

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V
PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování



Vliv klimatických změn na vodní zdroje v povodí Dyje
Impact of climate changes on water resources in the Dyje basin

Diplomová práce

Vedoucí práce: doc. Ing. Evžen Zeman, CSc.
Diplomant: Jana Beranová

© 2022 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Jana Beranová

Regionální environmentální správa

Název práce

Vliv klimatických změn na vodní zdroje v povodí Dyje

Název anglicky

Impact of climate changes on water resources in the Dyje basin

Cíle práce

Cílem práce je analyzovat trendy v konkrétních profilech povrchových a podzemních vodních zdrojů na jižní Moravě za časové období posledních 30 hydrologických let (1990 -2020), konkrétně v povodí Dyje, kde se vliv klimatických změn již evidentně projevuje. Porovnat charakteristiky vodoměrných stanic a objektů povrchových a podzemních vod vybraných vodních útvarů Jihlavy, Moravská Dyje, Rokytné a Svatky ze zájmového území dílčího povodí Dyje a hledat souvislosti s dalšími klimatickými a hydrologickými daty a dalšími charakteristikami povodí. Cílem práce je posoudit možný vliv klimatických změn na stav hydrologických charakteristik vybraných toků a profilů, případně výskyt hydrologického sucha. Je zároveň vhodné posoudit možný trend časových řad a případnou úroveň vzájemných vztahů mezi procesy nebo veličinami, popřípadě pozorovaných trendů pro určené profily, kde jsou vhodné časové řady k dispozici.

Metodika

V teoretické části práce budou objasněny základní pojmy, legislativa dané problematiky podle vodního zákona a podzákonných norem ve vodohospodářství.

V praktické části budou vybranou metodikou zpracována data z vybraných profilů nebo objektů neovlivněných vodních útvarů povrchových a podzemních vod. Bude provedena analýza výsledků na jednotlivých vodních tocích Jihlavy, Moravské Dyje, Rokytné a Svatky. Vyhodnocení sezónních a cyklických trendů a porovnání korelace mezi povodími.

Data ke zpracování praktické části diplomové práce poskytne ČHMÚ, pobočka Brno.

Obsah

Literární rešerše

Vodní hospodářství, vodní zdroje, vodní bilance

Legislativa

Vlivy klimatické změny na klimatické meteorologické a hydrologické veličiny

a proměnné vodní bilance v povodí

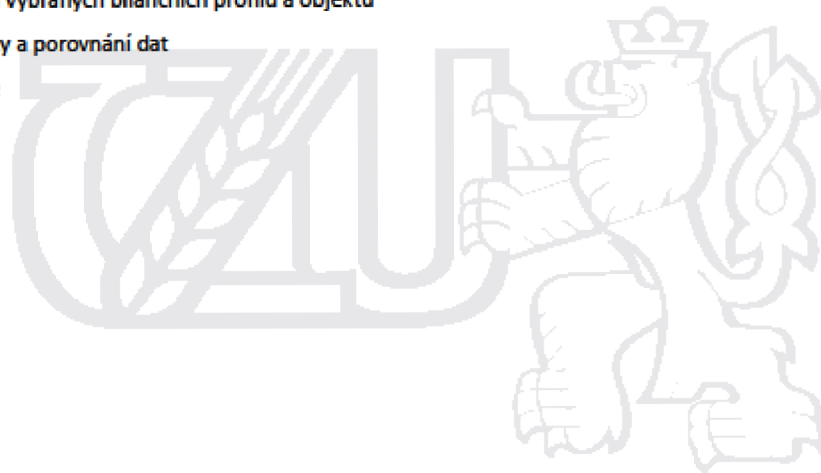
Stanovení hypotézy

Analýza vybraných bilančních profilů a objektů

Výsledky a porovnání dat

Diskuze

Závěr



Doporučený rozsah práce

75 str

Klíčová slova

Vodní zdroje, průtoky, trendy, klimatické změny, analýza

Doporučené zdroje informací

- CÍLEK, V. – AČ, A. *Věk nerovnováhy : klimatická změna, bezpečnost a cesty k národní resilienci*. Praha: Academia, 2019. ISBN 978-80-200-2930-0.
- HANEL, L. – PEŠOUT, P. – SPRÁVA CHRÁNĚNÉ KRAJINNÉ OBLASTI BLANÍK, – ČESKÝ SVAZ OCHRÁNCŮ PŘÍRODY. ZÁKLADNÍ ORGANIZACE VLAŠIM. *Ochrana biodiverzity malých vodních toků : sborník z vědecko-ochranářského semináře konaného v Roudném u Vlašimi, 27.-29. říjen 1994*. Vlašim: ČSOP, 1994.
- HANEL, M. – ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. *Modelování dopadů změny klimatu a jeho nejistoty [rukopis]*. Disertační práce. Praha: 2014.
- HANEL, M., HÁNOVÁ, K., DAŇHELKA, J., MRKVIČKOVÁ, M., TOMEK M., TOLASZ, R., LEDVINKA, O. (2014) *Vyhodnocení možných dopadů změny klimatu ve vodním hospodářství a při plánování v oblasti vod*.
- HANEL, M. – PECH, P. – ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. *Precipitation extremes in regional climate model simulations [rukopis]*. Disertační práce. Praha: 2010.
- HLÁSNÝ, T. – NOVÁK, J. – ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ FAKULTA. *Klimatická změna, dopady na lesy a možnosti adaptace*. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2019. ISBN 978-80-213-2960-7.
- KAŠPÁREK, L. – NOVICKÝ, O. – PELÁKOVÁ, M. *Climate change and water regime in the Czech Republic*. Prague: T.G. Masaryk Water Research Institute, 2006. ISBN 80-85900-63-7.
- KLIMATICKÁ ZMĚNA A JEJÍ DOPAD DO OBLASTI PĚSTOVÁNÍ A OCHRANY LESA (SEMINÁŘ) (2017 : PRAHA, ČESKO; BRNO, ČESKO), – PEŠKOVÁ, V. – HOLUŠA, J. *Klimatická změna a její dopad do oblasti pěstování a ochrany lesa : sborník z odborného semináře : 14.9.2017 Praha, 21.9.2017 Brno*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, 2017. ISBN 978-80-213-2777-1.
- MARTÍNKOVÁ, M. – HANEL, M. – ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. *Using weather generators for the assessment of the impact of climate change in catchments : dissertation*. Disertační práce. Praha: 2016.

Předběžný termín obhajoby
2021/22 LS – FZP

Vedoucí práce
doc. Ing. Evžen Zeman, CSc.

Garantující pracoviště
Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Konzultant
Ing. Jana Boráková

Elektronicky schváleno dne 9. 3. 2022

prof. Ing. Martin Hanel, Ph.D.
Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 12. 3. 2022

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.
Děkan

V Praze dne 14. 03. 2022

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou/závěrečnou práci na téma: *Vliv klimatických změn na vodní zdroje v povodí Dyje* vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědoma, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědoma, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne:

Podpis autora:

Poděkování

Ráda bych poděkovala především vedoucímu mé diplomové práce panu doc. Ing. Evženu Zemanovi, CSc. za odborné vedení, cenné rady a vstřícnost.

Dále bych chtěla poděkovat ČHMÚ Brno za poskytnutá data ke zpracování mé práce, jmenovitě paní Ing. Janě Ivančicové za konzultace a ochotu odpovídat na mé otázky.

V neposlední řadě děkuji své rodině za trpělivost a podporu při psaní mé práce.

Abstrakt

Diplomová práce *Vliv klimatických změn na vodní zdroje v povodí Dyje* se zabývá dopady změny klimatu na vodní toky v povodí Dyje. Zkoumá trend dostupných časových řad a posuzuje profily vybraných povrchových a podzemních vodních zdrojů.

V první části práce jsou rešeršní formou charakterizovány základní pojmy této problematiky a shrnuty důsledky klimatické změny na hydrologický režim.

V praktické části je provedena analýza získaných dat za období 1990–2019 a zjištěné výsledky jsou mezi sebou porovnány.

V závěru práce je uvedeno srovnání jednotlivých analyzovaných povodí a vyhodnocení dopadů klimatické změny.

Klíčová slova: Vodní zdroje, průtoky, trendy, klimatické změny, analýza

Abstract

The diploma thesis Impact of climate changes on water resources in the Dyje basin deals with the effects of climate change on watercourses in the Dyje river basin. It probes the trend of available time series and assesses the profiles of selected surface and groundwater resources.

The first part of the thesis characterizes the basic concepts of this issue and the author summarizes the consequences of climate change on the hydrological regime.

In the practical part, the obtained data are performed into analysis for the period 1990–2019 and ascertained results are compared.

At the end of the work is a comparison of individually analyzed river basins and climate change impact assessments.

Keywords: water resources, flows, trends, climate change, analysis

Obsah	
1 Úvod.....	10
2 Cíle práce.....	10
3 Literární rešerše.....	11
3.1 Význam a koloběh vody.....	11
3.1.1 Hydrologická bilance.....	13
3.1.2 Povrchové a podzemní vody.....	14
3.2 Hydrogeologie.....	15
3.2.1 Prameny.....	16
3.3 Vodárenské sítě.....	17
3.3.1 Vodovod a vodojem.....	18
3.4 Legislativa.....	19
3.4.1 Nakládání s vodami.....	20
3.4.2 Povolení k nakládání s povrchovými nebo podzemními vodami.....	21
3.5 Mezivládní panel pro změnu klimatu IPCC.....	21
3.5.1 Rámcová úmluva OSN o změně klimatu.....	22
3.5.2 Kjótský protokol.....	22
3.5.3 Pařížská dohoda.....	23
3.6 Povodí.....	24
3.6.1 Měření průtoků.....	25
3.7 Počasí a podnebí.....	25
3.7.1 Skleníkové plyny a skleníkový efekt.....	27
3.8 Klimatická změna.....	29
3.8.1 Globální oteplování.....	30
3.8.2 Hydrologický rok.....	30
3.8.3 Hydrologické sucho.....	31
3.8.4 Rok 2015.....	33
3.8.5 Zmírnění hydrologického sucha.....	34
3.8.6 Scénáře budoucího vývoje klimatu.....	36
3.9 Adaptační opatření.....	37
3.9.1 Přírodě blízké úpravy vodních toků a niv.....	38
3.9.2 Vodohospodářská adaptační opatření.....	39
4 Analýza časových řad.....	40
4.1 Klouzávý průměr.....	41
4.2 Korelace a regrese.....	42
4.3 Program R.....	43
5 Metodika.....	44

6 Zájmové území	45
6.1 Povodí Moravy – dílčí povodí Dyje.....	45
6.2 Vodoměrné povrchové a podzemní stanice	49
6.3 Srážky a teploty.....	53
7 Výsledky	55
8 Diskuze	64
9 Závěr	67
10 Přehled literatury a použitých zdrojů.....	69
10.1 Literární zdroje.....	69
10.2 Internetové zdroje.....	72
10.3 Obrázky	75
10.4 Přílohy	78

1 Úvod

Klimatické změny a jejich dopady mají v současné době vliv na fungování celého ekosystému včetně lidské společnosti. Celosvětová politika se zabývá přípravou adaptačních a zmírňujících opatření. Vodní hospodářství je jedním z nejvíce zasažených oblastí.

Kombinace vysokých teplot a sucha způsobila v současné době již na většině kontinentů úhyn lesních porostů, což ovlivňuje druhovou skladbu a strukturu. Projevy jako jsou povodně a sucha mají negativní vliv na zásobování vodou obyvatelstva, průmyslu a energetiky. Zvyšování průměrné teploty vzduchu se kvůli vlivu na územní výpar a výpar z vodní hladiny řadí mezi největší problémy, protože tyto ztráty nejsou dostatečně doplňovány srážkovými úhrny a dochází tedy k projevům sucha.

V budoucnu lze očekávat snížení četnosti chladných dní a nocí a oproti tomu zvýšení horkých dní a nocí. Doba trvání horkých vln se, dle prognózy, prodlouží a zvýší se intenzita případů silných srážek (Klimatická změna.cz, 2021).

Voda patří mezi nezbytné součásti života. Její skutečnou hodnotu poznáváme až v momentě, kdy pocítíme její nedostatek. Několik posledních let pozorujeme narůstající výskyt suchých období, která mají značné dopady na ekologii i ekonomiku.

Tato práce se zabývá analýzou pozorovaných dat získaných od Českého hydrometeorologického ústavu, pobočky Brno.

V literární rešerši této práce jsou uvedeny základní informace a legislativa vodního hospodářství, je zde popsána klimatická změna a její dopady. Praktická část následně popisuje analyzovaná data a jejich zpracování. Diskuze a závěr shrnují získané výsledky analýzy a popisují možnou prognózu do budoucna.

2 Cíle práce

Cílem této diplomové práce je analyzovat trendy v konkrétních profilech povrchových a podzemních vodních zdrojů na jižní Moravě za časové období posledních 30 hydrologických let 1990-2019, konkrétně v povodí Dyje, kde se vliv klimatických změn již evidentně projevuje. Porovnat charakteristiky vodoměrných

stanic a objektů povrchových a podzemních vod vybraných vodních útvarů Jihlavy, Moravské Dyje, Rokytné a Svratky ze zájmového území dílčího povodí Dyje a hledat souvislosti s dalšími klimatickými a hydrologickými daty a dalšími charakteristikami povodí. Cílem práce je posoudit možný vliv klimatických změn na stav hydrologického sucha. Je zároveň vhodné posoudit možný trend časových řad a případně úroveň vzájemných vztahů mezi procesy nebo veličinami, případně pozorovaných trendů pro určené profily, kde jsou vhodné časové řady k dispozici. S využitím získaných teoretických informací a naměřených dat budou v závěru práce vyhodnoceny tyto vyslovené hypotézy:

1. Klimatické změny mají vliv nejen na povrchové vodní zdroje, ale i na podzemní vodní zdroje ve vybraných povodích.
2. Korelační vztahy budou nejsilnější mezi průtoky, denními stavy jednotlivých toků a vazbou na srážky.
3. Z výsledných hodnot lze vyslovit předpoklad dalšího vývoje stavu zkoumaných vodních toků.

3 Literární rešerše

3.1 Význam a koloběh vody

Voda má nezaměnitelnou zdravotní funkci, která slouží k zajištění osobní i veřejné hygieny člověka a pro jeho rekreaci. Dále má funkci kulturní a estetickou tím, že přispívá k tvorbě a zkrášlení krajiny a lidských sídlišť. Voda jako přírodní zdroj je také nositelem energie mechanické, chemické a tepelné, médiem pro transport látek a surovinou pro spoustu průmyslových a hospodářských odvětví.

