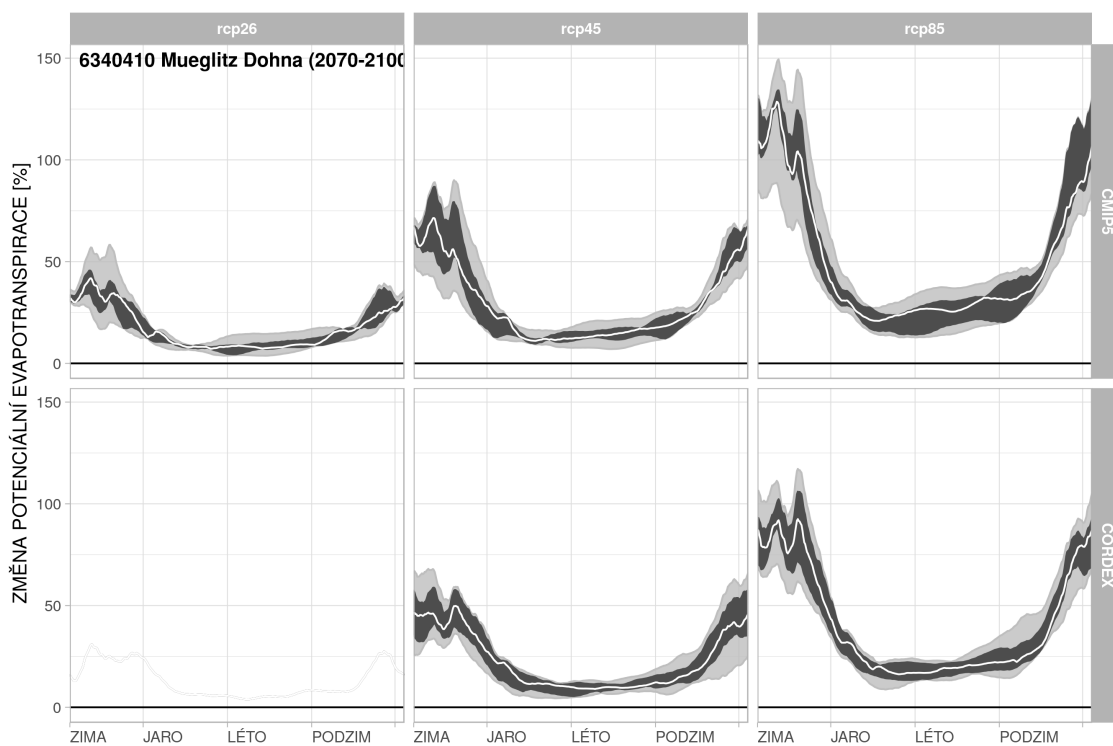


Obrázek 284: Změny potenciální evapotranspirace v povodí Labe-Hřensko pro období 2070–2100.

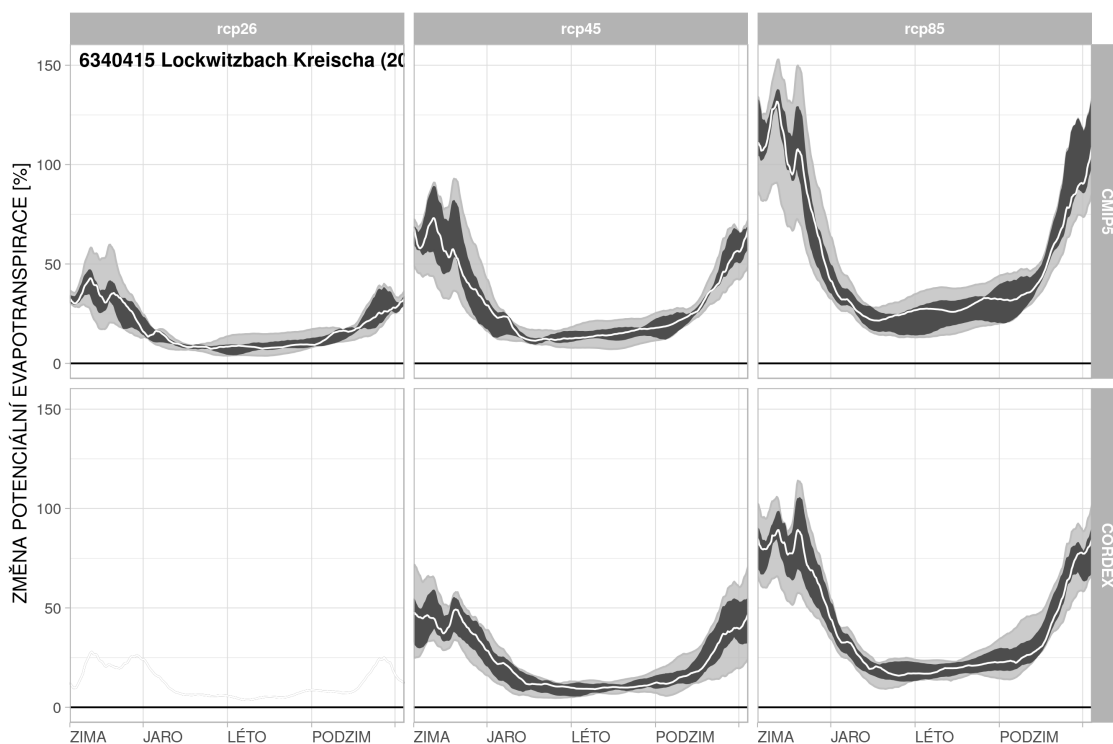


Obrázek 285: Změny potenciální evapotranspirace v povodí Labe-Dresden pro období 2070–2100.

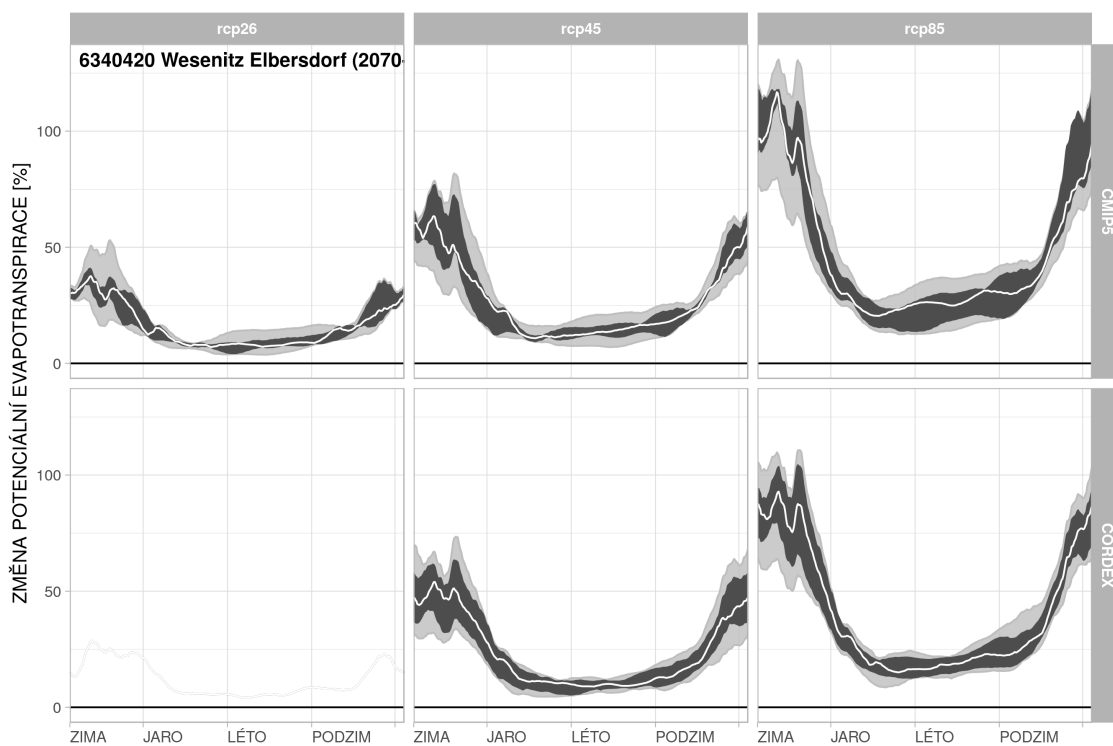




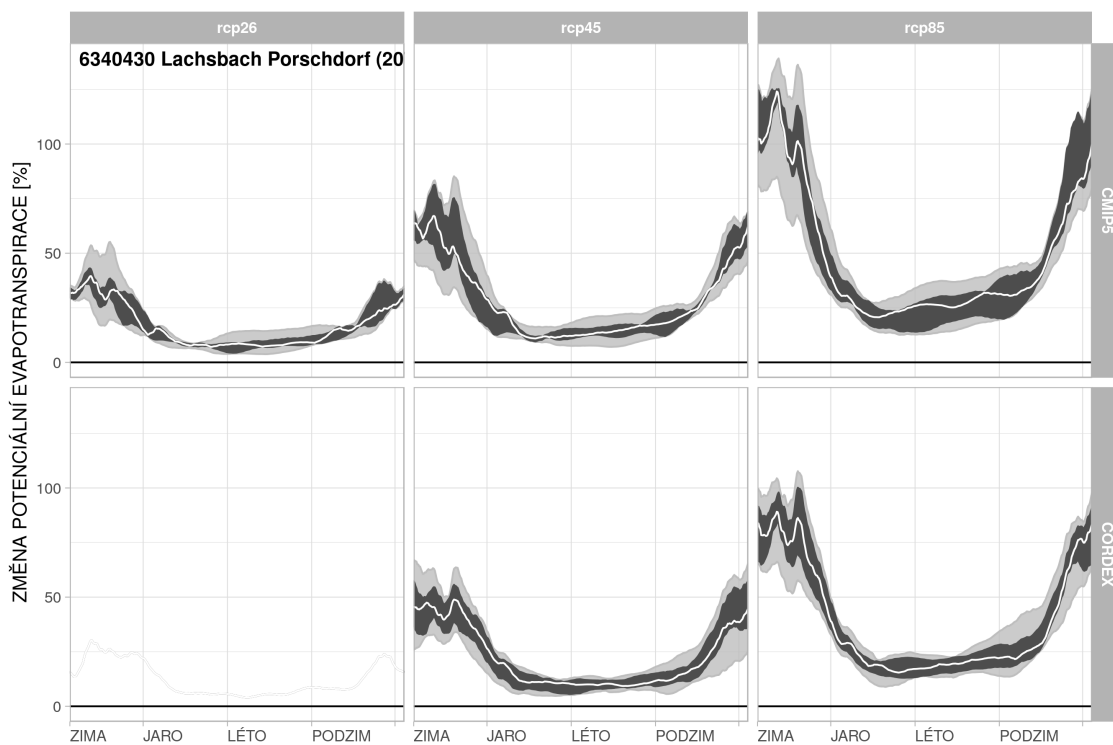
Obrázek 286: Změny potenciální evapotranspirace v povodí Mueglitz-Dohna pro období 2070–2100.



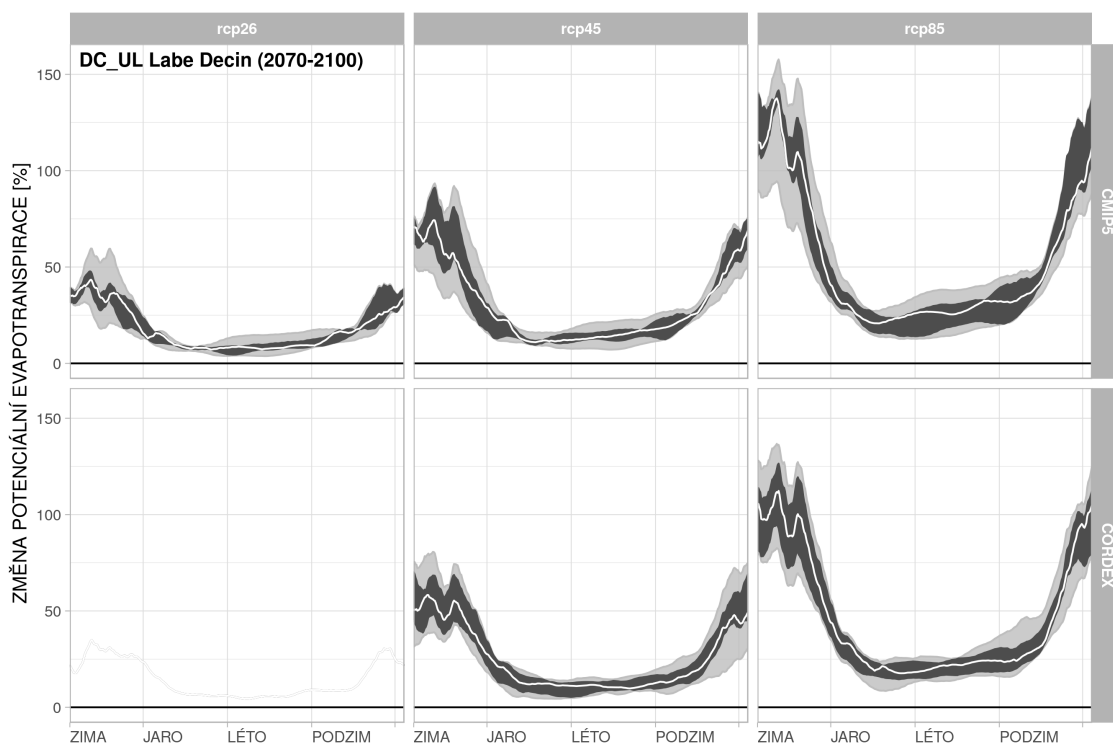
Obrázek 287: Změny potenciální evapotranspirace v povodí Lockwitzbach-Kreischa pro období 2070–2100.



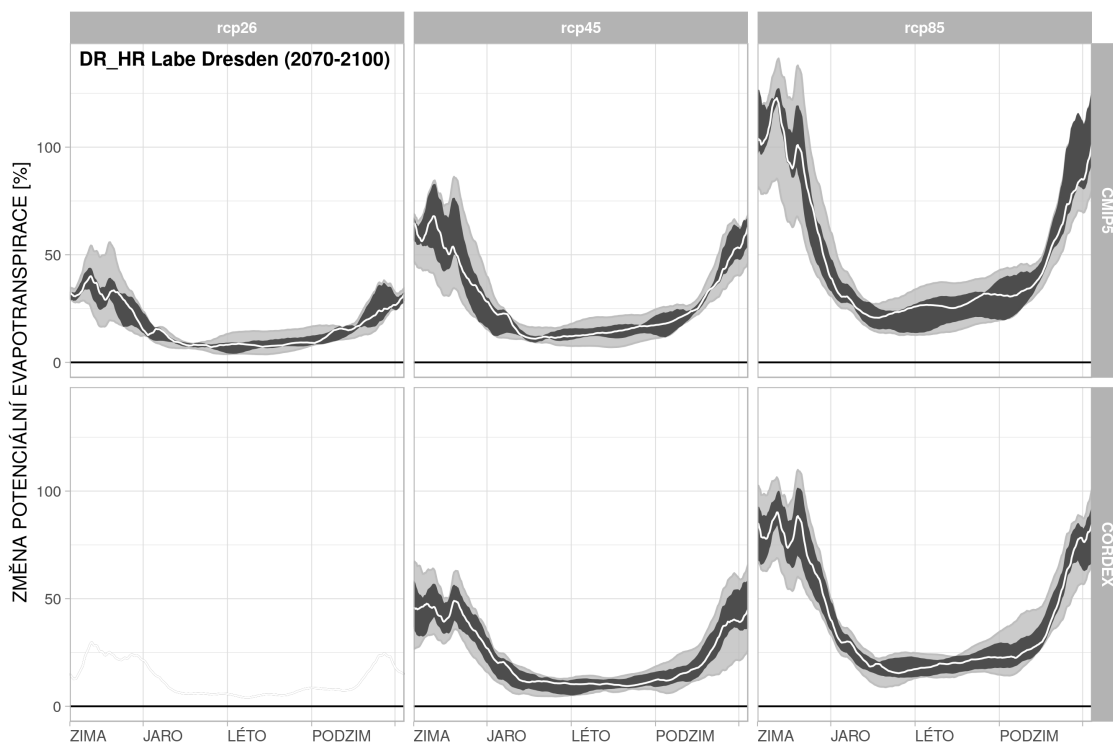
Obrázek 288: Změny potenciální evapotranspirace v povodí Wesenitz-Elbersdorf pro období 2070–2100.



