

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování



Dopady změn klimatu na hydrologický režim

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Adam Vizina

Autor práce: Filip Strnad

© 2013 ČZU v Praze

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Adama Viziny, a že jsem uvedl všechny literární prameny, ze kterých jsem čerpal.

V Praze dne

.....

Poděkování

Rád bych zde poděkoval svému vedoucímu Ing. Adamu Vizinovi za ochotu, trpělivost a připomínky při tvorbě této práce. Poděkování patří také rodině za podporu během celého studia.

ABSTRAKT

Rostoucí koncentrace CO₂ a dalších skleníkových plynů v atmosféře vede ke klimatickým změnám, které ovlivňují hydrologickou bilanci a vodní hospodářství. Tyto skleníkové plyny mění energetickou bilanci atmosféry, což vede ke zvýšení teplot vzduchu. Hydrologické studie poukazují na to, že tento tzv. skleníkový efekt změní časování a rozsah odtoku. Tato práce se zabývá poznáním a odhadem změn klimatu a jejich dopadů na hydrologický režim, založeném na modelování odtoku v povodí řeky Klabava. Práce obsahuje stručný přehled poznatků o klimatických změnách, popis globálních a regionálních klimatických modelů a modelů hydrologické bilance. K samotnému modelování byl použit model BILAN a vstupní data scénářů klimatické změny.

KLÍČOVÁ SLOVA

Změna klimatu, Globální klimatický model, Regionální klimatický model, emisní scénáře, hydrologický model, BILAN

ABSTRACT

Growing atmospheric concentrations of CO₂ and other green house gasses are leading to climatic changes with important implications for the hydrologic balance and water resources management. These greenhouse gases altering the radiative balance of the atmosphere, causing increases in temperature . Hydrological research is pointing out that this so-called greenhouse effect will alter the timing and magnitude of runoff. This composition is focusing on identifying and assessing the climate change and its impacts on current hydrological regime by modeling runoff in the Klabava river basin. Paper consists of concise overview of current climate change findings, global and regional climate change models and hydrological ballance models descriptions. For the purpose of modeling BILAN model and climate change scenarios input data were used.

KEY WORDS

Climate change, Global climate model, Regional climate model, emission scenarios, hydrological model, BILAN

OBSAH

1	ÚVOD	6
2	REŠERŠE.....	7
2.1	Klimatická změna a mezivládní panel pro změnu klimatu.....	7
2.1.1	Globální a regionální klimatický model	14
2.1.2	Emisní scénáře SRES	18
2.1.3	Emisní scénáře RCP.....	20
2.2	Modely hydrologické bilance	21
2.2.1	Klasifikace dle principu příčiny a důsledku	22
2.2.2	Klasifikace podle míry časové a prostorové diskretizace	24
2.2.3	Model BILAN.....	25
3	POPIS POVODÍ.....	26
4	VÝSLEDKY	37
4.1	Kalibrace modelu BILAN.....	37
4.2	Tvorba scénářů.....	44
5	DISKUZE.....	53
6	ZÁVĚR.....	54
	LITERATURA	55

1 ÚVOD

Změna klimatu je jedním z hlavních faktorů formujících podmínky současného a především budoucího světa. Její dopady, globální i regionální, se bezprostředně dotýkají oblastí lidské činnosti, jakými jsou např. zemědělství, vodní hospodářství, energetika apod. Právě vodní hospodářství čelí největší výzvě z důvodu rostoucích nejistot způsobených změnou klimatu a s ní spojenou rychlou změnou socio-ekonomických hranic.

V současné době je kladen důraz kromě, snižování úrovně koncentrací skleníkových plynů v atmosféře a snižování jejich emisí, také na uplatňování adaptačních opatření a na zmírňování dopadů změn klimatu. Avšak přínos adaptačních opatření má v porovnání s přínosem snižování emisí skleníkových plynů většinou lokální či regionální charakter.

Tato studie je řešena na základě zadání bakalářské práce ve třetím ročníku bakalářského oboru vodního hospodářství na FŽP ČZU Praha.

Řešení se zabývá poznáním a odhadem vlivu klimatické změny současného hydrologického režimu. Práce je rozdělena na dvě části – rešerše problematiky klimatické změny a následné zpracování dat vybraným modelem hydrologické bilance (model BILAN). Dopad změn klimatu bude odhadnut pomocí modelovaných odtoků v povodí řeky Klabavy (Nová Hut'). Výpočty budou provedeny ve statistickém výpočetním programu R. Dále jsou některá data prezentována a zpracována v prostředí GIS.

2 REŠERŠE

2.1 Klimatická změna a mezivládní panel pro změnu klimatu

Mezivládní panel pro změnu klimatu (IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change) založený v roce 1988 dvěma institucemi Organizace spojených národů (OSN) - Světová meteorologická organizace (WMO - World Meteorological Organization) a Programem OSN pro životní prostředí (UNEP - United Nations Environment Programme), je vědecko-technická nezávislá mezivládní organizace zaměřující se na shromažďování a zhodnocení vědeckých, technických a socio-ekonomických informací týkajících se změn klimatu, jejich následků a případných způsobů adaptace či zmírnění dopadů (IPCC, 2013).

IPCC se skládá ze tří hlavních pracovních seskupení: I. Skupina - hodnotí vědecké aspekty klimatické změny, II Skupina - hodnotí ohroženost sociální a enviromentální sféry, důsledky a možnosti adaptace, III. Skupina - hodnotí možnosti snížení emisí skleníkových plynů a zmírnění (mitigaci) změny klimatu. Každé z uskupení vydává vlastní zprávy, které jsou dále začleněny do komplexního reportu IPCC. Aktuální - čtvrtý - report byl vydán v roce 2007 (AR4 - Fourth Assessment Report), vydání pátého reportu (AR5 - Fifth Assessment Report) se očekává v roce 2014.

AR4 lze stručně shrnout v několika okruzích:

1. Pozorované změny klimatu a její vlivy
2. Příčiny změny
3. Předpokládané změny klimatu a jejich dopady
4. Adaptační a mitigační opatření

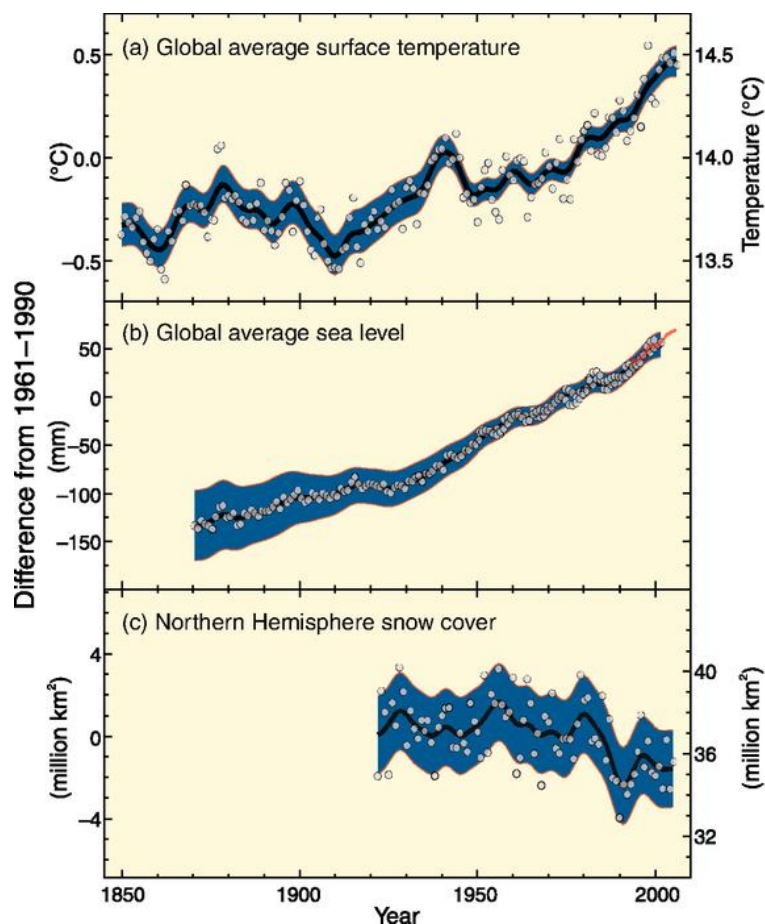
Pozorované změny klimatu a jejich vlivy

Změna klimatu je jednoznačně evidentní na pozorovaných zvýšených průměrných ročních teplotách vzduchu a oceánů a také zvýšeném tání sněhu a ledu a s ním spojené zvýšení mořské hladiny.

Jedenáct z posledních dvanácti let (1995–2006) bylo označeno za nejteplejší období v záznamech přístrojového měření globální teploty vzduchu (měření je prováděno od roku 1850). Ke vzrůstu teploty dochází globálně, avšak ve větších severních šířkách je vzrůst teplot vyšší. Na pevnině se teploty zvyšují rychleji, nežli teploty oceánů. K růstu teploty je také přiřazován vzrůst mořské hladiny a zvýšené tání sněhového a ledového pokryvu (Obr. 1). Celosvětově se hladina moře průměrně zvedla od roku 1961 o 1,8mm, od roku 1993 se hladina průměrně zvedla o 3,1mm k čemuž přispělo především tání ledovců a polárních ledových pokryvů.

V intervalu let 1900–2005 je zaznamenán výrazný narůst srážek na území Severní a Jižní Ameriky, severní Evropy, severní a střední Asie. Naopak v oblastech Sahelu, středozemního moře, jižní Afriky a části jihovýchodní Asie srážky ubyly. Zároveň došlo ke zvýšení výskytu tropických cyklón v oblastech severního Atlantiku.

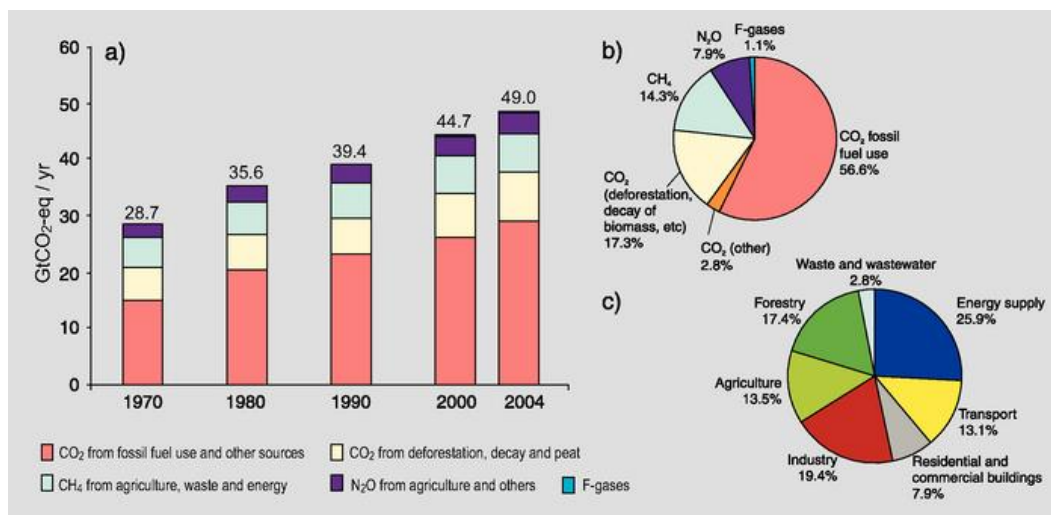
Průměrně teploty na severní polokouli ve druhé polovině dvacátého století byly pravděpodobně nejvyšší za nejméně 1300 let.



Obr. 1 – Rozdíly mezi lety 1961–1990 (a) globální průměrné teploty vzduchu, (b) globální průměrné hladiny moří, (c) sněhový pokryv severní polokoule (IPCC, 2007).

Příčiny klimatické změny

Jako hlavní příčina klimatické změny se uvažuje zvýšení koncentrací skleníkových plynů (GHGs - greenhouse gases) a aerosolů v atmosféře, změny krajinného pokryvu a slunečního záření, které mění energetickou bilanci klimatického systému. Globálně se emise skleníkových plynů způsobené lidskou činností zvýšily v období 1970–2004 o 70% (Obr. 2).



Obr. 2 – (a) Globální roční emise antropogenních skleníkových plynů v období 1970-2004, (b) poměr ostatních antropogenních skleníkových plynů roce 2004 k emisím CO₂, (c) podíl různých sektorů na emisích CO₂ v roce 2004 (lesnictví - forestry - zahrnuje odlesňování) (IPCC, 2007).

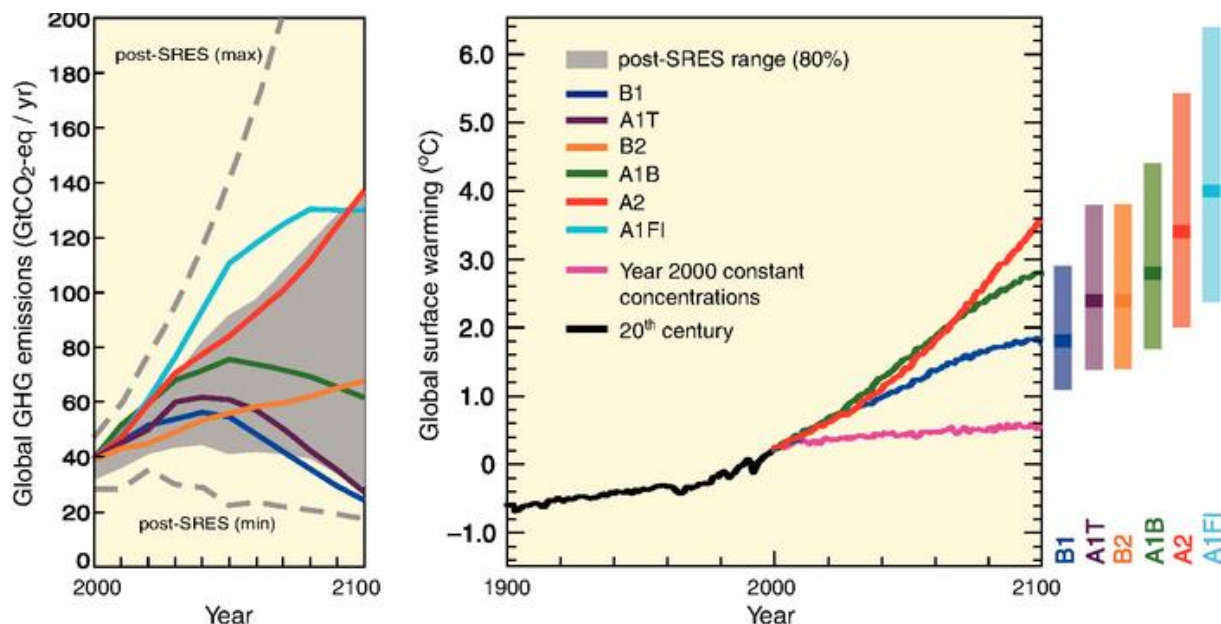
Většina pozorování zvýšení průměrných ročních teplot druhé poloviny dvacátého století je připisována pozorovanému zvýšení koncentrace antropogenních skleníkových plynů. Za posledního půl století došlo pravděpodobně ke zvýšení teplot na všech kontinentech kromě Antarktidy. Oteplování způsobené lidskou činností má jasně viditelný dopad v mnoha biologických systémech (IPCC, 2007).

Předpokládané změny klimatu a jejich dopady

K dispozici jsou důkazy ukazující vysokou pravděpodobnost zvyšování emisí a koncentrace skleníkových plynů i přes současná opatření snažící se zmírnit změnu klimatu.

Zvláštní zpráva IPCC o emisních scénářích (SRES - Special Report on Emissions Scenarios) z roku 2000 počítá v období let 2000–2030 se vzrůstem globálních emisí skleníkových plynů o 25–90 %, s tím že fosilní paliva do roku 2030 a následujících let budou na dále držet dominantní pozici na poli energetiky. Pokračování produkce emisí skleníkových plynů v současné či vyšší míře by v průběhu 21. století způsobilo další oteplování a vyvolalo by v globálním klimatickém systému mnoho změn, které by velmi pravděpodobně byly větší než změny pozorované ve dvacátém století.

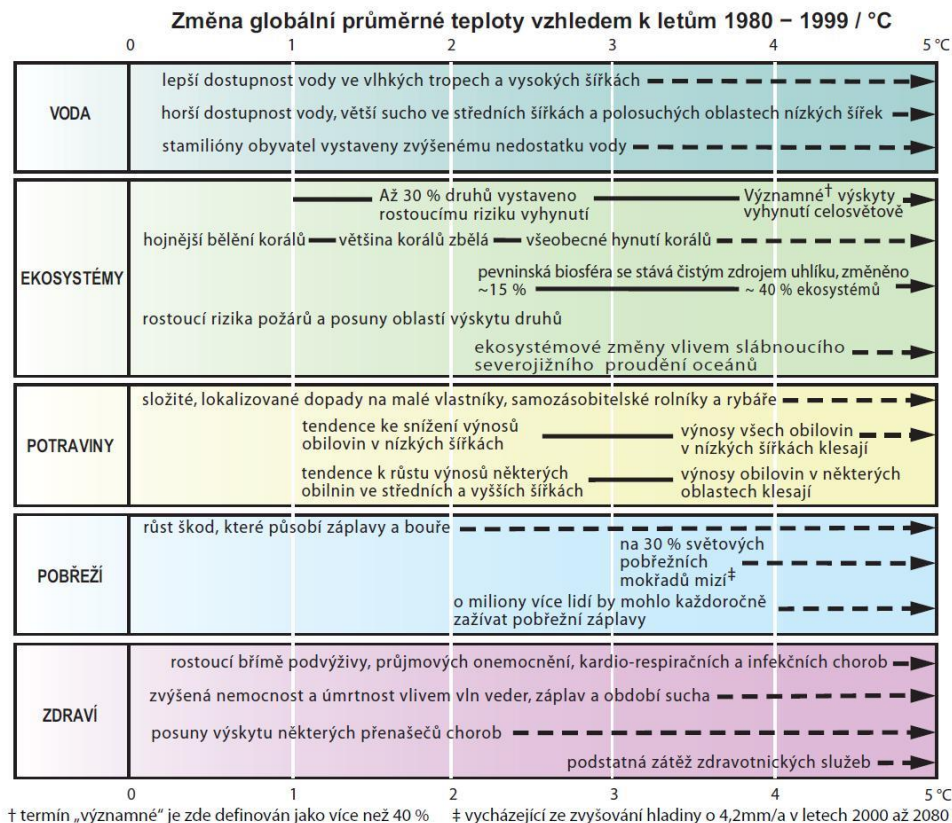
Projekce teplot v následném období závisí na konkrétních scénářích emisí skleníkových plynů. Příklady dopadu jsou znázorněny na Obr. 3.



Obr. 3 – (levý panel) Globální emise skleníkových plynů při absenci opatření ochrany klimatu: šest ilustrativních scénářů SRES (barevné čáry) a rozsah 10. až 90. percentilu 10 scénářů publikovaných po SRES (šedá oblast). Čárkované křivky vymezují plný rozsah post-SRES scénářů. Emise zahrnují CO₂, CH₄, N₂O.

(pravý panel) Plné čáry ukazují průměrné globální oteplení pro scénáře SRES A2, A1B a B1 znázorněné jako pokračování simulací 20. století. Tyto projekce berou v úvahu také emise skleníkových plynů s krátkou životností a emise aerosolů. Růžová čára není scénář - znázorňuje simulaci modelu cirkulace atmosféry a oceánu (AOGCM Atmosphere-Ocean General Circulation Model), sloupce vpravo znázorňují nejlepší odhad (plná čára v každém sloupečku) a pravděpodobný rozsah odhadovaný pro scénáře SRES v období 2090–2999. Všechny teploty jsou vztaheny k období 1980–1990 (IPCC, 2007).

Existuje vysoká míra jistoty, že se do poloviny století roční odtok řek a dostupnost vody ve vyšších zeměpisných šířkách (některých vlhkých tropických oblastech) zvýší a v některých suchých oblastech ve středních zeměpisných šířkách a tropech sníží. Existuje rovněž vysoká míra jistoty, že mnohé polosuché oblasti (např. Středozezemská pánev, západ Spojených států, jižní Afrika a severovýchodní Brazílie) budou v důsledku změn klimatu trpět omezenými vodními zdroji (IPCC, 2007). Dopady spojené se změnou klimatu jsou znázorněné na Obr. 4.