Největší podíl vody na zemi tvoří voda slaná (více než 97 %), sladké vody je tedy minimum (necelá 3 %). Přitom ze sladké vody je přibližně 78 % vázáno v ledovcích a polárním ledu, dalších asi 22 % patří, podle odborníků, vodě podzemní v hloubce 4000 m. Ze zbývajících sladké vody, odečteme-li vodu v atmosféře, rostlinstvu, živých organismech a vlhkosti půdy zůstává voda povrchová (Plecháč, 1999).

3.1.1 Hydrologická bilance

Základní členy hydrologické bilance jsou:

Srážky – Hlavním vstupem do povodí z hlediska hydrologické bilance jsou srážky. Jedná se o veškerou vodu ze vzduchu, která se dostane na povrch Země. Srážky se mohou vyskytovat ve formě kapalné (déšť, mrholení), v pevném skupenství (sníh, kroupy) a i v dalších formách skupenství (např. zmrazky, jínovatka nebo rosa). Veškeré formy srážek vznikají na základě změn teploty a tlaku vzduchu.

Na území České republiky je rozložení srážek prostorově a časově velmi nerovnoměrné. Extrémní srážky jsou výsledkem spolupůsobení terénu a charakteristického proudění a nemusí být shodné s prostorovou distribucí dlouhodobých ročních úhrnů srážek. Prostorové rozdíly v rozložení srážek významně ovlivňuje orografie, z čehož vychází, že čím je vyšší nadmořská výška, tím je více srážek. Výrazný vliv má také expozice svahů a jejich návětrnost (Brázdil, Štekl, 1986).

Tání sněhu je důležitým zdrojem vody v půdě a v podzemních vodách. Právě při nedostatku sněhu nemohou být tyto zásoby doplněny a současně průběh jarních srážek může tento negativní stav prodloužit až po celou letní polovinu roku (ČHMÚ, 2020). Naproti tomu může sníh způsobovat případně povodně, právě na jaře při prudkém oteplení. Pokud sníh odtává postupně v jednotlivých výškových polohách povodí, pak se během tání extrémnější zvýšení průtoků nemusí projevit, pokud ale přijde rychlé prudké oteplení, potom má tání sněhu velkou intenzitu ve všech polohách. Důležitý je především podíl tajícího sněhu na celkovém odtoku. Při dešti funguje sníh jako sací houba, která absorbuje vodu do pórů mezi krystalky sněhu, má svou retenční kapacitu a pokud srážka není příliš vydatná, může tak sníh nástup povodně brzdit. V takových situacích hraje roli teplota vzduchu, výška sněhové pokrývky, ale také nasycení nebo promrznutí půdy (Hladný, 2005).

Výpar – Výparem vody se rozumí přeměna vody (ledu, sněhu) na skupenství plynné. Jedná se o ztráty vody z povodí, které mohou na některých místech na území ČR v celkovém ročním součtu převyšovat sumu srážek (především se jedná o oblasti jižní Moravy a Polabí). Celkový výpar z povodí se člení na výpar vegetací (transpirace),

výpar složený z výparu vegetace a vodních ploch (evapotranspirace) a výpar z volné vodní hladiny (evaporace).

Odtok – Celkový odtok z povodí má tři složky: povrchový odtok, hypodermický odtok a základní odtok. Povrchový odtok je voda, která odtekla korytem řeky nad povrchem, hypodermický odtok je voda infiltrovaná pod povrchem, ovšem nedosahující úrovně hladiny podzemní vody, základní odtok je část odtoku, dotovaný prouděním podzemní vody. V dlouhotrvajícím období sucha může být dosaženo stavu, kdy je celkový odtok z povodí složen pouze ze složky základního odtoku.

Podzemní odtok je odtok vody z povodí v rámci proudění podzemní vody. Rychlost proudění vody závisí především na horninovém prostředí, v kterém se podzemní zásoba vody nachází. Podzemní část je možné rozdělit na zónu aerace a saturovanou zónu. V saturované zóně se akumulují podzemní zdroje vody a dochází k výraznému zpomalení jejich proudění. Mezi zónou saturace a zemským povrchem se nachází zóna aerace, kde proudí voda v horninovém prostředí (Beran, 2019).

3.1.2 Povrchové a podzemní vody

Vodní zdroje jsou povrchové a podzemní vody, které jsou nebo mohou být využity pro potřeby společnosti.

Povrchové vody jsou vody, které se přirozeně vyskytují na zemském povrchu a tento charakter neztrácejí ani protékají-li přechodně zakrytými úseky nebo dutinami pod zemským povrchem. Dělíme je na vody stojaté (lentické) a vody tekoucí (lotické). Je pro ně charakteristická velká dynamika prostředí a změny v čase. U tekoucích vod se toto projevuje prohlubováním koryta toku, rozšiřováním příčného průřezu, meandry, erozí a vyrovnáním dna. U vod stojatých dochází k sedimentaci, zarůstání a hromadění živin.

Podzemní vody jsou vody, které se přirozeně vyskytují pod zemským povrchem v pásmu nasycení neboli saturace v přímém styku s horninami. Tyto by měly být chráněny před znečištěním a udržitelně využívány, jelikož se jedná o cenný přírodní zdroj. Podzemní vody jsou největším a nejcitlivějším sladkovodním zdrojem k zásobování obyvatelstva pitnou vodou.

Ochrana povrchových a podzemních vod vyplývá ze zákona č. 254/2002 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon) (MŽP, 2021).

Správu povrchových a podzemních vod zajišťují státní podniky v místě příslušném povodí. Pod Ministerstvo zemědělství spadá cca 94 % délky všech vodních toků. Správa zbývajících přibližně 6 % náleží např. Ministerstvu obrany, obcím, úřadům, Lesům České republiky, správě Národních parků atd.

Vodní hospodářství je cílevědomá lidská činnost k ochraně vodních zdrojů a jejich trvale udržitelného využívání, k zabezpečení dobrého ekologického stavu vodních ekosystémů, rozvoji vodních zdrojů, k ochraně neovlivněného režimu povrchových a podzemních vod, k zajištění přirozené retence vod v krajině a k ochraně před škodlivými účinky vod (povodně a sucho) (MŽP, 2021).

Vodní hospodářství v České republice má za úkol především zajistit zásobování obyvatelstva pitnou vodou a mírnit následky extrémních jevů počasí, jako jsou především povodně a sucho. Do gesce Ministerstva zemědělství (sekce Vodního hospodářství) patří zejména kontrolní a metodická činnosti ve vodním hospodářství, oblast vodovodů a kanalizací, technická bezpečnost vodních děl, vodohospodářská a dotační politika státu, plánování využití vodních zdrojů, zakladatelská činnost vůči státním podnikům Povodí atd. Vodní bohatství České republiky je závislé výhradně na atmosférických srážkách. Disponibilní zásoby vody na 1 obyvatele patří k nejmenším v Evropě. Prakticky všechna voda odtéká do sousedních zemí. Svou vnitrozemskou polohou předurčuje Česká republika vztah území k evropské říční síti. Prochází tudy hranice povodí významných řek: Dunaj, Odra a Labe, které ústí do příslušných moří: Černého, Baltského a Severního moře. Péče o vodní bohatství je ovšem již historicky na vysoké úrovni. Na území České republiky se nachází významné vodní toky v délce 16 326 km a drobné vodní toky v délce 86 553 km. Převážnou většinu vodních toků spravují státní podniky Povodí: Labe, Vltavy, Ohře, Odry a Moravy (eAGRI.cz, 2021).

3.2 Hydrogeologie

Horniny mají schopnost pohlcovat a zadržovat vodu určitou silou podle vzájemné přitažlivosti mezi molekulami vody a horninou. Horniny rozeznáváme:

Nepropustné (vodotěsné) – s těsnými kapilárními póry, které vedou jen stěží měřitelné malé množství vody (např. jíl je schopen zadržet váhově větší množství vody, než je vlastní váha suché zeminy).

Málo propustné – ty, z jejichž obnažené plochy vytéká malé množství vody a nezvětšuje se s hloubkou.

Propustné – jsou schopné akumulovat vodu a umožňují její pohyb a tím vytváří hydrogeologický kolektor.

Propustnost horninového prostředí

Propustnost je schopnost horniny propouštět vodu. Propustné horniny jsou ty, které jsou schopny předávat obsaženou vodu dále do horninového prostředí nebo ji nechat vystoupit vlivem hydraulického gradientu. Podzemní voda vyplňuje v hornině různě velké prostory, a právě velikost a uspořádání těchto prostor ovlivňuje výskyt a pohyb podzemní vody a určuje hydraulické vlastnosti hornin (Tourková, 1999).

Rozlišujeme 3 typy propustnosti hornin:

Průlinová propustnost vyplňuje při malé rychlosti pohybu vody různě velké prostory v usazených a nezpevněných horninách. Označuje se také jako filtrační, protože filtrace je průvodním jevem laminárního proudění.

Puklinová propustnost – voda proudí v puklinách, trhlinách a zlomech, kapacita puklin a trhlin bývá zpravidla menší než kapacita soustavy průlin. Je zde vyšší rychlost pohybu.

Krasová propustnost vzniká v krasových horninách po vyluhování vápencových a dolomitových hornin. Proudění je zde velmi podobné jako proudění v potrubí nebo korytě.

3.2.1 Prameny

Pramen je přirozený vývěr vody na zemský povrch, vázaný na konkrétní místo. Místo vývěru určuje svou propustností geologická stavba podloží. Vydatnost pramenů, které jsou podporovány mělkou podzemní vodou, závisí přímo na lokálních klimatických jevech. Prameny podzemních vod vystupující z větších hloubek reagují na klimatické změny méně a většinou s delší časovou odezvou. Je-li v území pohromadě výskyt více pramenů, které jsou ve vzájemném hydrologickém vztahu,

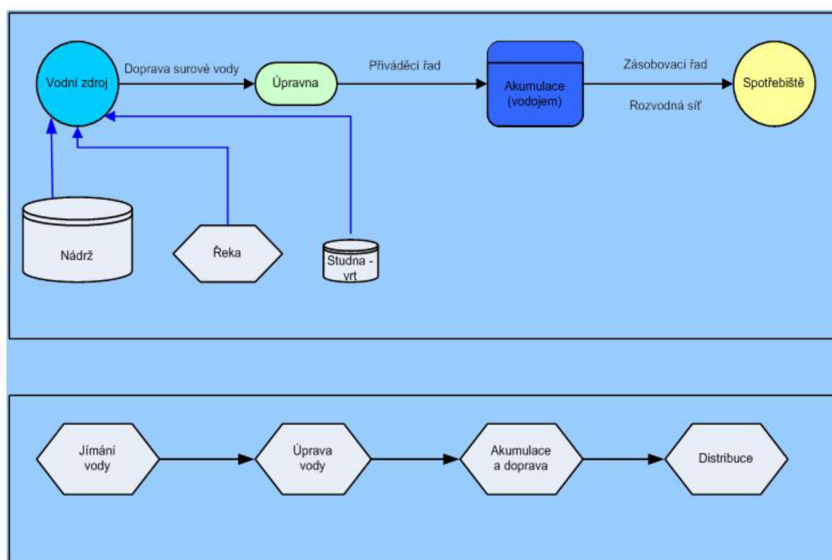
nazýváme je prameništěm. Podzemní voda vyvěrající v pramenech představuje část složky podzemního odtoku. Množství vyvěrající vody za určitou časovou jednotku (litr/sekundu) udává vydatnost pramene.

3.3 Vodárenské sítě

System distribuce vody ke spotřebiteli – schéma zásobování vodou:

- jímání nebo odběr vody
- úprava vody a její hygienické zabezpečení
- čerpání a doprava vody přiváděcím řadem do vodojemu
- akumulace vody ve vodojemu
- doprava vody zásobovacím řadem
- rozvádění vody zásobovacím řadem

Schéma zásobování vodou



Obr. 2: Schéma zásobování vodou (Škrobánková, 2020).

3.3.1 Vodovod a vodojem

Zařízení pro dopravu vody se nazývá vodovod. Veřejná vodovodní síť zajišťuje zásobování vodou pro určitý počet spotřebitelů pitné vody.

Typy vodovodů:

- vnitřní vodovod slouží pro rozvod vody uvnitř nemovitosti
- vnější vodovod pro hromadné zásobování měst a obcí vodou pitnou nebo užitkovou
- skupinový vodovod (1. typu s jedním vodojemem pro celou skupinu a 2. typu s místními vodojemy u jednotlivých spotřebišť)

Skupinový vodovod je vodovod, který dodává vodu odběratelům několika spotřebišť s jedním nebo více zdroji. Zásobuje zpravidla tři i více obcí. Skupinový vodovod vytváří samostatnou bilanční jednotku. Do Plánu rozvoje vodovodů a kanalizací jsou zahrnuty skupinové vodovody pro trvale bydlící obyvatele s počtem větším než 2 000 obyvatel (tj. s maximální denní potřebou vody nad 5 l/s).

Vodárenská soustava je vodovod, který se skládá ze dvou nebo i více skupinových vodovodů se dvěma nebo více zdroji, které zajišťují zásobování pro rozsáhlou územní oblasti pitnou vodou. Vodárenská soustava vytváří pro potřeby zpracování dat vždy samostatnou bilanční jednotku a ta je tvořena souhrnem skupinových vodovodů spojených do jednoho celku (Eagri.cz, 2007).

Vodojemy slouží převážně jako zásobníky na vodu, některé zabezpečují potřebný tlak v síti, nebo vyrovnávají rozdíly mezi přítokem a odběrem vody. Jejich úloha je důležitá hlavně v případě požárů nebo poruch ve vodovodní síti. Jedná se o vodohospodářské stavby, které jsou výškově dominantní, v krajině často z dálky viditelné. Přirozeně tak poskytují výhled do širokého okolí. Prostorově nezabírají příliš rozsáhlé části pozemku, což je většinou výhodou při jejich výstavbě (úspora finančních prostředků v podobě úspory zastavěného území), na druhou stranu jsou však jejich interiéry většinou menších rozměrů a nabízejí tak omezené možnosti pro další využití (Kořínek, 2016).

3.4 Legislativa

Zákon č. 254/2001 Sb., zákon o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon). Účelem tohoto zákona je chránit vody povrchové a podzemní, stanovit podmínky pro hospodárné využívání vodních zdrojů, předcházet nedostatku vody, zachovávat a zlepšovat jakost povrchových a podzemních vod, vytvářet podmínky pro snižování následků povodní a sucha a zajišťovat bezpečnost vodních děl. Vodní zákon dále upravuje právní vztahy k povrchovým a podzemním vodám, vztahy fyzických a právnických osob k využívání vod podzemních a povrchových, jakož i vztahy k pozemkům a stavbám, s nimiž výskyt těchto vod přímo souvisí.

V roce 2020 došlo k novele vodního zákona zákonem č. 544/2020 Sb., kterým se mění zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů.