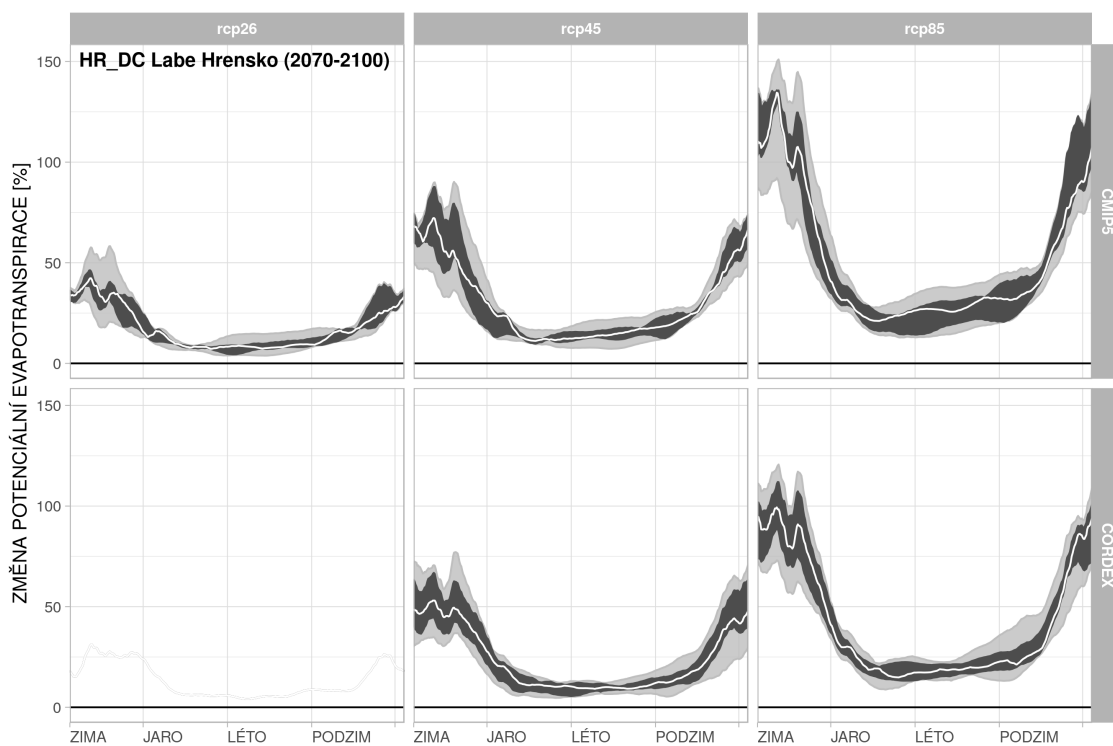
Obrázek 289: Změny potenciální evapotranspirace v povodí Lachsbach-Porschdorf pro období 2070–2100.



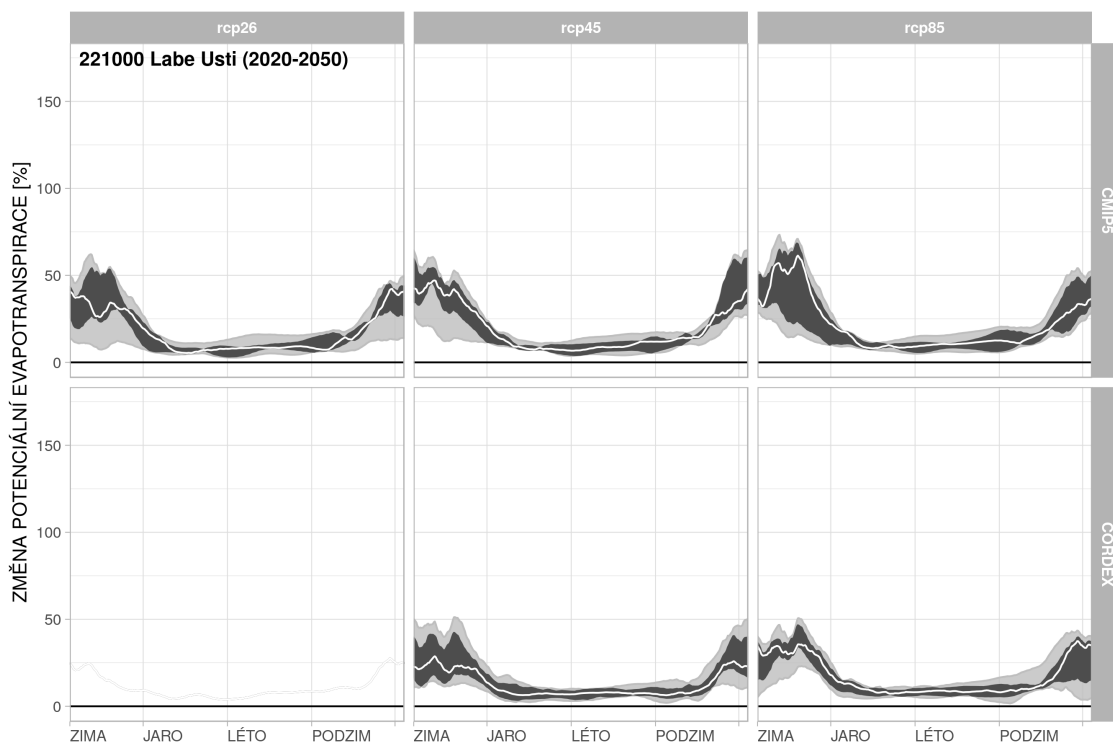
Obrázek 290: Změny potenciální evapotranspirace v povodí Labe-Děčín-Ústí mezipovodí pro období 2070–2100.



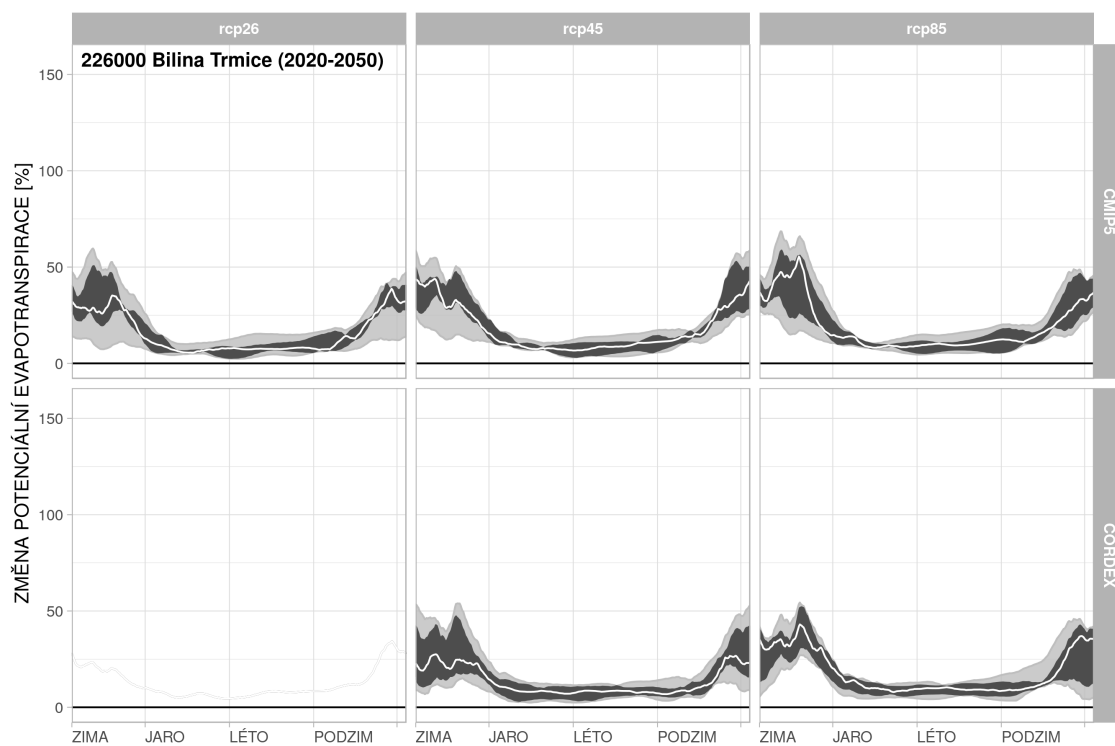
Obrázek 291: Změny potenciální evapotranspirace v povodí Labe-Dresden-Hřensko mezipovodí pro období 2070–2100.



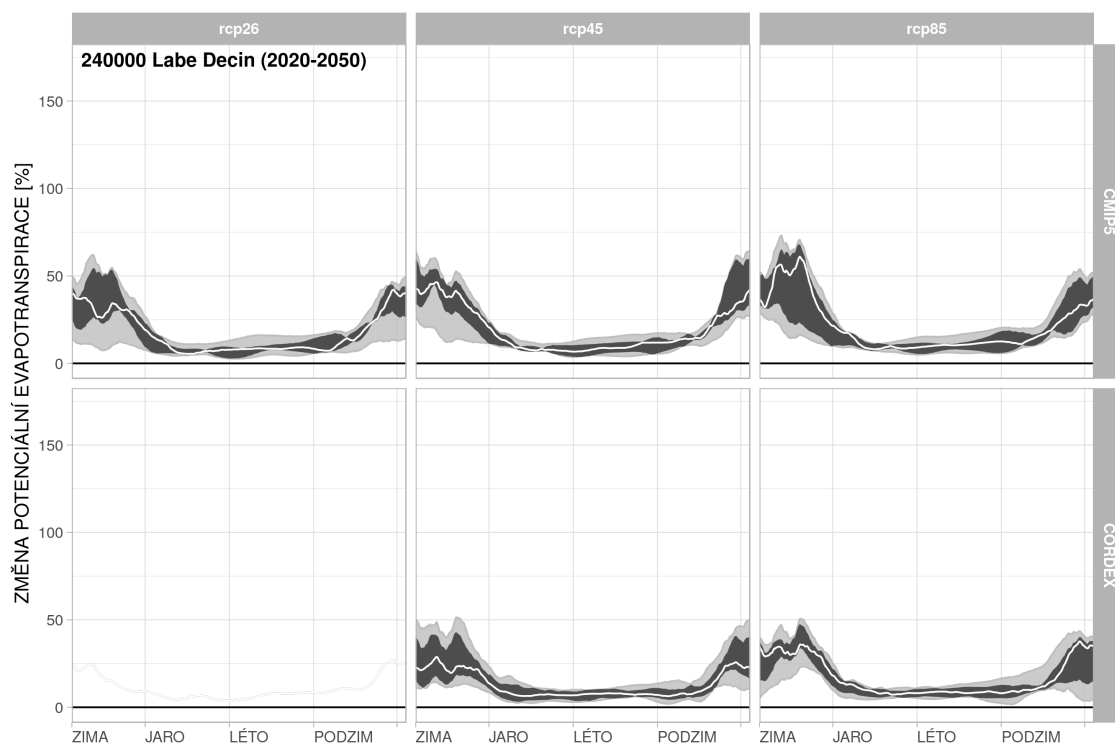
Obrázek 292: Změny potenciální evapotranspirace v povodí Labe-Hřensko-Dečín mezipovodí pro období 2070–2100.



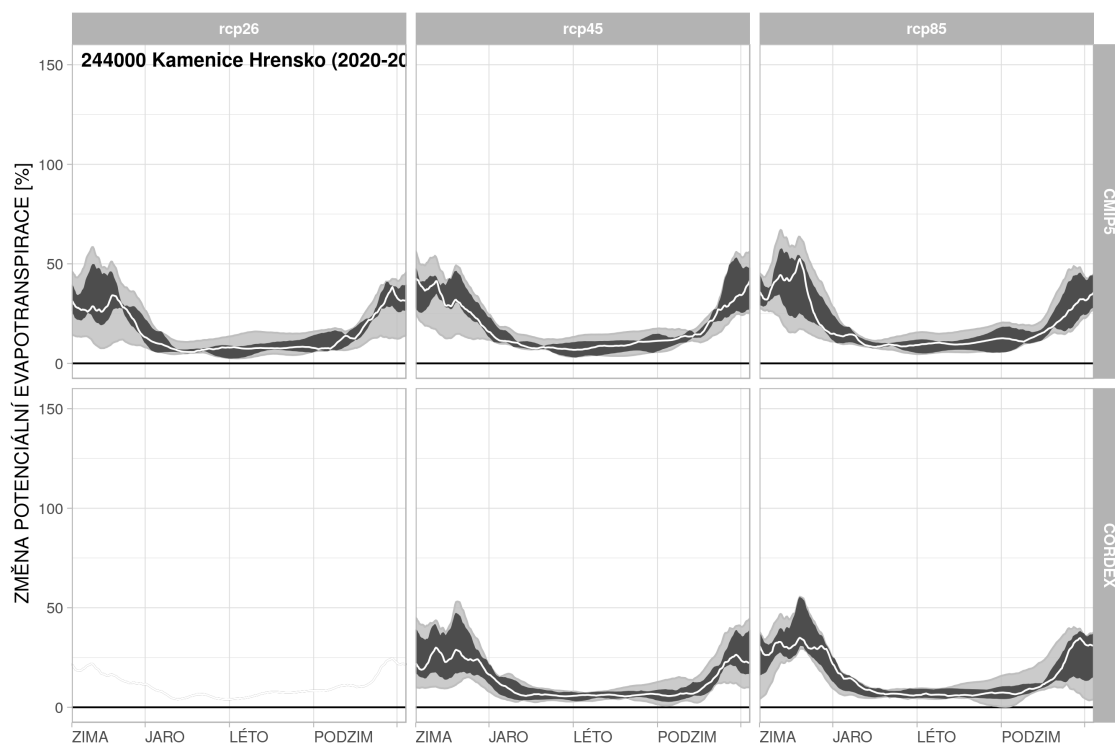
Obrázek 293: Změny potenciální evapotranspirace v povodí Labe-Ústí pro období 2020–2050.