Obr. 4 – Příklad dopadů spojených s globálním průměrným oteplením zemského povrchu dle projekce (IPCC, 2007).

Adaptační a mitigační opatření

Možností přizpůsobení se klimatické změně existuje veliké množství. Ke snížení zranitelnosti vůči klimatickým změnám, je ale zapotřebí rozsáhlejší adaptace než jaká v současnosti probíhá. Schopnost adaptace úzce souvisí se sociálním a hospodářským rozvojem, ale je nerovnoměrně rozdělena mezi jednotlivými společnostmi i uvnitř nich samotných. Některá plánovaná opatření pro adaptaci na změnu klimatu se již v omezené míře uskutečňují. Adaptace může zmírnit zranitelnost vůči klimatickým změnám tehdy, je-li součástí širších iniciativ (Tab. 1). Bez ohledu na rozsah zmírnění, ke kterému se přistupuje a přistoupí v následujících dvou až třech desetiletích, bude však potřeba přijmout další adaptační opatření ke zmírnění negativních dopadů změny a variability klimatu, jaká vychází z projekce. Zranitelnost změnou klimatu mohou navíc zhoršit další stresy, které mohou být důsledkem již dnes existujících rizik, chudoby a nerovnoměrného přístupu ke zdrojům, nedostatečného zabezpečení potravin, trendů v rámci ekonomické globalizace, konfliktů a výskytu chorob, jako je HIV/AIDS.

Tab. 1 – Vybrané příklady plánovaného přizpůsobení změnám klimatu podle jednotlivých sektorů. (IPCC, 2007)

Sektor	Možnost / strategie přizpůsobení	Základní rámec politiky	Klíčová omezení a příležitosti implementace
Voda	Rozšířené využívání dešťové vody; techniky skladování a ochrany vody; recyklace vody; odsolování vody; efektivita zavlažování a využívání vody.	Národní vodohospodářské politiky a integrovaný systém správy vodních zdrojů; řízení rizik spojených s vodou.	Finanční, personální a fyzické překážky; integrovaný systém správy vodních zdrojů; synergie s ostatními sektory.
Zemědělství	Přizpůsobení termínů výsadby a odrůd plodin; přemísťování plodin; kvalitnější hospodaření, např. protierozní opatření a ochrana půdy výsadbou stromů.	Politiky výzkumu a vývoje; institucionální reforma; držba půdy a půdní reforma; vzdělávání; budování kapacit; pojištění plodin; finanční pobídky, např. dotace a daňové úlevy.	Technologická a finanční omezení; přístup k novým odrůdám; trhy; delší vegetační období ve vyšších zeměpisných šířkách; příjmy z „nových“ produktů.
Infrastruktura/ sídla (včetně pobřežních oblastí)	Přemísťování; mořské hráze a zábrany proti vysoké hladině během bouří; zpevnění dun; akvizice půdy a vytváření mokřadů coby nárazníkových pásem jako ochrany proti zvýšené hladině moře a záplavám; ochrana stávajících přírodních bariér.	Normy a předpisy, které berou ohledy na změnu klimatu při zpracování návrhů (infrastruktury / sídel); politiky využití půdy; stavební zákony; pojištění.	Finanční a technologické překážky; dostupnost prostoru pro účely přemísťování; integrované politiky a řízení; synergie s cíli udržitelného rozvoje.
Lidské zdraví	Zdravotnické akční plány pro případ vln veder; pohotovostní lékařské služby; kvalitnější dohled v oblasti chorob reagujících na klimatické situace; nezávadná voda a zlepšená hygiena.	Politiky veřejného zdraví zohledňující klimatická rizika; posílení zdravotnických služeb; regionální a mezinárodní spolupráce.	Limity odolnosti lidského zdraví (zranitelné skupiny); omezené znalosti; finanční možnosti; kvalitnější zdravotnické služby; vyšší kvalita života.
Cestovní ruch	Diversifikace turistických atrakcí a příjmů; posun lyžařských sjezdových tratí do vyšších nadmořských výšek a na ledovce; výroba umělého sněhu.	Integrované plánování (např. kapacita zatížení prostředí; vazby na jiné sektory); finanční pobídky, např. dotace a daňové úlevy.	Působivost / marketing nových atrakcí; finanční a logistická problematika; možné nepříznivé dopady na jiné sektory (např. umělé zasněžování může zvýšit spotřebu energie); příjmy z „nových“ atrakcí; zapojení širší skupiny zainteresovaných stran.
Doprava	Reorganizace / přesun; navrhování norem a plánování silniční, železniční a jiné infrastruktury s cílem zohlednit oteplování a odvodňování.	Zahrnutí aspektů klimatických změn do národní dopravní politiky; investice do výzkumu a vývoje pro účely zvláštních situací, např. oblastí věčně zmrzlé půdy.	Finanční a technologické překážky; existence méně zranitelných tras; kvalitnější technologie a harmonizace s klíčovými sektory (např. energetika).
Energetika	Posílení výškové infrastruktury pro přenos a distribuci elektřiny; podzemní kabelové rozvody; efektivní využívání energie; využívání obnovitelných zdrojů; nižší závislost na jednotlivých zdrojích energie.	Národní energetické politiky a předpisy, daňové a finanční pobídky s cílem podpořit využívání alternativních zdrojů; zohlednění změny klimatu ve standardech pro design.	Přístup k realizovatelným alternativám; finanční a technologické překážky; přijímání nových technologií; stimulace nových technologií; využívání lokálních zdrojů.

AR5 bude klást větší důraz na přesnější odhady socio-ekonomických aspektů klimatické změny a důsledků pro udržitelný rozvoj společnosti. AR5 již bude pracovat s novými scénáři reprezentativních směrů vývoje koncentrací skleníkových plynů (RCP - representative concentration pathways). Bude se také detailněji soustředit na regionální změnu klimatu její dopady a možné adaptační a mitigační opatření.

Pátá hodnotící zpráva se bude opírat o články Rámcové úmluvy OSN o změně klimatu (UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change), popisující stabilizaci koncentrace skleníkových plynů v atmosféře na úroveň, která by zabránila vážným negativním dopadům antropogenní činnosti na klimatický systém. (IPCC, 2013)

Klíčová témata AR5 budou: Balanční systémy (WES - Water and Earth System); změny, dopady a odezvy klimatického systému; oběh uhlíku a acidifikace oceánů; úbytek ledové pokrývky a zvýšení hladin moří; mitigační a adaptační opatření a opatření pro udržitelný rozvoj společnosti; druhý článek UNFCCC.

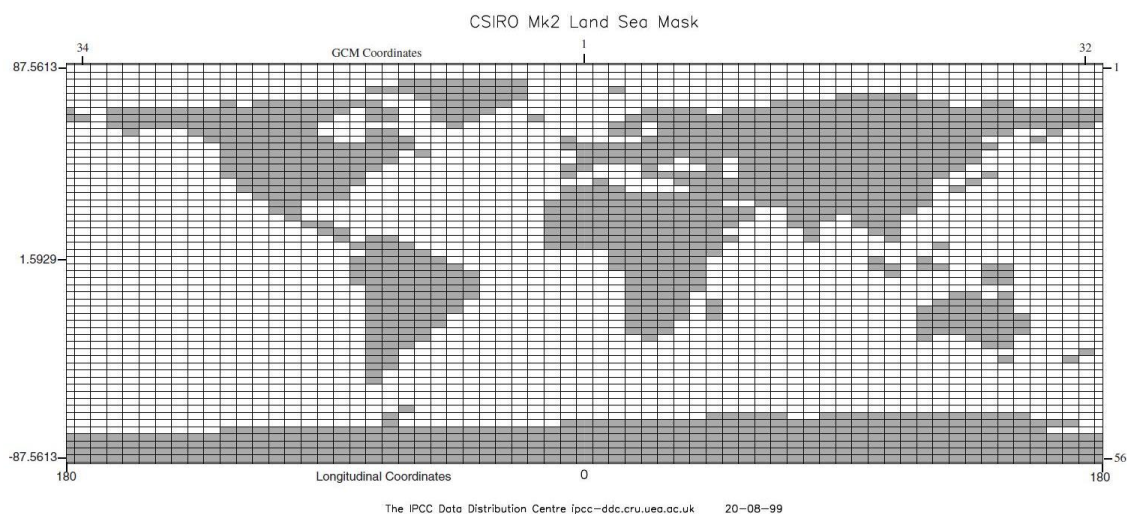
2.1.1 Globální a regionální klimatický model

2.1.1.1 Globální klimatický model

Globální klimatický model je matematický model cirkulace v atmosféře a v oceánech. Zkratka GCM je používána zároveň pro globální klimatický model (Global Climate Model) a globální cirkulační model (Global Circulation Model). Zároveň se používá označení model cirkulace atmosféry a oceánu (AOGCM - Atmosphere-ocean general circulation model) pro zdůraznění propojení modelu atmosféry a oceánů. GCM je založen na Navier-Stokesových rovnicích. Do modelu vstupují fyzikální, biologické a chemické údaje týkající se klimatického systému začleněné do matematických rovnic ukazujících vývoj atmosféry v čase a prostoru. Tyto rovnice popisují množství proměnných (např.: teplotu, rychlost větru, vlhkost a tlak) a dohromady definují stav atmosféry. Tyto modely jsou v mnoha ohledech podobné numerickým modelům používaným k předpovědi počasí.

Horizontální rozlišení GCM je v současnosti řádově několik stovek, výjimečně i desítek kilometrů. Ve vertikálním směru bývá atmosféra rozdělena do deseti i více vrstev od hladiny moře po hranici troposféry (tj. cca 20 km), u některých modelů i podstatně výše

(Obr. 5). Vertikální rozlišení bývá tedy větší než rozlišení horizontální. Časový krok výpočtu je běžně v řádu desítek až jednotek minut.



Obr. 5 – ukázka rozlišení GCM - CSIRO Mk2 (<http://www.ipcc-data.org.pdf>).

Energetická bilance Země je do značné míry určena intenzitou dopadajícího slunečního záření a složením atmosféry, přičemž efekt dlouhodobých změn intenzity slunečního záření je podle odhadu násobně nižší než vliv růstu emisí skleníkových plynů. Intenzita dopadajícího slunečního záření periodicky kolísá v cyklech různé délky. Zhruba jedenáctiletý sluneční cyklus způsobený změnami magnetického pole je znám již od poloviny devatenáctého století. Dlouhodobé změny množství dopadajícího záření souvisí s excentricitou oběžné dráhy Země (tzv. Milankovičovy cykly), jsou patrně příčinou změny klimatu v minulosti (doby ledové). Koncentrace skleníkových plynů je jedním z nejdůležitějších faktorů určujících energetickou bilanci Země (určuje množství záření, jež je atmosféra schopna pojmout). Její nadměrné zvyšování může vést k zesílení skleníkového efektu. Dalším důležitým faktorem je koncentrace aerosolu a jiných polutantů, jež má vliv na množství energie, které může být absorbováno atmosférou, ale také ovlivňuje proces formování srážek a oblačnosti a zamezuje průniku slunečního záření k zemskému povrchu. Koncentrace skleníkových plynů i aerosolu je ovlivněna přirozenými faktory i antropogenní činností. Složení atmosféry a její změny související zejména se změnami emisí a koncentrací skleníkových plynů, tvoří v podobě tzv. emisních scénářů klíčový vstup globálních klimatických modelů.

2.1.1.2 Regionální klimatický model

Hodnoty globálních klimatických modelů vstupují ve formě okrajových podmínek do regionálních modelů, které již disponují mnohem větším rozlišením. Tento proces se nazývá dynamický downscaling.

V současné době probíhá intenzivní výzkum a rozvoj regionálních modelů, které již pracují s rozlišením několika desítek kilometrů. Významným projektem pracujícím s emisními scénáři SRES je projekt CORDEX (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment) zabývající se modelováním klimatu a jeho změn, který má za cíl zpřístupnit výsledky klimatických modelů s velkým prostorovým rozlišením a vypracovat metodiku odhadu nejistot klimatických modelů.

V Evropě v současné době regionální klimatické modely (RCM – Regional Climate Model) vychází z projektu ENSEMBLES. Tyto RCM jsou tvořeny v měsíčním kroku. Celkově bylo zpracováno 20 RCM z projektu ENSEMBLES (Tab. 2), modely mají rozlišení cca 25km x 25km a řídí se dle emisních scénářů IPCC SRES A1B, modely pokrývají období 1960–2050/2100.

Scénáře pro jednotlivá povodí a modely byly tvořeny tak, že nejprve byl určen rok odpovídající středu pozorované řady. Následně byly uvažovány změny mezi tímto rokem a roky 2035, 2055 a 2085. Změny z jednotlivých grid boxů byly interpolovány na povodí na základě plochy grid boxů pokrývající dané povodí a pozorované řady byly o tyto změny opraveny. Výsledné scénářové řady byly modelovány pomocí modelu BILAN kalibrovaného na pozorovaném období. Celkem bylo zatím modelováno cca 130 povodí, dalších 90 se připravuje.

Tab. 2 – Přehled RCM z projektu ENSEMBLES.

Zkratka	Model	Perioda	Zdroj	reference
ECHAM5 driven (Jungclaus 2006)				
RACMO_EH5	RACMO2.1	1950–2100	Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI)	van Meijgaard (2008)
REMO_EH5	REMO5.7	1951–2100	Max Planck Institute for Meteorology (MPI), Germany	Jacob (2001),
RCA_EH5	RCA3.0	1951–2100	Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI)	Kjellström (2005)
RegCM_EH5	RegCM3	1951–2100	Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics (ICTP), Italy	Pal (2007)
HIR_EH5	HIRHAM5	1951–2100	DMI	
HadCM3Q0, HadCM3Q3, HadCM3Q16 driven (Collins et al. 2006)				
HadRM_Q0	HadRM3.0	1951–2099	Met Office Hadley Centre, UK	Jones (2004)
CLM_Q0	CLM2.4.6	1951–2099	Swiss Federal Institute of Technology Zurich (ETHZ)	Böhm (2006)
HIR_Q0	HadRM3.0	1951–2050	METNO	
PROMES_Q3	HadRM3.0	1951–2050	UCLM	
RRCM_Q0	HadRM3.0	1951–2050	VMGO	
HadRM_Q3	HadRM3.0	1951–2099	Met Office Hadley Centre, UK	Jones (2004)
RCA_Q3	RCA3.0	1951–2099	Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI)	Kjellström (2005)
HadRM_Q16	HadRM3.0	1951–2099	Met Office Hadley Centre, UK	Jones (2004)
RCA_Q16	RCA3.0	1951–2099	Community Climate Change Consortium for Ireland (C4I)	Kjellström (2005)
ARPEGE4.5 and 5.1 driven (Salas-Méllia et al. 2005)				
HIR_ARP	HIRHAM5	1951–2100	Danish Meteorological Institute (DMI)	Christensen (2007)
CNRM_ARP	CNRM-RM4.5	1950–2050	National Centre of Meteorological Research (CNRM), France	Radu (2008)
CNRM_ARP5	RM5.1	1950-2100		
BCM2.0 driven (Furevik et al. 2003)				
RCA_BCM	RCA3.0	1961–2100	Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI)	Kjellström (2005)
HIR_BCM	HIRHAM2	1951–2050	Norwegian Meteorological Institute (METNO)	Christensen (1996)
CGCM3.1 driven (Kim et al. 2003; Scinocca et al. 2008)				
CRCM_CCC	CRCM4.2.1	1951–2050	Consortium on Regional Climatology and Adaptation to Climate Change (OURANOS), Canada	Plummer (2006)

2.1.1.3

2.1.1.4 Downscaling

Globální klimatické modely pro hrubé rozlišení, řádově ve stovkách kilometrů, zobrazují pouze prostorový průměr. Z důvodu potřeby přesnějších dat byly vyvinuty algoritmy pro tzv. downscaling (pře počítávání), tímto způsobem je možné získat data v rozlišení gridu v řádech desítek kilometrů.

Statistický downscaling

Statistický downscaling spočívá v hledání statistických vztahů mezi velkorozměrnými poli ve volné atmosféře (prediktory) a veličinami, které jsou potřebné ve studiích dopadů klimatických změn, ale nejsou spolehlivě simulovány v GCM (prediktandy).

Dynamický downscaling

Dynamický downscaling je prováděn pomocí regionálních klimatických modelů. Jde zpravidla o atmosférické modely s detailnějším rozlišením, které jsou vnořené (nested) do globálních klimatických modelů a zahrnují menší oblast (například Evropu). Díky podrobnějším měřítkům mohou být v modelech lépe zachyceny orografické detaily i fyzikální procesy (Hanel, 2011).

2.1.2 Emisní scénáře SRES

Hlavní příčinou změn klimatu jsou emise skleníkových plynů. Jejich produkce je ovlivněna širokou škálou faktorů - zejména technologickými změnami, socio-ekonomickým a demografickým vývojem společnosti. Jelikož je jejich předpověď prakticky nemožná z důvodu technologických, socio-ekonomických a demografických změn, byly Mezivládním panelem pro klimatickou změnu v rámci Speciální zprávy o emisních scénářích SRES vytvořeny skupiny scénářů produkce skleníkových plynů založené na různých variantách vývoje společnosti. V každé skupině scénářů najdeme řadu možností, které popisují a zachycují široké spektrum demografických, ekonomických a technologických změn vývoje společnosti. Žádná skupina scénářů není více ani méně pravděpodobná než ostatní. Pro usnadnění odhadů dopadů klimatické změny byly pro skupiny A2, B1, B2 zvoleni reprezentující zástupci a u první skupiny A1 pak zástupci tři. Vznikla tak skupina šesti scénářů A1F1, A1B, A1T, A2, B1, B2, pro které jsou přednostně scénáře změny klimatu počítány (SRES, 2000).

SRES A1

Skupina scénářů SRES A1 popisuje svět s velmi rapidním ekonomickým růstem, globální populace dosáhne maxima na přelomu století, budou představovány a vyvíjeny nové, účinné technologie. Hlavními znaky je globalizace, budování infrastruktur a zvýšená kulturní a sociální interakce při významném snížení regionálních rozdílů v příjmu na jednoho obyvatele. Tato skupina se dělí podle využívaných zdrojů energie: intenzivní využívání fosilní energie (A1F1), bez fosilní energie (A1T) a rovnováha ve využívání všech druhů energie (A1B).

SRES A2

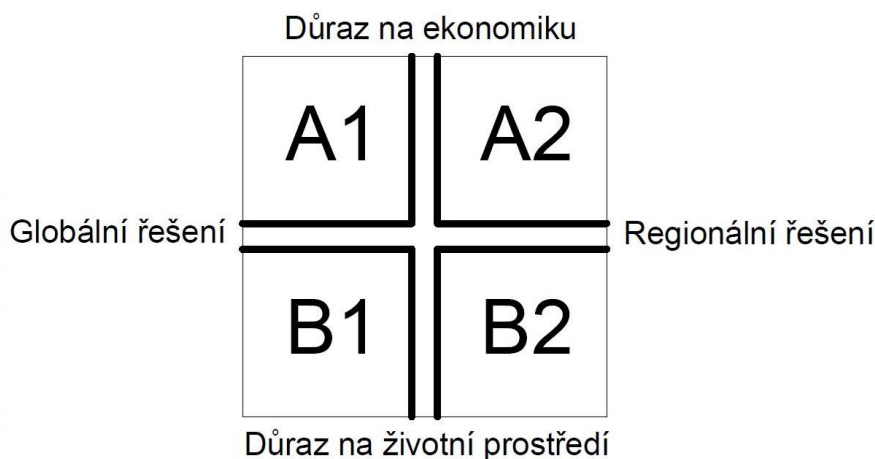
Skupina scénářů SRES A2 popisuje velice heterogenní svět. Je kladen důraz na soběstačnost a na „lokální identitu“. Počet obyvatel stále roste. Ekonomický růst a technologické změny jsou roztržštěnější a nejpomalejší ze všech skupin scénářů.