Tato novela, na které se podílelo MŽP a MZe, umožní státu lépe zvládat kritické stavy sucha, reguluje nakládání s vodou v případě sucha. Nová část vodního zákona „Zvládání sucha a stavu nedostatku vody“ monitoruje sucho, určuje odpovědnost kompetentních orgánů a přijímá opatření pro zvládání sucha (MŽP, 2021).

Zákon č. 274/2001 Sb., zákon o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích).

Tento zákon se vztahuje na vodovody a kanalizace, v případě užívání alespoň 50 fyzických osob nebo průměrné denní produkce pitné nebo odpadní vody větší než 10 m³/den. Vlastníkem vodovodů a kanalizací jsou jednotlivé obce a provozovatelem je obec nebo konkrétní provozující společnost. Plány rozvoje vodovodů a kanalizací jsou stanovovány daným krajem na dobu 10 let, po konzultaci s obcemi a územním plánem.

Vydané vyhlášky Ministerstvem zemědělství:

Vyhláška č. 431/2001 Sb., o obsahu vodní bilance, způsobu jejího sestavení a o údajích pro vodní bilanci popisuje vodní, vodohospodářskou a hydrologickou bilanci. Zaměřuje se na obsah a způsob hodnocení množství a jakosti povrchových a podzemních vod.

Vyhláška č. 428/2001 Sb., kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích určuje rozsah a způsob zpracování plánu rozvoje vodovodů a kanalizací, stanovuje evidenci vodovodů a kanalizací atd.

Vyhláška č. 432/2001 Sb., o dokladech žádosti o rozhodnutí nebo vyjádření a o náležitostech povolení, souhlasů a vyjádření vodoprávního úřadu stanovuje potřebné doklady, které musí být žadatelem předloženy vodoprávnímu úřadu k žádosti o povolení k nakládání s povrchovými nebo podzemními vodami. Vyhláška určuje náležitosti povolení, vyjádření a souhlasů, které jsou vydávány podle vodního zákona.

Vyhláška č. 178/2012 Sb., kteřa stanovuje seznam významných vodních toků a způsobu provádění činností, které souvisí se správou vodních toků.

Vyhláška č. 123/2012 Sb., o poplatcích za vypouštění odpadních vod do vod povrchových, která mimo jiné určuje postup České inspekce životního prostředí v žádosti o odklad placení poplatku.

Nařízení vlády č. 401/2015 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech.

Nařízení vlády č. 57/2016 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění odpadních vod a náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod podzemních.

3.4.1 Nakládání s vodami

Zákon o vodách a o změně některých zákonů č. 254/2001 Sb. (vodní zákon) upravuje povinnosti o ochraně, zabezpečení a o hospodárném užívání povrchových a podzemních vod.

Nakládání s povrchovými vodami

Bez povolení nebo souhlasu vodoprávního úřadu může každý odebírat povrchové vody nebo s nimi jinak nakládat pro vlastní potřebu na vlastní nebezpečí, pouze pokud k tomu není třeba zvláštního technického zařízení. Při nakládání s povrchovými vodami nesmí být ohrožována jejich jakost nebo zdravotní nezávadnost vod.

Vodoprávní úřad může ve veřejném zájmu rozhodnutím upravit, omezit, případně zakázat obecné nakládání s povrchovými vodami.

3.4.2 Povolení k nakládání s povrchovými nebo podzemními vodami

Povolení k nakládání s vodami vydává vodoprávní úřad obce s rozšířenou působností (ORP) fyzickým nebo právnickým osobám na žádost na dobu ne delší než 10 let se stanovením účelu, rozsahu, povinností a podmínek, za kterých se povolení vydává. Jako podklad k vydání povolení k nakládání s podzemními vodami slouží vyjádření osoby s odbornou způsobilostí – hydrogeologický posudek. Konkrétní doklady nutné k doložení žádosti upravuje vyhláška č. 183/2018 Sb. o náležitostech rozhodnutí a dalších opatření vodoprávního úřadu a o dokladech předkládaných vodoprávnímu úřadu. Vodoprávní úřad ORP Sokolov mimo jiné upravuje, omezuje či zakazuje obecné nakládání s povrchovými vodami, dále povoluje odběr a další nakládání s povrchovými nebo jinými vodami, ke kterému je takové povolení nutné (MěÚ Sokolov, 2020).

Povrchové vody – povolení k odběru, vzdouvání, popřípadě akumulaci, k využívání jejich energetického potenciálu, k využívání těchto vod pro chov ryb, popřípadě jiných vodních živočichů za účelem podnikání.

Podzemní vody – povolení k odběru, akumulaci, čerpání za účelem snižování jejich hladiny, umělému obohacování podzemních zdrojů vod, vypouštění odpadních vod do vod povrchových nebo podzemních.

3.5 Mezivládní panel pro změnu klimatu IPCC

Mezivládní panel pro změnu klimatu (IPCC) je orgánem OSN (Organizace spojených národů) pro hodnocení vědy související se změnou klimatu. Řada vědců z celého světa se zabývá poznáváním podstaty a hodnocení důsledků změny klimatu. Panel byl založen roku 1988 a jeho cílem je poskytovat vládám vědecké informace, které slouží k rozvoji politik v oblasti klimatu (MŽP, 2020).

IPCC je organizace vlád, které jsou členy OSN nebo WMO (Světová meteorologická organizace). V současné době má 195 členů. Na práci IPCC se podílejí tisíce lidí z celého světa. IPCC připravuje komplexní hodnotící zprávy o znalostech změny klimatu, jejich příčinách a možných dopadech. IPCC vydává také zvláštní zprávy, které jsou hodnocení konkrétní záležitosti, a metodické zprávy, které poskytují

praktické pokyny pro přípravu inventur skleníkových plynů. V současné době se připravuje Šestá hodnotící zpráva, která bude předložena v září 2022 (IPCC, 2021).

3.5.1 Rámcová úmluva OSN o změně klimatu

Rámcová konvence o změně klimatu (UNFCCC) vstoupila v platnost v roce 1994 a hájí prevenci „nebezpečných“ lidských zásahů do klimatického systému. V současné době má členství 197 zemí, které úmluvu ratifikovaly. Cílem úmluvy je stabilizovat koncentrace skleníkových plynů a zabránit tak nebezpečným antropogenním zásahům do klimatického systému (UNFCCC, 2021).

Rámcová úmluva je založena na čtyřech hlavních principech:

- principu mezigenerační spravedlnosti (chránit klimatický systém ve prospěch nejen současné, ale i příštích generací)
- principu společné, ale diferencované odpovědnosti (ekonomicky vyspělé země nesou hlavní odpovědnost za rostoucí koncentrace skleníkových plynů v atmosféře a jejich povinností je poskytovat pomoc rozvojovým zemím)
- principu potřeby chránit zejména ty části planety, které jsou více náchylné na negativní dopady změn klimatického systému (jedná se především o ty země, které jsou zranitelnější v rámci svého hospodářského vývoje a geografického umístění)
- principu tzv. předběžné opatrnosti (nutnosti neodkládat řešení problému, a to ani v tom případě, že doposud nelze některé důsledky změny klimatu kvantifikovat) (MŽP, 2021).

3.5.2 Kjótský protokol

Na konferenci smluvních stran Rámcové úmluvy OSN o změně klimatu byl roku 1997 přijat Kjótský protokol, který stanovil všem průmyslovým státům povinné snížení emisí skleníkových plynů do roku 2012 o 5,2 % (GERDEN, 2018).

Česká republika tento protokol podepsala v roce 1998 a ratifikován byl v roce 2001. V prosinci 2012 byl schválen dodatek, kterým bylo stvrzeno druhé kontrolní období protokolu 2012–2020. Pro každý skleníkový plyn existuje „potenciál globálního ohřevu“ podle jeho schopnosti ovlivňovat klima. Obsah skleníkových plynů se, pro možnost srovnání, uvádí v hodnotě CO₂. Protokol bere v úvahu, kromě skleníkových plynů, absorpci vyvolanou změnami ve využívání krajiny (zalesňování, péče o lesní porosty, odlesňování) (MŽP, 2021).

3.5.3 Pařížská dohoda

Pařížská dohoda byla smluvními stranami přijata v roce 2015, provádí ustanovení Rámcové úmluvy OSN o změně klimatu a měla by po roce 2020 nahradit dosud platný Kjótský protokol (MŽP, 2021).

Pařížská dohoda vstoupila v platnost v listopadu 2016 a spojuje všechny národy k tomu, aby vyvinuly maximální úsilí v boji proti změně klimatu se zvýšenou podporou rozvojovým zemím. Pařížská dohoda má za cíl posílit globální reakci na hrozbu klimatické změny udržováním globálního nárůstu teploty pod 2 °C. Dále posílit schopnosti zemí vyrovnat se s dopady změny klimatu. (United Nations Treaty Collection, 2021).

V listopadu 2021 se konala konference OSN ve skotském Glasgow (COP26) o změně klimatu. Na 26. konferenci OSN se sešlo všech 197 smluvních stran Rámcové úmluvy o změně klimatu. Ke klíčovým podnětům patřilo:

- navýšení finančních prostředků pro rozvojové země na boj proti změně klimatu
- přijetí celosvětového závazku týkajícího se metanu
- dokončení pařížského souboru pravidel

Podle nejnovější zprávy Mezivládního panelu pro změnu klimatu (IPCC) způsobuje globální oteplování na celém světě stále větší změny srážkových modelů, oceánů a proudění větrů. Extrémní povětrnostní události, mezi které patří vlny veder, povodně a lesní požáry, jsou v EU i v ostatních částech světa stále častější a intenzivnější (Consilium - Evropská rada, Rada Evropské unie, 2022).

3.6 Povodí

Povodí je plocha území náležící k určitému profilu vodního toku. Srážková voda stéká ze zemského povrchu do určitého profilu na vodním toku, pro který lze kvantitativně vyjádřit složky vodní bilance. Takové území nazýváme povodím a rozvodnicí čáru, která je ohraničuje. Bez bližší specifikace profilu chápeme povodím celou plochu až po ústí konkrétního toku do toku vyššího řádu (Krešl, 2001).

Tvar povodí patří, spolu se sklonovými poměry povodí, mezi charakteristiky, které ovlivňují dobu, za kterou se soustředí voda z celé plochy povodí v uzavírajícím profilu povodí. Povodí bývá většinou nejširší ve své střední části a směrem k prameništi se postupně zužuje.

Tvar povodí lze vyjádřit součinitelem tvaru povodí:

$$\alpha = \frac{B}{L_{\dot{u}}} \qquad B = \frac{F}{L_{\dot{u}}}$$

α = součinitel tvaru povodí

B = střední šířka tvaru povodí

$L_{\dot{u}}$ = délka údolnice

F = plocha povodí

Podle hodnoty součinitele alfa rozlišujeme povodí:

protáhlá $\alpha < 0,24$

přechodného typu $\alpha = 0,24 - 0,26$

vějířovitá $\alpha > 0,26$

Nejméně příznivá povodí z hlediska maximálních průtoků jsou povodí vějířovitého tvaru (Kvítek, 2006).

Odtok vody z povodí - O se udává v m^3 . Jedná se o celkové množství vody, které proteklo uvažovaným profilem toku za určitý čas. Odtok lze vyjádřit odtokovou výškou - H_o v mm, což je výška vrstvy vody, která se vytvořila při rovnoměrném rozprostření oteklého množství vody po ploše (Kvítek, 2006).

Celkový odtok vody z povodí většinou rozdělujeme, jak již bylo zmíněno v kapitole Hydrologická bilance (uvedl Beran, 2019), na složku přímého odtoku a složku podzemního odtoku, protože samostatné určení složky povrchového odtoku a hypodermického odtoku je bez náročných měření nemožné. Vzhledem k obtížné separaci hypodermického odtoku se často počítá tato složka společně se složkou povrchového odtoku, jejich součet je označován jako *odtok přímý* (Soukup, Hrádek, 1999).

3.6.1 Měření průtoků

Objem vody, který proteče daným průtočným průřezem za jednotku doby, tj. za sekundu značíme v hydrologii *průtokem*. Má označení Q a vyjadřujeme ho obvykle v m^3/s nebo v l/s (Kemel, 1994).

Průtoky lze měřit:

- přímo – zjišťováním množství vody vtékající za časovou jednotku do nádoby nebo nádrže známého objemu
- nepřímo – zjišťováním rychlosti proudění plovákem nebo vodoměrnou vrtulí v korytě daných rozměrů, velikosti zředění silně koncentrovaného roztoku snadno zjistitelné látky, který přivádíme do vodního toku, rozměrů vodního paprsku na přepadu známého tvaru, venturimetrem a odvozením z vodního stavu v průtočném profilu, známe-li poměr mezi vodním stavem a velikostí průtoku (Šilar, 1996).

3.7 Počasí a podnebí

Teplota je zásadní faktor, který ovlivňuje hydrologickou bilanci především proto, že s rostoucí teplotou roste také potenciální evapotranspirace. Tudiž dochází k rychlejšímu úbytku vody z povodí. Evapotranspirace je nejvýraznější v zimě, což způsobuje větší počet dní s kladnými teplotami vzduchu. Potenciální evapotranspiraci kompenzuje na našem území růst srážek. Citelnější je na podzim, kdy se zejména v jižní části České republiky zvýší až o 20 %. Výjimkou však je oblast středních Čech, kde naopak dochází k poklesu srážek (na jaře až o 20 %). Právě v této oblasti jsou povodí, ve kterých lze již pozorovat negativní dopady změny klimatu v podobě nedostatku vodních zdrojů. Jedná se zejména o povodí přirozeně chudá na srážky, ale

v budoucnu můžeme očekávat tyto problémy i v jiných oblastech České republiky (Hanel a kol., 2011).

Počasí je aktuální stav atmosféry ve výšce 10–15 km nad zemským povrchem. Nejtypičtější vlastností počasí je jeho proměnlivost během několika dnů, v průběhu roku i mezi jednotlivými roky. Kombinace vstupních údajů, spolu se zkušenostmi meteorologů, kteří mají k dispozici výsledky měření meteorologických stanic, umožňuje předpovídat počasí až na několik dní dopředu (Metelka, Tolasz, 2009). K popisu počasí se používají průměry teplot a vlhkosti vzduchu, atmosférických srážek, rychlosti větru, slunečního svitu a dalších klimatických veličin za delší období. Samotné průměry však k vyjádření klimatu nestačí. Dvě rozlišná místa na Zemi mohou mít např. stejný průměrný roční úhrn atmosférických srážek okolo 150 mm, na jednom místě však toto množství vyprší během několika málo bouřek (např. na Saharě) a na druhé místě bude naopak často drobně pršet. Vedle průměrů je proto nutné při popisu klimatu uvést řadu statistických charakteristik, jako jsou veličiny, které vyjadřují podrobné kolísání kolem průměru, proměnlivost ze dne na den, ale i výskyt extrémních jevů (Bartoňová a kol., 2004).