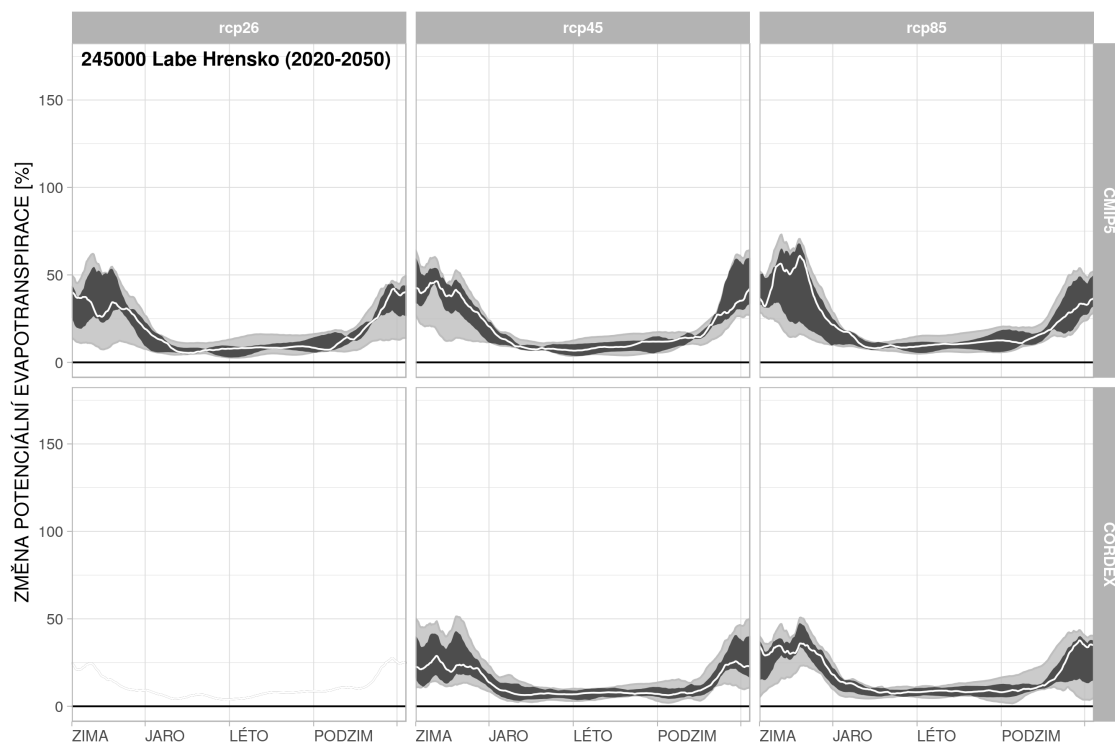
Obrázek 294: Změny potenciální evapotranspirace v povodí Bílina-Trmice pro období 2020–2050.



Obrázek 295: Změny potenciální evapotranspirace v povodí Labe-Děčín pro období 2020–2050.

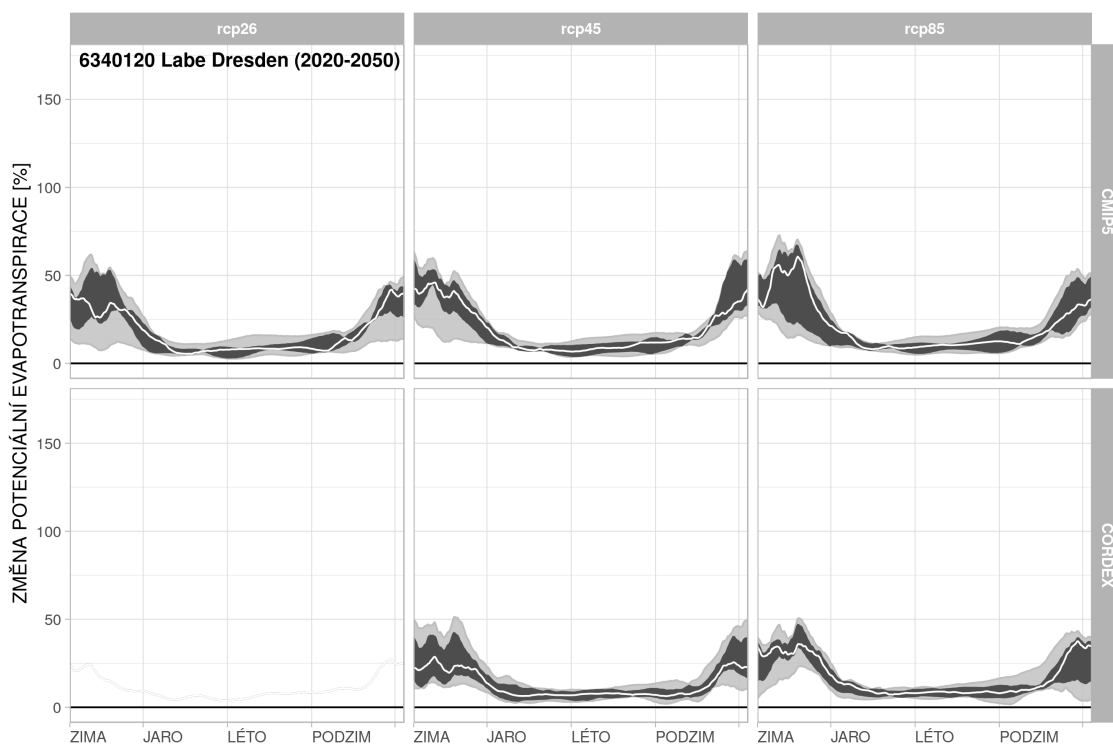


Obrázek 296: Změny potenciální evapotranspirace v povodí Kamenice-Hřensko pro období 2020–2050.

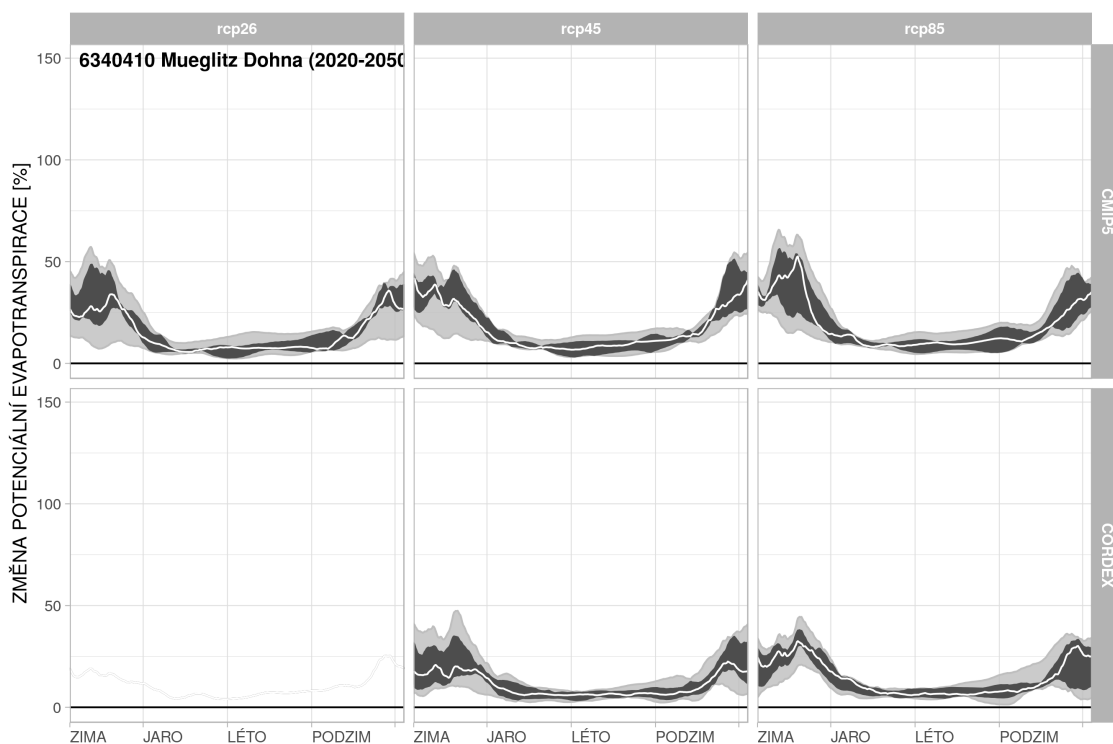


Obrázek 297: Změny potenciální evapotranspirace v povodí Labe-Hřensko pro období 2020–2050.

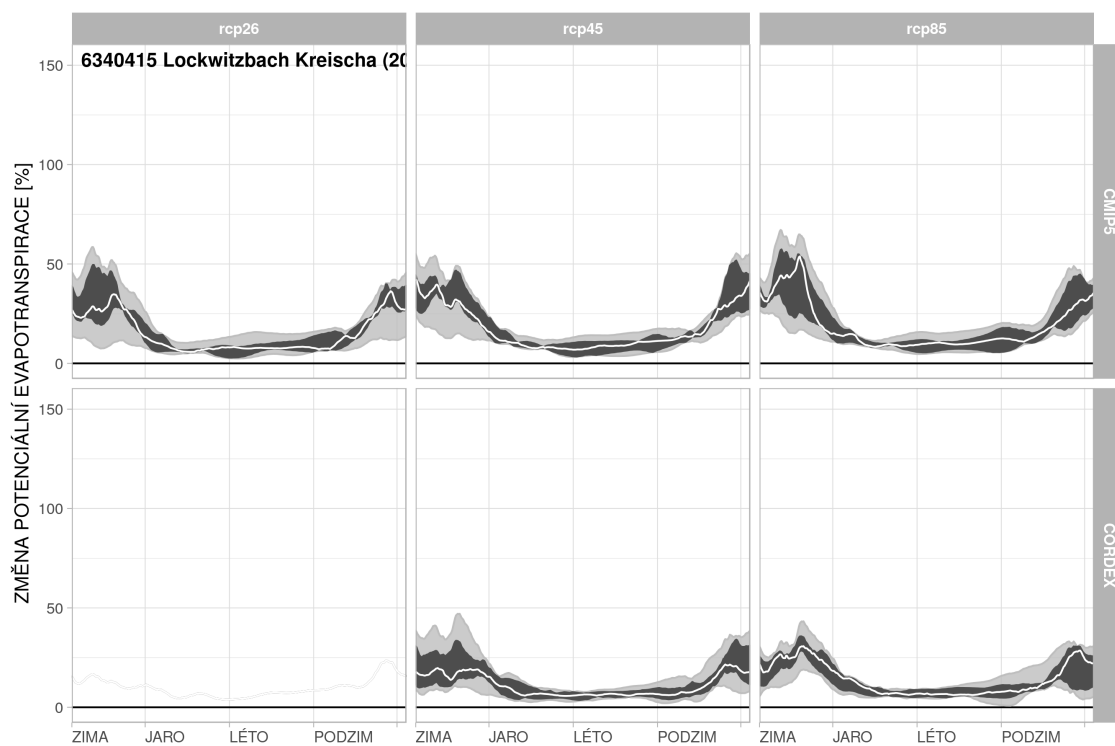




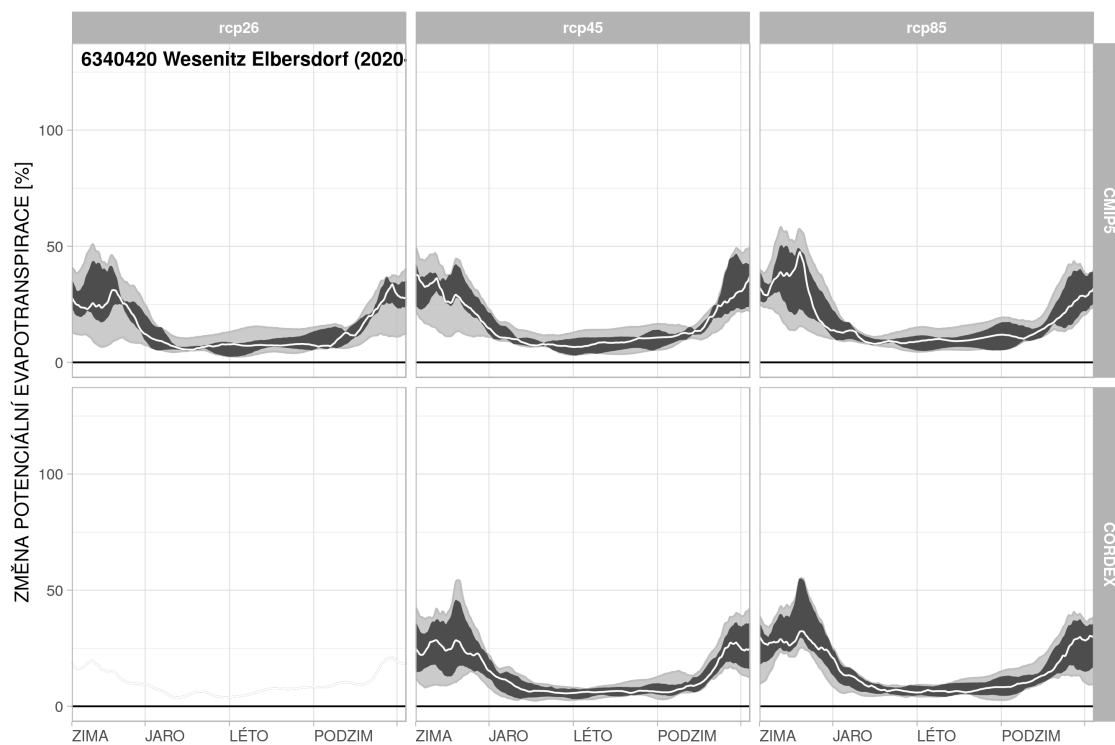
Obrázek 298: Změny potenciální evapotranspirace v povodí Labe-Dresden pro období 2020–2050.



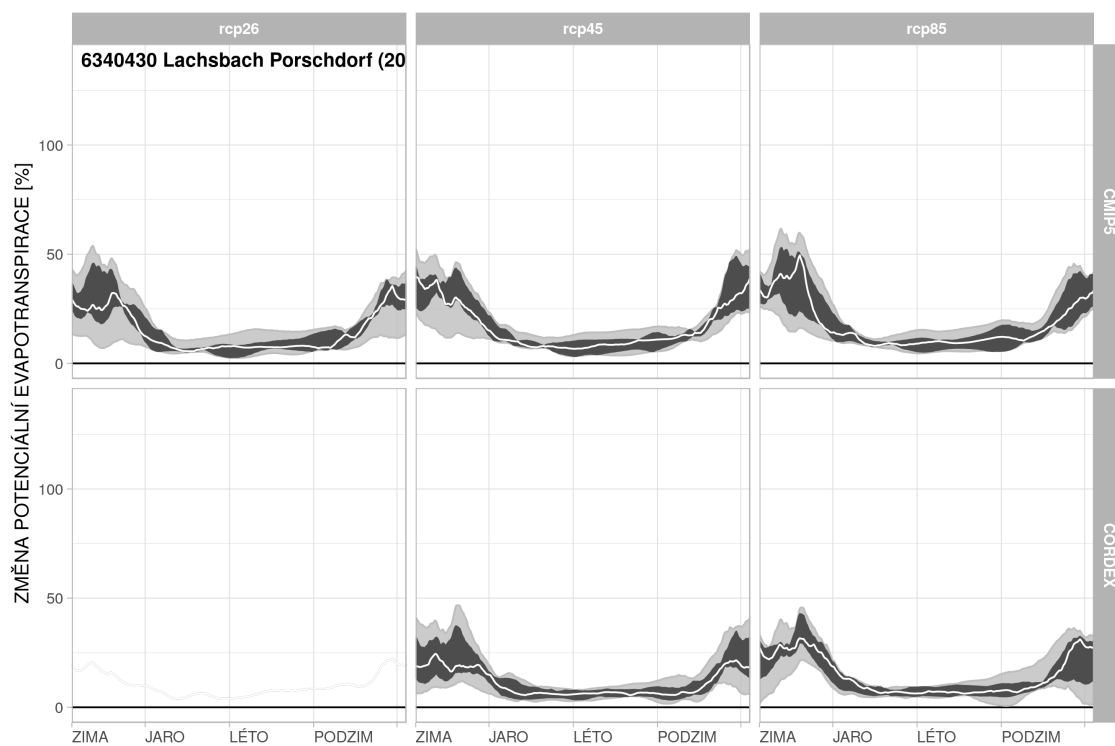
Obrázek 299: Změny potenciální evapotranspirace v povodí Mueglitz-Dohna pro období 2020–2050.