SRES B1

Skupina scénářů SRES B1 popisuje konvergentní svět s populací, která dosáhne maxima v polovině století stejně jako u scénáře SRES A1 (8,7 miliard) a poté bude povolna klesat na 7 miliard, předpokládá se posun ekonomických struktur ke službám a informačním technologiím. Počítá se zaváděním čistých technologií, důraz se klade na globální řešení ekonomických a sociálních problémů a ochranu životního prostředí, růst HDP není ústřední záležitostí.

SRES B2

Skupina scénářů SRES B2 popisuje svět, ve kterém je důraz kladen na lokální řešení ekonomické, sociální a ekologické udržitelnosti, svět se středním tempem ekonomického rozvoje a vývojem v technologiích, který je pomalejší a různorodější než v případě skupin A1 a B1. Scénář se zaměřuje také na ochranu životního prostředí a sociální rovnosti.

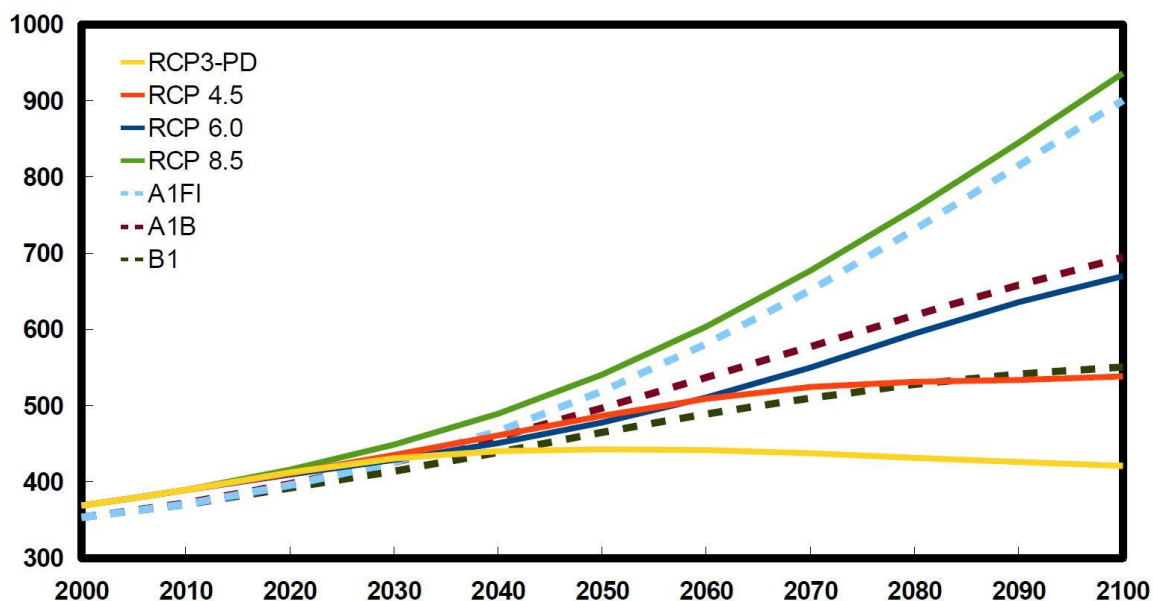


Obr. 6 – Přehled scénářů SRES.

2.1.3 Emisní scénáře RCP

V současnosti IPCC opouští od záměru koordinace tvorby emisních scénářů a tuto iniciativu přenechává vědecké komunitě s tím, že se sám snaží proces pouze stimulovat. I v minulosti existovala mimo „oficiálních“ emisních scénářů IPCC celá rada scénářů alternativních. Například IPCC AR4 zmiňuje více než 300 emisních scénářů publikovaných po zveřejnění scénářů SRES. Tyto scénáře se liší způsobem vzniku a projekcemi socio-ekonomického vývoje. Výsledné koncentrace skleníkových plynů se často překrývají. Na tuto skutečnost navazují reprezentativní směry vývoje koncentrací (RCP - representative concentration pathways), které nepopisují možné scénáře vývoje množství emisí skleníkových plynů (jako scénáře SRES), ale vývoje jejich koncentrací. V rámci tvorby RCP scénářů byly publikované scénáře na základě rešerše rozděleny do čtyř hlavních skupin a z každé skupiny byl vybrán reprezentativní zástupce.

Scénáře RCP obsahují i scénář předpokládající mírný růst koncentrací s vrcholem před rokem 2100 a následným poklesem (RCP3-PD), jenž umožňuje posouzení vlivu možného snižování emisí. Ostatní RCP scénáře víceméně pokrývají rozsah odhadovaných koncentrací pro scénáře SRES (Obr. 7). Stejně jako v případě scénářů SRES není určena žádná nejpravděpodobnější varianta vývoje (Moss, 2008).



Obr. 7 – Porovnání koncentrací CO₂ podle emisních scénářů SRES a RCP. (Hanel, 2011)

Tab. 3 – Přehled reprezentativních směrů vývoje koncentrací – RCP (Hanel, 2011).

RCP	Radiační působení	Koncentrace	Tvar
RCP8.5	8,5 W/m ² v roce 2100	1370 CO ₂ -eq v roce 2100	rostoucí
RCP6	6 W/m ² při stabilizaci po 2100	850 CO ₂ -eq při stabilizaci	postupná stabilizace
RCP4.5	4,5 W/m ² při stabilizaci po 2100	650 CO ₂ -eq při stabilizaci	postupná stabilizace
RCP3-PD	max 3 W/m ² před 2100, poté pokles	max 490 CO ₂ -eq	pokles po maximu

2.2 Modely hydrologické bilance

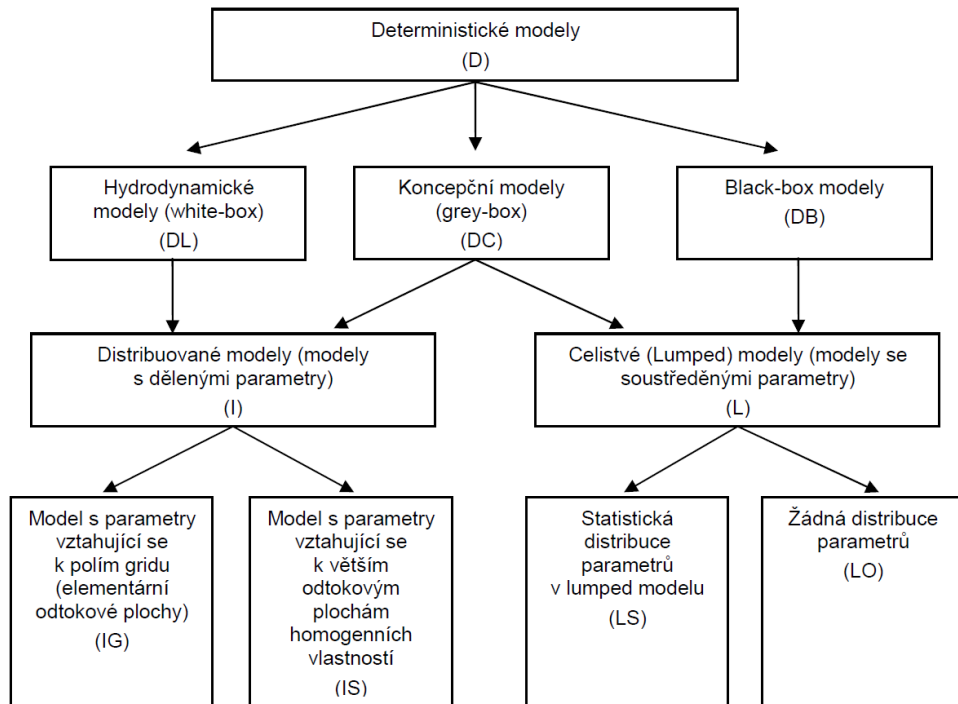
Matematický model srážko-odtokového procesu představuje zjednodušený kvantitativní vztah mezi vstupními a výstupními veličinami určitého hydrologického systému (Daňhelka, 2003). Ten je definován, jako systém fyzikálních procesů působících na vstupní proměnné, jež pak transformuje ve výstupní veličiny. Jedná se o algoritmy řešení soustav rovnic, které popisují strukturu a chování systému (Clarke, 1973).

2.2.1 Klasifikace dle principu příčiny a důsledku

Deterministické modely

Existuje velké množství deterministických modelů, které se liší svou strukturou, fyzikálním přístupem, či časovou a prostorovou diskretizací. Uvedeny jsou hlavní skupiny deterministických modelů (také obr. 1.):

- Modely založené na fyzikálním popisu srážko-odtokového procesu (DL - Deterministic, Hydrodynamic Laws), modely se snaží respektovat zákony zachování hmoty, hybnosti a energie (Kulhavý, Kovář, 2000). Mohou využívat teoretické poznatky z hydrodynamiky, termodynamiky, chemie, nebo biologie (Daňhelka et al., 2003). Označují se také jako „white-box“ modely.
- Modely obsahující fyzikální zákony ve zjednodušené (konceptní) formě (DC - Deterministic, Conceptual), obsahují i empiricky odvozené vztahy (Becker, Serban, 1990). Konceptní modely potlačují prostorovou složku a předpokládají, že ke změnám stavových parametrů dochází v určitých reprezentativních bodech (Kulhavý, Kovář, 2000). Původně spojitý systém je tímto prostorově diskretizován. Modely se poté řeší pomocí obyčejných diferenciálních rovnic. Díky spojení fyzikálního a empirického přístupu je tato skupina označována jako „grey-box“ modely.
- Modely, které neberou v úvahu řídicí zákony (DB - Deterministic, Black-box), používají pouze empiricky odvozený vztah mezi vstupními a výstupními veličinami. Procesy probíhající uvnitř systému zůstávají skryty (odtud pojmenování „black-box“). Ukazuje se, že použití těchto modelů pro operativní účely je výhodné spíše u malých povodí, se zvětšující se dobou předpovědi (cca 6hod) se jeví již výhodnější aplikace fyzikálně strukturovaných konceptních modelů. Klasickým příkladem DB modelů jsou neuronové sítě.



Obr. 8 – Klasifikace deterministických modelů (Becker, Serban, 1990).

Stochastické modely

Stochastické modely primárně neobsahují vazbu mezi příčinou a důsledkem. Lze je rozdělit do dvou základních skupin (Becker, Serban, 1990):

- Pravděpodobnostní modely (SP - Stochastic, Probabilistic). U těchto modelů jsou charakterizovány hydrologické parametry, jako maximální či minimální průtok, vodní stav nebo stav podzemních vod pravděpodobnostním rozdělením.
- Modely generování časových řad (ST - Stochastic Time series generation). Použití těchto modelů je možné při extrapolaci časových řad pozorovaných parametrů, přičemž se zachovávají jejich statistické charakteristiky.

2.2.2 Klasifikace podle míry časové a prostorové diskretizace

Časová diskretizace

Míra časové diskretizace je určována podle způsobu použití modelu. Pro předpovědi, povodňové studie, modelování šíření znečištění nebo transportu splavenin se běžně užívá hodinový až denní krok, pro bilanční modely může být délka výpočtového kroku i vyšší (týden, měsíc). Jednotlivé časové proměnné mohou mít různý časový krok, stejně tak nemusí být stejný ani časový krok tíž vstupních a výstupních veličin.

Prostorová diskretizace

Rozlišujeme dvě hlavní kategorie prostorové diskretizace – distribuované a celistvé (lumped) modely. V poslední době se také vyčleňuje kategorie modelů semi-distribuovaných. Celistvé modely. Parametry charakterizující povodí jsou vztahovány k celému nebo dílčímu povodí. Protože se jedná o bodově měřené hodnoty (srážky na stanici, průtoky v závěrovém profilu), využívá se geostatistických metod pro jejich převedení na hodnoty plošné.

Distribuované modely

Označují se také jako modely založené na distribuovaných parametrech. Tento přístup bere v úvahu prostorovou variabilitu vstupních parametrů, které jsou transformovány na parametry výstupní, vykazující také variabilitu v prostoru. V tomto pojetí je povodí rozděleno gridem (čtvercovým nebo trojúhelníkovým) na elementární odtokové plochy. Pro každé pole gridu existuje charakteristická hodnota parametru. Velikost gridu bývá maximálně do jednoho kilometru z důvodů zaručení platnosti řídicích rovnic (Becker, Serban, 1990).

Semi-distribuované modely

Princip semi-distribuovaných modelů spočívá v rozdělení povodí na elementární odtokové plochy (hydrotopy), které se vyznačují homogenními prostorovými parametry. Semi-distribuované modely se aplikují stále častěji, protože představují optimální kombinaci obou výše uvedených přístupů. Při určování odtokových ploch semi-distributivních modelů je třeba vzít v úvahu prostorovou distribuci jednotlivých parametrů hydrologického systému povodí a rozdělení územních charakteristik ovlivňující odtokový režim (například topografii, půdní podmínky, vegetační pokryv nebo hydrogeologii).

2.2.3 Model BILAN

Srážko-odtokový model hydrologické bilance BILAN byl vyvinut (Tallaksen, Van Lanen, 2004) a je vyvíjen (Horáček, 2013) ve Výzkumném ústavu vodohospodářském T. G. Masaryka. Řadí se mezi celistvé (lumped) modely. BILAN simuluje komponenty hydrologické bilance pro dané povodí. Model je založen na sadě vztahů, které popisují základní principy bilance pro nasycené a nenasycené pásmo. Časový krok je jeden měsíc.

Jako vstupní data pro výpočty BILAN používá měsíční série srážek a teplot vzduchu. Dále je potřeba stanovit relativní vlhkost vzduchu (1. možnost) nebo potenciální evapotranspiraci (2. možnost). Ke kalibraci je potřeba pomocí úprav osmi parametrů (Tab. 4) dosáhnout co největší shody modelovaných dat s naměřenými hodnotami. Model simuluje potenciální evapotranspiraci (pro 1. možnost), skutečnou evapotranspiraci, infiltraci do půdy, zásobu podzemní vody a zásobu vody uložené ve sněhové pokrývce v měsíčních krocích. Celkový odtok se skládá ze tří komponentů: přímého odtoku, hypodermického odtoku a základního odtoku.

Kalkulační metody potenciální evapotranspirace (pro 1. Možnost) používají měsíční kroky teplot a relativních vlhkostí. Teplota je také použita pro rozlišení zimních a letních podmínek. Pro simulaci zásoby vody uložené ve sněhové pokrývce jsou aplikovány algoritmy pro zásobu a tání sněhu.

Tab. 4 – Seznam parametrů pro kalibraci modelu BILAN.

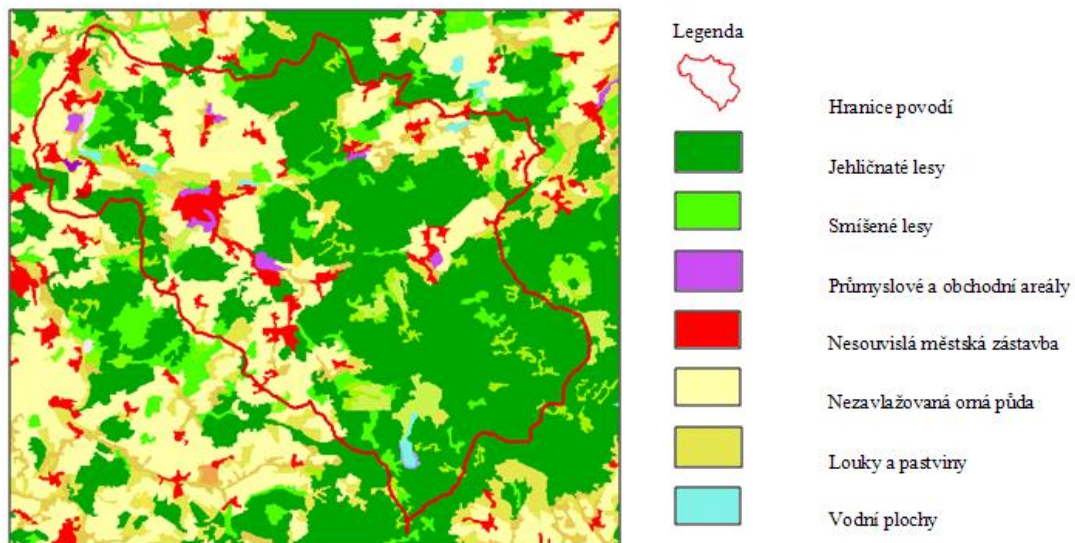
parametr	popis
Spa	Zásoba vody v půdě (mm)
Dgm	Faktor tání sněhu
Dgw	Faktor pro výpočet množství tekoucí vody na povrchu v zimních měsících
Alf	Parametr pro srážky - rovnice povrchového odtoku (přímý odtok)
Soc	Parametr popisující distribuci infiltrace mezi hypodermický odtok a podzemní vodu (v letních podmínkách)
Mec	Parametr popisující distribuci infiltrace mezi hypodermický odtok a podzemní vodu (v období tání sněhu)
Wic	Parametr popisující distribuci infiltrace mezi hypodermický odtok a podzemní vodu (v zimních podmínkách)
Grd	Parametr popisující odtok ze zásoby podzemní vody (základní odtok)

3 POPIS POVODÍ

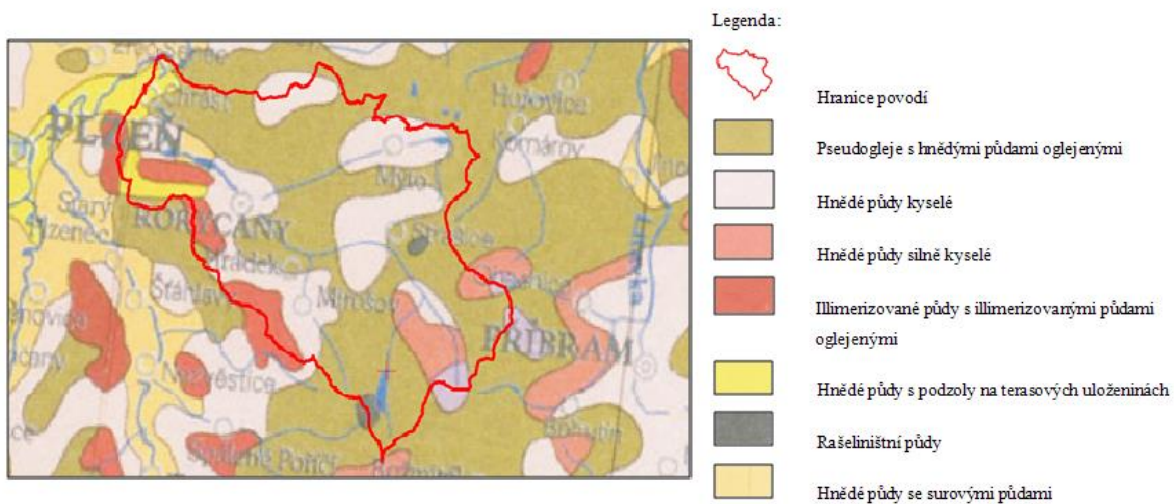
Povodí Klabavy s měrným profilem Nová Hut' (Obr. 12) se nachází západně od Plzně. Je přibližně ohraničeno trojúhelníkem tvořeným Padrt'skými rybníky (jih), obcí Mýto (sever) a Chrástu u Plzně (západ). Nejvyšším místem povodí je podle digitálního modelu terénu (DTM) je hora Tok (865m n.m.), nejnižším soutok s Berouňkou (287m n.m.) (Obr. 13). Celková plocha povodí činí 360km², délka hlavního toku 45 km, průměrný spád koryta je 7,4 %. Klabava vzniká z Padrt'ských rybníků severně od osady Teslíny. Spád toku přesahuje 16 % (Obr. 14). Přehrada nad obcí Klabava byla vybudována v letech 1956-58 s hlavním účelem, jako retenční pro ochranu povrchového dolu u obce Ejpovice. Po ukončení těžby (1972) a zatopení lomu slouží vodní dílo i nadále pro ochranu celého území pod nádrží. V tomto dolním úseku protéká Klabava většinou úzkým a lučinatým údolím s poměrně strmými a částečně zalesněnými svahy. Nejvýznamnějším přítokem je Holoubkovský potok, odvodňující severní a dosti zalesněnou část povodí. Protéká několika velkými rybníky a do Klabavy ústí v Rokycanech. Vlastní Klabava, jejíž horní tok se často nazývá také Padrt'ský potok, odvádí vodu z jižního výběžku Brd a jihovýchodního okraje Plzeňské vrchoviny. Krajinný pokryv dle CORINE tvoří přibližně z 50% zalesněné plochy, z 30% louky pastviny a orné půdy, z 15% městská zástavba a průmyslové zóny a z 5% vodní plochy (Obr. 9). Půdní pokryv tvoří převážně pseudogleje a hnědé kyselé půdy (Obr. 10).