Podnebí studují klimatologové, kteří získávají naměřená data od meteorologů a podle nich popisují klima. Studují jeho proměnlivost v čase i prostoru a analyzují klima konkrétních oblastí. V poslední době je věnována velká pozornost vytváření matematických modelů klimatu, pomocí nichž se mimo jiné odhaduje i reakce klimatického systému na zásahy člověka. Díky provázanosti klimatu s procesy např. biologickými, chemickými a geologickými se klimatologie dotýká i mnoha dalších oborů, mezi které patří geofyzika, oceánologie, astronomie, biologie atd. Není pochyb o tom, že vývoj klimatu ovlivňuje i zemědělství, vodní hospodářství, medicínu, energetiku atd. (Metelka, Tolasz, 2009).

Klima se vytváří vzájemnou interakcí spousty faktorů: mimozemské faktory (sluneční záření, změny orbitální dráhy Země), vlastnosti zemského povrchu (vegetace, rozložení pevnin a oceánů, sopečná činnost) a změny uvnitř klimatického systému (biologické změny, chemické složení, emise skleníkových plynů). Důležitou roli mají v klimatickém systému zpětné vazby, v jejichž důsledku se mohou anomálie zesilovat (kladné zpětné vazby) anebo naopak zeslabovat (záporné zpětné vazby). Sluneční záření, které dopadá na zemský povrch, způsobuje ohřátí přízemních vrstev vzduchu

a tím vzniká stoupavé proudění (konvekce) s následnou tvorbou kupovité oblačnosti. Oblačnost ale část dopadajícího slunečního záření odráží, tím se ho méně dostává k povrchu a klesá míra ohřívání přízemních vrstev vzduchu, konvekce a tvorba kupovité oblačnosti (Metelka, Tolasz, 2009).

Pretel, 2012 uvádí, že mezi jednotlivými složkami klimatického systému dochází k nepřetržité výměně hmoty a energie. Příkladem mohou být globální cykly, mezi které patří hydrologický a uhlíkový cyklus. Fyzikální, chemické a biologické procesy, které probíhají v jedné části klimatického systému jsou vzájemně provázány s procesy v ostatních složkách a navzájem jsou ovlivňovány. Klimatický systém ovlivňují i vnější vlivy, jako je například změna množství dopadajícího slunečního záření na horní hranici atmosféry, změna v množství skleníkových plynů obsažených v atmosféře nebo změna typu zemského povrchu. Pokud změna v jedné části klimatického systému vyvolá změnu v jiné části systému, a tato pak zpětně působí na první část, můžeme toto nazvat zpětnou vazbou v klimatickém systému. Pokud je zpětnou vazbou původní působení zesíleno, hovoříme o pozitivní zpětné vazbě, pokud je naopak zeslabeno, je zpětná vazba negativní (Pretel, 2012).

Dříve se klima definovalo jako „průměrné počasí“ za velmi dlouhou dobu. Dnes pod tímto pojmem rozumíme všechny zkušenosti, které s počasím na daném území máme. Patří sem např. jarní mrazíky, mlhy, povodně, bouřky v horských údolích atd. Veškerá analýza daného klimatu by měla být prováděna po ročním období včetně méně častých, ale intenzivních epizod.

Každá krajina je jinak citlivá ke klimatické změně nebo její složce. Toto můžeme definovat jako celkový klimatický dopad, který obvykle nastává při zdvojnásobení koncentrace oxidu uhličitého (Cílek, Ač a kol., 2019).

3.7.1 Skleníkové plyny a skleníkový efekt

Atmosféru tvoří směs plynů: dusík, kyslík, oxid uhličitý a argon. Výjimkou je vodní pára, ozon a určité plyny antropogenního původu. Skleníkové plyny mají v atmosféře významný vliv na tzv. energetickou bilanci atmosféry. Velmi ovlivňují chování celého klimatického systému. Nejvýznamnějším skleníkovým plynem je vodní pára, dále oxid uhličitý, metan, ozon a oxid dusný. Díky svých fyzikálním

vlastnostem zadržují na Zemi energii slunečního záření – tomu se říká skleníkový efekt. Princip skleníkového efektu nastává tím, že se přibližně 30 % slunečního záření, které proniká do zemské atmosféry, vrací zpátky do kosmu (vlivem odrazu od oblačnosti nebo od zemského povrchu). Zbývajících 70 % je pohlceno povrchem a tím se zvyšuje teplota povrchu a částečně také vzduchu. Některé významné skleníkové plyny, především oxid uhličitý a metan, jsou součástí přirozených procesů probíhajících na Zemi.

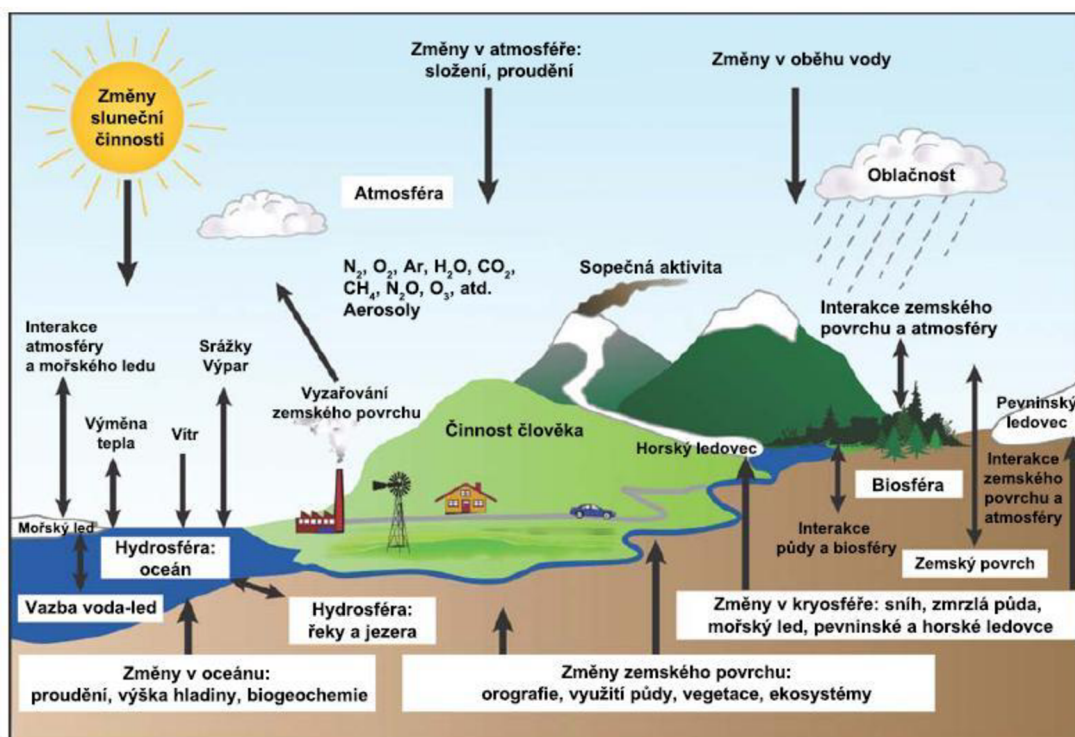
Koloběh těchto plynů je součástí tzv. globálního uhlíkového cyklu. Atmosféra, svrchní vrstvy oceánu, biosféra a půda si vzájemně vyměňují obrovské množství uhlíku. Oceán uhlík pohlcuje především v oblastech s chladnou vodou, a naopak uhlík uvolňuje především v tropech. Fotosyntézou rostlin se odstraňuje oxid uhličitý i uhlík z atmosféry a ukládá ho do vegetace. Dýcháním živočichů se uvolňuje uhlík zpět do atmosféry. Antropogenní emise oxidu uhličitého ze spalování vytváří především uhlí a ropa, nemalý podíl má i zemní plyn. Vydatným zdrojem je např. i odlesňování (Metelka, Tolasz, 2009).

Podíl skleníkových plynů, které vznikají vlivem činnosti člověka lze vypočítat z každoroční spotřeby fosilních paliv. S rostoucím množstvím skleníkových plynů ve vzduchu se také zvyšuje jejich působení na klimatický systém. Ovšem skleníkové plyny nejsou jediným ovlivňujícím faktorem na podnebí. Patří sem i úbytek ozonu ve stratosféře, který způsobuje produkce freonů. Dále příbytek přízemního ozonu (což má za následek chemické znečištění vzduchu zejména ve velkých městech v letním období), rozvoj zemědělství, úbytek lesů a usazování sazí na sněhu (Metelka, Tolasz, 2009).

Nejsilnější skleníkový plyn je vodní pára. Její množství ve vzduchu je závislé především na teplotě atmosféry a na přenosu větrem od moře, kde vlhkost dosahuje téměř 100 %. Mraky jsou nejhůře spočitatelnou částí klimatické změny. Při teplém počasí se častěji tvoří vysoká oblaka, jejichž účinek je spíše oteplující, a také rostou lépe stromy, pokud tedy mají dostatek živin a vláhy (Cílek, Ač a kol., 2019).

3.8 Klimatická změna

Klimatická změna představuje místo od místa, ale i měsíc po měsíci tisíc různých věcí – posun podzimu do zimy a zimy do jara, přívalové deště, suchá léta a podzimní povodně, invazi klíšťat, tři generace kůrovce atd. Nicméně v jádru problému leží především oteplování. Je potřeba rozlišit přirozené pozadí skleníkového jevu a antropogenní, tedy to způsobené lidmi. Bez skleníkových plynů by teplota planety byla $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, což je o $33\text{ }^{\circ}\text{C}$ méně, než je teplota současná, ale biosféra a zejména mikroorganismy nám naštěstí vytvářejí příznivější klima (Cílek, Ač a kol., 2019).



Obr. 3: Znázornění klimatické změny (RESPEKT.CZ, 2009).

Jedním z klíčových dokumentů, který upravuje vodohospodářské plánování na evropské úrovni je Rámcová směrnice o vodní politice 2000/60/ES. Jejím cílem je dosažení dobrého stavu vodních útvarů a zajištění jejich udržitelného využívání. Účelem adaptací na očekávané změny klimatu je jim předcházet a minimalizovat jejich nepříznivé dopady.

Pod pojmem antropogenní změny klimatu jsou vyjádřeny klimatické změny, které jsou vázány na činnosti člověka. V této souvislosti je prvořadým důsledkem lidské činnosti produkce skleníkových plynů, především ze spalování fosilních paliv. Vlivem tohoto dochází ke změnám klimatu, především ke zvyšování teploty vzduchu (Martínková, Hanel, 2016).

3.8.1 Globální oteplování

Jedním z projevů změny klimatu v planetárním měřítku je globální oteplování, které se vztahuje k jakékoliv změně průměrné globální teploty. Pojem globální oteplování bývá často chybně vnímán jako oteplování, ke kterému dochází na celé planetě stejnorodě. Ve skutečnosti však zvýšení průměrné globální teploty planety vyvolává změny v globální cirkulaci, a ty pak způsobují nerovnoměrné ohřívání různých částí planety, v některých oblastech může však dojít i k ochlazení (ČHMÚ, 2019).

3.8.2 Hydrologický rok

Hydrologický rok je období 12 měsíců nastavené tak, aby sněhové srážky spadlé v tomto období v témže období také odtékly. V České republice a v ostatních zemích střední Evropy začíná hydrologický rok 1. listopadu a končí 31. října následujícího kalendářního roku, jehož letopočtem se hydrologický rok označuje. Zavedení hydrologického roku má své výhody, protože srážky spadlé v podobě sněhu začátkem zimy se dostanou s jarním odtokem do stejného bilančního období a začátek i konec bilančního období spadá do ročního období obvykle s ustálenými srážkovými a odtokovými poměry. Takže je pravděpodobné, že statistický objem vody v jednotlivých složkách hydrosféry zkoumaného území je na začátku hydrologického roku přibližně stejný jako na jeho konci. Toto má význam pro sestavení bilanční rovnice (Šilar, 1996).

Sommer, 1973 uvádí, že vodohospodáři často přebírají při zjišťování bilance z publikací hydrologických ročenek odtokové hodnoty vypočtené pro hydrologický rok a hodnoty srážek přebírají z publikací klimatických, kde jsou hodnoty stanoveny pro občanský rok a tím dochází k chybám (Sommer, 1973).

3.8.3 Hydrologické sucho

Sucho je přírodní riziko, které způsobuje vodní deficit oproti normálnímu stavu v určitém místě. Hydrologické extrémny, mezi které patří sucho a povodně, jsou nebezpečím na rozsáhlých územích po celém světě s dopadem na obrovské množství lidí (Van Loon, 2015).

Na rozdíl od povodní představuje sucho plíživý fenomén s velmi pomalým nástupem, postupným vlivem, ovšem jeho následky lze zaznamenat až několik let po jeho skončení (Stahl, 2001). Sucho patří k přirozenému hydrologickému cyklu vody na povrchu zemském a ovlivňuje tak každého z nás. Příčiny a dopady sucha se na konkrétním místě v určitý čas mohou měnit. Není možné proto vytvořit jednu všeobecnou definici sucha (Bachmaier a kol., 2016). Při zkoumání sucha je potřeba se zaměřit na suchozemské a atmosférické složky hydrologického cyklu a snažit se pochopit jejich vzájemnou souvislost. Jedná se zejména o srážky, evapotranspiraci a akumulaci sněhové pokrývky, ale také o podzemní vodu, řeky, jezera, mokřady atd. Poslední dobou hraje v cirkulaci vody na Zemi podstatnější roli jedna proměnná a tou je člověk (Van Loon, 2015).

Hydrologické sucho vzniká v návaznosti na sucho meteorologické. Dochází k němu při prohloubení meteorologického a agronomického sucha, především při dlouhodobější absenci atmosférických srážek a při zvýšené evapotranspiraci. Působením hydrologického sucha dochází k deficitu v povrchových a podzemních zásobách vody. Což způsobuje značný pokles průtoků ve vodních tocích i pokles hladiny vod podzemních. Rychlost nástupu hydrologického sucha představuje nárok na retenční schopnost daného povodí, která je značně závislá na fyzicko-geografických charakteristikách. Na rozdíl od meteorologického sucha, kdy se deficit vody projeví ihned, je hydrologické sucho fázově posunuto. Absence srážek se ve vodních tocích a na hladinách podzemních vod projeví s určitým zpožděním (Hisdal a kol., 2001).

Díky vysokým teplotám vzduchu a zvýšené evapotranspiraci se voda z podzemí vypařuje, infiltuje do vodního toku a tím snižuje hladinu podzemních vod. Vznik hydrologického sucha je zároveň způsoben a ovlivněn antropogenní činností. Typickým příkladem projevu člověka je například změna krajinného pokryvu nebo

nevhodná úprava říčních koryt. Veškeré projevy lidské činnosti způsobují rychlejší odtok vedoucí k hydrologickým extrémům (Wilhite, 1994).