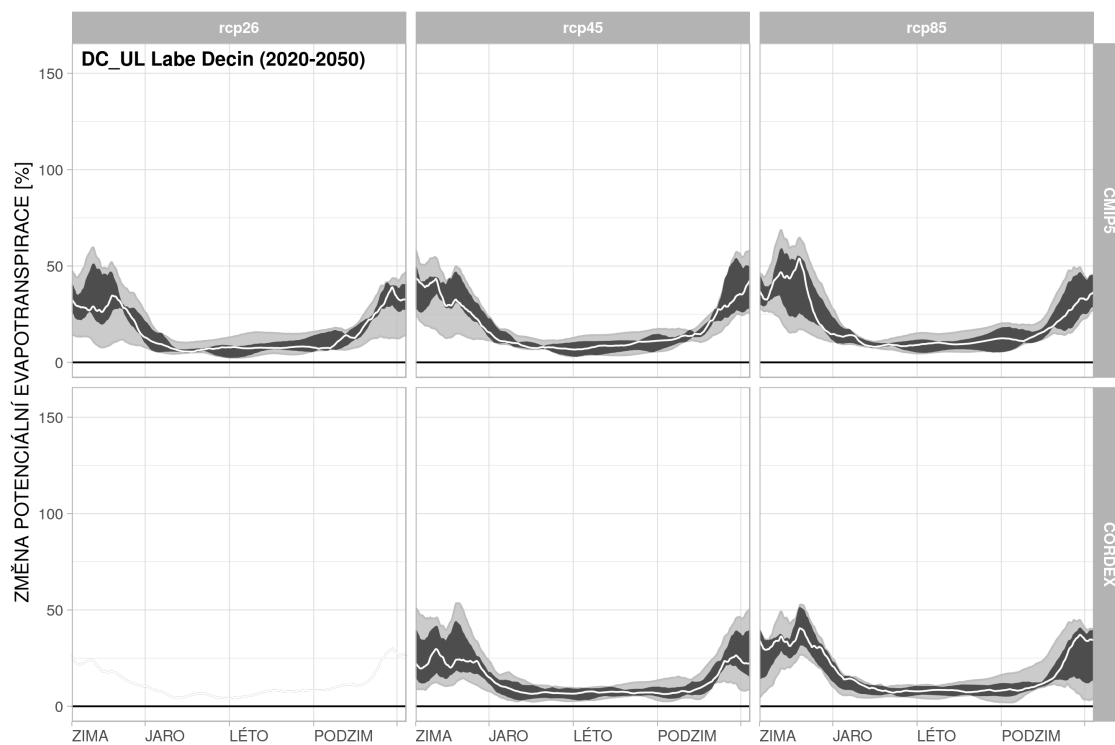
Obrázek 300: Změny potenciální evapotranspirace v povodí Lockwitzbach-Kreischa pro období 2020–2050.



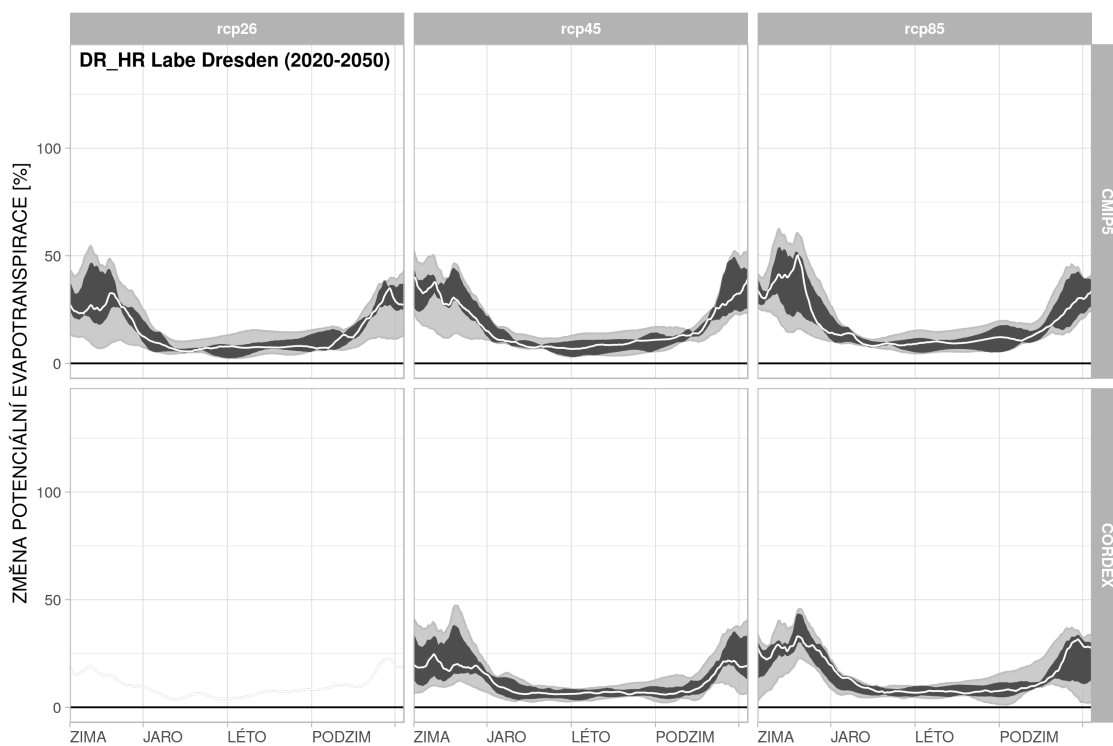
Obrázek 301: Změny potenciální evapotranspirace v povodí Wesenitz-Elbersdorf pro období 2020–2050.



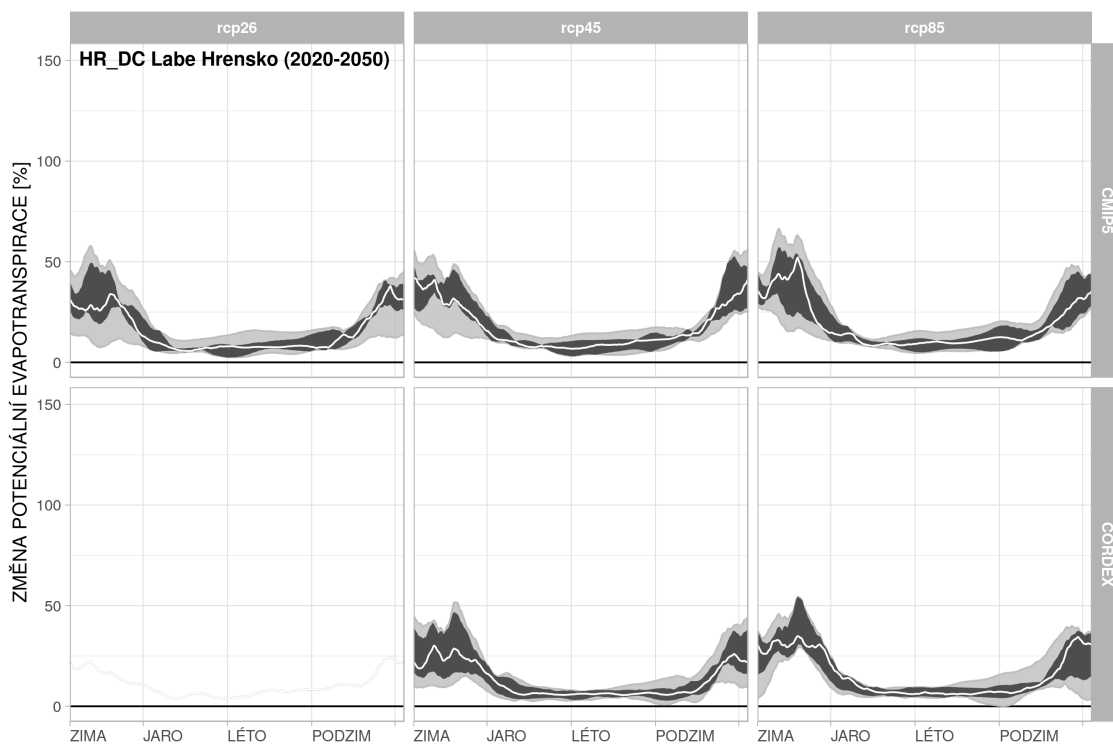
Obrázek 302: Změny potenciální evapotranspirace v povodí Lachsbach-Porschdorf pro období 2020–2050.



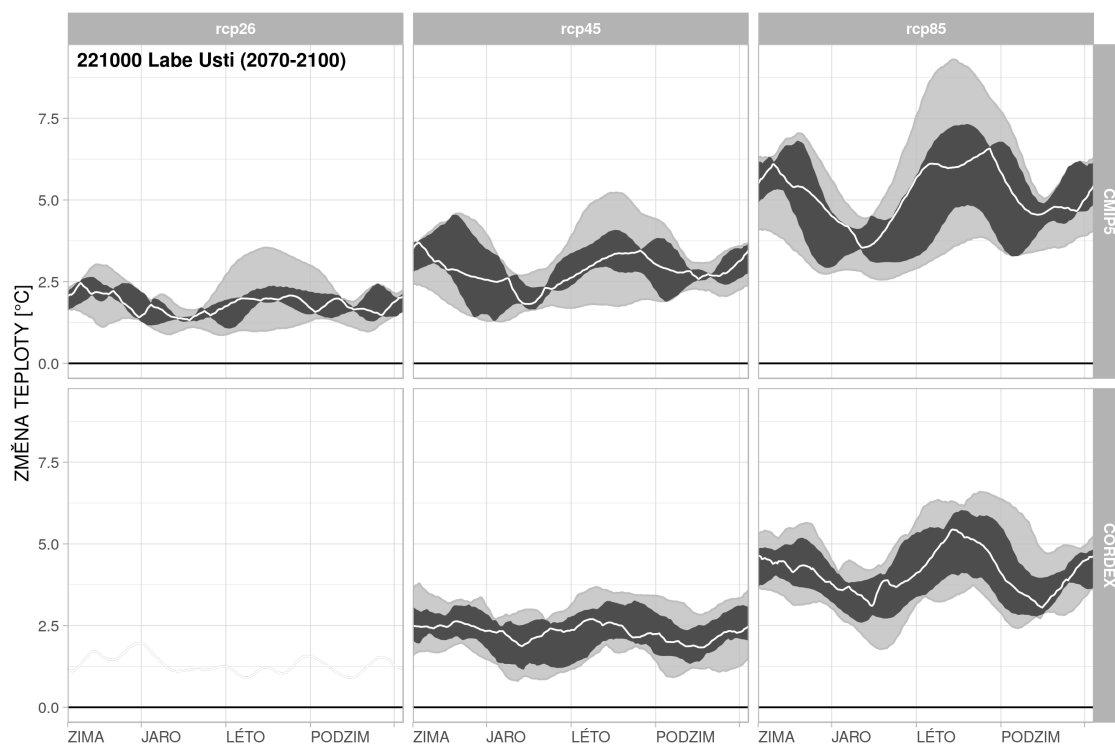
Obrázek 303: Změny potenciální evapotranspirace v povodí Labe-Děčín-Ústí mezipovodí pro období 2020–2050.



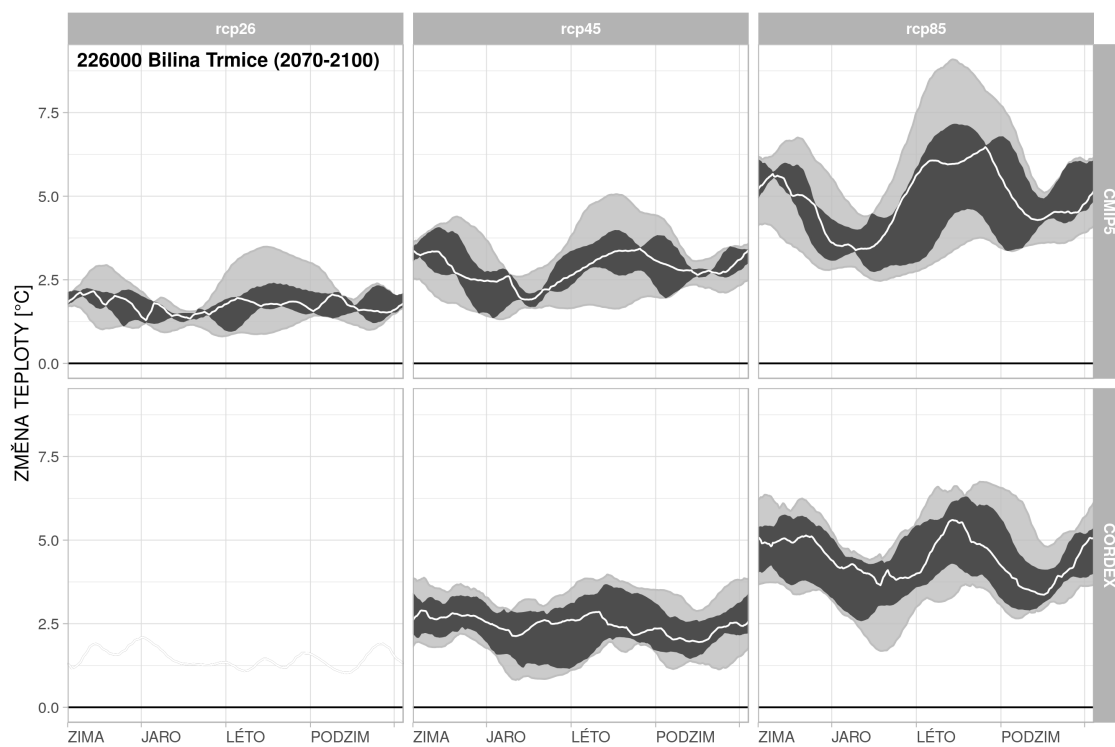
Obrázek 304: Změny potenciální evapotranspirace v povodí Labe-Dresden-Hřensko mezipovodí pro období 2020–2050.



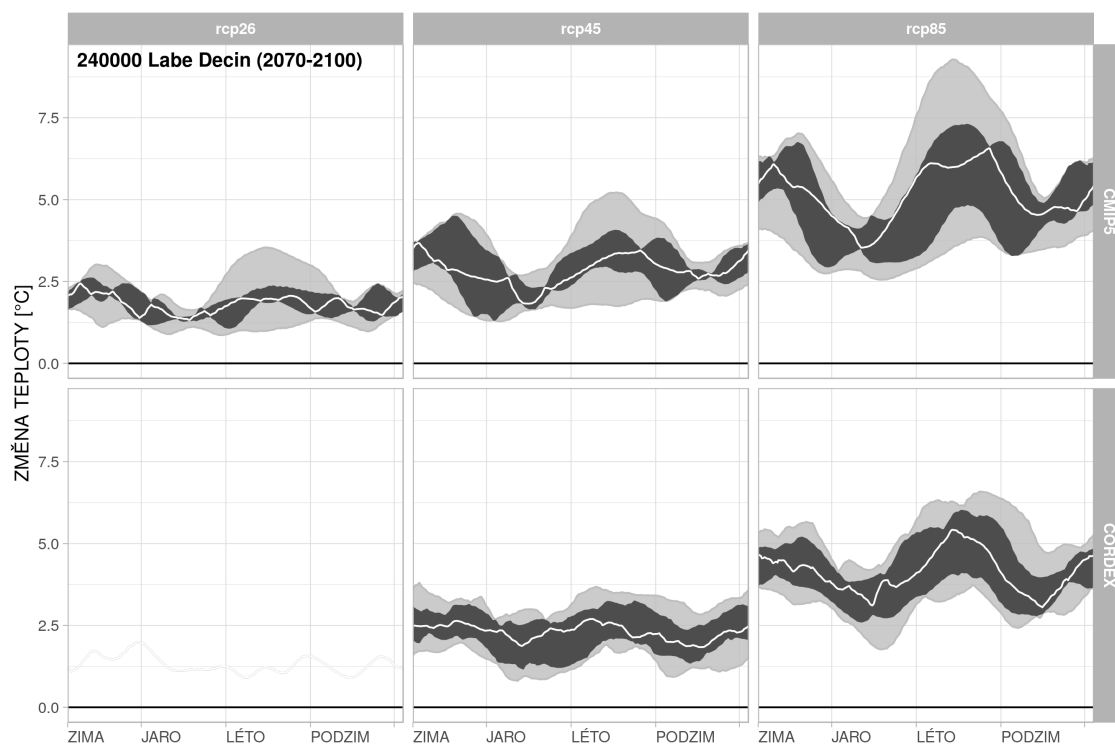
Obrázek 305: Změny potenciální evapotranspirace v povodí Labe-Hřensko-Dečín mezipovodí pro období 2020–2050.