V povodí Klabavy mají jednoznačně největší zastoupení paleozoické horniny zvrásněné a nemetamorfované (břidlice, droby, křemence, vápence), další poměrně silně zastoupené horniny, zejména pak v dolní části povodí a na západní hranici povodí, jsou proterozoické horniny assyntsky zvrásněné s různě silným variským přepracováním (břidlice, fylity, svory až pararuly) (www.geology.cz).

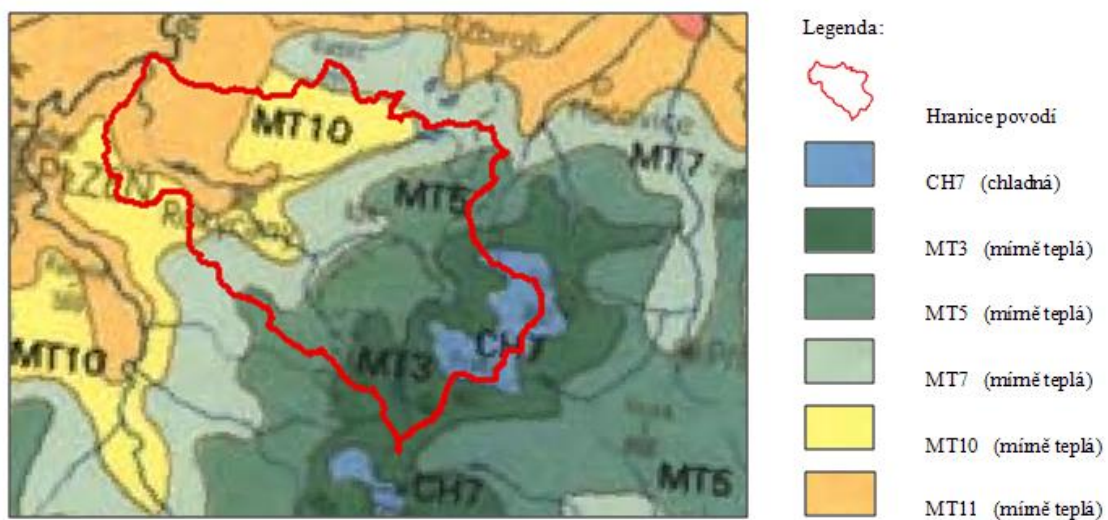
Na území povodí se nachází následující klimatické oblasti dle Quitta (1971): MT3, MT5, MT7, MT10, MT11 - mírně teplá; a CH7 - chladná (Obr. 11).



Obr. 9 - Zastoupení krajinného pokryvu dle Corine Land Cover.



Obr. 10 - Zastoupení typů půd v povodí Klabavy dle Tomáška (Tomášek 2003).



Obr. 11 - Rozmístění klimatických jednotek v povodí Klabavy dle Quitta.

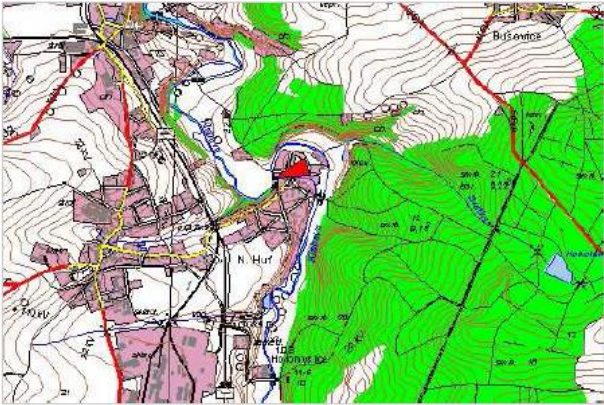
Tok:	Klabava	Stanice:	Nová Huť		
Kraj:	Plzeňský kraj	ORP:	Plzeň	Obec:	Dýšina
Provozovatel stanice:				ČHMÚ Plzeň	
Centrum automatického sběru dat:				RPP ČHMÚ Plzeň	
Staničení:	6,95	<i>[km]</i>	Číslo hydrologického pořadí:	1-11-01-038	
Plocha povodí:	359,4	<i>[km²]</i>	Zeměpisné souřadnice:	133040 v.d. 494658 s.š.	
Nula vodočtu:	308,24	<i>[m.n.m.]</i>	Procento plochy povodí toku:	96,0	
Stupně povodňové aktivity:		<i>[cm]</i>	<i>[m³.s⁻¹]</i>	Platnost SPA pro úsek toku:	
<i>bďelost</i>		120	14,6	Nová Huť - Chrást	
<i>pohotovost</i>		160	25,4	Kritické místo:	
<i>ohrožení</i>		200	39,5	Nová Huť	
Průměrný roční stav:	50	<i>[cm]</i>	N-leté průtoky:	<i>Q1</i>	<i>Q5</i>
Průměrný roční průtok:	2,15	<i>[m³.s⁻¹]</i>	<i>[m³.s⁻¹]</i>	23,5	70,2
Odesílatel zpráv:	Četnost hlášení SPA:		I.	1 x denně	Q10
OÚ Dýšina			II.	4 x denně	Q50
			III.	3hodimové hlášení	Q100

Odesílatel podá zprávu:	Spojení na adresáta:	Příjemce dále vyrozumí:
OÚ Chrást u Plzně	377945360, 603434377	KrÚ Plzeňského kraje
Magistrát města Plzně	378033200, 724602809, fax 377033202	OPIS HZS Plzeň-sever, MěÚ Rokycany

Mapa v měřítku 1:50 000 :

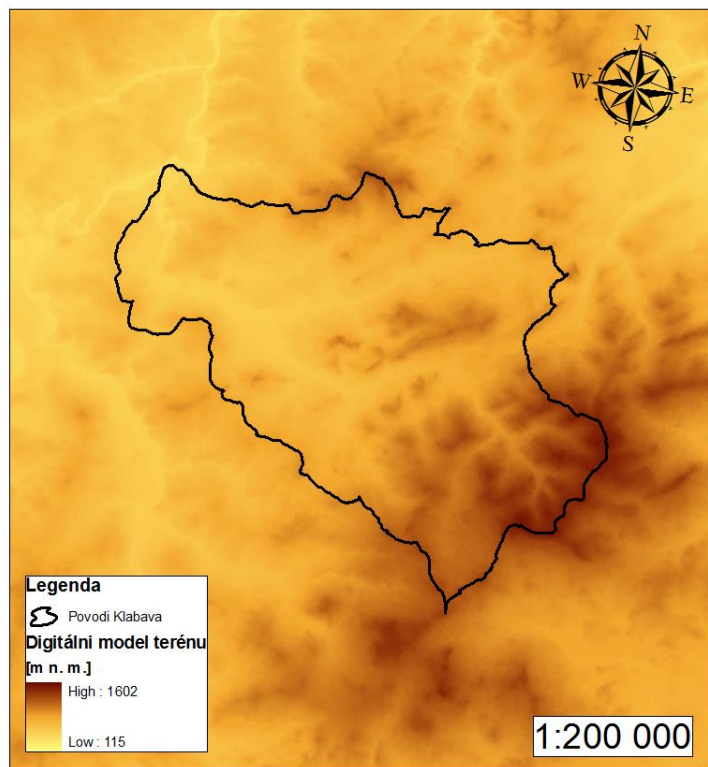
Nejvyšší zaznamenané vodní stavy:			
<i>[cm]</i>	V. - XI.	<i>[cm]</i>	XII. - IV.
294	13.08.2002	210	08.02.1977
250	08.05.1978	205	03.01.2003
249	20.07.1981	201	26.01.1995
240	22.07.1980	200	13.02.2005
238	31.05.1986	190	21.12.1993
237	09.07.1954	183	26.03.1986
234	23.08.1977	180	29.04.1980
226	28.05.2006	176	17.03.1988

Popis umístění profilu :
pěší lávka u mlýna, levý břeh



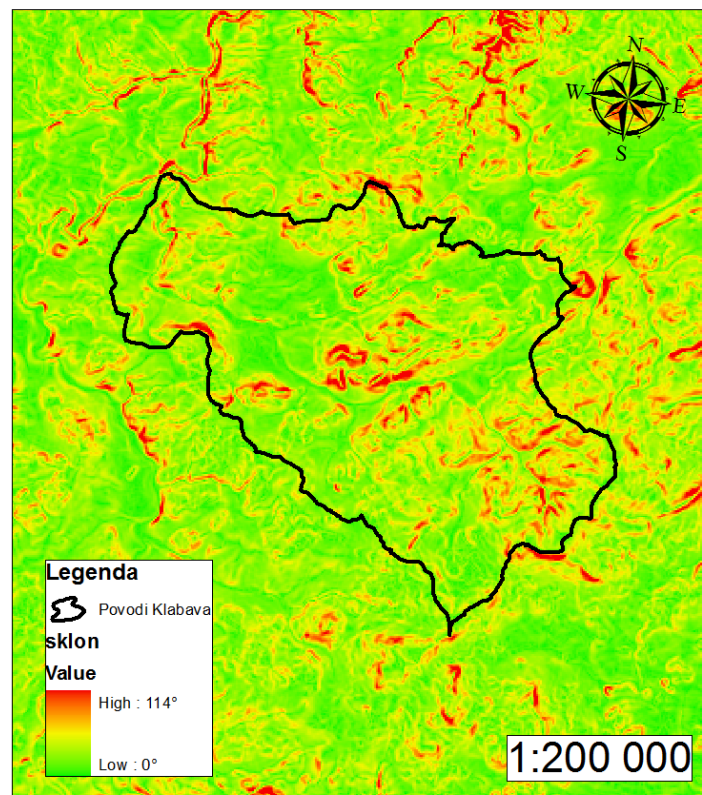
Obr. 12 – Evidenční list hlásného profilu Klabava – Nová Huť
(http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_prfbk_detail.php?seq=307174).

Digitální model terénu povodí Klabavy



Obr. 13 Výřez digitálního modelu terénu (DTM) povodí Klabavy.

Rastr sklonitosti povodí Klabavy



Obr. 14 - Výřez rastru sklonitosti v povodí Klabavy.

Popisná statistika

Pro srážky, teploty vzduchu, odtoky a vlhkosti vzduchu (hydrologické roky 1980 až 2007) byly spočítány následující statistické charakteristiky: průměry, minima, maxima, mediány směrodatné odchylky, koeficienty variace a kvantily (Tab. 4 – 5).

Pro data byly vypočteny průměrné teploty, srážky, odtoky a vlhkosti pro jednotlivá desetiletí. Následně se pomocí dlouhodobých průměrů (hydrologické roky 1980–2007) určila charakteristika jednotlivých desetiletí. V případě teplot jako rozdíl průměrné teploty pro dané desetiletí a dlouhodobé průměrné teploty. Záporná teplotní odchylka vyjadřuje, že dané desetiletí bylo chladnější než je dlouhodobý průměr, kladná teplotní odchylka pak vyjadřuje, že dané desetiletí bylo teplejší než dlouhodobý průměr. U ostatních tří veličin (srážky, odtoky, vlhkosti) pak jako poměr průměrné hodnoty veličiny za dané desetiletí k průměrné dlouhodobé hodnotě veličiny. Hodnoty vyšší než 1 vyjadřují, že dané desetiletí mělo vyšší průměrnou hodnotu veličiny než je dlouhodobý průměr pro danou veličinu. Hodnoty menší než 1 pak, že dané desetiletí mělo nižší průměrnou hodnotu veličiny než je dlouhodobá průměrná hodnota veličiny (Tab. 6).

Tab. 5 – Základní statistické vlastnosti hodnot sledovaných dat.

	Srážky [mm]	Odtok [m ³ /s]	Teplota [°C]	Vlhkost [%]
Průměr	57.0190644	13.8833896	7.5194264	78.20216564
Minimum	6.3590000	0.9320000	-8.2160000	57.50200000
Maximum	253.2890000	111.7640000	21.1740000	90.94500000
Medián	48.4195000	9.6885000	7.4785000	78.91200000
Směrodatná odchylka	36.8032692	13.2858711	7.2319535	6.89407480
Koeficient variace	0.6454555	0.9569616	0.9617693	0.08815708

Tab. 6 – Rozložení kvantilů hodnot sledovaných dat.

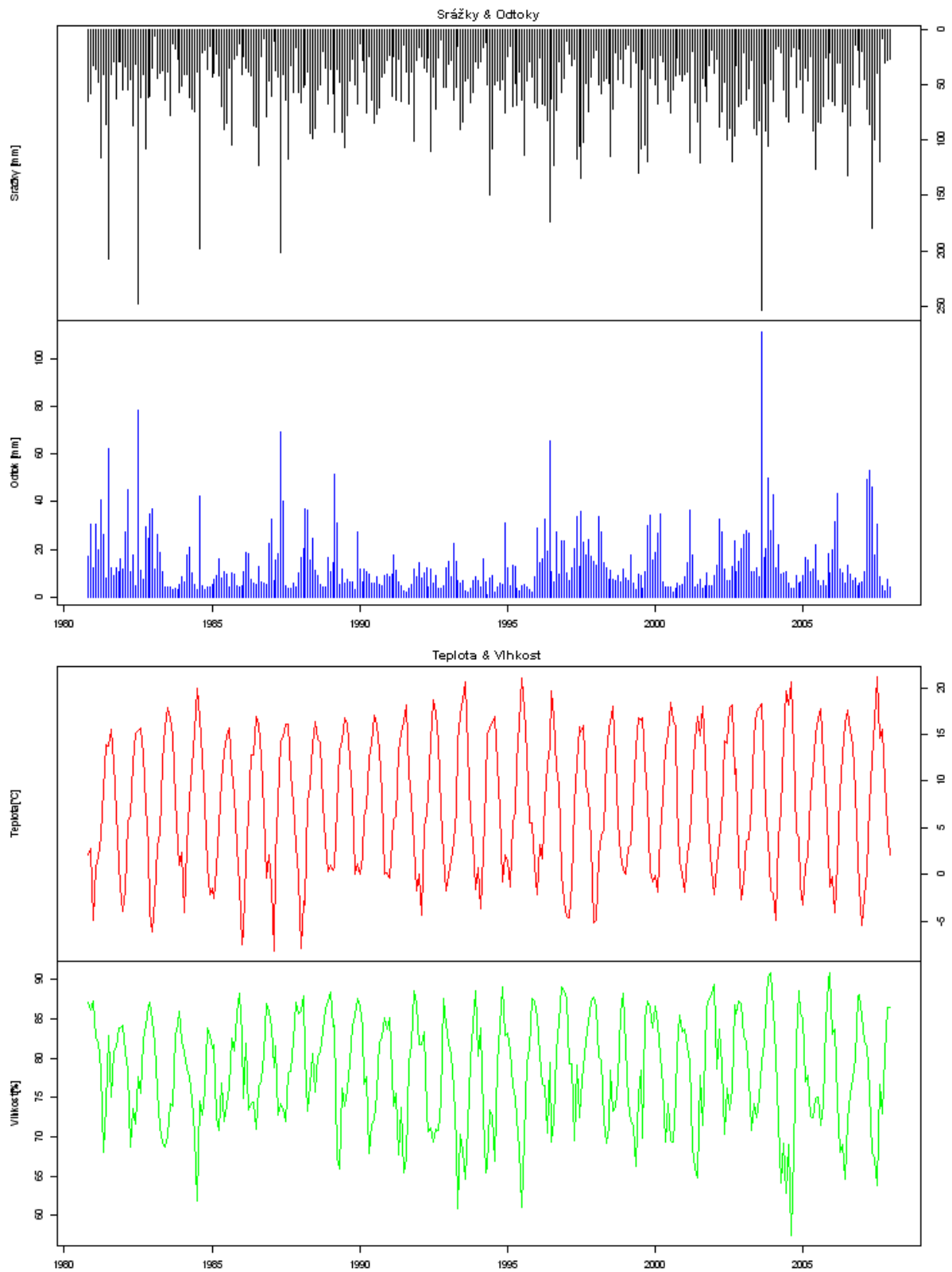
Kvantil	Srážky [mm]	Odtok [m ³ /s]	Teplota [°C]	Vlhkost [%]
0%	6.3590000	0.9320000	-8.2160000	57.50200000
25%	30.1792500	5.5857500	1.3445000	72.81300000
50%	48.4195000	9.6885000	7.4785000	78.91200000
75%	71.8607500	17.3495000	14.1745000	83.87925000
100%	253.2890000	111.7640000	21.1740000	90.94500000

Tab. 7 – Dlouhodobé průměry a odchylky hodnot sledovaných dat.

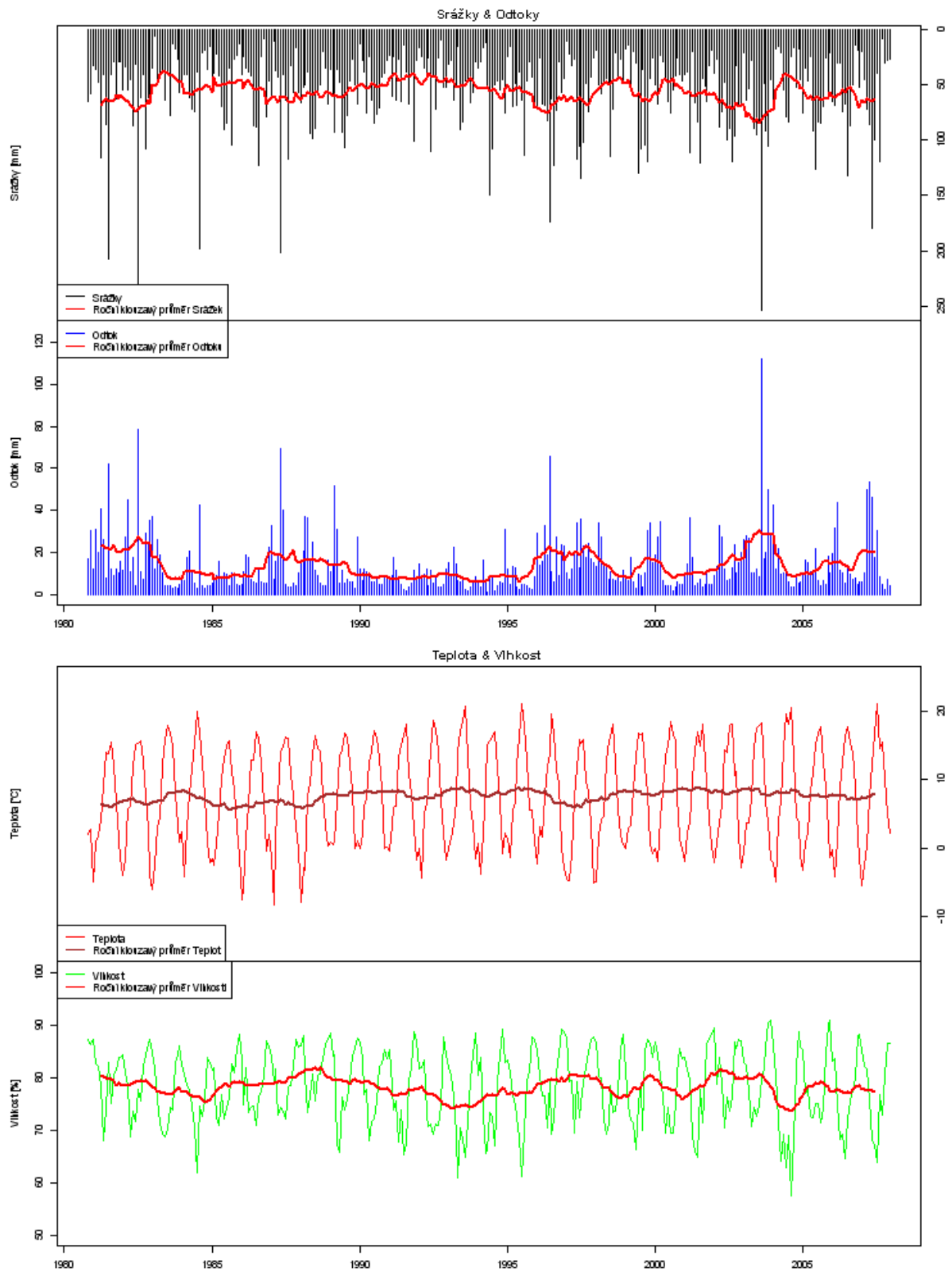
Veličina	Průměr desetiletí		Odchylka desetiletí	
	1980	1990	2000	2010
Srážka [mm]	1980	56.34434	1980	0.9881667
	1990	53.37631	1990	0.9361135
	2000	59.72908	2000	1.0475282
	2010	60.24942	2010	1.0566539
Odtok [mm]	1980	15.56566	1980	1.121172
	1990	11.13724	1990	0.802199
	2000	14.75494	2000	1.062776
	2010	17.10167	2010	1.231808
Teplota [°C]	1980	6.736177	1980	-0.7832490
	1990	7.412843	1990	-0.1065838
	2000	7.918689	2000	0.3992630
	2010	7.826500	2010	0.3070736
Vlhkost [%]	1980	78.53053	1980	1.0041989
	1990	77.99608	1990	0.9973647
	2000	78.40685	2000	1.0026174
	2010	77.15550	2010	0.9866159

Pro všechny pozorované hodnoty (srážky, odtok, teplota a vlhkost) byl vytvořen graf ukazující základní rozložení dat (Obr. 15) a následně určen klouzavý průměr (Obr 16.), který umožňuje „očistit“ data o náhodnou složku a zvýrazňují složku systematickou.