K meteorologickému a hydrologickému suchu patří i sucho socioekonomické, které je většinou výsledkem působení zmíněných typů sucha na lidskou společnost. Tento typ sucha však může nastat v jakékoliv fázi. Socioekonomické sucho vzniká ve chvíli, kdy nedostatek, především pitné a užitkové vody, začne negativně ovlivňovat lidské potřeby společnosti (Brázdil, Trnka a kol., 2015).

Nation Drought Mitigation Centre (NDMC) je celosvětově nejznámější institucí, zabývající se suchem a jeho projevy. Definiuje sucho jako zcela normální, opakující se projev klimatického systému Země, související s jeho kolísáním. Označuje sucho jako přechodnou anomálii klimatu, která se vyskytuje ve všech klimatických pásech. Sucho je vyvoláno absencí srážek během delšího časového období. Mezi další faktory, které podmiňují vznik suchých period patří intenzita slunečního záření a s tím spojená evapotranspirace (NDMC, 2012).

Hydrologické sucho se analyzuje pomocí naměřených hydrologických dat, mezi které patří nejčastěji průtok, vodní stav a povrchový nebo základní odtok. Při hodnocení je potřeba počítat i s hydrogeologickými charakteristikami daného povodí, krajinným pokryvem a hydrologickým režimem. Měřítkem pro definování hydrologického sucha může být průtok, který dosahuje nižších hodnot než dlouhodobý měsíční průtok v konkrétním měsíci (Novický a kol., 2008).

Indexy hydrologického sucha, které kombinují mnoho datových typů jsou nejčastější metodou pro vyhodnocování. Index v sobě často zahrnuje výpočet, například normalizaci nebo kombinaci více vstupních parametrů (Bachmair a kol., 2016).

Brázdil s Trnkou a kol. uvádí, že indexy bývají součástí statistické analýzy, která má za cíl přesně definovat intenzitu, místo a čas, kdy klimatický vývoj ovlivnil vývoj hydrologický. Indexy sucha mohou podávat informace o výskytu a intenzitě suchých období, které je možné následně porovnávat. Podobně jako typy sucha, se i indexy sucha řadí do jednotlivých kategorií na základě jejich dopadů – na hydrologické, meteorologické a agronomické indexy (Brázdil, Trnka a kol., 2015).

3.8.4 Rok 2015 a 2018

Česká republika byla v roce **2015** výrazně postižena suchem. Tento rok se proto zařadil mezi historicky významné epizody z hlediska meteorologického i hydrologického. Roční úhrn srážek v Čechách byl 532 mm, na Moravě dokonce pouze 513 mm, což byl nejmenší úhrn srážek od roku 1961. Do hodnocení roku 2015 je potřeba zahrnout také rok předchozí, ve kterém se absence srážek začala již projevovat. Na začátku léta byla krajina již velmi vysušená a z důvodu opakujících se veder se situace jen zhoršovala. Vliv měla i meteorologická situace. Rozsáhlé tlakové výše nad střední Evropou zamezily přísunu vlhkého vzduchu z okolních moří a oceánů. Nízká relativní vlhkost vzduchu a malá oblačnost vedly k celkově většímu výparu, díky čemuž se víc prohluboval nedostatek vody v krajině. Srpen roku 2015 lze považovat za vrchol sucha, a to i když podstatnou část měsíce přšelo. Tyto srážky však nestačily na ukončení celkové situace sucha. Během měsíce září a začátkem října vystoupal srážkový deficit v České republice až na 180 mm. Na tuto meteorologickou situaci navazuje rovněž i ta hydrologická. Projevy hydrologického sucha postihly v roce 2015 celé území Česka. Téměř na většině vodních toků klesly hladiny pod úroveň hydrologického sucha, tedy pod hodnotu průtoku Q_{355} . Na některých oblastech došlo i k úplnému vyschnutí některých vodních koryt. Pokles zásob podzemní vody nejvíce zaznamenaly oblasti severovýchodu Čech a severovýchodu Moravy. Během měsíce srpna vykazovalo sucho téměř 60 % mělkých vrtů a 56 % pramenů. Tento stav trval až do října, kdy byla zaznamenána i historická měsíční minima na sledovaných objektech (ČHMÚ, 2015).

Podobně jako rok 2015 na tom byl, co se sucha týká, i rok **2018**. Z hlediska srážkových úhrnů byl rok 2018 druhým nejsušším od roku 1961. Taktéž tomu bylo i v letním období, které bylo prohlášeno, spolu s rokem 2003 za nejteplejší. Hydrologické sucho, zejména v případě podzemních vod přetrvávalo v některých oblastech již z předchozího období suchých let 2015-2017. Z toho důvodu byl nástup projevů sucha v podobě malých průtoků a nízkého stavu podzemních vod v roce 2018 velmi rychlý a prakticky souběžný s meteorologickým suchem. Roční úhrn srážek byl v České republice v tomto roce pouhých 522 mm. Během července, srpna a září byly v některých profilech změřeny nejmenší průtoky za dobu fungování měrných stanic. Vývoj vodnosti poznamenal především prohlubující se deficit srážek a nadnormální

teplota vzduchu, naměřená od dubna do prosince. Pokračující deficit srážek se projevil dalším poklesem podzemních vod a dlouhodobým výskytem minimálních průtoků. Významné hydrologické sucho zasáhlo především pohraniční hory v Čechách a území jižní Moravy. Počáteční příznivý stav podzemních vod byl rychle vystřídán velmi nízkými stavy již na jaře tohoto roku. Úrovně hladin v mělkých vrtech a vydatnost pramenů byly v období července a srpna hodnoceny jako silně nebo mimořádně podnormální. Z hlediska úrovně hladin mělkých vrtů a vydatnosti pramenů bylo velmi postiženo nejen povodí Dyje. Zásoby vody ve sněhové pokrývce byly hodnoceny v zimním období 2017/2018 za podprůměrné. Rok 2018 byl pokračováním víceletého suchého období se všemi druhy sucha a z hlediska průtoků a stavu podzemních vod byl rok 2018 ještě sušší než rok 2015 (Daňhelka a kol., 2019).

3.8.5 Zmírnění hydrologického sucha

Poznatky, který vyplynuly z výsledků pozorování ve vybraných povodí a také ze statistických analýz prokazují, že změnou využití pozemků nelze trvale a výrazně změnit dlouhodobou průměrnou výšku odtoku z povodí. Podstatné také je, že změny využití pozemků, které vedou ke zvětšení retenční schopnosti krajiny, jako je např. zalesnění, jsou vhodné ke zlepšení vodního režimu krajiny i pro zmenšení povodní z krátkodobých přívalových srážek, avšak na povodích s menšími průměrnými srážkami se mohou projevit výrazným zmenšením celkového odtoku, a tedy i poklesem množství vody dostupné pro zásobování nebo pro ekosystémy, které jsou vázané na vodní prostředí. Pro řešení dopadů klimatické změny je důležité, aby došlo ke zvýšení hospodárnosti systému povolování odběrů vody i stanovení minimálních průtoků. Také je třeba vypracovat systém sledování, předpovědi a návrhu operativních opatření při výskytu hydrologického sucha, následkem čehož nelze splnit všechny požadavky na odběry vody a zároveň požadavky na zachování minimálních průtoků (Hanel a kol., 2011).

Klimatická změna v ČR – podle údajů ČHMÚ vykazuje průměrná roční teplota dlouhodobě vzestupný trend, který se v posledních několika desetiletích stále zvyšuje. V posledních dvou desetiletích se průměrná roční teplota zvýšila o 0,8 °C. Přičemž větší změny byly zaznamenány v letních měsících a menší změny na podzim.

S nárůstem teplot se také zvyšuje průměrný počet dní s vysokými teplotami (letní a tropické dny) a snižuje se průměrný počet dní s nízkými teplotami (mrazové, ledové a arktické dny). Celkově tedy pozorujeme teplejší léta i zimy. Pravděpodobně největší vliv na klima severní polokoule má velmi rychlé oteplování Arktidy, které začíná měnit počasí především v severních a středních šířkách. Polární vítr se oslabuje a tím dochází ke stále častějším průnikům studeného vzduchu. Budoucí zima se tedy může jevit celkově teplá a ve středních šířkách téměř bez sněhu, ale zato s možností průniku hodně studeného a spíše suchého vzduchu (Cílek, Ač a kol., 2019).

Klima a jeho kolísání ovlivňuje nejen lidi, ale i ekonomiku. Čím vyšší výkyvy, tím horší jsou důsledky. Vědci varují, že podle klimatických modelů by nárůst teploty, při pokračujících emisích skleníkových plynů, v řadě oblastí přesáhl přirozené proměny, které jsme zažívali v posledním tisíciletí. Dopady mohou postupovat. Nejprve působí na rostliny, mikroorganismy, zvířata a dále na lidské zdraví, zemědělství, energetiku, dopravu atd. Závažné jsou především změny snižující celkovou stabilitu přirozených ekosystémů. V zemědělství pak mají změny všestranné důsledky na život a ekonomiku společnosti, a to bez ohledu na její vyspělost. V posledních letech je možné pozorovat mnoho dopadů probíhající změny klimatu. Mění se režim horských ledovcových řek a nepříznivé dopady lze v oblastech, které závisí na zásobování jejich vodou, pozorovat již dnes. Z důvodu tání permafrostu se zvyšuje nestabilita půdy, narušovány jsou silnice, mosty, železnice. Hnilobné procesy, které se obnovují, jsou dalším zdrojem emisí metanu. Povrchová jezera a vodní toky se postupně oteplují a z důvodu většího výparu ubývá povrchových zdrojů vody. Nástup jara je časnější, zrychluje se migrace a rozmnožování. Výrazně se zkracuje délka sněhové pokrývky, což má za následek změnu vlastností půdy i hydrologického režimu povodí. Prodlužují se období sucha (např. v jižní Evropě) a zvyšují se úhrny srážek (např. v severní Evropě). S přibýváním skleníkových plynů ve vzduchu se zvyšuje i množství vody ve vyšších zeměpisných šířkách a ve vlhkých tropech. Oproti tomu se snižuje dostupnost vody v suchých oblastech středních šířek a suchých subtropích. Voda je zde již nyní kritickým zdrojem. Situaci navíc zhoršuje úbytek srážek a průtoků vody v řekách. Je patrné, že se bude postupně zvětšovat rozloha oblastí postižených suchem a zároveň silnými srážkami a povodněmi. Úbytek vody v řekách sníží možnost využití vody jako energetického zdroje (Metelka, L., Tolasz, R., 2009).

Změna klimatu je považována za vůbec nejzávažnější ohrožení životního prostředí ve světovém měřítku. Světové společenství si toto nebezpečí plně uvědomuje a akce, které by měly tuto hrozbu odvrátit, nabývají na větší intenzitě (Bartoňová a kol., 2004).

Mezivládní panel pro změnu klimatu uvádí, že je v průběhu času chápána každá klimatická změna, která byla způsobena přirozenou rozptýleností nebo důsledkem lidské činnosti (IPCC, 2014). Oproti tomu se definice klimatické změny výrazně liší v Rámcové úmluvě OSN z roku 1992. V tomto dokumentu je změna klimatu označována za změnu vyvolanou přímým i nepřímým působením člověka, což má za následek změnu složení globální atmosféry. Lidská činnost je pozorována jako doplněk k přirozené proměnlivosti klimatu za určité srovnatelné časové období, zatímco změny klimatu jsou chápány z hlediska dlouhodobého. Definice v Rámcové úmluvě o změně klimatu tedy rozlišuje proměnlivost klimatu, která odpovídá působení přírodních vlivů od změny klimatu, při které lidská činnost mění složení atmosféry (Metelka, Tolasz, 2009).

3.8.6 Scénáře budoucího vývoje klimatu

Scénáře změny klimatu představují ucelené a systematické popisy měnícího se klimatu. Tyto scénáře jsou většinou používány jako vstup pro hodnocení případné náchylnosti, dopadu nebo přizpůsobení se změně klimatu. Konstruovány jsou scénáře změn nejčastěji na základě výsledků experimentů globálních klimatických modelů. (Hulme, Jenkins, 2002).

Podle Bartoňové a kol., 2004 představuje scénář změny klimatu rozdíl mezi současným a budoucím modelovým klimatem. Scénáře nejsou předpovědi budoucích klimatických podmínek, popisují přijatelné alternativní stavy klimatu v budoucnosti, které mohou za určitých okolností nastat. Účelem scénářů je vysvětlit a popsat nejistoty budoucího vývoje, najít rámec či meze budoucího vývoje. Informace, které klimatické scénáře poskytují by měly být snadno dostupné a použitelné pro odhady dopadů. Požadavky na scénáře závisí na konkrétní geografické oblasti, zkoumaném systému (vodní zdroje, lesní ekosystémy, zemědělství, turistický ruch apod.) a na účelu studie (což je vývoj metod složení scénářů ve srovnání s přímou aplikací pro odhady dopadů) (Bartoňová a kol., 2004).

Kyncl a Langarová, 2012 uvádí, že při sestavování scénářů klimatických změn se většinou čerpá z dlouhodobých pozorovacích podkladů a analýz současného stavu. K plánování vodního hospodářství přispívá významnou měrou modelování hydrologických procesů v měsících se klimatických podmínkách. Tento systém modelování procesů můžeme uplatnit například v oblastech prognózy sucha nebo dopadů klimatických změn na hydrologické procesy v krajině (Kyncl, Langarová, 2012).

Scénáře možných změn klimatu, stejně jako scénáře hydrologické bilance mají velký rozptyl. Kašpárek a kol., 2008 se tímto zabýval při zkoumání hydrologické bilance při probíhající oteplování a potvrdil závěry, že mezi lety 1980-2007 se v České republice zvyšovaly průměrné teploty vzduchu, s kterými je spojena nižší relativní vlhkost, větší potenciální evapotranspirace a na většině našeho území došlo k mírnému zvýšení srážkových úhrnů. Na řadě povodí se ovšem vyšší srážky neprojevíly zvýšením průtoků, což je přisuzováno vlivu oteplování klimatu. Pro povodí Dyje vyvodil Kašpárek a kol., 2008 tyto gradienty změn za 10 let:

- změna průměrné teploty vzduchu 0,6 – 0,8 °C
- změna průměrného úhrnu srážek 20 – 40 mm.rok⁻¹
- změna relativní vlhkosti vzduchu 0,4 – 0 %
- změna potenciální evapotranspirace 23 – 35 mm.rok⁻¹
- změna výšky odtoku 0 – 20 mm.rok⁻¹
- změna rozdílu výšky srážek a výšky odtoku 20 – 40 mm.rok⁻¹

(Kašpárek, L., a kol., 2008).

3.9 Adaptační opatření

Adaptační opatření je soubor možných přizpůsobení přírodního nebo antropogenního systému probíhající nebo předpokládané změně klimatu a jejím dopadům (Pretel, 2012).