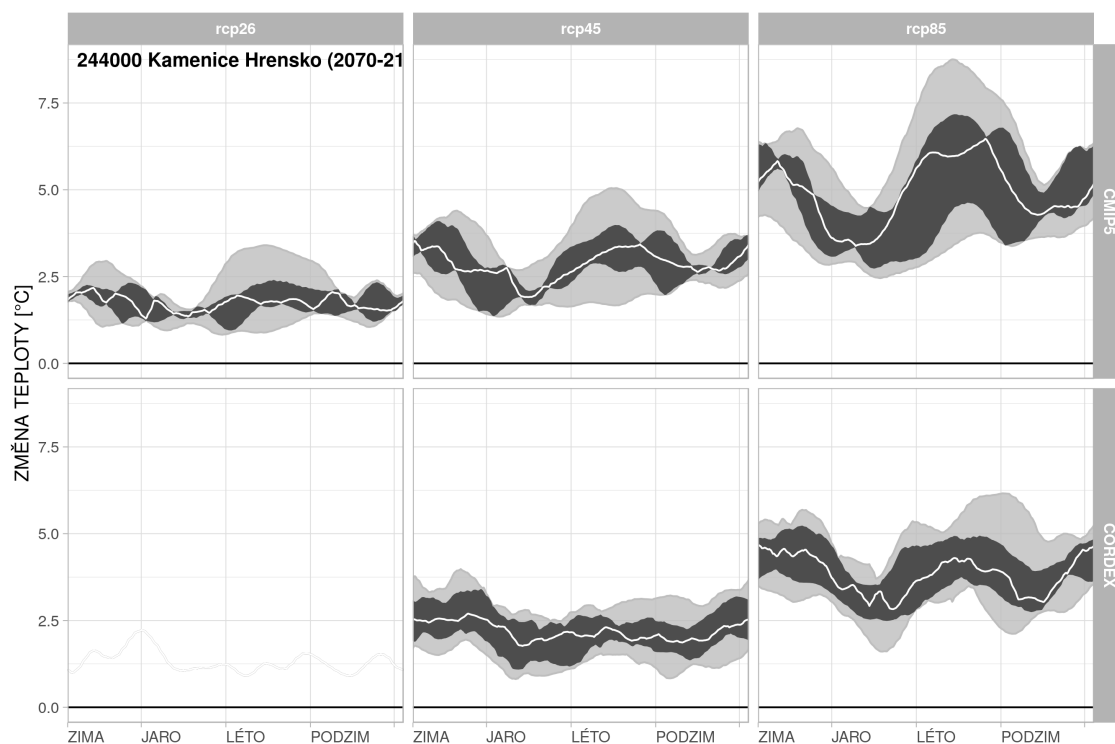
Obrázek 306: Změny teplot v povodí Labe-Ústí pro období 2070–2100.



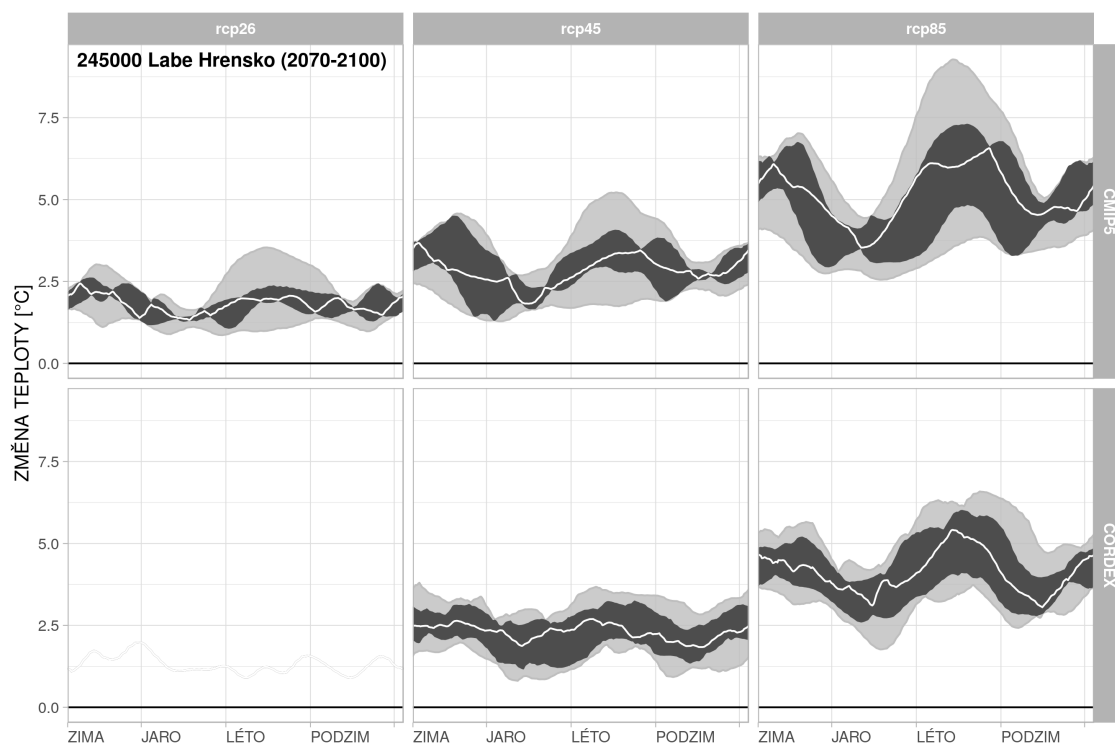
Obrázek 307: Změny teplot v povodí Bílina-Trmice pro období 2070–2100.



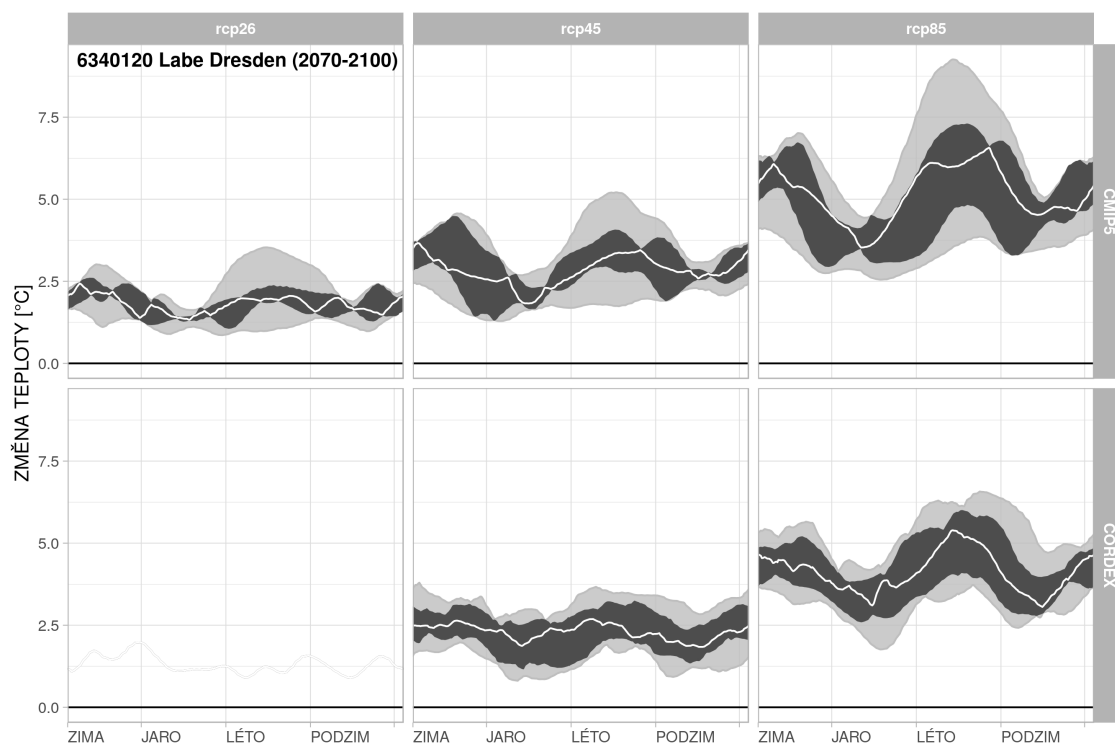
Obrázek 308: Změny teplot v povodí Labe-Děčín pro období 2070–2100.



Obrázek 309: Změny teplot v povodí Kamenice-Hřensko pro období 2070–2100.

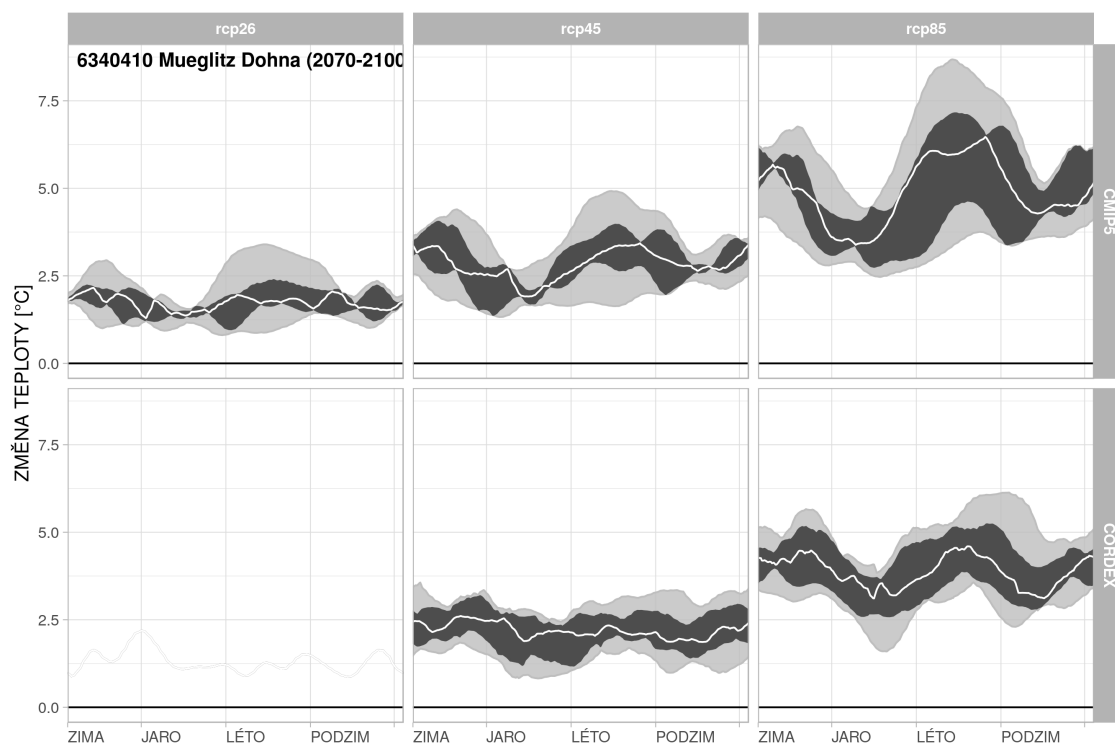


Obrázek 310: Změny teplot v povodí Labe-Hřensko pro období 2070–2100.

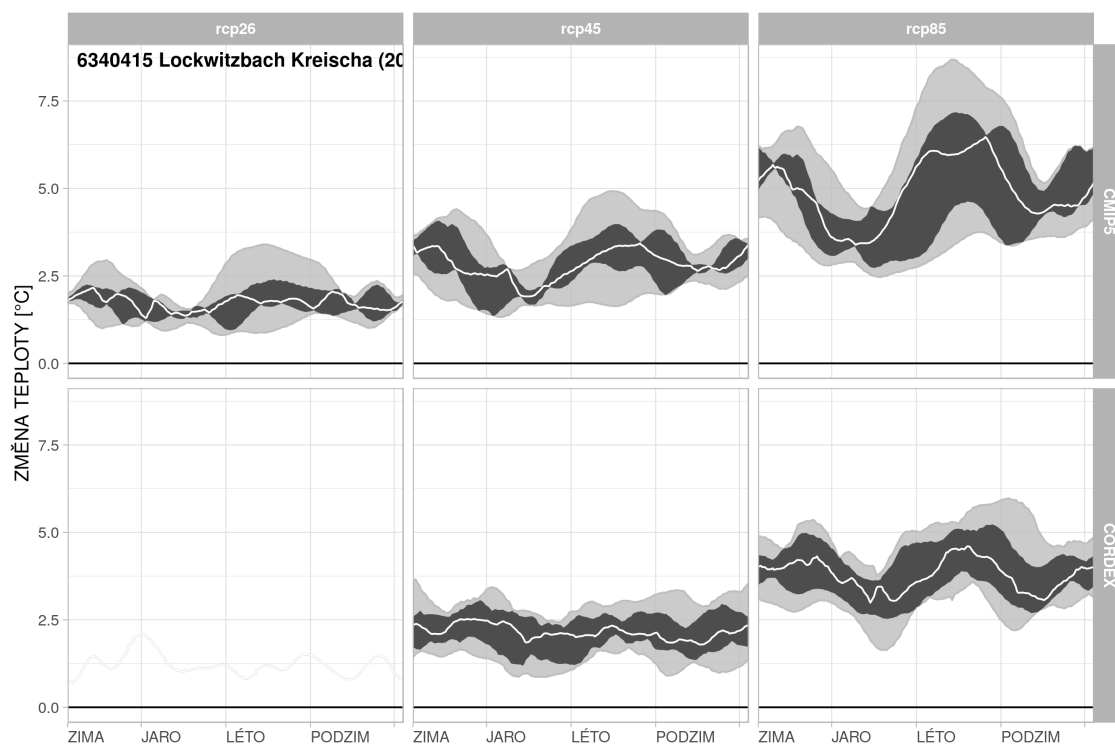


Obrázek 311: Změny teplot v povodí Labe-Dresden pro období 2070–2100.