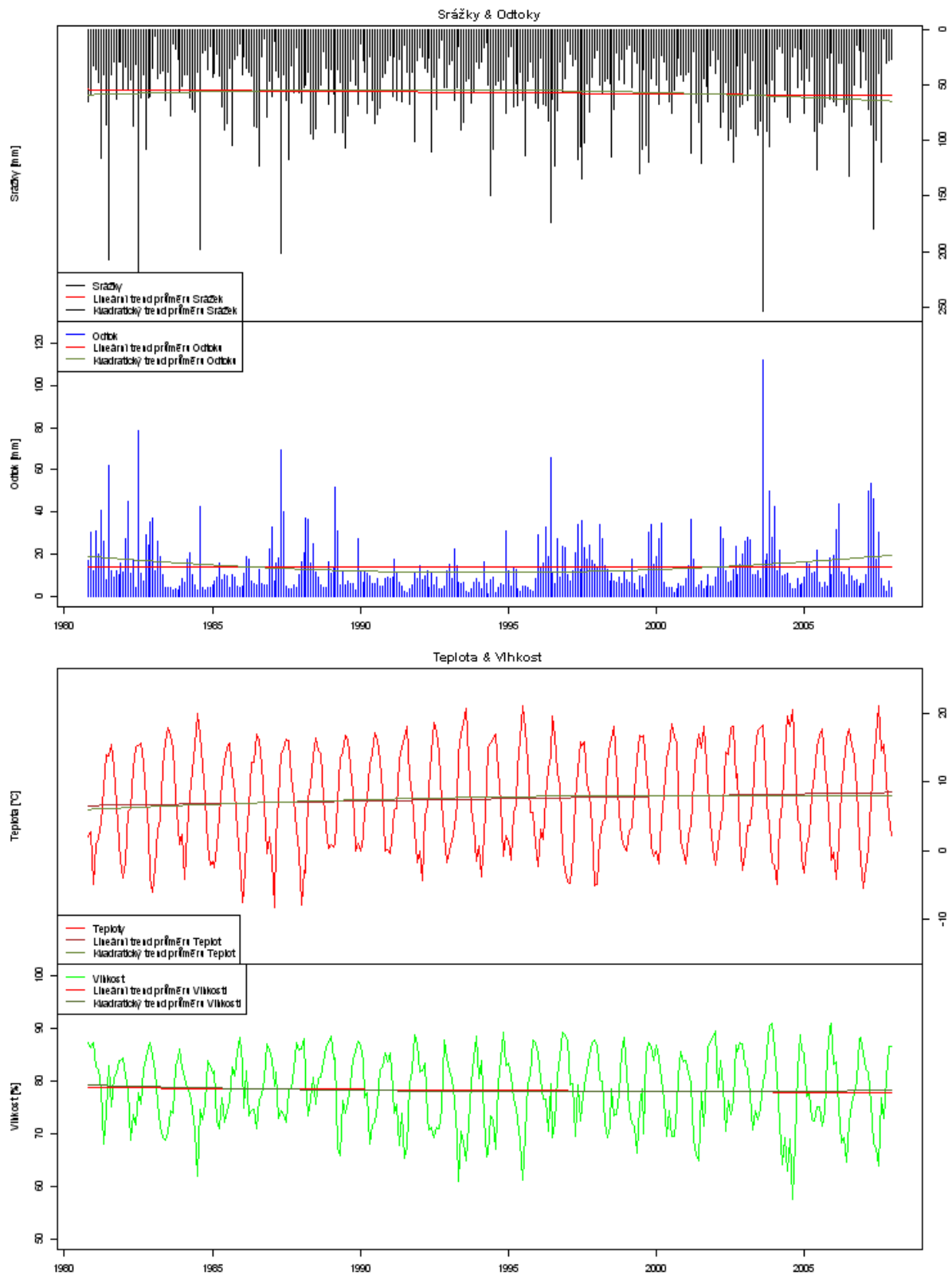
Pro data byl odhadnut lineární a kvadratický trend (Obr. 17). Trend představuje vývoj zkoumaného jevu za dané období. Trend může být rostoucí, klesající nebo může být řada pozorovaných jevů bez trendu. Lineární trend se vyjadřuje pomocí vztahu $y = a_0 + a_1 \cdot t$ (t = čas, rok; y = hodnota dle lineárního trendu; a_0, a_1 = koeficienty určené metodou nejmenších čtverců – konstanty) případně se využívá polynomický (v tomto případě kvadratický) trend daný vztahem $y = a_0 + a_1 \cdot t + a_2 \cdot t^2$ (t = čas, rok; y = hodnota dle lineárního trendu; a_0, a_1, a_2 = koeficienty určené metodou nejmenších čtverců - konstanty).



Obr. 15 – Základní grafické zobrazení hodnot sledovaných dat.



Obr. 16 – Klouzavé roční průměry hodnot sledovaných dat.



Obr. 17 – Lineární a kvadratické trendy hodnot sledovaných dat.

Pro období 1980–2007 je pozorovatelný rostoucí trend u teplot, srážek a odtoku. Klesající trend je pozorovatelný u vlhkosti.

Odhady lineárního trendu - p-hodnoty (Tab. 7), které udávají statistickou významnost modelu, koeficientů - pravděpodobnost, že odhadovaný trend je výsledkem náhody - p-hodnota by měla být co nejnižší - jsou v souladu s grafy lineárních trendů uvedených výše, tj. rostoucí trend u teplot, srážek a odtoku a klesající trend vlhkosti. Odhady lineárních trendů vycházejí velmi nízké, je to z toho důvodu, že jsou počítány pro měsíční data, roční hodnota odhadu lineárního trendu (v procentech) se získá vynásobením hodnoty odhadu lineárního trendu čísly 12 (měsíce) a hodnoty 100 (procenta). Po vynásobení vycházejí hodnoty lineárních trendů v řádech desetín a setin procenta.

P-hodnoty koeficientů vycházejí ve všech případech 0 (jsou blízké nule) a p-hodnoty modelu se pro jednotlivé veličiny liší. Nejvíce se blíží jedné p-hodnota modelu u teplot, z toho vyplývá, že je zde vysoká pravděpodobnost (přibližně 84 %), že výsledný trend je výsledkem náhody.

Tab. 8 – Tabulka odhadů lineárních trendů.

	Odhad lineárního trendu	p-hodnota koeficienty	p-hodnota model
Srážka	5.711e-04	0	0.4231
Odtok	4.931e-05	0	0.8481
Teplota	0.0001931	0	0.1677
Vlhkost	-9.704e-05	0	0.4675

Hodnoty odhadů polynomických trendů se výrazně liší od odhadů hodnot lineárních trendů, jak vyplývá z tabulky výše. Hodnoty jsou výrazně nižší a na rozdíl od odhadů lineárních trendů pro teploty vychází hodnota odhadu polynomického trendu pro teploty záporná. P-hodnoty koeficientů vycházejí ve všech případech 0 (jsou blízké nule) a p-hodnoty modelu se pro jednotlivé veličiny liší. Nejvíce se blíží jedné p-hodnota modelu u vlhkosti, z toho vyplývá, že je zde vysoká pravděpodobnost (přibližně 65 %), že výsledný trend je výsledkem náhody.

Tab. 9 – Tabulka odhadů polynomických (kvadratických) trendů.

	Odhad polynomického trendu	p-hodnota koeficienty	p-hodnota model
Srážka	2.947e-07	0	0.4141
Odtok	3.266e-07	0	0.004618
Teplota	-3.403e-08	0	0.3184
Vlhkost	2.977e-08	0	0.6527

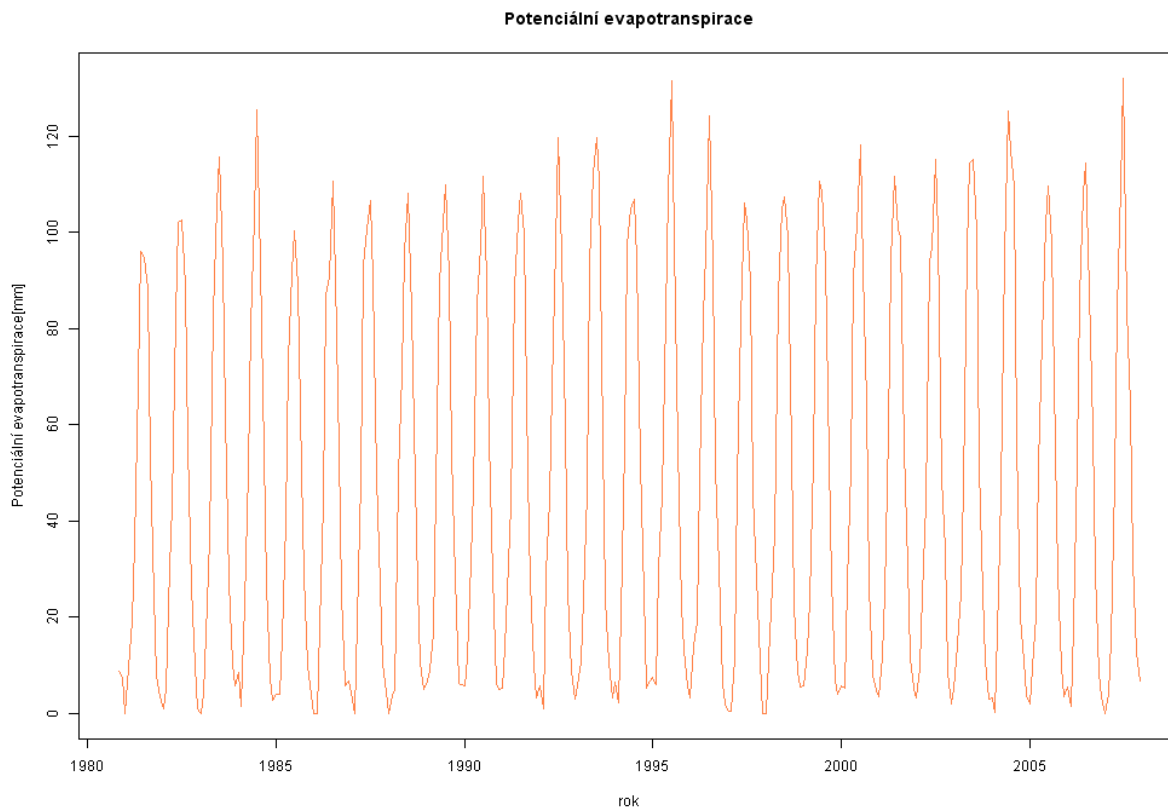
4 VÝSLEDKY

K následujícím výpočtům bylo využito statistické a programovací prostředí R (R Development Core Team, 2013) a balík bilan (Horáček, 2013) pro R.

4.1 Kalibrace modelu BILAN

Jako první krok kalibrace modelu byla vypočítána potenciální evapotranspirace (Obr. 18), k výpočtu byla zvolena metoda „latit“, tedy metoda radiační bilance, která zohledňuje zeměpisnou šířku místa, pro kterou se potenciální evapotranspirace počítá (různý úhel dopadu slunečních paprsků v různých zeměpisných šířkách). Konkrétně byla zvolena hodnota latitude = 50 (°s. š.), která odpovídá poloze České republiky. Časový průběh potenciální evapotranspirace během roku kolísá v souvislosti s chodem ročních období. Minima potenciální evapotranspirace na grafu níže odpovídají zimním měsícům, maxima naopak měsícům letním.

Dalším krokem byla úprava parametrů modelu. Při kalibraci modelu se zjišťují hodnoty parametrů modelu, pro něž modelovaný odtok nejvíce odpovídá pozorovanému odtoku. Z tabulky (Tab. 10) je patrné, že počáteční hodnoty parametrů po optimalizaci se liší. Výrazněji se změnila hodnota u parametrů Spa (hodnota parametru byla změněna na 100 mm), Dgm a Grd (spodní hodnota byla upravena na hodnotu 0,055, horní na hodnotu 0,150, celková hodnota parametru byla upravena na 0.085). U ostatních parametrů se liší jejich hodnota počáteční od hodnoty optimalizované málo.



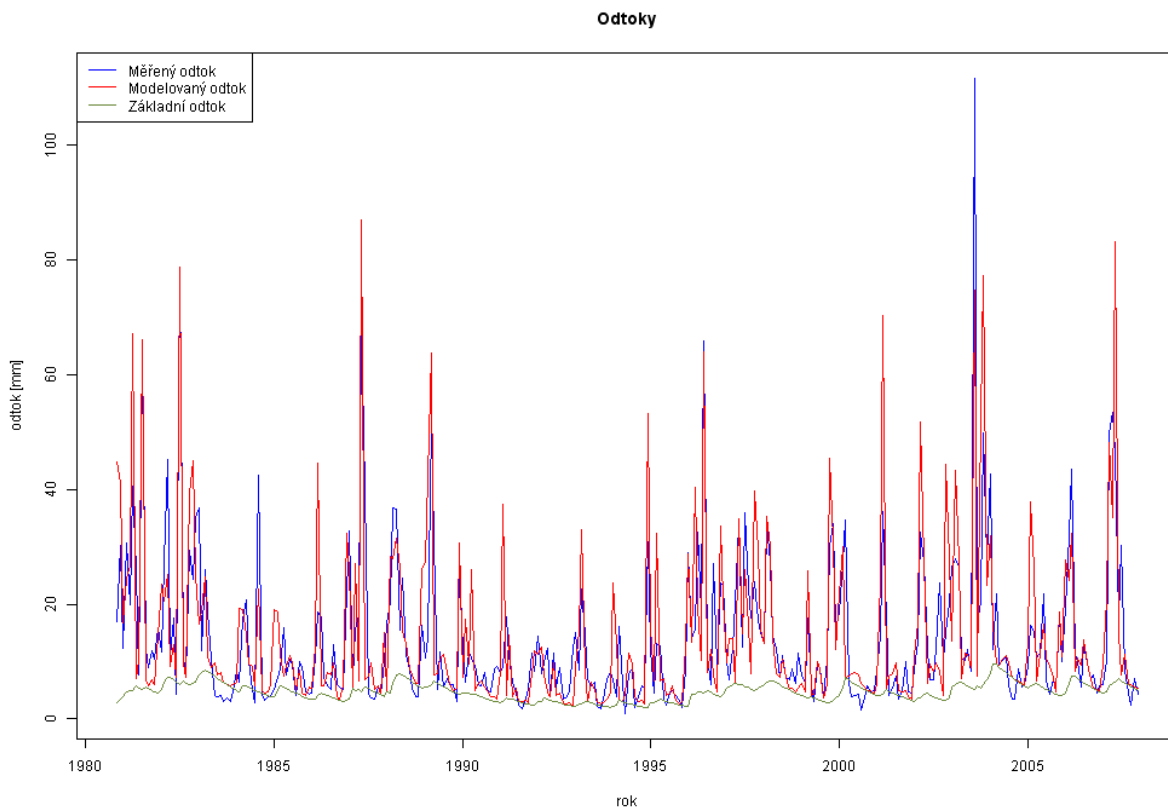
Obr. 18 – Potenciální evapotranspirace.

Tab. 10 – Hodnoty parametrů po optimalizaci (current) a jejich počáteční hodnoty (initial).

name	current	lower	upper	initial
Spa	1.319980e+02	0.000	200.000	1.250e+02
Dgw	1.174607e+01	0.000	20.000	1.380e+01
Alf	7.932082e-04	0.000	0.003	7.790e-04
Dgm	3.148472e+01	0.000	200.000	1.522e+01
Soc	7.319663e-01	0.000	1.000	6.990e-01
Wic	3.918301e-01	0.000	1.000	3.420e-01
Mec	7.447749e-01	0.000	1.000	7.990e-01
Grd	5.504507e-02	0.055	0.150	8.500e-02

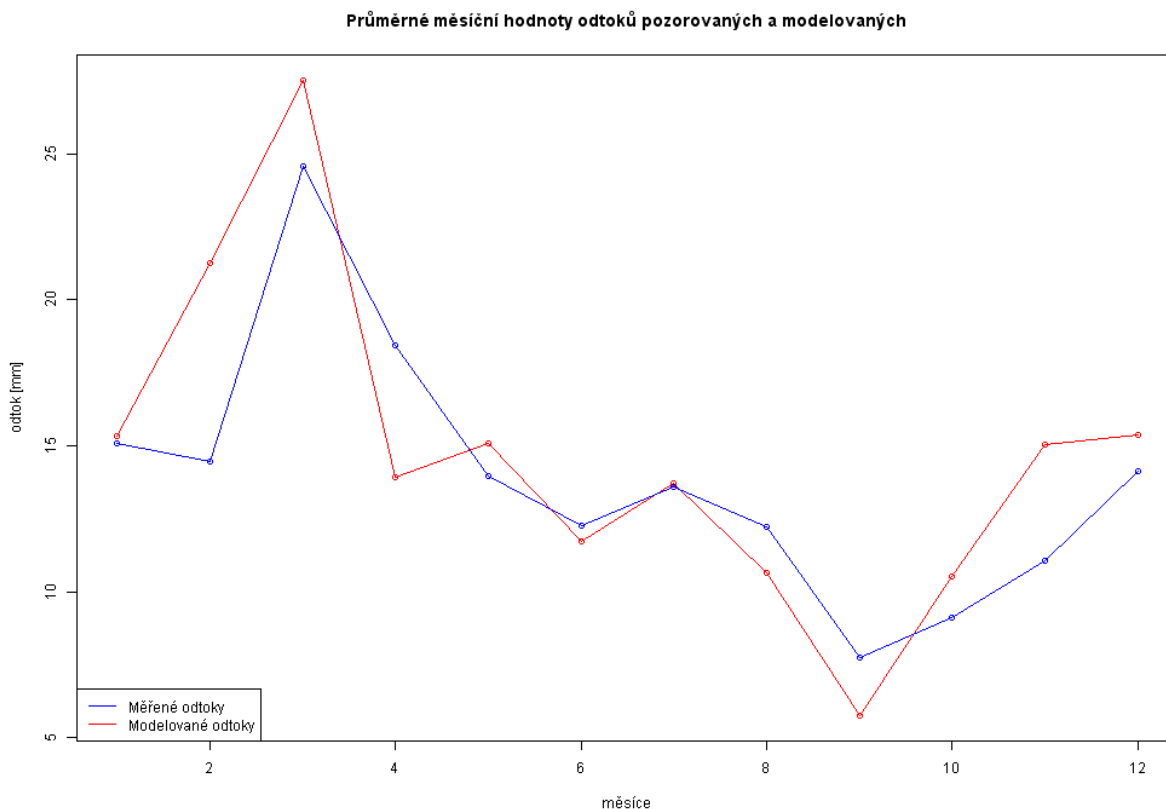
První představu o úspěšnosti kalibrace poskytuje graf časových řad modelovaného a pozorovaného odtoku (Obr. 19). Z grafu je patrné, že model nadhodnocuje maximální průtoky nad 70 mm (kromě absolutního maxima) stejně jako minimální průtoky pod 5 mm. Nejlepší výsledky model vykazuje u odtoků 10–35 mm.