Otázky klimatických změn jsou čím dál tím více podstatnější, v souvislosti s nedávnými výskyty hydrologických extrémních jevů, jako jsou povodně regionální nebo přivalové a výrazná období sucha, a to především v souvislosti s plánováním potřebných adaptačních opatření (Slámová, Martínková, Krysanová, 2010).

V minulosti byl většinou pro vodní zdroje uplatňován předpoklad stabilních a neměnných hydrologických podmínek. Pokud ale vezmeme do úvahy možnost klimatické změny, stává se tento předpoklad dlouhodobě neudržitelným a do vodohospodářských metodik je potřeba zapracovat předpovídanou vyšší nejistotu, a především odpovídající adaptační opatření (Milly a kol., 2008).

Otázkou je, jak definovat adaptační strategii a konkrétní adaptační opatření na dopady klimatických změn. Je potřeba se zabývat otázkou adaptivity opatření důsledněji a zahrnout do nich také neočekávané situace. Nezbytné je zajistit integraci všech dotčených odvětví, a to v rozsahu celého povodí jako nedělitelného celku (Slámová, Martínková, Krysanová, 2010).

Při návrhu adaptačního opatření je důležité se zaměřit především na to, čeho chceme pomocí adaptačních opatření dosáhnout a v jakém časovém výhledu. Dále jaké typy opatření jsou pro tyto cíle účinné a posouzení přírodních podmínek v konkrétním území. V neposlední řadě zohlednit reálné předpoklady pro realizaci opatření z hlediska nákladů a majetkoprávních vztahů (Hanel a kol., 2011).

Mezi zmírňující opatření, která mohou ovlivnit hydrologický režim a zemědělskou produkci, patří především boj proti odlesňování a ochranu tropických deštných lesů. Zamezení odlesňování je jednou z vysoce efektivních cest ke snížení emisí skleníkových plynů. Každý rok dojde k úbytku 36 milionů hektarů pralesů a na emise způsobené odlesňováním se tak vyšplhají na více než 18 % světových emisí, což je větší podíl než u celosvětového odvětví dopravy. Význam by také měla redukce skotu, který sám přispívá k emisím methanu a s tvorbou pastvin se tak podílí 15-20 % na celkových emisích skleníkových plynů (Stejskal, 2021).

3.9.1 Přírodě blízké úpravy vodních toků a niv

Úpravy vodních toků a jejich niv, jako jsou revitalizace, renaturace a realizace tůní a mokřadů slouží, v souvislosti s hydrologickým suchem, k akumulaci vody v podzemní vodě niv, k vytvoření refugií pro vodní biotu a také k podpoře samočištění. Revitalizace je opatření, které vytváří vodním organismům prostor k únikové migraci a refugia pro přežití v případě výskytu sucha. Realizací mokřadních biotopů v krajině zadržíme vodu a výpar v místě a dojde také k rozšíření ploch pro ohrožené a cenné

biotopy. Mokřady jsou nejúčinnějším prvkem k obnově krátkého vodního cyklu v krajině, a to díky tomu, že se zde usazují a využívají živiny a látky unášené vodou, recyklují se a neodcházejí přitom z povodí. Mokřady mají vyrovnávací funkci pro průtok vody a filtrační funkci pro sedimentaci. Pomáhají také zmírňovat následky povodní a sucha, redukuje proces eroze a zlepšují kvalitu vody (Dzuráková a kol., 2017).

3.9.2 Vodohospodářská adaptační opatření

Soubor adaptačních opatření cílí především k přípravě na změnu hydrologického režimu a také na ochranu před rostoucím tlakem na vodohospodářství. Mezi opatření, která jsou pojmenována studiem dopadů klimatické změny nebo Plánem hlavních povodí patří například:

- zvýšení přirozené retenční schopnosti krajiny
- intenzivní čištění a využití odpadních vod
- revitalizace vodních toků a přirozené zpomalování odtoku
- obnova a budování vodních nádrží
- snížení spotřeby vody (Stejskal, 2012).

Pretel, 2012 se s tímto ztotožňuje a uvádí, že mezi hlavní směry adaptačních vodohospodářských opatření patří dále:

- opatření v krajině
 - : organizační (komplexní pozemkové úpravy, podpora zalesnění a zatravnění)
 - : agrotechnická (osevní postupy podporující infiltraci)
 - : biotechnická (průlehy, zasakovací pásy)
- opatření v urbanizovaných územích (zvýšení infiltrace dešťové vody a její využívání)
- zefektivnění hospodaření s vodními zdroji (převody vody mezi povodími) (Pretel, 2012).

Efektivním způsobem je využití vody zadržené v nádržích a převod vody mezi povodími, který zajišťuje přivedení vody z místa, kde je jí dostatek do míst, kde je jí naopak nedostatek. Může také sloužit při povodňovém odtoku k odvedení do toku

nebo nádrže. Převody označované jako kanály, stoky, řeky nebo dálkové převody vodárenské jsou umělými toky, kde je převáděna voda v říční síti. Převod vody nesmí nepříznivě ovlivnit bilanci povodí, ze kterého je voda odváděna (Hanel a kol., 2011).

Konkrétním příkladem adaptačního opatření Povodí Moravy, s. p. je manipulace na vodní nádrži Nové Mlýny, která leží na konci Dyjsko-svratecké vodohospodářské soustavy a ústí do ní řeky Dyje, Jihlava a Svratka. Manipulace má za cíl dostat vodu do lužních lesů v oblasti soutoku pod vodní nádrží, a tím zmírnit dopad klimatické změny na krajinu jižní Moravy. Povodňování lužních lesů představuje jedno z důležitých adaptačních opatření (Vodní hospodářství, 2019).

4 Analýza časových řad

Časová řada je chronologicky uspořádaná posloupnost hodnot určitého statistického ukazatele.

Pomocí časových řad můžeme zkoumat dynamiku jevů v čase. Mají základní význam pro analýzu příčin, které na tyto jevy působily a ovlivňovaly jejich chování v minulosti, tak pro předvídání jejich budoucího vývoje.

Časové řady rozdělujeme na deterministické – neobsahují prvek náhody ($\sin(x)$) a stochastické (realizace náhodného procesu).

Časové řady absolutních veličin (přímo zjišťovaných)

- okamžikové (např. počet obyvatel – k datu sčítání)
- intervalové (např. denní úhrn srážek)

Časové řady odvozené

- průměrných veličin (např. řada klouzavých průměrů)
- poměrných – relativních veličin (např. řada hektarových výnosů)

Časové řady ekvidistantní a neekvidistantní (Dobrovolný, 2020).

Trend odráží dlouhodobé změny v průměrném chování časové řady, respektive obecnou tendenci vývoje zkoumaného jevu za dlouhé období. Trend může mít různý charakter, může být rostoucí, klesající, strmý, mírný, v průběhu času se může měnit, takže jej lze pokládat spíše za cyklus.

Sezónností se rozumí periodické kolísání v časové řadě, které má systematický charakter. Toto kolísání probíhá během jednoho kalendářního roku a každý rok se ve

stejně nebo obměněné podobě opakuje. U některých časových řad je sezónnost patrná z grafu na první pohled, u jiných tak zřejmá být nemusí.

Trend v časových řadách je možné popsat pomocí trendových funkcí a klouzavých průměrů. Modelování pomocí klouzavých průměrů se používá, jestliže je vývoj časové řady v důsledky silného vlivu nesystematické složky nerovnoměrný nebo má extrémní hodnoty (Artl, Artlová, 2007).

Očištění a vyhodnocení dlouhodobých řad

Očištění se uskutečňuje interpolací nebo dosažením průměrných hodnot z delšího období, avšak s ohledem na průběh datové řady z druhého profilu. Data dlouhodobých řad průtoků se vyhodnocují základními statistickými metodami, jako je například průměrná hodnota, minimální hodnota, maximální hodnota, medián atd.

Analýza trendu

Mezi základní metody vyrovnávání patří analytické vyrovnávání (popis časové řady funkcí), mechanické vyrovnávání (metoda klouzavých průměrů) a exponenciální vyrovnávání (Muni, 2006).

Pro očištění časové řady od sezónních vlivů musíme nejprve stanovit sezónní faktor pomocí centrovaných ročních klouzavých průměrů, které odečteme od skutečně naměřených hodnot. Výpočtem průměrné měsíční odchylku získáme požadovaný sezónní faktor (Hančlová, Tvrdý, 2003).

4.1 Klouzavý průměr

Klouzavý průměr se používá pro odhalení trendu časové řady. Počítá se jako průměr konstantního počtu po sobě jdoucích časových období. Použitím klouzavého průměru se vyhladí křivka grafu a poté lze lépe určit trend nebo jeho změnu. Klouzavé průměry patří mezi nejpoužívanější trendové indikátory. Jedná se o linie vykreslené v grafu zprůměrováním za zvolený časový úsek.

Metoda klouzavých průměrů se řadí mezi adaptivní přístupy k trendové složce. Adaptivní přístupy lze charakterizovat tak, že jsou schopny pracovat s trendovými složkami, které mění v čase celkově svůj charakter, takže pro jejich popis nelze použít žádnou matematickou křivku s neměnnými parametry. Jako klouzavé průměry obecně označujeme lineární kombinace členů původní řady. Důležitou otázkou je volba, jaký

řád a délku klouzavých průměrů pro určitou časovou řadu zvolit. Obvykle se rozhodujeme na základě subjektivního posouzení charakteru dat s tím, že preferujeme jednoduché průměry co nejnižšího řádu a délku volíme podle požadovaného stupně vyhlazení řady (čím větší je délka klouzavého průměru, tím větší je vyhlazení časové řady). Klouzavé průměry by neměly mít účinek na průběh trendové složky, protože jejich úkolem je právě určení skutečného trendu v řadě. Polynomické klouzavé průměry umožňují vyrovnání hodnot na začátku a na konci časové řady (Cipra, 1986).

Jednotlivé kroky analýzy sezónní složky:

Z originální řady dat, obsahující sezónní složku se vypočítá řada klouzavých průměrů s délkou klouzavých průměrů rovnou délce sezónní složky, dále se vytvoří nová řada jako rozdíl, respektive podíl řady původní a řady shlazené. Tzv. sezónní komponenty jsou vypočteny jako průměr pro každý člen v rámci sezóny. Výsledné komponenty představují průměrnou sezónní složku v časové řadě.

Složka TC_t se většinou aproximuje řadou shlazenou klouzavým průměrem délky 5 se symetrickými vahami (1, 2, 3, 2, 1) (Artl, Artlová, 2007).

Jednoduchý klouzavý průměr (SMA - Simple Moving Average) a vážený klouzavý průměr (WMA – Weighted Moving Average)

Prvotním rozdílem mezi jednoduchým klouzavým průměrem a váženým klouzavým průměrem je vzorec, který je použitý k jejich vytvoření. Jednoduchý klouzavý průměr je indikátor, který používáme k určení trendu. Pro jednoduchý klouzavý průměr je vzorec součtem datových bodů za dané období dělených počtem období. Vážené průměry přiřazují větší váhu aktuálním datovým bodům, protože jsou relevantnější než datové body ve vzdálené minulosti. Součet vážení by měl být až 1 (nebo 100 %). V případě jednoduchého klouzavého průměru jsou váhy rovnoměrně rozděleny. Vzorec $SMA = \text{součtu hodnot pro } n \text{ období} / n$ (Admiral Markets, 2020).

4.2 Korelace a regrese

Korelace vyjadřuje relativní míru závislosti ve vzájemném vývoji dvou časových řad např. y_t a x_t . Korelace je dána vztahem:

$$s_{xy} = \frac{\sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x}) \cdot (y_t - \bar{y})}{s_x \cdot s_y} \in \langle -1; 1 \rangle$$

Hodnoty korelace, které se blíží k hraniční hodnotě -1 vyjadřují, že obě sledované časové řady mají zcela opačný směr v časovém vývoji. Hodnoty blížíící se k 1 určují, že vývoj časových řad x a y je téměř shodný a vykazují stejnou relativní míru ve vzájemném vývoji (Hančlová, Tvrдый, 2003).

Korelační analýza znamená potřebu porozumět tomu, která data souvisí s kterými. Zda na výstupní data působí některé ze vstupních dat. Korelační analýzu dat lze provést v programu excel. Nejprve je nutné provést korelační matici, která nám ukáže vztahy mezi jednotlivými proměnnými a výši hodnot korelačních koeficientů. Zda jsou tyto vlivy statisticky významné zjistíme použitím funkce regrese, kde porovnáme vždy dvě proměnné. Získáme regresní statistiku a vliv významnosti. U všeobecné statistiky platí, že pokud je zjištěná hodnota menší než 0,05 – je proměnná považována za statisticky významnou.

4.3 Program R

Program R se používá pro statistické výpočty a grafické znázornění. Nabízí širokou škálu statistických a grafických metod včetně matematických vzorců a symbolů. Prostředí programu R (neboli R studia) je sada softwarových příslušenství, které slouží k manipulaci s daty a výpočty. Zahnuje mimo jiné efektivní možnosti pro zpracování a ukládání dat, grafické příslušenství a ucelenou sbírku dílčích nástrojů pro analýzu dat, efektivní programovací jazyk, sadu operátorů pro práci s datovými poli (Project R, 2020).

5 Metodika

V teoretické části byly objasněny základní pojmy a legislativa dané problematiky podle vodního zákona a podzákoných norem ve vodohospodářství.

V praktické části byla vybranou metodikou zpracována data konkrétních profilů nebo objektů neovlivněných vodních útvarů povrchových a podzemních vod. Provedená analýza výsledků na jednotlivých vodních tocích Jihlavy, Moravské Dyje, Rokytné a Svratky vyhodnocuje sezónní a cyklické trendy a porovnává korelace mezi povodími.

Ze všech poskytnutých dat byly nejprve vypočítány ke každému konkrétnímu povrchovému i podzemnímu objektu průměrné hodnoty za celkové sledované období 30 let, dále průměry za každý konkrétní rok, za každý konkrétní měsíc a k porovnání sezónních trendů vždy stejné měsíce ve všech letech. Tyto byly mezi sebou vyhodnoceny a porovnány. Získaná data byla soustředěna na jednotlivé toky a nich pozorován možný vliv klimatických změn.

Klouzavý průměr (Moving Average - MA)

Jak je uvedeno v kapitole 4.1 - Klouzavý průměr je, dle Cipry 1986, trendový indikátor, průběžně vypočítaná hodnota aritmetického průměru za určité časové období. Modelování pomocí klouzavých průměrů bylo využito z důvodu potřeby vyrovnat časové řady a odprostit je od nerovnoměrností. K určení trendu byly použity v programu Excel jednoduché klouzavé průměry (Simply Moving Average – SMA), které pomohly rozeznat určitý trend časové řady.