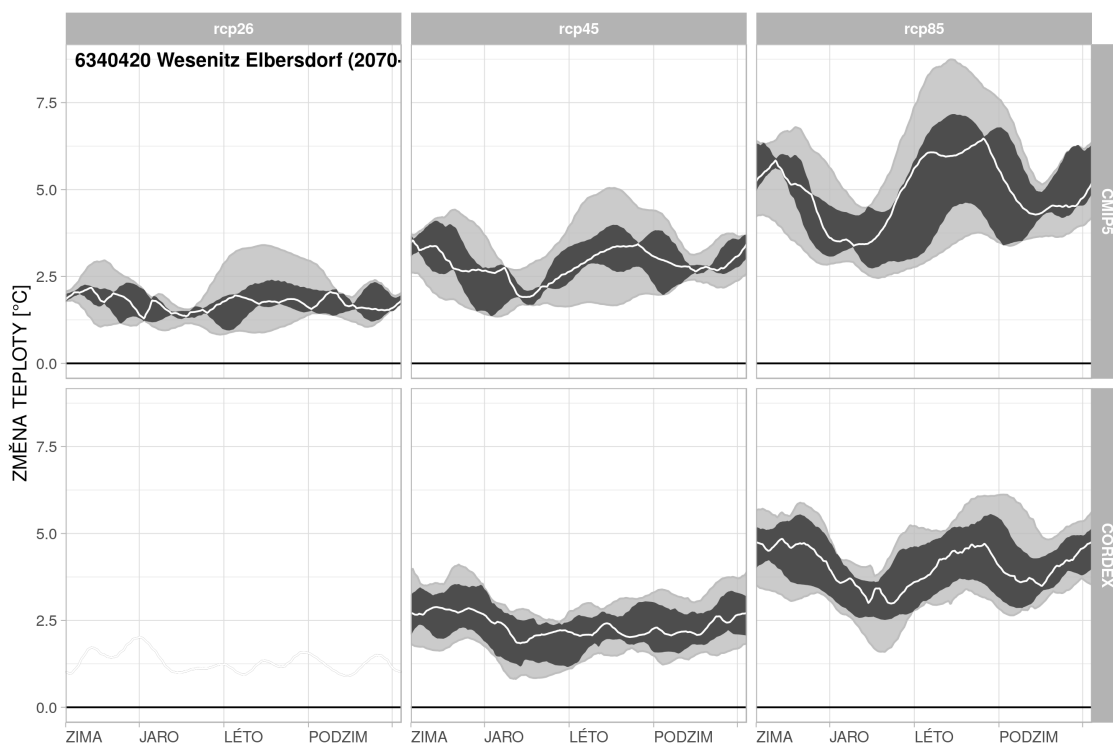




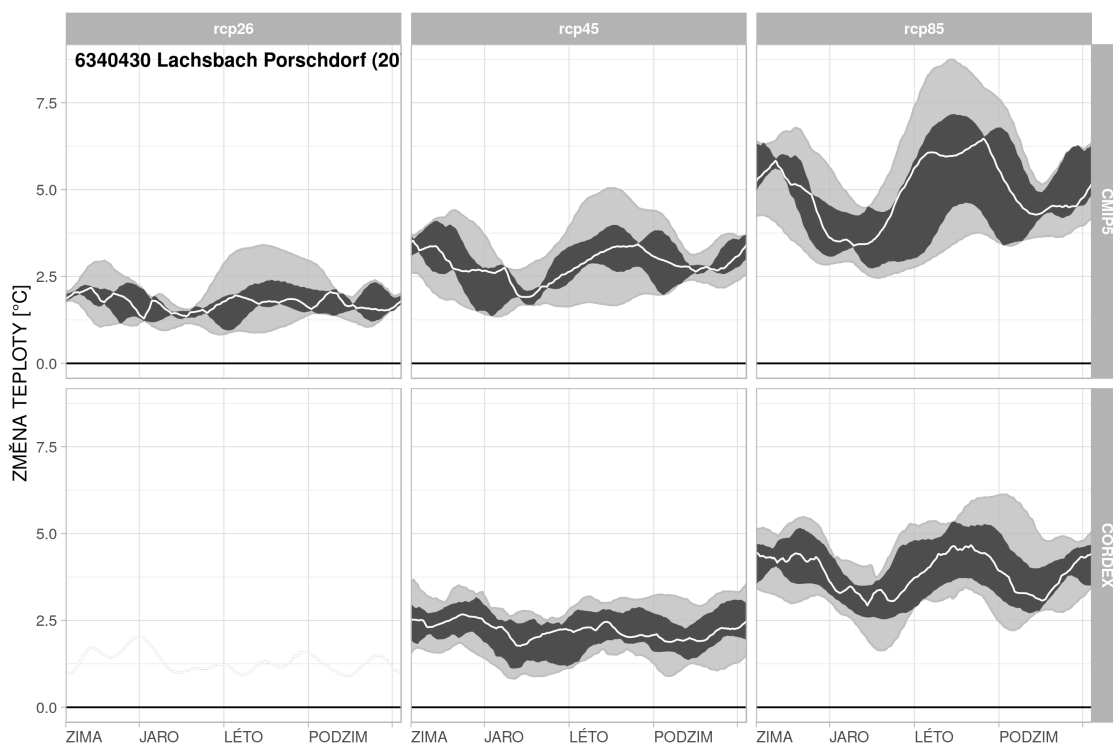
Obrázek 312: Změny teplot v povodí Mueglitz-Dohna pro období 2070–2100.



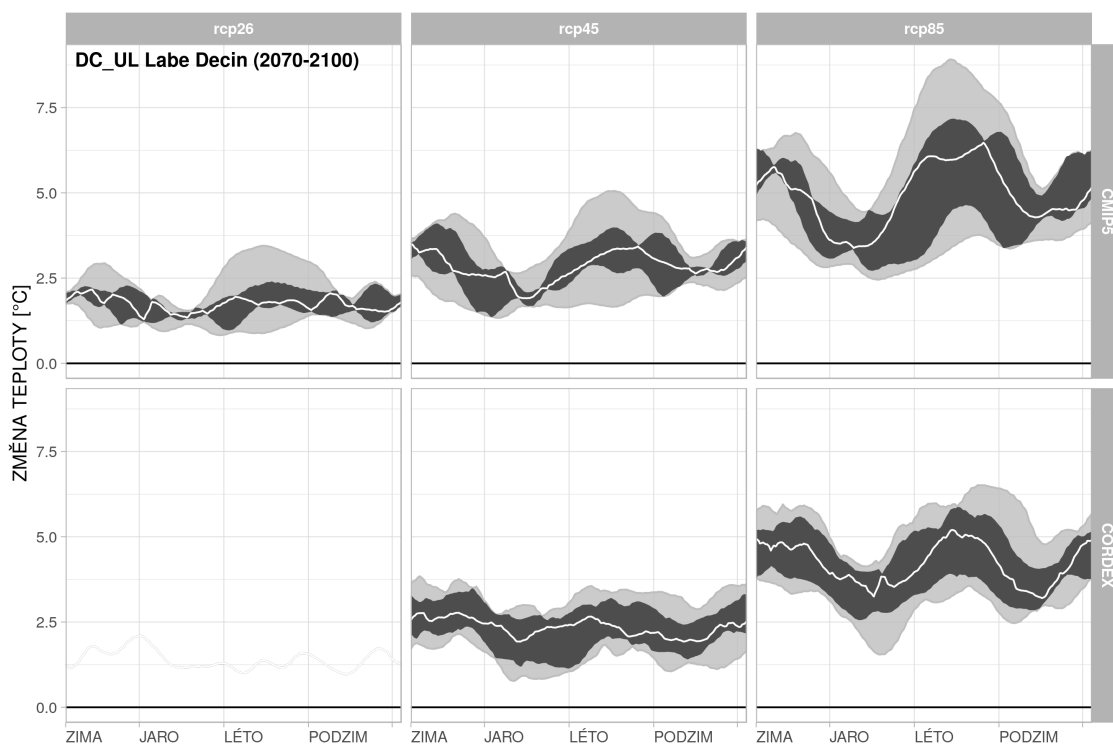
Obrázek 313: Změny teplot v povodí Lockwitzbach-Kreischa pro období 2070–2100.



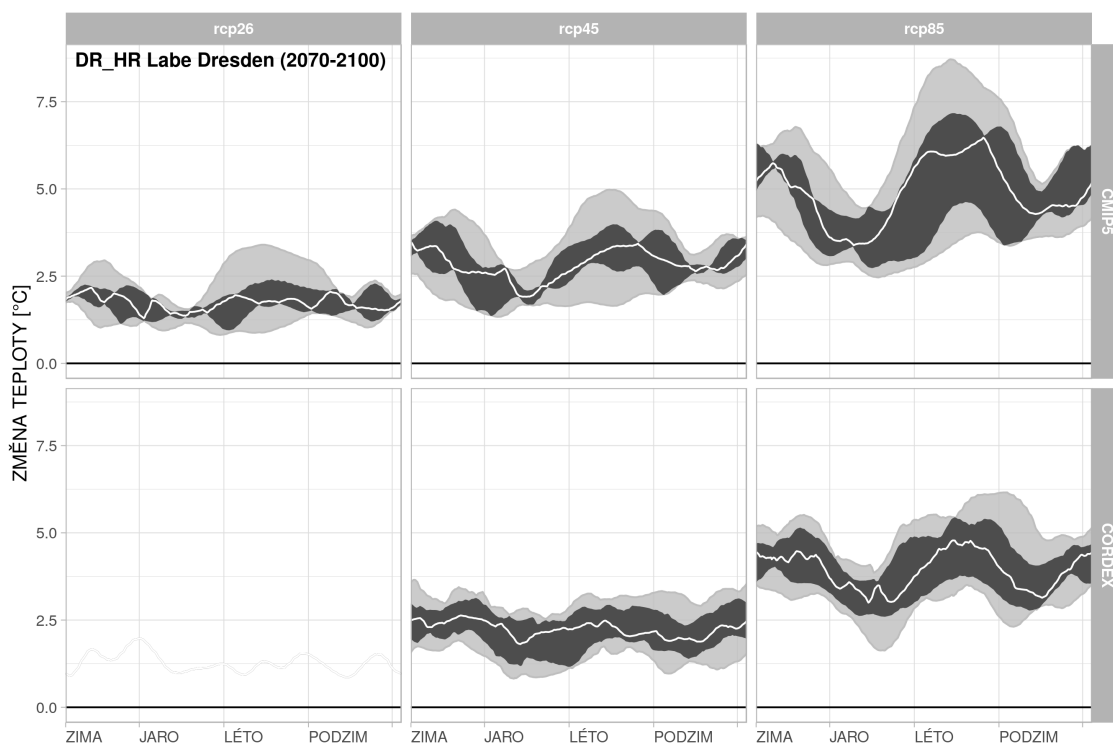
Obrázek 314: Změny teplot v povodí Wesenitz-Elbersdorf pro období 2070–2100.



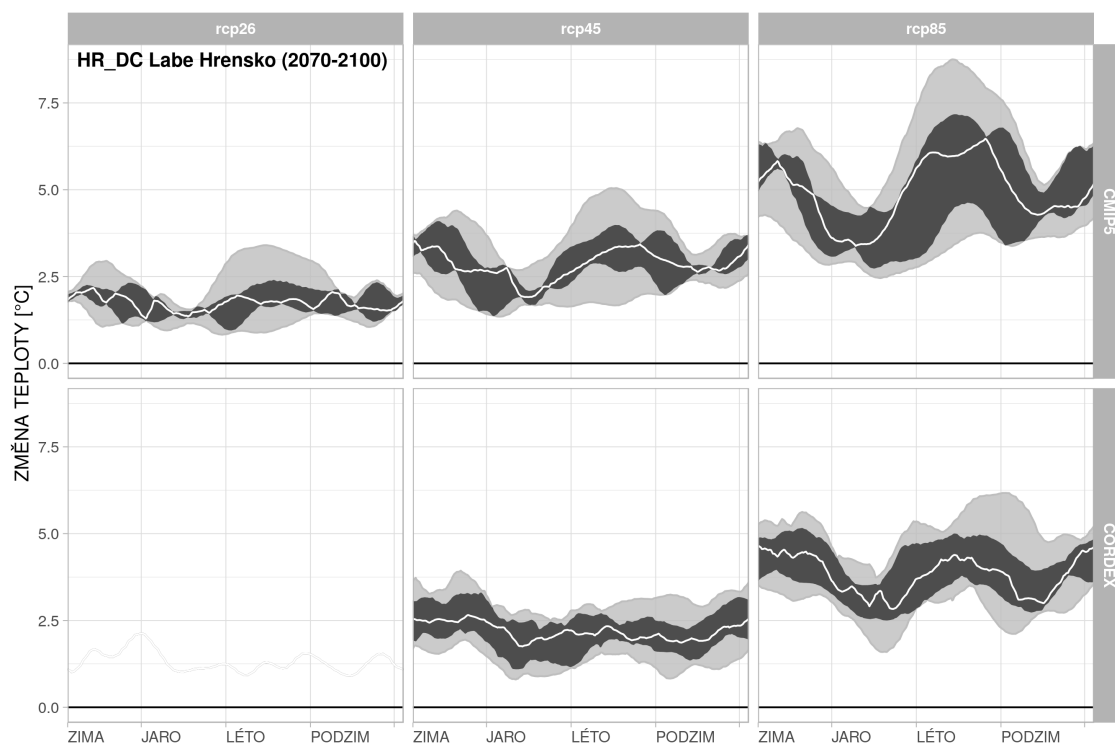
Obrázek 315: Změny teplot v povodí Lachsbach-Porschdorf pro období 2070–2100.



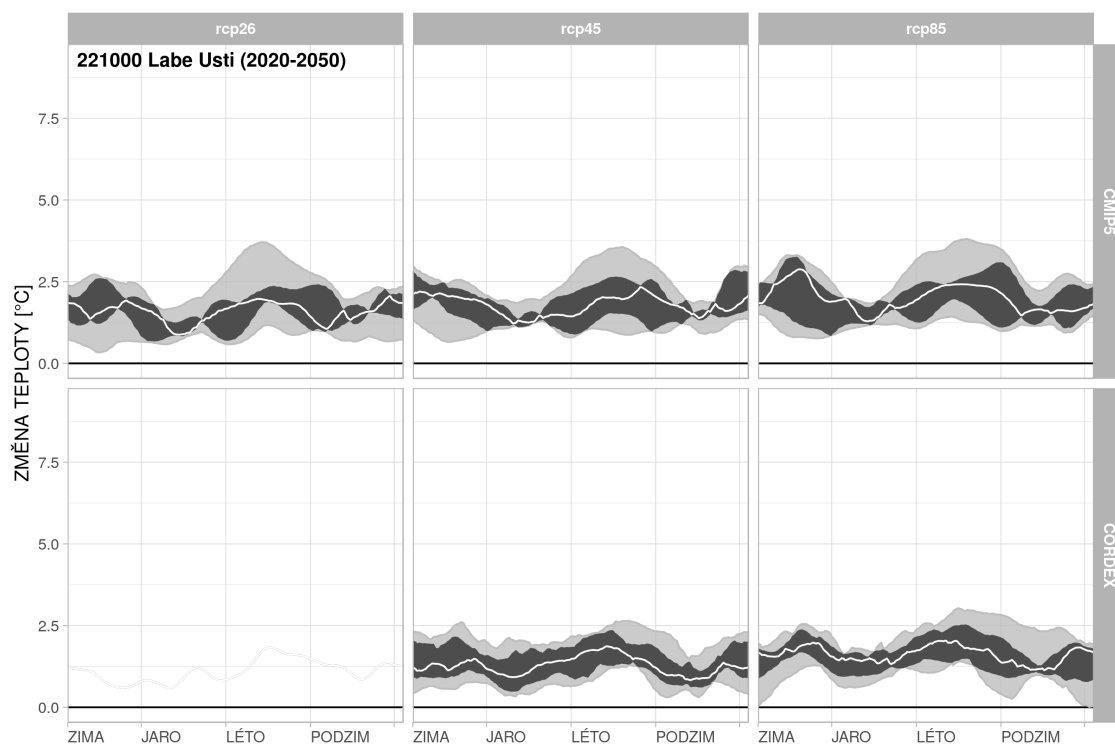
Obrázek 316: Změny teplot v povodí Labe-Děčín-Ústí mezipovodí pro období 2070–2100.