Kritérium shody, které vyjadřuje shodu mezi modelovanými a pozorovanými daty, vychází 0,4745004. Tato hodnota vyjadřuje relativně velkou shodu mezi modelovanými a pozorovanými daty.



Obr. 19 – Graf časových řad měřeného modelovaného a základního odtoku.

Významnou informaci o schopnosti modelu reprodukovat pozorovaná data poskytují charakteristiky pro jednotlivé měsíce. Průměrné hodnoty pozorovaných (R) a modelovaných odtoků (RM) pro jednotlivé měsíce jsou zobrazeny na Obr. 20. Z grafu vyplývá, že v měsících únoru a březnu, kdy dochází k tání sněhové pokrývky, jsou hodnoty odtoků oproti pozorovaným hodnotám modelem nadhodnocené. Podhodnocené odtoky jsou v měsících: duben, červen, srpen, září. V červenci jsou modelované odtoky s odtoky pozorovanými téměř totožné.



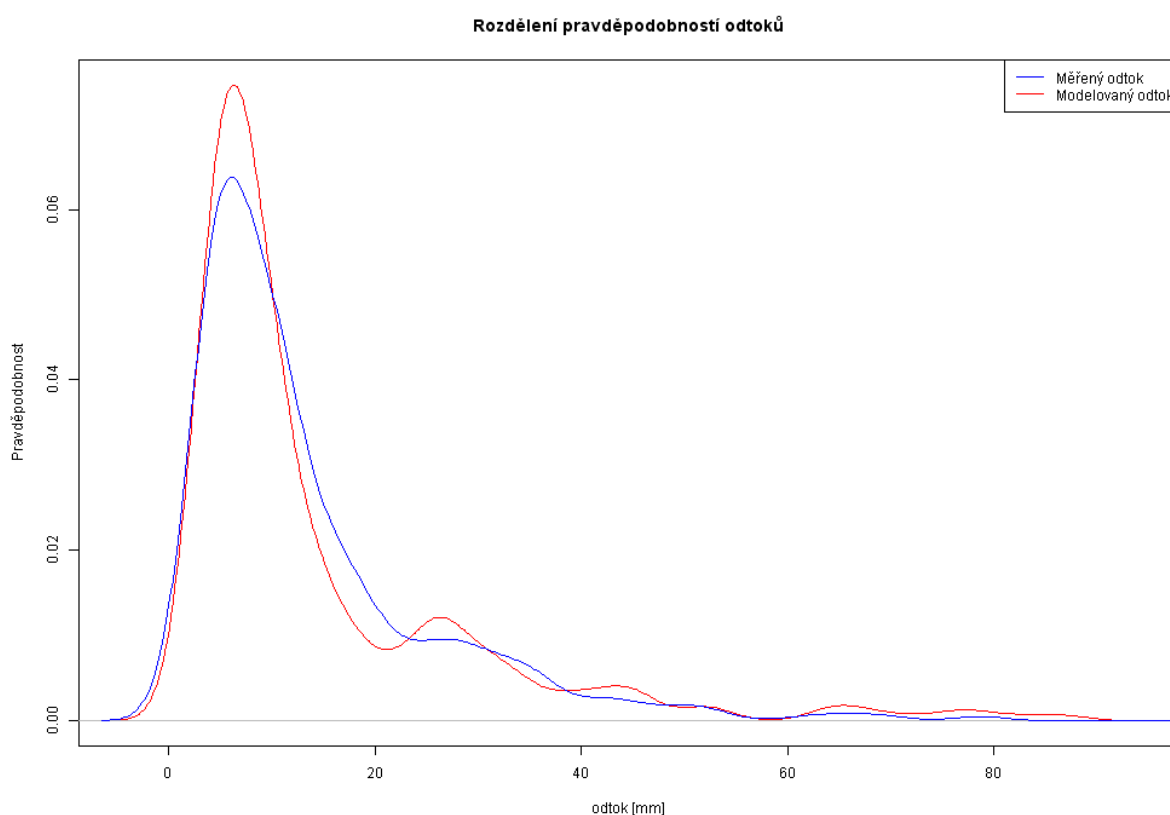
Obr. 20 – Hodnoty měsíčních průměrů pozorovaných a modelovaných odtoků.

Dále byly spočítané hodnoty kvartilů a průměrů (Tab. 11) pro měřené hodnoty odtoků a odtoky modelované (50 % odtoků je vyšší nebo rovna hodnotě mediánu a 50 % odtoků je nižší nebo rovna hodnotě mediánu). Hodnoty modelovaných odtoků vykazují mírně vyšší symetričnost než hodnoty odtoků pozorovaných. U obou sledovaných veličin (měřeného a modelovaného průtoku) vyšly průměrné hodnoty vyšší než je hodnota jejich mediánu, to znamená, že rozdělení pravděpodobností obou veličin je vpravo zešikmené. S vyšší pravděpodobností se tak vyskytují hodnoty odtoků, které jsou menší než průměrná hodnota odtoků. Naopak s menší pravděpodobností jsou hodnoty odtoků vyšší, než je průměrná hodnota odtoků.

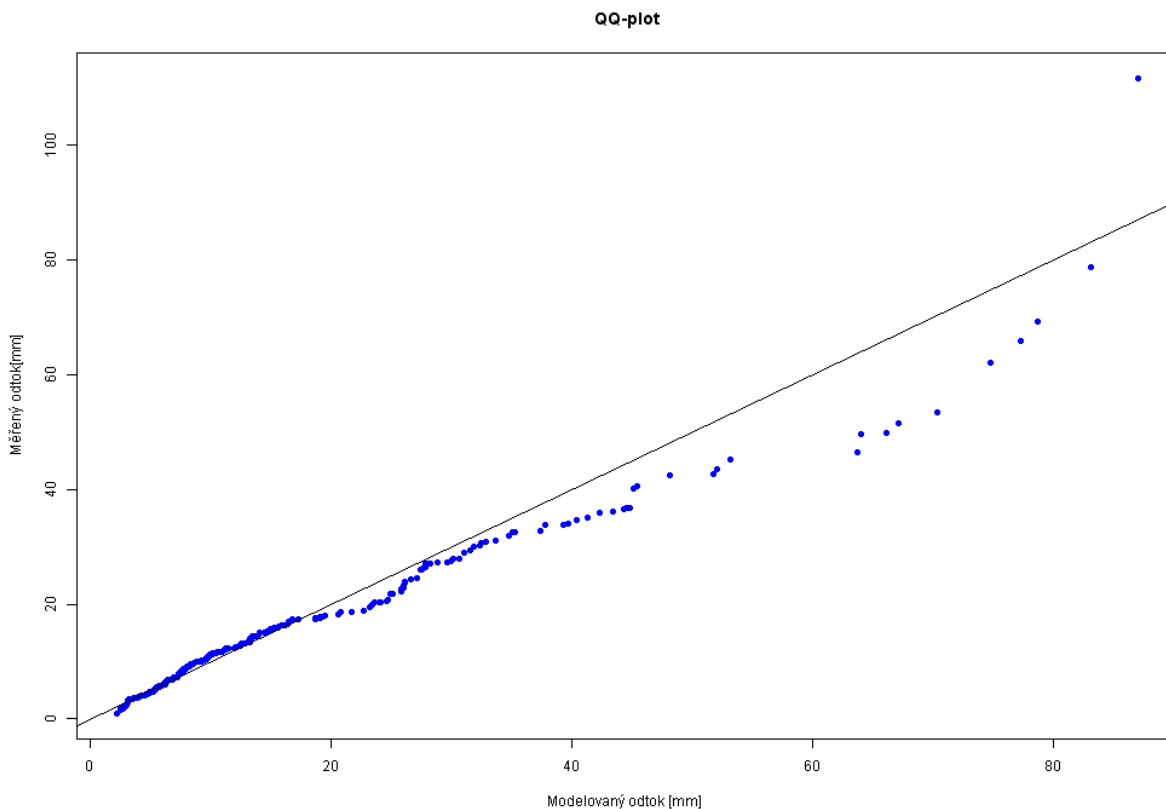
Tab. 11 – Tabulka kvantilů a průměrů měřených a modelovaných hodnot odtoků.

Kvantil	Měřený odtok	Modelovaný odtok
0%	0.93200	2.241148
25%	5.58575	5.621238
50%	9.68850	8.606636
75%	17.34950	16.783841
100%	111.76400	97.035479
Průměr	13.88339	15.6666

Graf rozdělení pravděpodobností odtoku (měřeného a modelovaného) ukazuje nejvyšší rozdíl v pravděpodobnosti dosažení modelovaného odtoku 7 mm o jedno procento oproti odtoku měřenému. Rozdělení pravděpodobností odtoků lze také srovnat pomocí tzv. QQ plotu (Obr. 22). Modré body leží na souřadnicích, odpovídajících dvojici kvantilů posuzovaných rozdělení. Černá čára znázorňuje osu kvadrantu, na kterém by modré body ležely v případě shodných rozdělení obou posuzovaných veličin.



Obr. 21 – Graf rozdělení pravděpodobností měřeného a modelovaného odtoku.

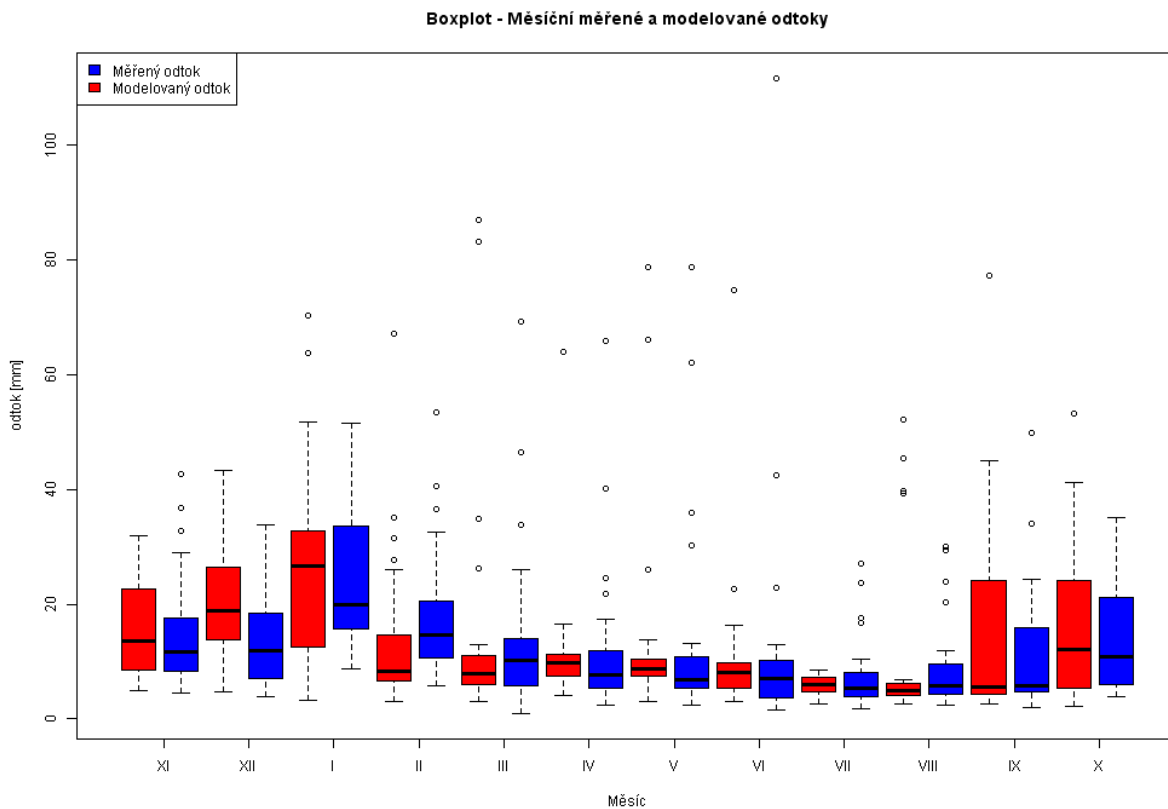


Obr. 22 – QQ plot.

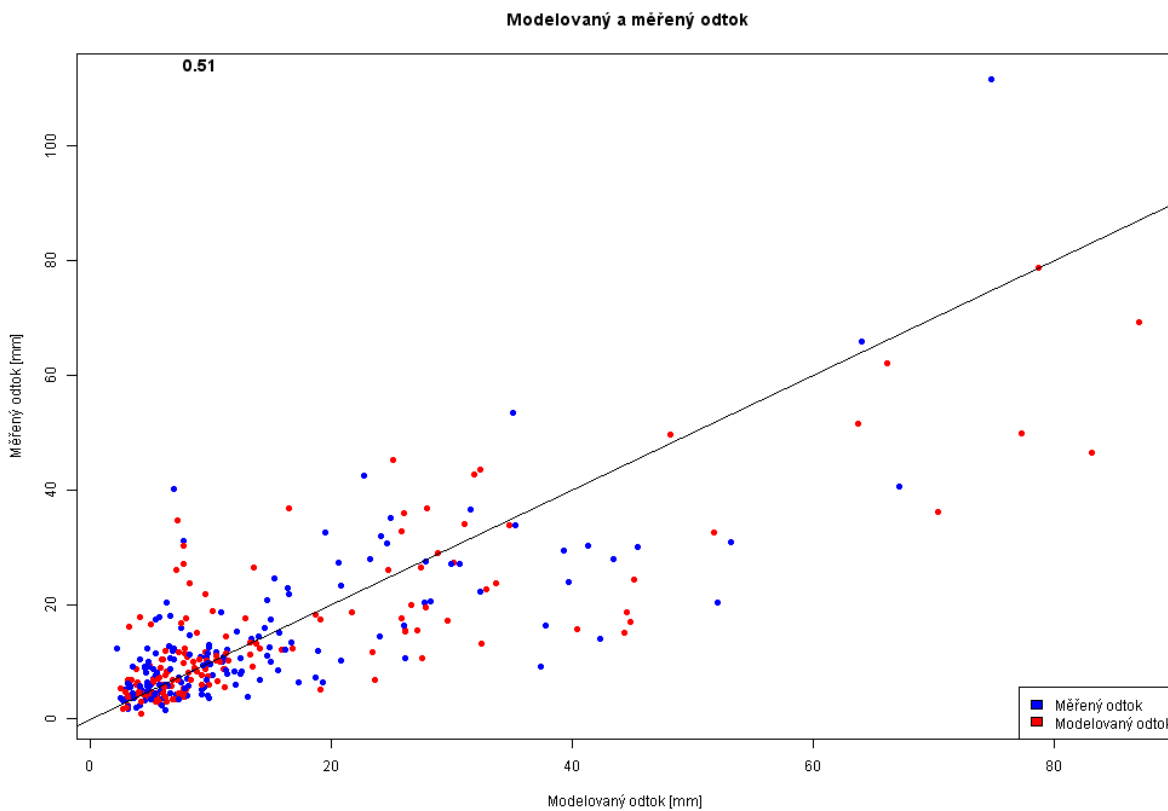
Charakteristiky rozdělení veličiny mohou být znázorněny pomocí krabicových grafů (boxplot). Krabicový graf je tvořený minimální hodnotou, dolním kvantilem, mediánem, horním kvantilem a maximální hodnotou. Extrémní hodnoty jsou zobrazeny jako zvláštní body.

Červeně jsou na grafu (obr. 23) zobrazeny krabicové grafy modelovaných odtoků a modře pak krabicové grafy odtoků pozorovaných. Krabicové grafy jsou zobrazeny pro všech dvanáct měsíců v roce. Je patrné kolísání odtoků během roku, jak již bylo ukázáno a popsáno v předešlých částech této práce.

Model poskytuje relativně vysokou hodnotu koeficientu shody 0,51 (Obr. 24), a proto bude možné takto kalibrovaný model použít pro další simulace (vytváření scénářů změn klimatu).



Obr. 23 – Krabicový graf (boxplot) měsíčních měření a modelovaných hodnot.



Obr. 24 – Graf koeficientu shody měřených a modelovaných dat.

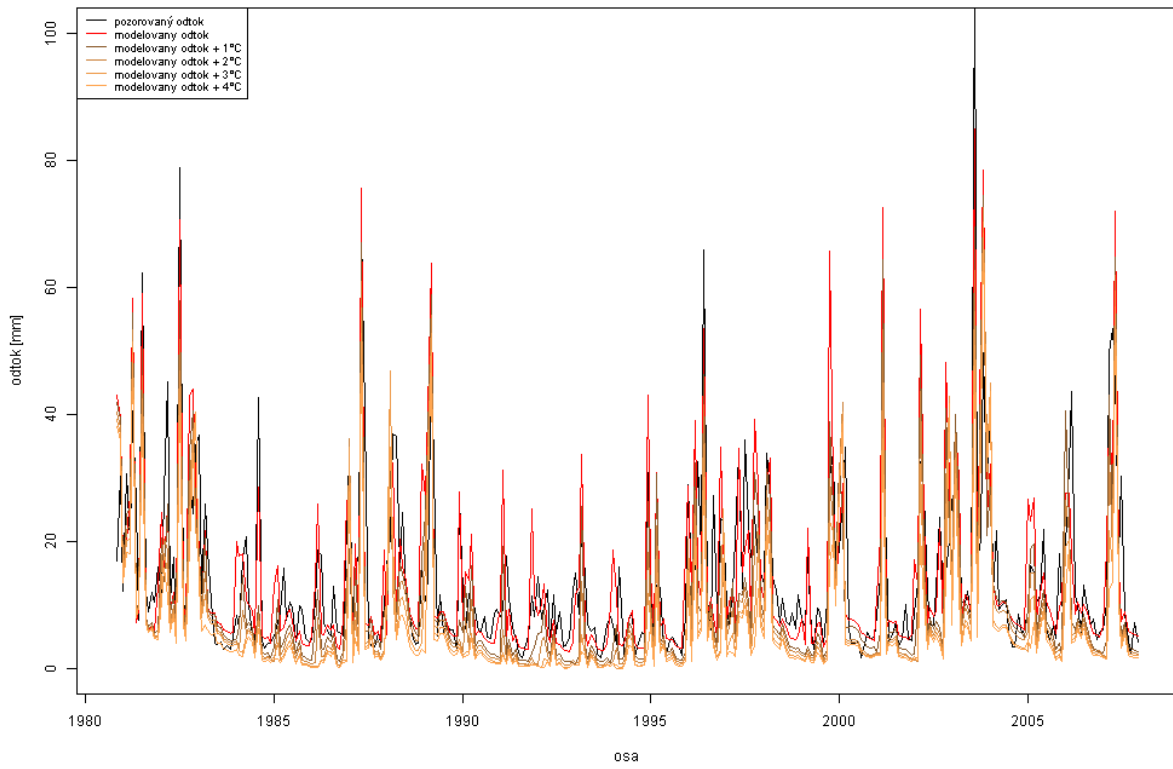
4.2 Tvorba scénářů

Pro účely této práce bylo navrženo dvanáct reprezentativních scénářů počítajících se vzrůstem teploty od 1°C do 4°C, pro každou změnu teploty pak poklesem a vzrůstem srážek o 10%. Pro tyto scénáře byl modelován celkový odtok (Tab. 12, Obr. 25–27). Pro nejvíce „optimistický“ scénář (modelovaný odtok +1°C, srážky +10%), se odtok téměř rovnal modelovanému odtoku, naopak nejvíce „pesimistický“ scénář (modelovaný odtok +4°C, srážky -10%) se lišil o 11.6 mm, tedy o 74 %.