Vážený klouzavý průměr (Weighted Moving Average – WMA) dává, oproti SMA větší důraz na poslední data z periody. Podle Artla a Artlové, 2007 byl na výpočet váženého klouzavého průměru, po odstranění jednotlivých cyklických trendů, zvolen interval 5-ti let, u kterého byla prokázána nejlepší shoda. Každému byl přiřazen váhový koeficient 1-5, jejichž součet je 15. Pro získání relativního vyjádření bylo vyděleno absolutní vyjádření číslem 15, to u všech 5 vzorků. Po vynásobení 100 bylo získáno procentuální vyjádření. Touto váhovou silou byl poté vynásoben příslušný konkrétní údaj za zvolený rok. Součet tohoto vynásobení nám určil hodnotu váženého průměru z první periody. Poté byla postupně počítána druhá a další perioda za celé sledované období.

Po vážených klouzavých průměrech byla porovnána **korelace** (viz. kapitola 4.2) pro vyjádření relativní míry závislosti ve vzájemném vývoji časových řad. Korelační analýza určila, použitím v programu Excel, která data souvisí s kterými. Pro porovnání jednotlivých hodnot a zjištění, zda spolu korelují, zda mají nějaký společný znak byla korelací vygenerována **korelační matice** (obr. 21), kde jsou vidět vztahy mezi jednotlivými proměnnými. Hodnoty byly upraveny na dvě desetinná místa pro lepší přehlednost. V korelační matici je patrný vztah sledované proměnné průtoky s jednotlivými aspekty pozorování. Dále byl vyzdvižen a zkopírován z korelační matice, pro lepší orientaci, sloupec sledovaných proměnných a ten byl seřazen podle výšky korelačního koeficientu. Pro zjištění, zda je vliv jednotlivých proměnných na sledované průtoky statisticky významný, byla použita **regresní analýza** (obr. 22), v níž byly postupně porovnány dvě proměnné – jedna vstupní oblast byla vždy průtoky a druhá oblast postupně jednotlivé sledované proměnné. Hladina spolehlivosti byla nastavena na hodnotu 95 %, což je standardně používaná hodnota u těchto typů výpočtů.

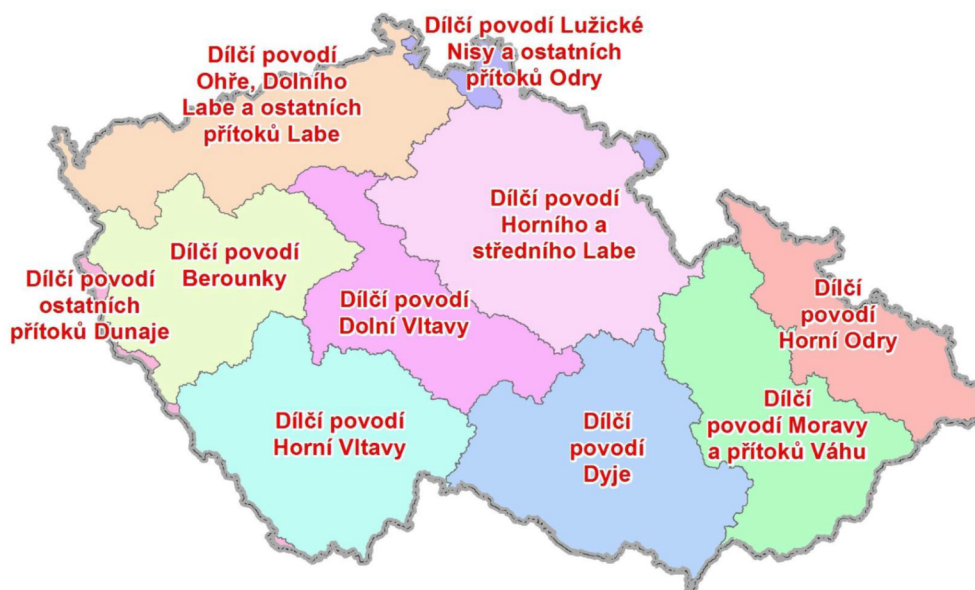
6 Zájmové území

6.1 Povodí Moravy – dílčí povodí Dyje

Závod Dyje spravuje území o celkové rozloze 8 923 km², které se rozkládá na území Jihomoravského kraje, kraje Vysočina, Jihočeského kraje a Pardubického kraje. Tvoří jej sedm provozů: Blansko, Brno, Bystřice nad Pernštejnem, Dačice, Jihlava, Náměšť nad Oslavou a Znojmo.

Stará se celkem o:

- 4 723 km vodních toků nacházejících se v povodí řeky Dyje. To je tvořeno zejména povodími řek Svratka, Svitava, Jevišovka, Jihlava, Oslava, Moravská Dyje, Rokytná a částmi povodí Litavy a Kyjovky.
- 14 přehrad
- 78 jezů
- 74 malých vodních nádrží
- 211 km ochranných hrází



Obr. 4: Plán dílčího povodí Dyje: Dílčí povodí ČR (pop.pmo.cz)

Dílčí povodí Dyje je součástí Mezinárodní oblasti povodí Dunaje. Celková plocha mezinárodní oblasti povodí Dunaje je 807 827 km², z toho dílčí povodí Dyje v České republice zaujímá 11 162,7 km². Samotná Dyje je o 40 km delší než Morava a má i větší plochu povodí. Je jejím největším pravostranným přítokem.

Česká republika je rozdělena na 10 dílčích povodí. Dílčí povodí Dyje se nachází v jihovýchodní části a je 2. největším dílčím povodím v České republice. Patří k úmoří Černého moře a jeho správcem je Povodí Moravy, s.p.

Dílčí povodí Dyje není příliš výškově členité, jeho nejvyšší bod leží na západní hranici na hlavním evropském rozvodí Dunaje a Labe (vrchol Javořice 837 m n. m.).

Převážná část plochy povodí Dyje dosahuje nadmořské výšky mezi 150-600 m n. m.

Svým rozsahem zasahuje do šesti krajů – Jihomoravského, Jihočeského, Pardubického, Zlínského, Olomouckého a Kraje Vysočina.

Klimatické poměry

V celé oblasti jsou zahrnuty klimatické oblasti teplé, mírně teplé a okrajově i jedna oblast chladná. Průměrný dlouhodobý úhrn srážek za období činí pro dílčí povodí Dyje 590 mm. V dlouhodobém průměru je nejbohatší na srážky měsíc červen s úhrnem 77 mm, následují květen a červenec s úhrnem srážek 70 mm. Na srážky nejchudší jsou

měsíce únor a březen, kdy bývá naměřen dlouhodobý úhrn srážek 33 mm. Nepatrně lepší je potom měsíc říjen, který dosahuje průměrného úhrnu 36 mm.

Průměrná dlouhodobá roční teplota vzduchu je v dílčím povodí Dyje 7,8 °C, přičemž nejchladnějším měsícem je leden, s průměrnou dlouhodobou teplotou -2,8 °C a nejteplejším měsícem je červenec, s průměrnou dlouhodobou teplotou 17,5 °C.

Po stránce hydrologické patří dílčí povodí Dyje k úmoří Černého moře, vodu odvádí řekou Dyje do Moravy a dále do Dunaje. Hlavní pramennou oblastí je východní a jižní část Českomoravské vrchoviny. V říční síti je nejvýznamnějším vodním tokem řeka Dyje a ta má několik hlavních přítoků, z nichž nejvýznamnější jsou řeky Svratka a Jihlava. Dyje je největším přítokem řeky Moravy (Povodí Moravy, 2016).

K analýze byly vybrány vodoměrné stanice a objekty podzemních vod, které se nachází v okolí řek Jihlava, Moravská Dyje, Rokytná a Svratka.



Obr. 5: Zobrazení zkoumaných řek a měrných objektů na nich. Zpracováno v programu ArcGIS (zpracování vlastní, 2022).

Řeka Jihlava protéká krajem Vysočina a Jihomoravským krajem. Ústí do vodní nádrže Nové Mlýny a pramení na Českomoravské vrchovině. Délka toku je 184 km. Na Jihlavě se nachází vodní nádrž Dalešice.

Pro řeku Jihlavu jsou k dispozici data ze dvou podzemních vrtů a povrchového objektu Ptáčov. Všechny tři měrné stanice leží v kraji Vysočina.

Řeka Moravská Dyje se nachází na území České republiky a Rakouska a má délku toku 68 km. Pramení v kraji Vysočina v nadmořské výšce 653 m. Její tok směřuje převážně jižním směrem.

Na řece Moravská Dyje jsou k porovnání z podzemních měrných objektů jeden pramen a jeden vrt a povrchová stanice Janov. Všechny tyto objekty leží v Jihočeském kraji.

Řeka Rokytá je pravostranným přítokem řeky Jihlavy v kraji Vysočina a v Jihomoravském kraji s délkou toku 88 km. U Moravského Krumlova se její tok stáčí na severovýchod a u Ivančic se vlévá do řeky Jihlavy.

Řeka Rokytá je prozkoumána díky údajům ze dvou podzemních vrtů, které se nachází v obci Jaroměřice nad Rokytou a povrchové měrné stanice Příštpo, umístěné v těsné blízkosti řeky Rokytá.

Řeka Svratka je největším levobřežním přítokem Dyje, pramení severně od Žďáru nad Sázavou. Na Svratce jsou postavené dvě důležité přehradní nádrže: vírská a brněnská. Celková délka jejího toku je 174 km.

K řece Svratce jsou k dispozici měrná data ze čtyř podzemních pramenů a z měrných povrchových stanic Kadov, Borovnice, Jimramov, které se nachází v horní části toku Svratka v kraji Vysočina a dále data z měrné stanice Veverská Bítýška, která se nachází, spolu s jedním zkoumaným vrtem v dolní části řeky v Jihomoravském kraji.



Obr. 6: Plán dílčího povodí Dyje: Hydrologické poměry (pop.pmo.cz)

6.2 Vodoměrné povrchové a podzemní stanice

ČHMÚ, pobočka Brno poskytl k praktické části diplomové práci naměřená data ke zpracování za časové období 30 let od roku 1990 do roku 2019. Jedná se konkrétně o denní údaje průtoků v m^3/s a denních stavů v cm u povrchových vodoměrných stanic a u podzemních objektů o vydatnost v l/s u pramenů a hodnoty v metrech od terénu u vrtů na neovlivněných povodích. Na vyobrazení měrných stanic byly použity značky v programu ArcGIS: modrý bod pro měrné objekty povrchových vod a červený bod pro měrné objekty podzemních vod.

Tok Jihlava v kraji Vysočina, ORP Třebíč – měrná stanice povrchových vod **Ptáčov** je umístěna na levém břehu, naproti bývalé továrně na rukavice. V blízkosti jsou i dva vrty s označením VB0304 vrt Třebíč a VB0305 vrt Vladislav.



Obr. 7: Povodí Jihlava. Měrné objekty. Zpracováno v programu ArcGIS (zpracování vlastní, 2022).

Tok Rokytná v kraji Vysočina, ORP Třebíč – měrná stanice **Příštpo** je umístěna na pravém břehu, jižně od obce Příštpo. Poblíž jsou i dva vrty VB0308 a VB0310 Jaroměřice nad Rokytinou.

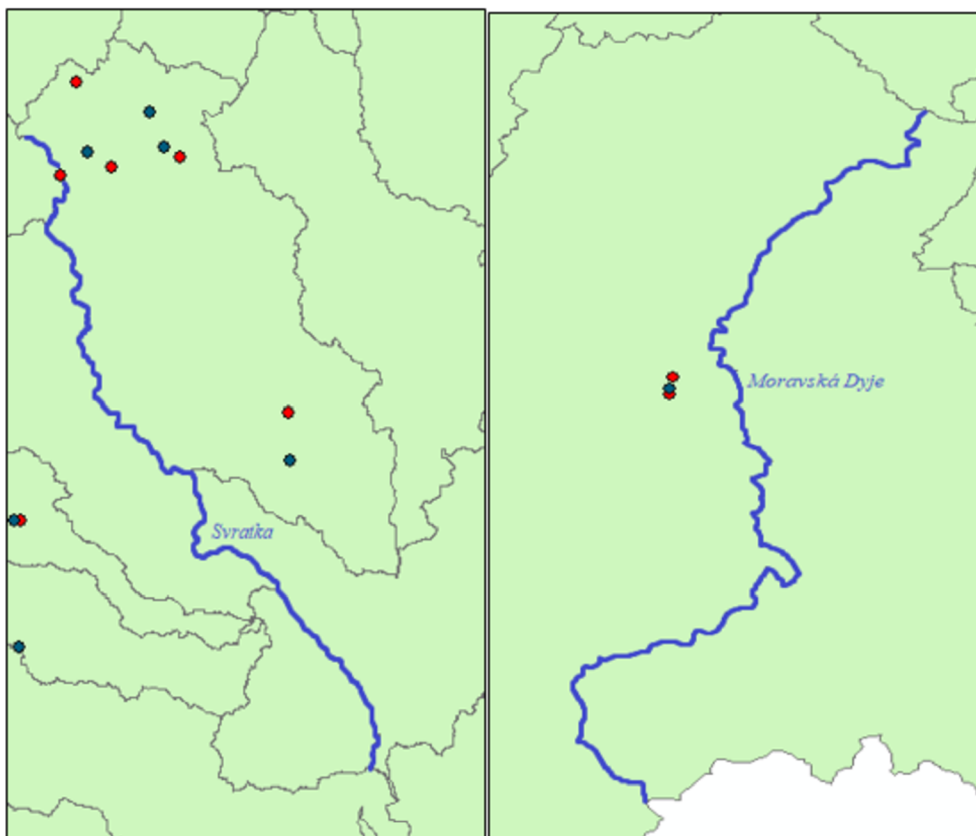


Obr. 8: Povodí Rokytná. Měrné objekty. Zpracováno v programu ArcGIS (zpracování vlastní, 2022).

Na toku Svratka patří do zájmového území několik měrných stanic: **Kadov-Fryšava** je vodoměrná stanice v kraji Vysočina, ORP Žďár nad Sázavou, v obci Kadov, umístěna naproti obecnímu úřadu. Stanice **Borovnice** v Pardubickém kraji, ORP Polička je umístěna na levém břehu nad obcí. **Jimramov** v kraji Vysočina, ORP Nové Město na Moravě je umístěn na pravém břehu toku Fryšávka, nad obcí Jimramov. U těchto měrných stanic v horní části toku Svratky jsou umístěny i prameny podzemních vod, které měří vydatnost. Jedná se o prameny PB0146 s názvem Svratka, PB0147 Kuklík, PB0150 Tři Studně a PB0298 Jimramov. Stanice **Veverská Bítýška**

v Jihomoravském kraji, ORP Kuřim je umístěna na pravém břehu 200 m pod mostem. V její blízkosti je i jediný zkoumaný vrt z této oblasti označený VB0270 Hadčany.

Tok Moravská Dyje v Jihočeském kraji, ORP Dačice – měrná stanice **Janov** je umístěna na pravém břehu, pod mostem, v obci Janov.