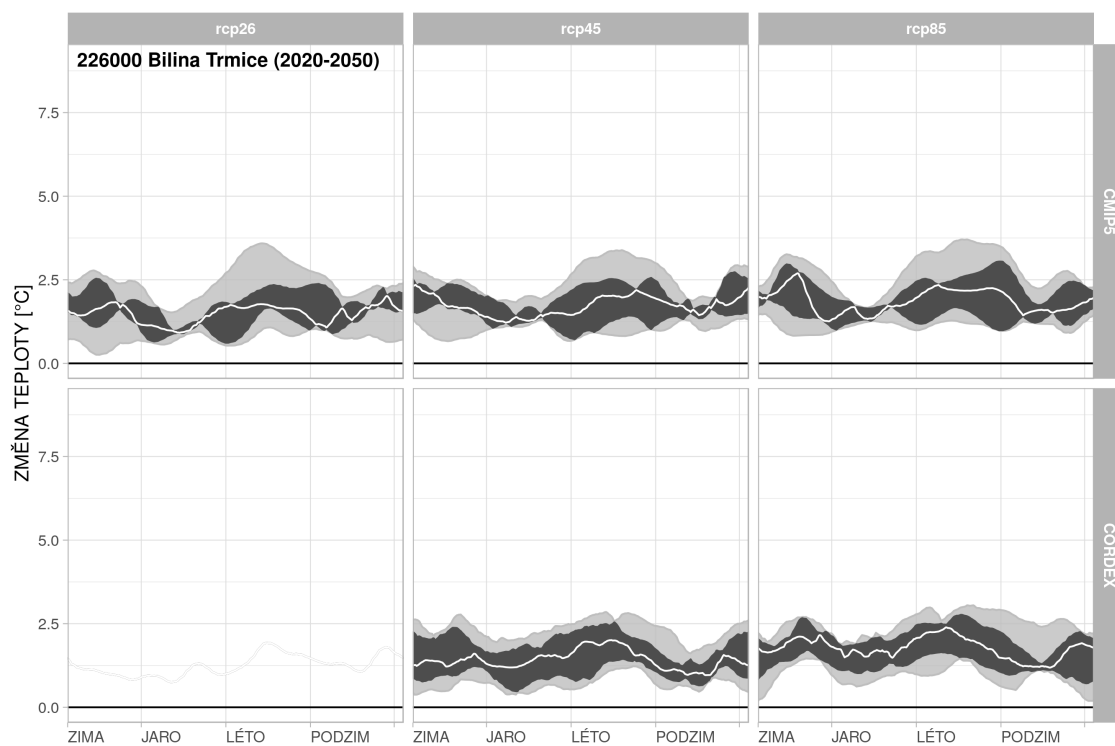
Obrázek 317: Změny teplot v povodí Labe-Dresden-Hřensko mezipovodí pro období 2070–2100.



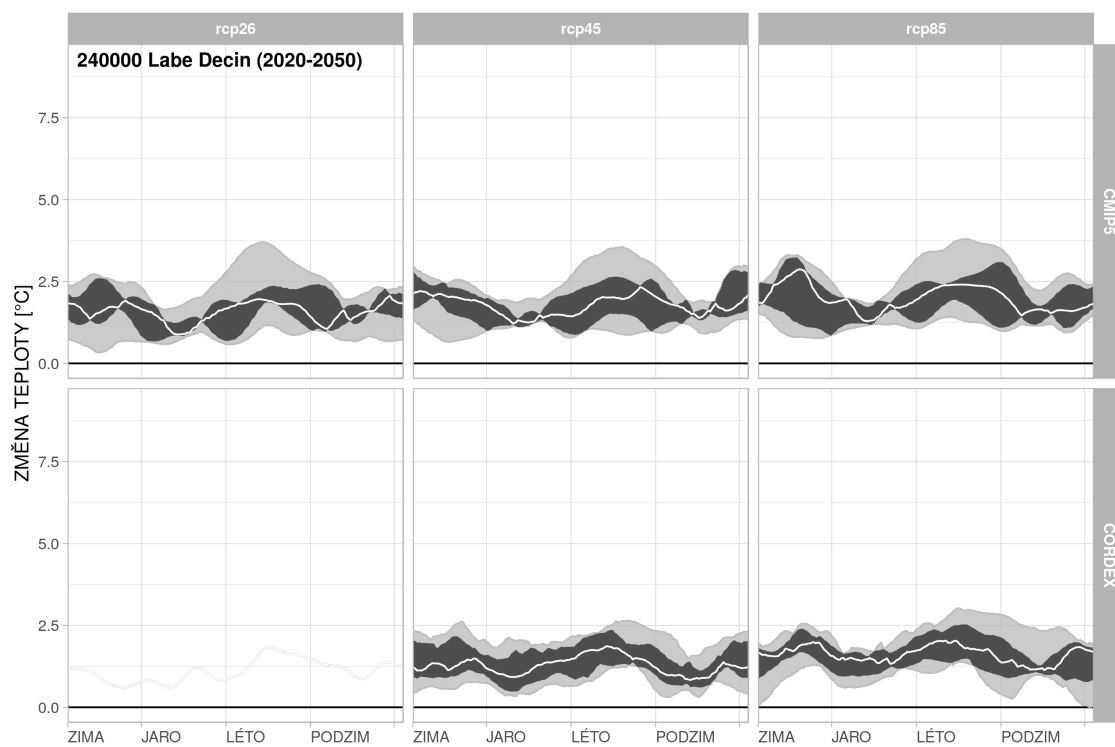
Obrázek 318: Změny teplot v povodí Labe-Hřensko-Dečín mezipovodí pro období 2070–2100.



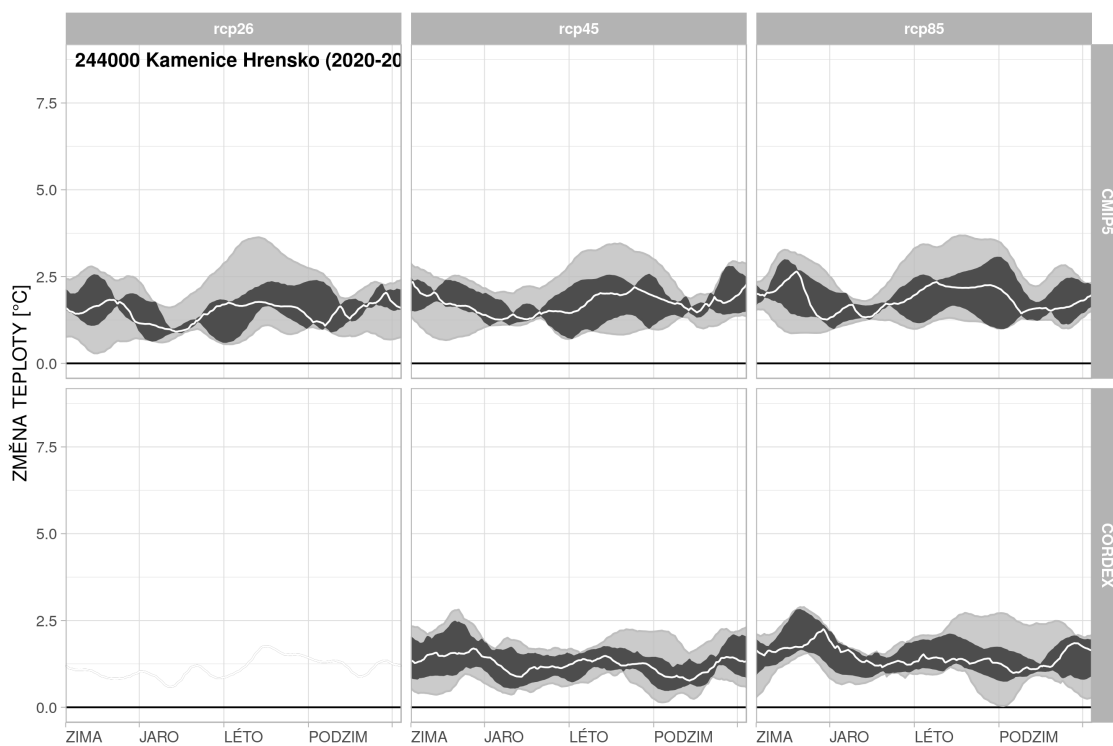
Obrázek 319: Změny teplot v povodí Labe-Ústí pro období 2020–2050.



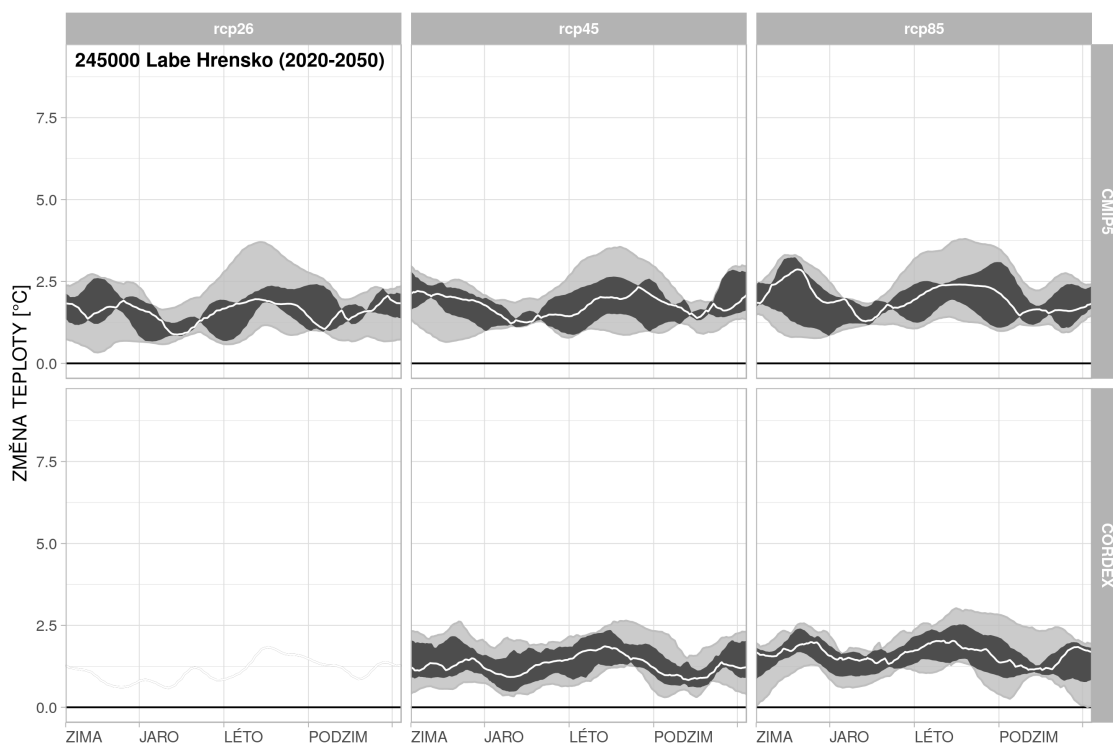
Obrázek 320: Změny teplot v povodí Bílina-Trmice pro období 2020–2050.



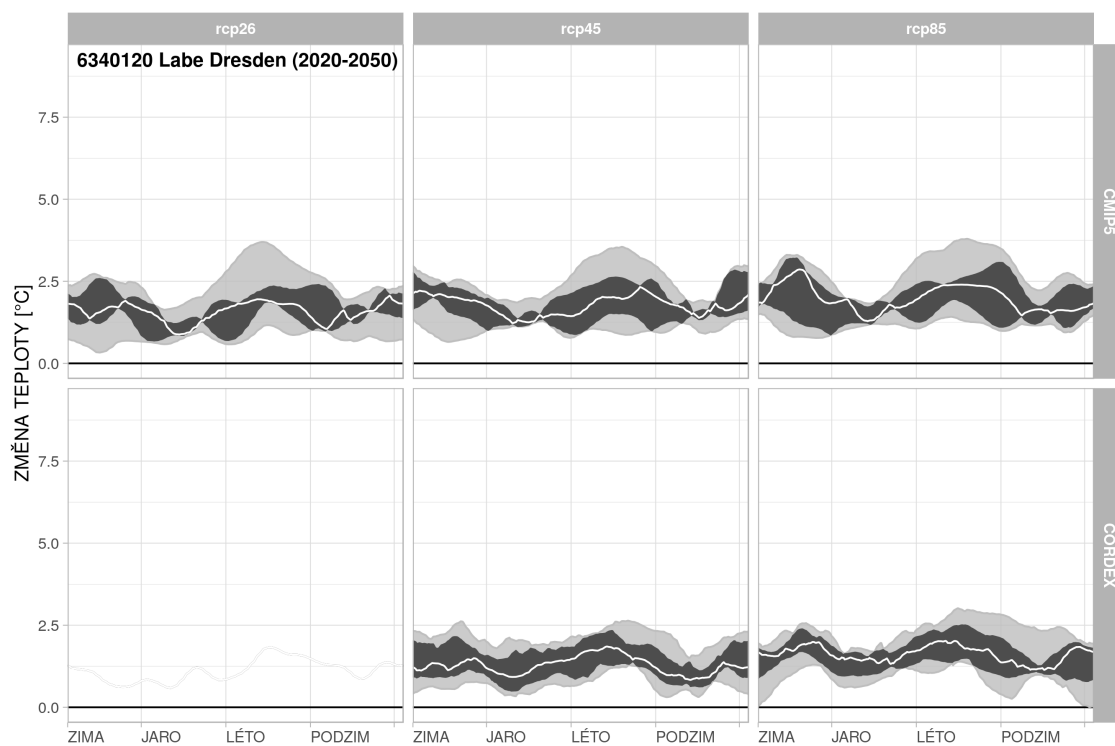
Obrázek 321: Změny teplot v povodí Labe-Děčín pro období 2020–2050.



Obrázek 322: Změny teplot v povodí Kamenice-Hřensko pro období 2020–2050.



Obrázek 323: Změny teplot v povodí Labe-Hřensko pro období 2020–2050.