Tab. 12 – Tabulka průměrů a kvartilů modelovaných odtoků.

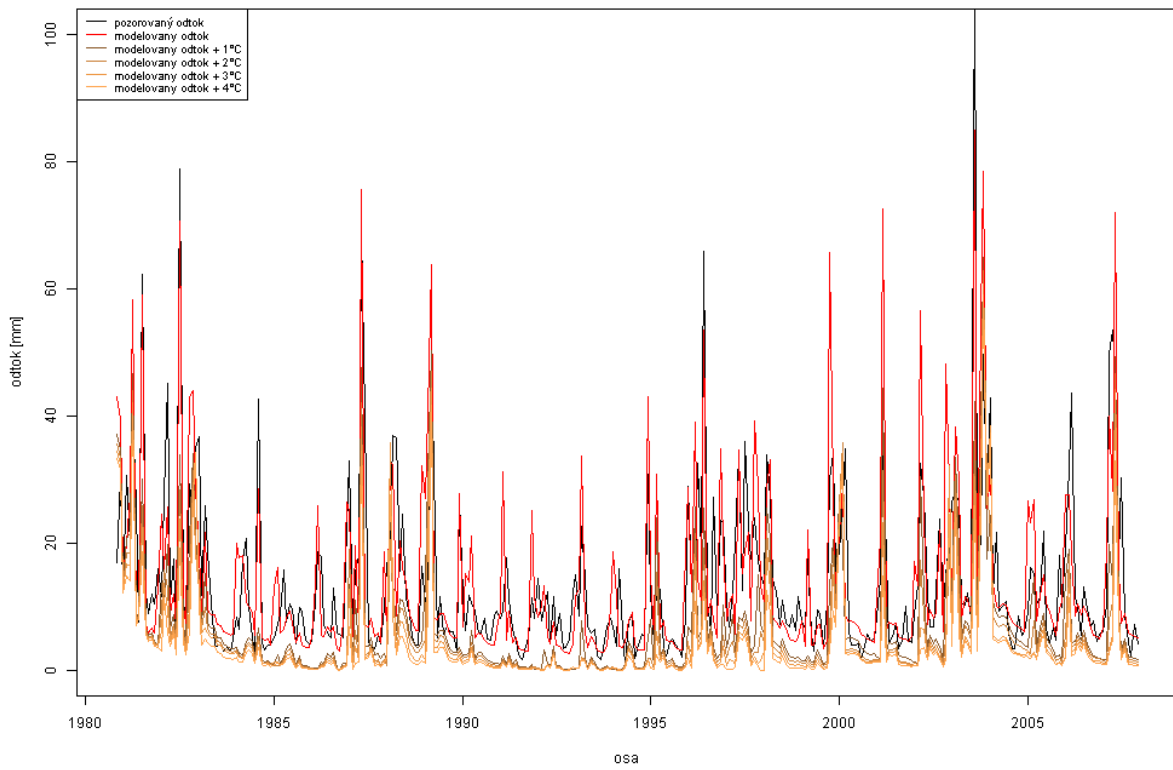
Scénář	Průměr	0%	25%	50%	75%	100%
modelovaný odtok	15.6666	2.241148	5.621238	8.606636	16.783841	97.035479
modelovaný odtok +1°C	10.63222	0.7072161	3.2021482	6.2221533	10.8184844	74.4941918
modelovaný odtok +2°C	8.965278	0.482619	2.306414	4.664330	9.119002	72.423291
modelovaný odtok +3°C	7.776373	0.0610997	1.8060163	3.6842109	7.3080060	70.1973865
modelovaný odtok +4°C	6.716541	0.08920778	1.42391364	2.97825568	6.12211439	68.59442991
modelovaný odtok +1°C, srážky -10%	6.929774	0.1106802	1.7835765	3.6812753	7.0056472	64.8208545
modelovaný odtok +1°C, srážky +10%	14.64363	1.212835	5.063386	8.729067	16.228751	98.842283
modelovaný odtok +2°C, srážky -10%	5.709196	0.02097124	1.27805902	2.82835297	5.49252010	62.76223102
modelovaný odtok +2°C, srážky +10%	12.8277	1.224087	3.936790	7.236134	13.721379	91.112583
modelovaný odtok +3°C, srážky -10%	4.857661	0.01517872	0.93178905	2.05212669	4.31868957	60.63603147
modelovaný odtok +3°C, srážky +10%	11.48408	0.9095557	3.1382078	5.7845803	11.1499600	83.6959683
modelovaný odtok +4°C, srážky -10%	4.060999	0.04191213	0.66469327	1.53302520	3.49521173	59.08577164
modelovaný odtok +4°C, srážky +10%	10.03698	0.3415515	2.4608170	4.8519970	9.1939416	78.1783779

Modelovaný odtok

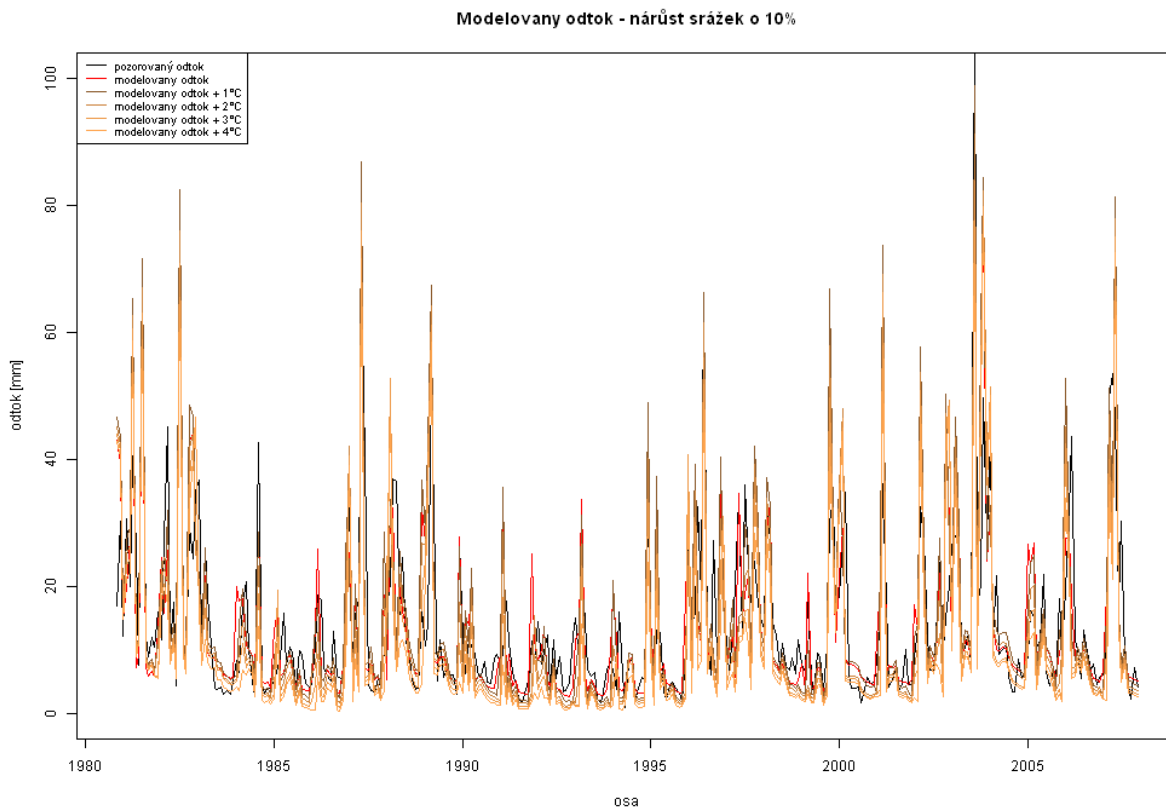


Obr. 25 – Graf modelovaných odtoků pro reprezentativní scénáře.

Modelovaný odtok - úbytek srážek o 10%



Obr. 26 – Graf modelovaných odtoků pro reprezentativní scénáře s poklesem srážek o 10%.



Obr. 27 – Graf modelovaných odtoků pro reprezentativní scénáře s nárůstem srážek o 10%.

Modelování odtoků pro regionální modely klimatické změny

Pro porovnání byly modelovány odtoky i u 28 RCM v referenčních letech 1975 (období 1962–1988), 2025 (období 2012–2038), 2055 (období 2042–2068) a 2083 (období 2070–2096). Pro Odtoky každého modelu byly určeny průměry, kvartily (Tab. 13–16) a rozdělení pravděpodobnosti (Obr. 28–31). Odtoky celkové klesají cca o 15%, v několika případech odtoky narůstají což lze vysvětlit nárůstem a rozložením srážek.

Tab. 13 – Průměry a kvantily odtoků regionálních modelů pro referenční rok 1975.

Scénář	Průměr	0%	25%	50%	75%	100%
ALA_NN	13.22464	0.010893186	1.629046	6.878413	18.41103	85.73806
ALA_ORIG	13.66411	0.010943806	1.828516	7.213849	19.90683	87.89224
ALA_Q	13.29701	0.010737319	1.659168	6.921528	19.09933	85.16076
CHMI_OBS	13.30999	0.012058479	1.561964	6.764782	18.90637	107.52664
CLM_Q0	13.30999	0.012058479	1.561964	6.764782	18.90637	107.52664
CNRM_ARP5	13.93485	0.011148389	1.787026	7.338771	19.69009	91.44399
CNRM_ARP	14.09586	0.012215268	1.746031	7.358280	22.26684	83.99807
CRCM_CCC	16.28241	0.023961793	3.193464	9.515089	24.20422	94.92887
ENS_AVE	14.21895	0.011867757	2.023597	7.756220	20.63358	84.11324
GCM_Q25	15.66144	0.026885144	2.585610	8.808915	23.01328	94.90523
GCM_Q50	14.81257	0.025935999	2.251066	8.263136	21.48707	90.81264
GCM_Q75	14.28184	0.025089916	2.086703	7.844143	21.12095	90.07685
HIR_ARP	14.76807	0.025649026	2.282872	8.199463	21.92801	95.52593
HIR_BCM	12.8888	0.011219619	1.501677	6.417968	17.70664	92.82758
HIR_EH5	13.17709	0.012138591	1.655663	6.873880	18.52003	73.60113
HIR_Q0	12.99077	0.011100431	1.434985	6.970714	18.05569	94.59741
HadRM_Q0	14.0636	0.025965875	1.925657	7.480541	20.89801	90.57371
HadRM_Q16	13.31145	0.023945717	1.954537	7.170465	18.98020	85.02805
HadRM_Q3	14.28804	0.013003986	2.204879	7.256229	20.61172	93.86106
PROMES_Q0	13.42212	0.011741527	1.653479	7.123790	19.38427	92.48702
RACMO_EH5	16.44738	0.025441628	3.285932	9.611752	23.97888	92.20558
RCA_BCM	12.37681	0.009102642	1.527410	5.864823	18.55257	81.65125
RCA_EH5	16.38048	0.027764950	2.391701	9.053642	24.39409	91.55892
RCA_Q16	13.92267	0.021535714	2.072552	7.627946	19.59547	82.35261
RCA_Q3	14.24102	0.009948177	2.392035	8.399394	19.72401	97.09940
REMO_EH5	15.5544	0.015022169	2.288442	8.711805	21.99311	86.59841
RRCM_Q0	13.6384	0.010772650	1.808323	7.741379	19.11704	96.21626
RegCM_EH5	15.89631	0.025508345	2.904652	9.155667	24.56227	94.33464

Tab. 14 – Průměry a kvantily odtoků regionálních modelů pro referenční rok 2025.

Scénář	Průměr	0%	25%	50%	75%	100%
ALA_NN	11.96222	8.902951e-03	1.135741e+00	5.488687e+00	1.564748e+01	94.13990
ALA_ORIG	12.3437	1.170073e-02	1.256900e+00	6.003313e+00	1.581206e+01	94.28420
ALA_Q	12.37292	1.193611e-02	1.216443e+00	5.946473e+00	1.611049e+01	96.30586
CHMI_OBS	-	-	-	-	-	-
CLM_Q0	-	-	-	-	-	-
CNRM_ARP5	13.0043	2.004503e-02	1.412166e+00	7.183778e+00	1.736686e+01	101.13917
CNRM_ARP	12.67968	1.265930e-02	1.403898e+00	6.461934e+00	1.707223e+01	83.77890
CRCM_CCC	15.72901	2.893296e-02	2.091766e+00	8.870745e+00	2.179758e+01	97.86543
ENS_AVE	14.37101	2.168646e-02	1.874829e+00	8.176097e+00	2.071971e+01	83.67318
GCM_Q25	12.83596	1.763856e-02	1.511803e+00	6.981811e+00	1.787162e+01	78.70639
GCM_Q50	14.21237	2.059107e-02	1.795853e+00	7.926873e+00	1.968135e+01	85.97789
GCM_Q75	15.14778	2.205395e-02	2.116702e+00	8.776788e+00	2.164812e+01	87.15090
HIR_ARP	15.81006	2.422346e-02	2.907830e+00	8.441925e+00	2.236286e+01	122.15420
HIR_BCM	16.84577	2.486532e-02	3.313645e+00	1.001325e+01	2.518538e+01	96.67079
HIR_EH5	15.97696	2.204161e-02	2.824930e+00	9.562020e+00	2.213173e+01	136.05648
HIR_Q0	11.51566	1.234468e-02	1.278746e+00	5.896370e+00	1.470299e+01	85.92174
HadRM_Q0	12.02221	1.424625e-02	1.246370e+00	6.153823e+00	1.408981e+01	81.96812
HadRM_Q16	13.22674	1.738881e-02	1.709233e+00	7.492849e+00	1.842977e+01	86.03984
HadRM_Q3	12.89001	1.060788e-02	1.468744e+00	6.810051e+00	1.748963e+01	77.01038
PROMES_Q0	14.07036	1.683719e-02	2.007794e+00	7.594077e+00	1.898184e+01	95.73215
RACMO_EH5	14.06468	1.754996e-02	2.398990e+00	7.804336e+00	2.145516e+01	78.72339
RCA_BCM	15.80751	2.237890e-02	2.931962e+00	9.022452e+00	2.384343e+01	113.63433
RCA_EH5	15.91698	2.304453e-02	2.654058e+00	9.741526e+00	2.401762e+01	88.01799
RCA_Q16	15.79817	2.067438e-02	2.481606e+00	9.621297e+00	2.446832e+01	112.66541
RCA_Q3	17.59617	2.698968e-02	3.756988e+00	1.048070e+01	2.676278e+01	110.59219
REMO_EH5	13.86673	2.075637e-02	1.968165e+00	7.773556e+00	2.051401e+01	77.89345
RRCM_Q0	15.04974	2.323403e-02	2.109336e+00	8.494838e+00	1.923127e+01	96.60765
RegCM_EH5	14.75963	4.506239e-02	2.217478e+00	8.244699e+00	2.178935e+01	92.81515

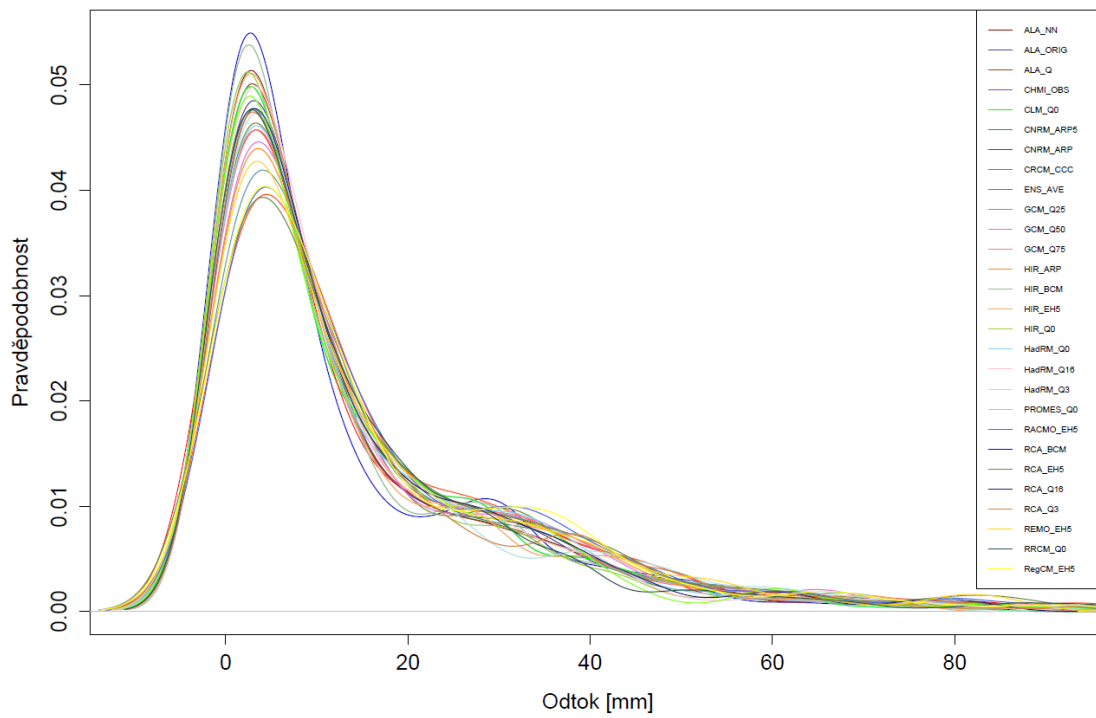
Tab. 15 – Průměry a kvantily odtoků regionálních modelů pro referenční rok 2055.

Scénář	Průměr	0%	25%	50%	75%	100%
ALA_NN	10.2961	5.968778e-06	1.088968e+00	4.606896e+00	1.484367e+01	108.57314
ALA_ORIG	10.7917	7.343474e-04	1.296540e+00	5.109512e+00	1.602912e+01	110.41784
ALA_Q	10.63993	6.048606e-06	1.171712e+00	4.929216e+00	1.517711e+01	111.54136
CHMI_OBS	-	-	-	-	-	-
CLM_Q0	-	-	-	-	-	-
CNRM_ARP5	10.68765	5.308990e-03	1.248084e+00	4.920137e+00	1.555308e+01	102.89938
CNRM_ARP	-	-	-	-	-	-
CRCM_CCC	-	-	-	-	-	-
ENS_AVE	14.06577	8.308378e-02	2.309790e+00	7.623049e+00	1.996754e+01	90.54128
GCM_Q25	11.87905	2.163606e-02	1.303398e+00	5.770289e+00	1.695732e+01	81.33914
GCM_Q50	14.06422	8.943612e-02	2.278927e+00	7.934657e+00	1.972256e+01	91.03332
GCM_Q75	16.21	9.414276e-02	2.889001e+00	8.833478e+00	2.261646e+01	93.35452
HIR_ARP	9.815255	5.312429e-03	1.005106e+00	4.249051e+00	1.424765e+01	101.32942
HIR_BCM	-	-	-	-	-	-
HIR_EH5	16.33846	3.075670e-02	4.094416e+00	1.426344e+00	2.004552e+01	109.46909
HIR_Q0	-	-	-	-	-	-
HadRM_Q0	9.93855	2.761751e-02	9.488781e-01	4.235110e+00	1.158640e+01	93.00165
HadRM_Q16	7.008008	3.899549e-03	5.762432e-01	2.466482e+00	6.899585e+00	68.49270
HadRM_Q3	13.45245	2.835814e-02	1.753812e+00	6.777684e+00	1.846795e+01	106.11952
PROMES_Q0	-	-	-	-	-	-
RACMO_EH5	18.59012	9.226301e-02	4.566091e+00	1.106931e+01	2.510152e+01	103.83075
RCA_BCM	18.6059	1.011675e-01	4.542083e+00	1.111180e+01	2.771216e+01	89.89322
RCA_EH5	18.56619	1.094855e-01	4.515343e+00	1.157681e+01	2.723396e+01	95.63825
RCA_Q16	14.71149	9.265142e-02	2.129214e+00	8.171946e+00	1.869063e+01	95.38505
RCA_Q3	19.0071	1.180850e-01	4.786231e+00	1.107364e+01	2.759406e+01	128.86650
REMO_EH5	14.68878	7.403937e-02	2.720589e+00	7.907963e+00	2.081984e+01	94.92334
RRCM_Q0	-	-	-	-	-	-
RegCM_EH5	15.63148	8.618380e-02	3.389017e+00	8.270137e+00	2.232678e+01	96.34148

Tab. 16 – Průměry a kvantily odtoků regionálních modelů pro referenční rok 2083.

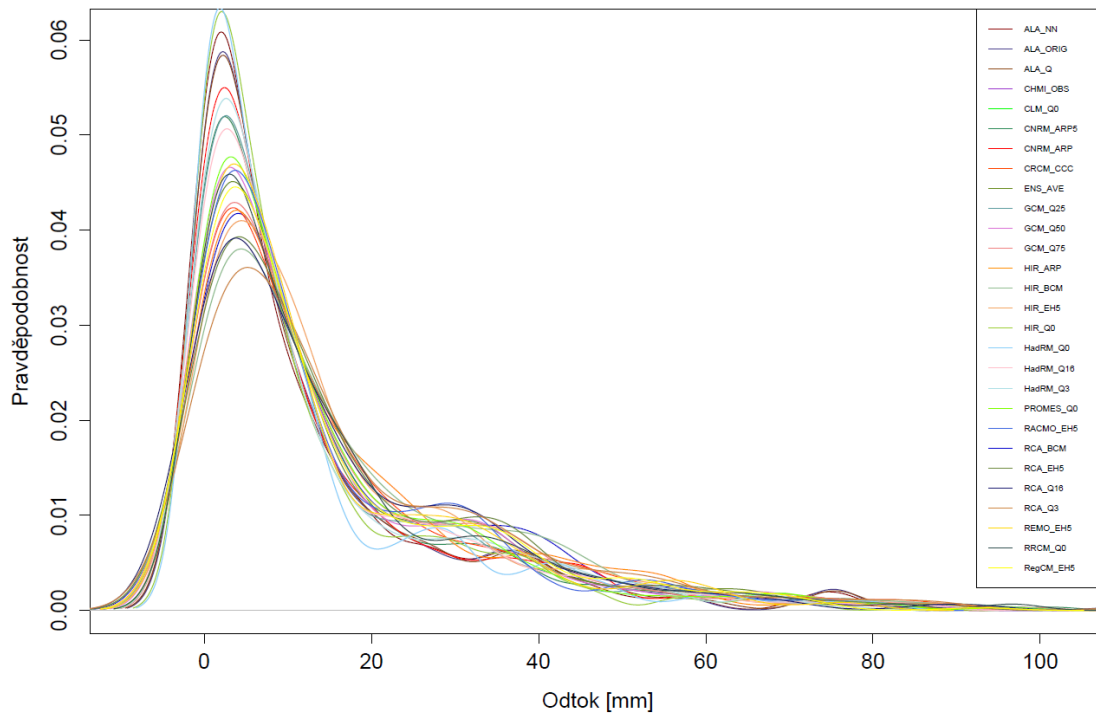
Scénář	Průměr	0%	25%	50%	75%	100%
ALA_NN	9.961373	1.097796e-02	9.128448e-01	4.162745e+00	1.292508e+01	97.44647
ALA_ORIG	10.12566	3.987478e-03	9.936632e-01	4.499908e+00	1.378959e+01	98.02540
ALA_Q	10.19693	1.117152e-02	9.746353e-01	4.368234e+00	1.288088e+01	99.93947
CHMI_OBS	-	-	-	-	-	-
CLM_Q0	-	-	-	-	-	-
CNRM_ARP5	8.524655	7.532081e-03	6.961265e-01	3.247008e+00	1.041105e+01	89.17063
CNRM_ARP	-	-	-	-	-	-
CRCM_CCC	-	-	-	-	-	-
ENS_AVE	13.15885	8.206225e-02	1.743747e+00	6.471054e+00	1.907810e+01	94.04166
GCM_Q25	9.820999	2.510425e-02	9.088025e-01	4.192044e+00	1.335454e+01	80.64137
GCM_Q50	11.59787	2.595854e-02	1.335536e+00	5.359017e+00	1.614224e+01	84.21788
GCM_Q75	13.40837	7.220413e-02	1.872136e+00	6.323544e+00	1.777919e+01	88.48362
HIR_ARP	9.167097	8.060119e-03	9.322712e-01	3.844357e+00	1.201363e+01	89.36377
HIR_BCM	-	-	-	-	-	-
HIR_EH5	19.452	9.599122e-02	5.171740e+00	1.162818e+01	2.784100e+01	124.87674
HIR_Q0	-	-	-	-	-	-
HadRM_Q0	10.88221	6.638196e-02	1.259167e+00	4.676734e+00	1.212276e+01	87.80911
HadRM_Q16	5.020163	1.202261e-10	3.503628e-01	1.287049e+00	4.177495e+00	67.99282
HadRM_Q3	11.89533	2.739521e-02	1.376779e+00	5.066131e+00	1.577522e+01	86.96852
PROMES_Q0	-	-	-	-	-	-
RACMO_EH5	19.02088	1.090253e-01	4.024256e+00	1.028950e+01	2.758778e+01	110.88064
RCA_BCM	17.49666	9.444032e-02	3.045587e+00	9.815861e+00	2.601198e+01	95.44753
RCA_EH5	19.52309	1.045450e-01	4.050930e+00	1.148518e+01	2.921203e+01	101.55295
RCA_Q16	12.8496	1.472901e-02	1.532605e+00	5.965579e+00	1.577677e+01	122.65420
RCA_Q3	17.91215	1.255360e-01	4.370975e+00	1.096940e+01	2.356749e+01	96.66472
REMO_EH5	16.63112	8.677343e-02	2.884912e+00	8.467894e+00	2.368540e+01	115.92409
RRCM_Q0	-	-	-	-	-	-
RegCM_EH5	15.877	8.500419e-02	2.634754e+00	8.390942e+00	2.296680e+01	100.60454

Rozdělení pravděpodobností odtoků v referenčním roce 1975



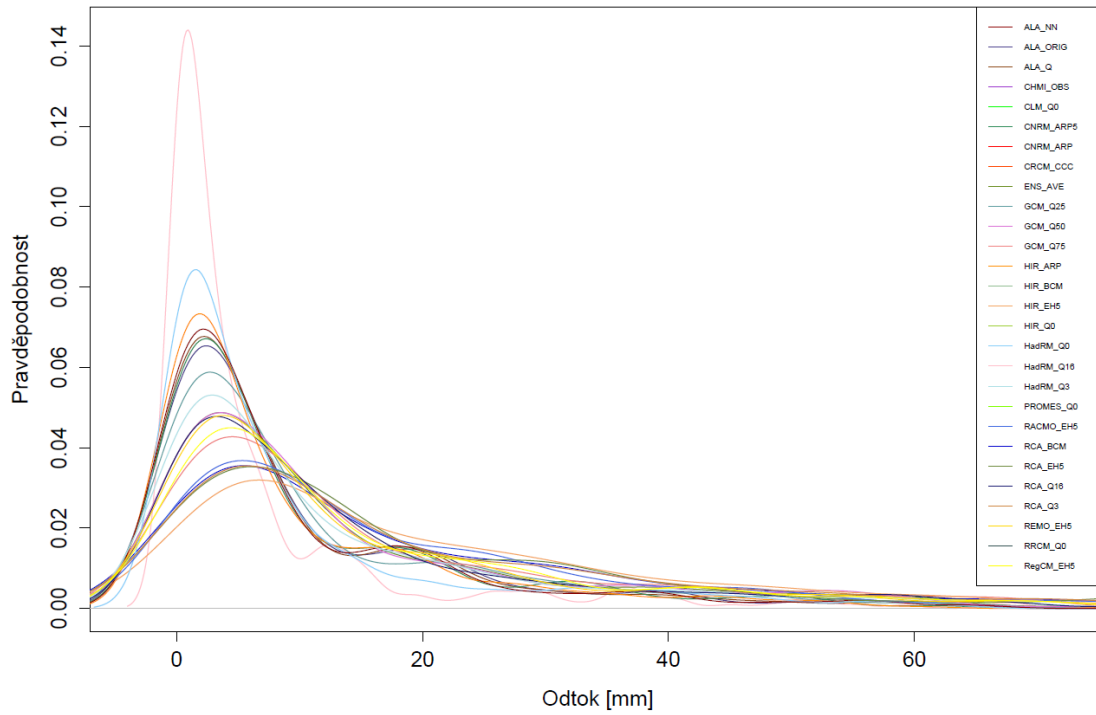
Obr. 28 – Rozdělení pravděpodobností odtoků regionálních modelů pro referenční rok 1975.

Rozdělení pravděpodobností odtoků v referenčním roce 2025



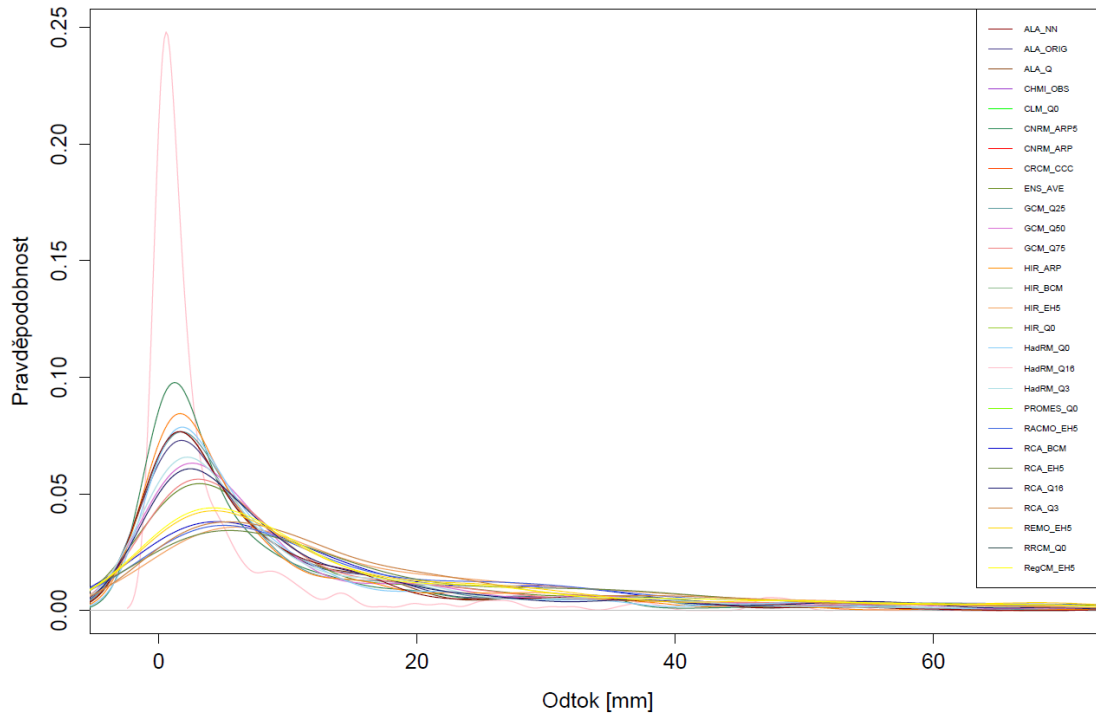
Obr. 29 – Rozdělení pravděpodobností odtoků regionálních modelů pro referenční rok 2025.

Rozdělení pravděpodobností odtoků v referenčním roce 2055



Obr. 30 – Rozdělení pravděpodobností odtoků regionálních modelů pro referenční rok 2055.

Rozdělení pravděpodobností odtoků v referenčním roce 2083



Obr. 31 – Rozdělení pravděpodobností odtoků regionálních modelů pro referenční rok 2083.

5 DISKUZE

Souhrnné výsledky (Tab. 17) ukazují průměrnou změnu všech scénářů v jednotlivých skupinách (Reprezentativní scénáře a Referenční roky 1975, 2025, 2055 a 2083). U Reprezentativních scénářů byla změna odtoku nejvyšší – odtok klesnul o 43%, pro scénáře referenčního roku 1975 2025 se průměrný pokles odtoku pohyboval kolem 9%, pro scénáře referenčního roku 2055 kolem 10%, pro scénáře referenčního roku 2083 pak kolem 14%. Největší změna odtoku byla zaznamenána u scénáře HadRM_Q16 pokles o 68%, tento scénář je srovnatelný s reprezentativním scénářem nárůstu teploty vzduchu o 3°C a poklesu srážek o 10%. V několika případech odtoky výrazně narůstají (HIR_EH5; RACMO_EH5; RCA_EH5) což lze vysvětlit nárůstem a rozložením srážek případně nepřesností vstupních dat modelů klimatické změny. Současně se zvyšují pravděpodobnosti dosažení nižších průtoků.

Tab. 17 – Výsledky průměrů jednotlivých skupin scénářů.

Scénář	Průměr	0%	25%	50%	75%	100%
Reprezentativní scénáře	8.956611	0.573697082308	2.58592682923	4.834780334	9.28904215	75.52914454
1975	14.24341741	0.0169163065	2.04281967857	7.681691643	20.55885607	90.8800782
2025	14.3013052	0.01993817542	2.0419990769	7.8832410769	19.96859423	94.44327231
2055	14.10557794	0.0532087001392	2.430672165	6.90317555	19.07964575	98.6495475
2083	13.140653	0.0528439984	2.053591515	6.52551805	17.85495125	96.6353065

Na vliv klimatické změny má vliv i orografie terénu. Vliv orografie na zvětšení srážek se obecně projevuje výrazněji v zimě, takže na horách jsou zimní srážky i relativně (vzhledem k letním) významnější než v nížinách. Zvýšení srážek v zimních měsících, prognózované scénáři klimatické změny, se tedy v horských povodích uplatní podstatně významněji, než v nížinách. Téměř u všech veličin lze rok rozdělit na dvě části, kdy jsou změny rozloženy opačně. Zpravidla větší regionální proměnlivost je v letních měsících, výjimkou jsou srážky, které jsou proměnlivější v zimním období. Poměrně výrazně ovlivňuje modelovaný odtok volba modelu a emisního scénáře, zpravidla „nejpříznivější“ výsledky dává model RCAO dle emisního scénáře SRES B2, nejméně příznivé dle odtoku jsou výsledky podle modelu HadRM3. Nakonec je možno položit si otázku, zdali je možné dopady klimatické změny zmírnit. Zde existuje celá řada odpovědí: obnova retenční schopnosti krajiny, která přispěje ke zlepšení vodního režimu krajiny a kvality vody, minimální průtoky se však nezvětší (Kašpárek, 2006). Efektivnější využití stávajících nádrží a vodohospodářských soustav. Transport vody do suchých oblastí. Výhledová výstavba nových nádrží (rezervace vhodných

lokalit). Ekonomické nástroje vedoucí k šetření s vodou a menšímu znečišťování vody. Výstavba čistíren a účinnější čištění odpadních vod. Rekonstrukce kanalizačních sítí k zamezení pronikání balastních vod a únikům znečištěných vod.

6 ZÁVĚR

Na základě zadání bakalářské práce bylo provedeno modelování odtoků v povodí řeky Klabavy v měrném profilu Nová Huť. Odtoky byly modelovány pomocí modelu BILAN v referenčních letech 1975 (období 1962–1988), 2025 (období 2012–2038), 2055 (období 2042–2068) a 2083 (období 2070–2096) pro vytvořené referenční a vybrané regionální modely klimatické změny (ALA_NN, ALA_ORIG, ALA_Q, CHMI_OBS, CLM_Q0, CNRM_ARP5CNRM_ARP, CRCM_CCC, ENS_AVE, GCM_Q25, GCM_Q50, GCM_Q75, HIR_ARP, HIR_BCM, HIR_EH5, HIR_Q0, HadRM_Q0, HadRM_Q16, HadRM_Q3, PROMES_Q0, RACMO_EH5, RCA_BCM, RCA_EH5, RCA_Q16, RCA_Q3, REMO_EH5, RRCM_Q0, RegCM_EH5). Přes značnou nejistotu v předpovědi meteorologických veličin, která je doplňována nejistotou ve vývoji společnosti, jež se odráží ve variantách řešení v podobě emisních scénářů, je možno na modelovaném povodí konstatovat značně negativní vliv změny klimatu na průtok. Klimatický systém má značně složitou dynamiku, nicméně uvedené rozpětí výsledků odpovídá pravděpodobnému rozpětí budoucích změn. Základní činitel, který ovlivňuje dopad klimatické změny na hydrologický režim, je produkce imisí a předpokládaná citlivost zvýšení teploty v závislosti obsahu CO₂ v atmosféře.

LITERATURA

AV ČR (2007) *Stanovisko Komise pro životní prostředí AV ČR k diskuzi o klimatických změnách*, [on-line], Dostupné z URL:

<http://www.ped.muni.cz/wphy/projekty/klima/stanoviskoavcr.pdf>

Becker A., Serban, P. (1990): *Hydrological models for water – resources system design and operation*. Operational Hydrology Report No. 34, WMO, Geneva.

Clarke R.T. (1973): *Mathematical models in hydrology. Irrigation and Drainage paper*, No. 19, FAO, Rome.

ČHMÚ (1996) *Hydrologické charakteristiky vybraných vodoměrných stanic*. ČHMÚ, ISBN: 80-85813-40-8.

Daňhelka J., Krejčí J., Šálek M, Zezulák J. (2003) *Posouzení vhodnosti aplikace srážko-odtokových modelů s ohledem na simulaci povodňových stavů pro lokality na území*

David Seckler, (1996) *The New Era of Water Resources Management: From “Dry” to “Wet” Water Savings* ISBN: 92-9090-325-2

Evidenční list hlásného profilu Klabava – Nová Huť. Dostupné z URL:

http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_prfbk_detail.php?seq=307174

Hanel M., Kašpárek L., Mrkvicková M., Horáček S., Vizina A., Novický O., Fridrichová R., (2011) *Odhad dopadu klimatické změny na hydrologickou bilanci v ČR a možná adaptační opatření*. VÚV T.G.M ISBN 978-80-87402-22-1

Horáček S., (2013) *bilan R package*

IPCC (2000) *Special Report on Emissions Scenarios – SRES*. [on-line] Dostupné z URL:

<http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/sres-en.pdf>, [cit. 2008-22-4].

IPCC (2007) *Synthesis Report Summary for Policymakers*. [on-line] Dostupné z URL:

http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/en/spm.html

IPCC (2011) *Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation (SREX)*. [on-line] Dostupné z URL: <http://ipcc-wg2.gov/SREX/>

IPCC (2013) *THE IPCC'S FIFTH ASSESSMENT REPORT (AR5) Leaflet* [on-line] Dostupné z URL: http://www.ipcc.ch/pdf/press/ipcc_leaflets_2010/ipcc_ar5_leaflet.pdf

Kašpárek, L. (2006) *Základní odtok*, VÚV T.G.M.

Kulhavý Z., Kovář, P. (2000): *Využití modelů hydrologické bilance pro malá povodí*. VÚMOP, Praha.

Moss, R., Babiker, M., Brinkman, S., (2008) *Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts, and Response Strategies*. IPCC, Geneva, technical summary.

Pretel, J., (2008) *Zpřesnění dosavadních odhadu dopadu klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření (II)*. CHMÚ, závěrečná zpráva o řešení projektu VaV SP/1a6/108/07 za rok 2008.

Pretel, J., (2010) *Zpřesnění dosavadních odhadu dopadu klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření (IV)*. CHMÚ, závěrečná zpráva o řešení projektu VaV SP/1a6/108/07 za rok 2010.

Quitt E., (1971) *Klimatické oblasti Československa*. GÚ ČSAV v Brně

Tallaksen L. M., van Lanen, H. A. J., (2004) *Hydrological Drought – Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater*.

Tomášek M., *Půdy České republiky*. Praha: Česká geologická služba, 2003 ISBN 80-7075-607-1.

Vivek K. Arora, George J. Boer (2001) *Effects of simulated climate change on the hydrology of major river basins*.

Vizina, A., Kašpárek, L., Knežek, M (2009) *Vodní bilance v podmínkách klimatické změny v povodí horní Metuje*. VÚV T. G. Masaryka, Praha, ISBN 9788085900941.

White Paper (2009) *WHITE PAPER: Adapting to climate change: Towards a European framework for action*. Commission of the European Communities, Brusel.