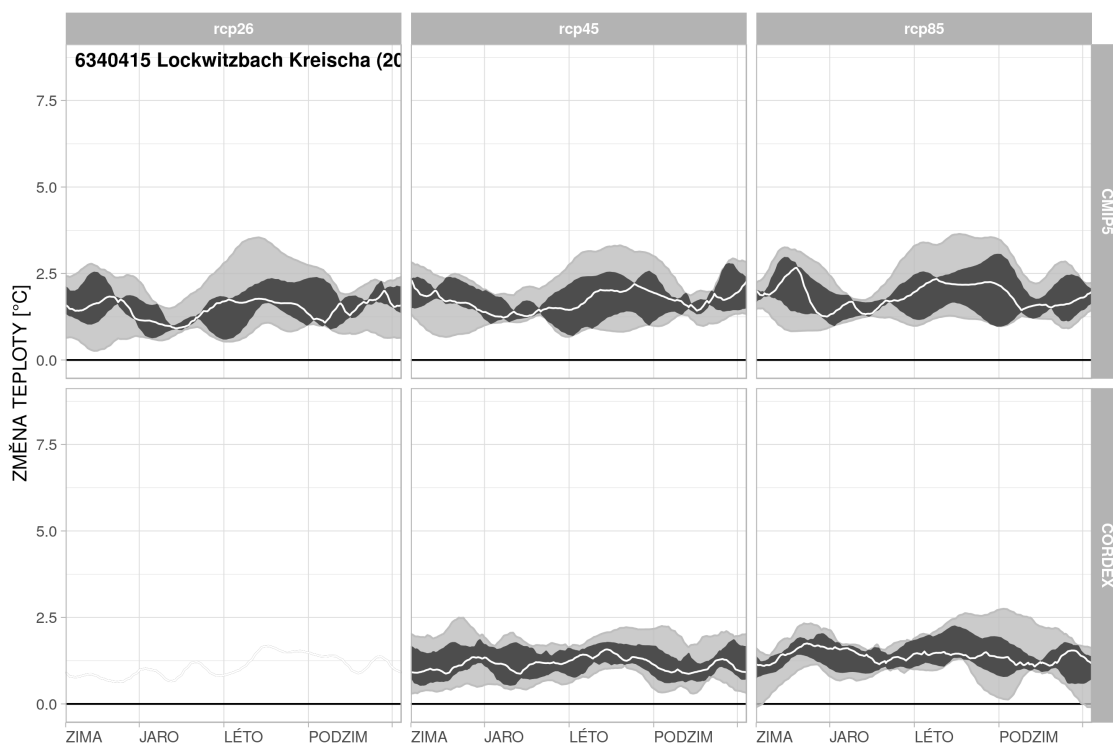


Obrázek 324: Změny teplot v povodí Labe-Dresden pro období 2020–2050.

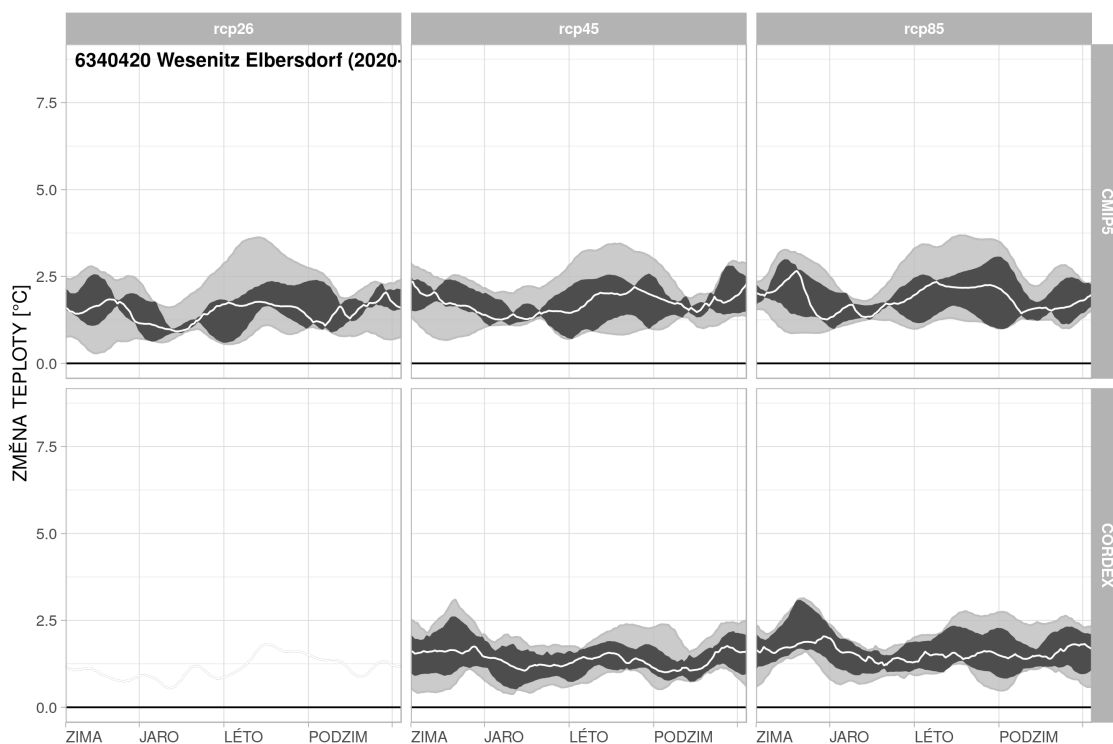


Obrázek 325: Změny teplot v povodí Mueglitz-Dohna pro období 2020–2050.

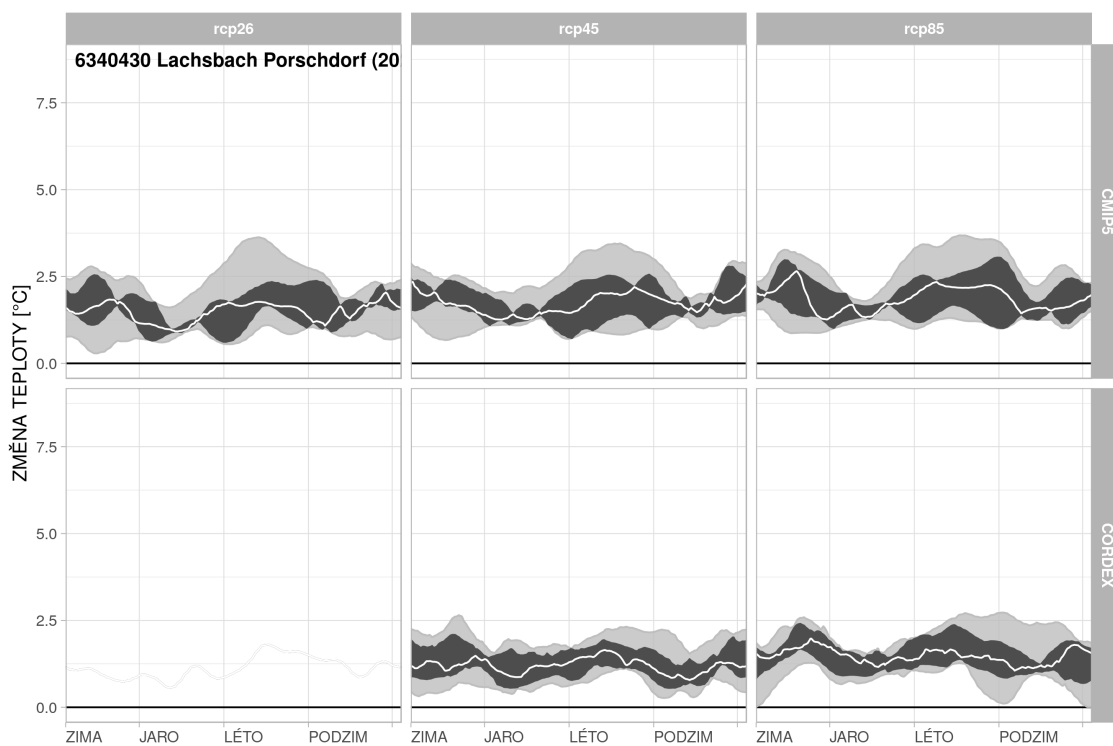




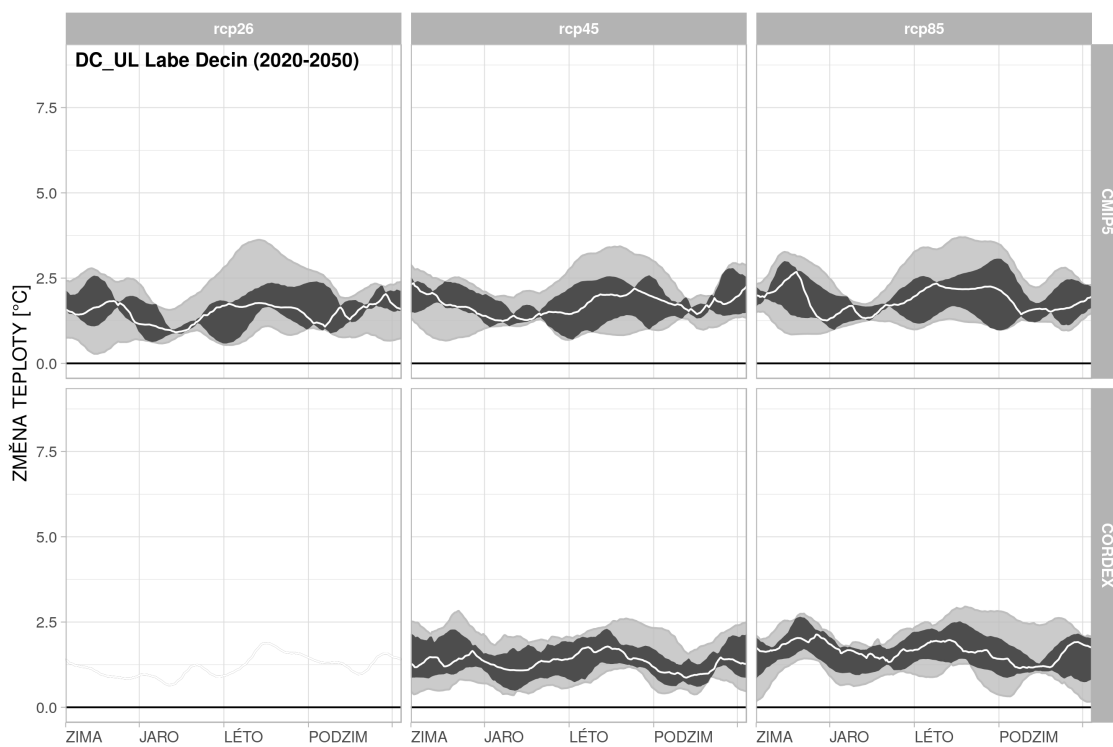
Obrázek 326: Změny teplot v povodí Lockwitzbach-Kreischa pro období 2020–2050.



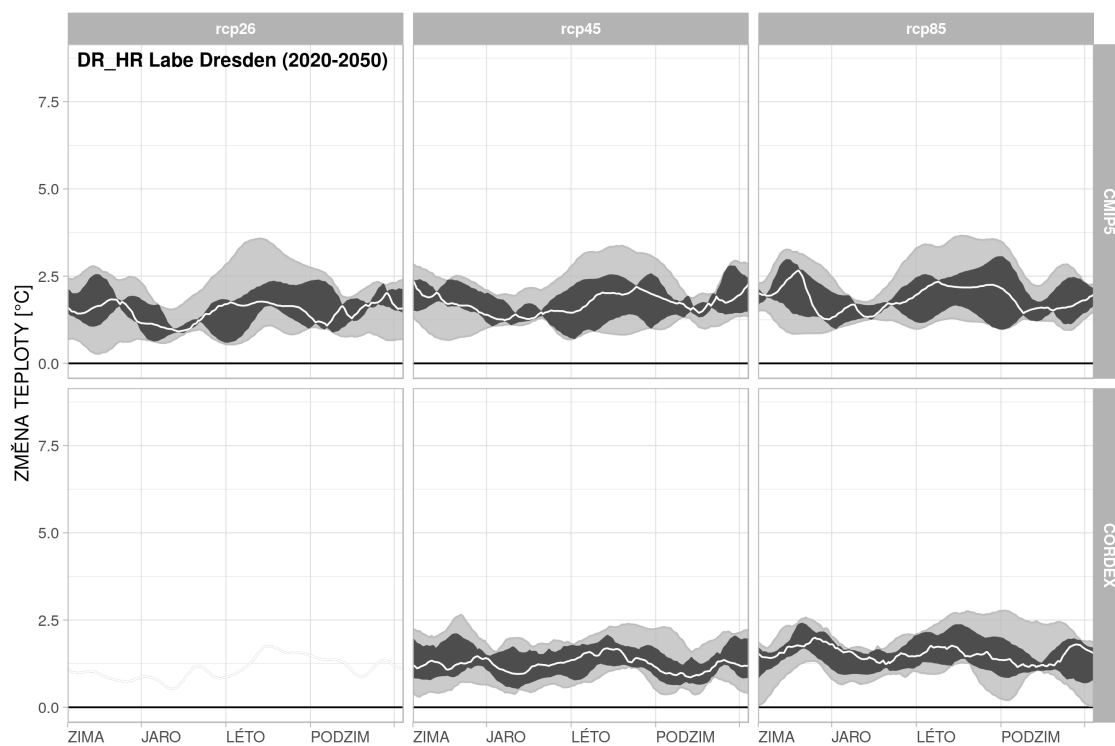
Obrázek 327: Změny teplot v povodí Wesenitz-Elbersdorf pro období 2020–2050.



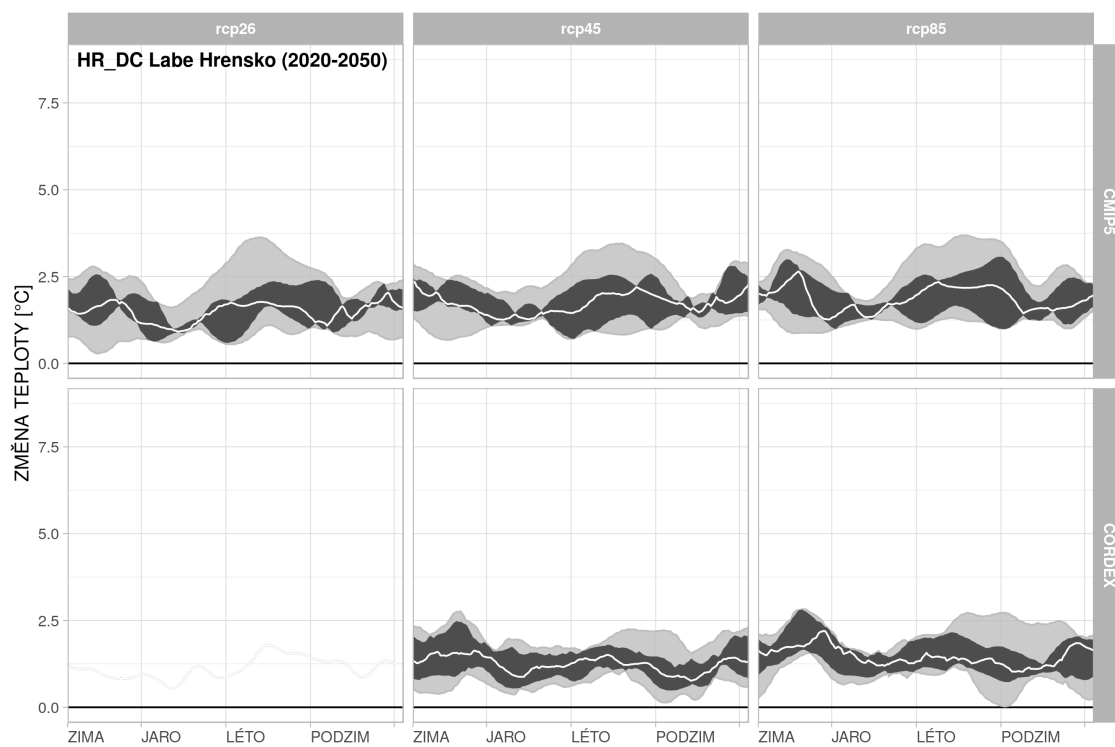
Obrázek 328: Změny teplot v povodí Lachsbach-Porschdorf pro období 2020–2050.



Obrázek 329: Změny teplot v povodí Labe-Děčín-Ústí mezipovodí pro období 2020–2050.



Obrázek 330: Změny teplot v povodí Labe-Dresden-Hřensko mezipovodí pro období 2020–2050.



Obrázek 331: Změny teplot v povodí Labe-Hřensko-Dečín mezipovodí pro období 2020–2050.