Obr. 9: Povodí Svatka. Měrné objekty. Zpracováno v programu ArcGIS (zpracování vlastní, 2022).

Obr. 10: Povodí Moravská Dyje. Měrné objekty. Zpracováno v programu ArcGIS (zpracování vlastní, 2022).



Obr. 11: Svratka – měrný objekt Borovnice. Foto ČHMÚ, 2021.



Obr. 12: Moravská Dyje – pramen PB0205. Foto ČHMÚ, 2021.



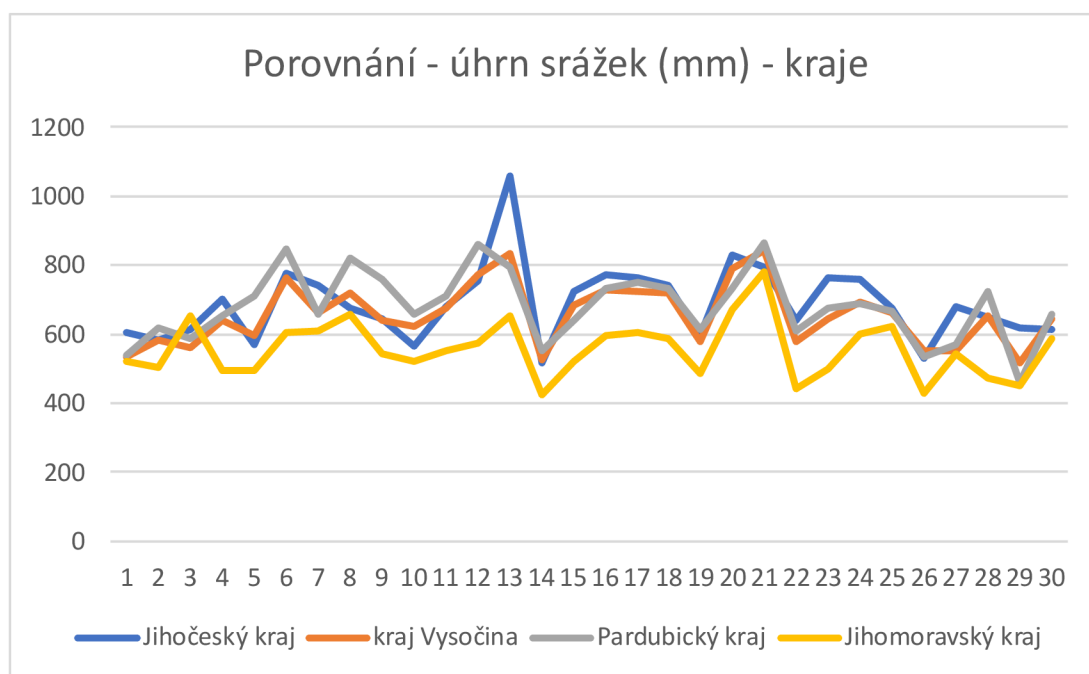
Obr. 13: Rokytná – vrt VB0308. Foto ČHMÚ, 2021.



Obr. 14: Svratka – pramen PB0146. Foto ČHMÚ, 2021.

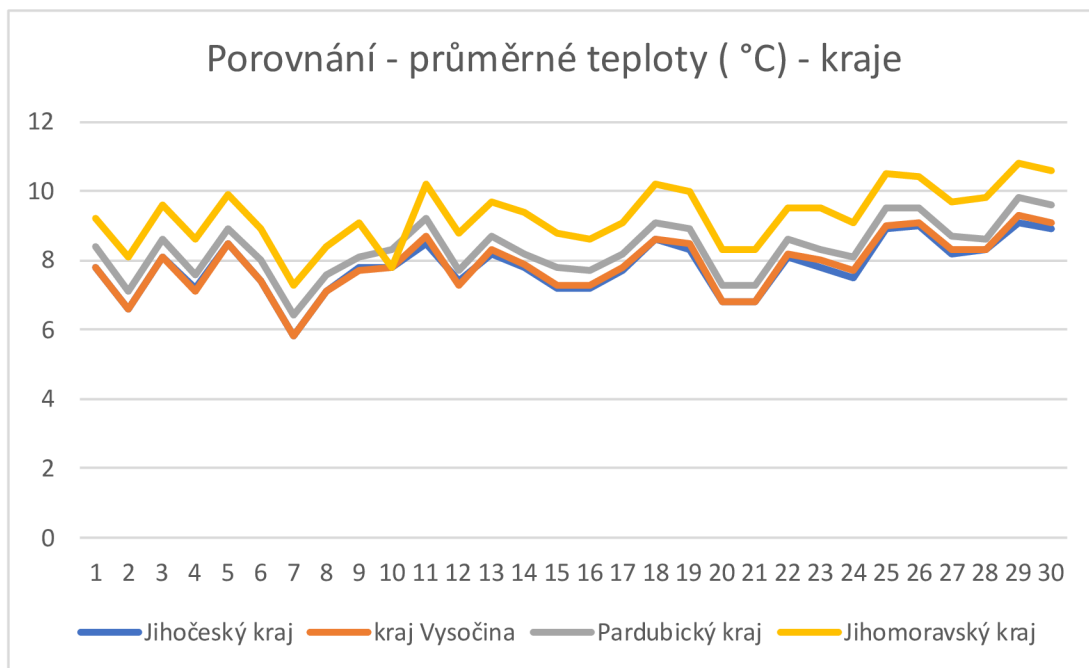
6.3 Srážky a teploty

Z dat ČHMÚ byly zjištěny údaje o průměrných teplotách a úhrnu srážek za sledované období 1990–2019 v zájmových územích krajů Jihočeského, Vysočina, Pardubického a Jihomoravského, kde se nachází vybrané toky. I když konkrétní toky zasahují většinou do dvou krajů, pro porovnání byly zvoleny statistické údaje z toho kraje, kde se nachází konkrétní měrný objekt. Takže například Moravská Dyje zasahuje svým tokem do kraje Vysočina a do Jihočeského kraje, měrná stanice Janov je v kraji Jihočeském, proto byly pro výsledné porovnání vlivu použity data o úhrnu srážek a průměrných teplotách v kraji Jihočeském. Výsledky byly zobrazeny do grafů.



Obr. 15: Úhrn srážek v mm v jednotlivých krajích z dat ČHMÚ (zpracování vlastní, 2022)

Na zobrazeném grafu je patrné, že nejméně spadlých srážek ze sledovaných krajů připadne na Jihomoravský kraj. Porovnáním aritmetických průměrů za období 30 let byl vypočten průměrný úhrn srážek ve výši 557 mm/rok pro kraj Jihomoravský. Kraj Vysočina má průměr spadlých srážek 656 mm a zbývající dva kraje dělí rozdíl pouhých 8 mm průměrných srážek – kraj Pardubický 680 mm a kraj Jihočeský 688 mm. Ve všech čtyřech oblastech jsou patrné propady srážek, a to zejména v roce 2003, 2008, 2011 a 2015.



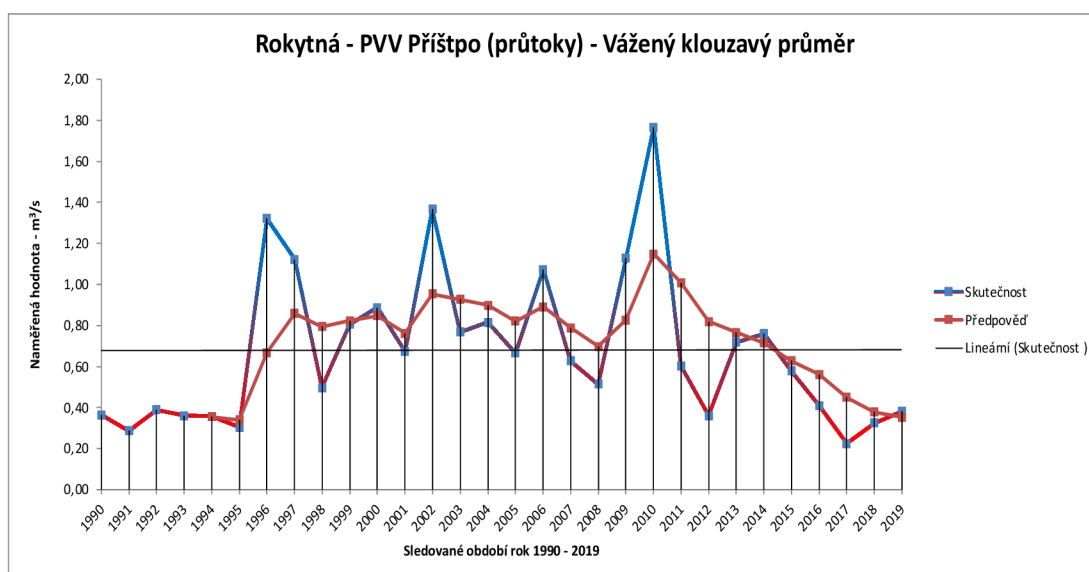
Obr. 16: Průměrné teploty ve °C v jednotlivých krajích z dat ČHMÚ (zpracování vlastní, 2022)

Porovnáním průměrných teplot mezi jednotlivými zúčastněnými kraji za sledované období 30 let (1990-2019) bylo graficky zobrazeno, že nejvyšší průměrné teploty byly naměřeny v Jihomoravském kraji, o něco nižší průměrné teploty byly naměřeny v kraji Pardubickém a téměř totožné teploty byly naměřeny v kraji Vysočina a v Jihočeském kraji.

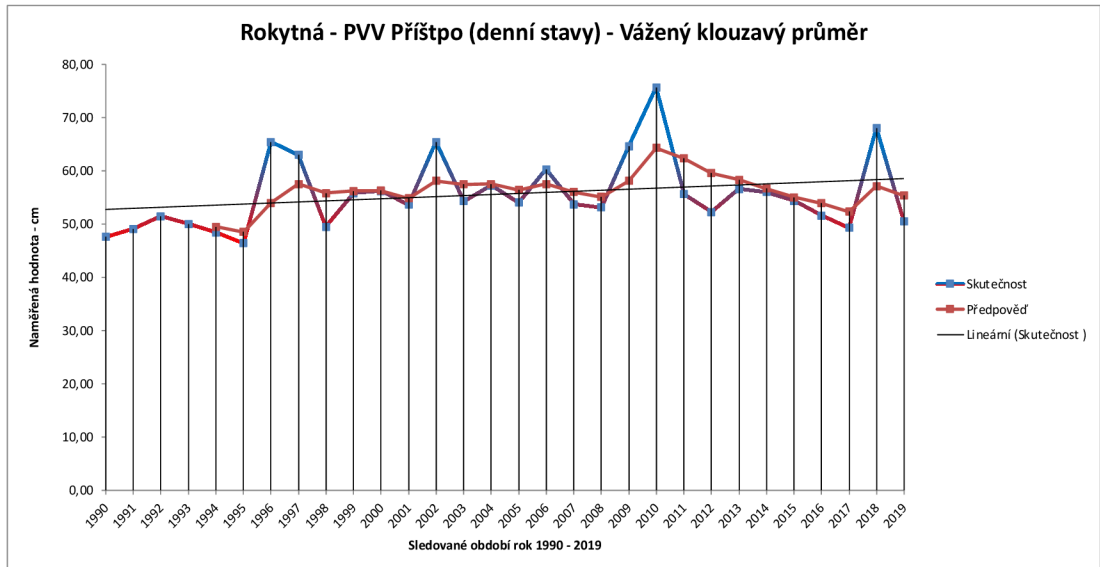
7 Výsledky

Čtyři zkoumaná povodí – Jihlavy, Moravské Dyje, Rokytné a Svratky umožnily prozkoumat data za sledované období let 1990-2019 z celkem osmnácti měrných stanic povrchových i podzemních vod a mezi sebou je analyzovat. Do vzájemné korelace byly postaveny i údaje o průměrných teplotách v jednotlivých krajích a celkový úhrn srážek. Výsledky všech sledovaných objektů povrchových i podzemních vod byly zaznamenány do grafů, kde byla zobrazena skutečnost, předpověď i lineární trend. Grafy znázorňují vždy oblast jednoho sledovaného povodí. Jelikož se jedná o větší množství grafů, zde v hlavní části práce jsou vyobrazeny grafické výsledky řeky Rokytná a zbývající řeky Svratka, Jihlava a Moravská Dyje jsou uvedeny v příloze této diplomové práce, aby bylo přehledně zobrazené porovnání výsledků u všech čtyř sledovaných povodí.

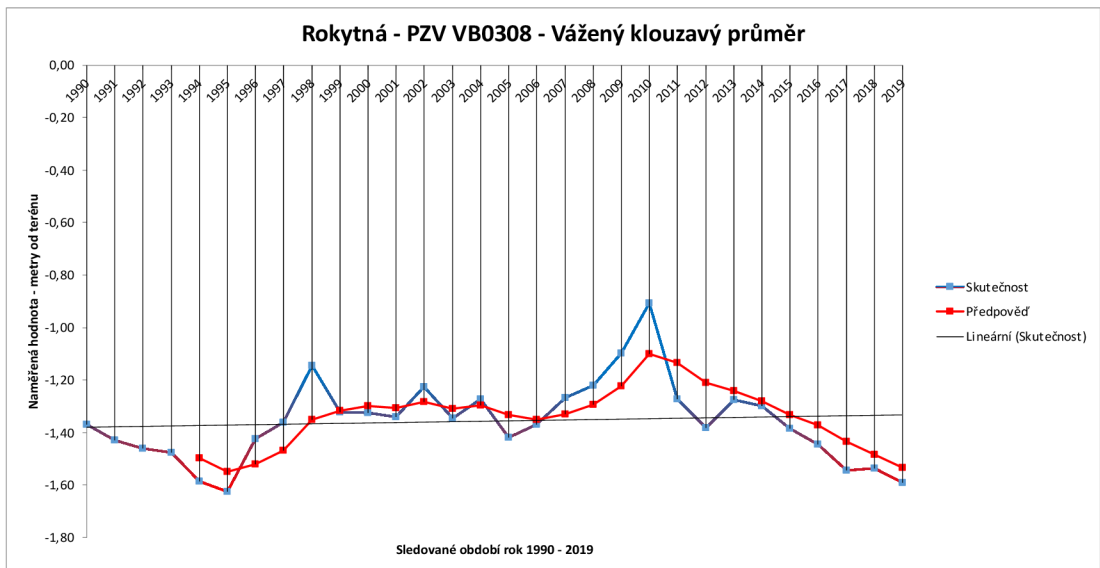
Řeka Rokytná: vážený klouzavý průměr u měrné stanice povrchových vod Příštpo – grafické zobrazení průtoků v m³/s a denních stavů v cm. Dále zobrazení váženého klouzavého průměru u objektů podzemních vod – vrtů VB0308 a VB0310.



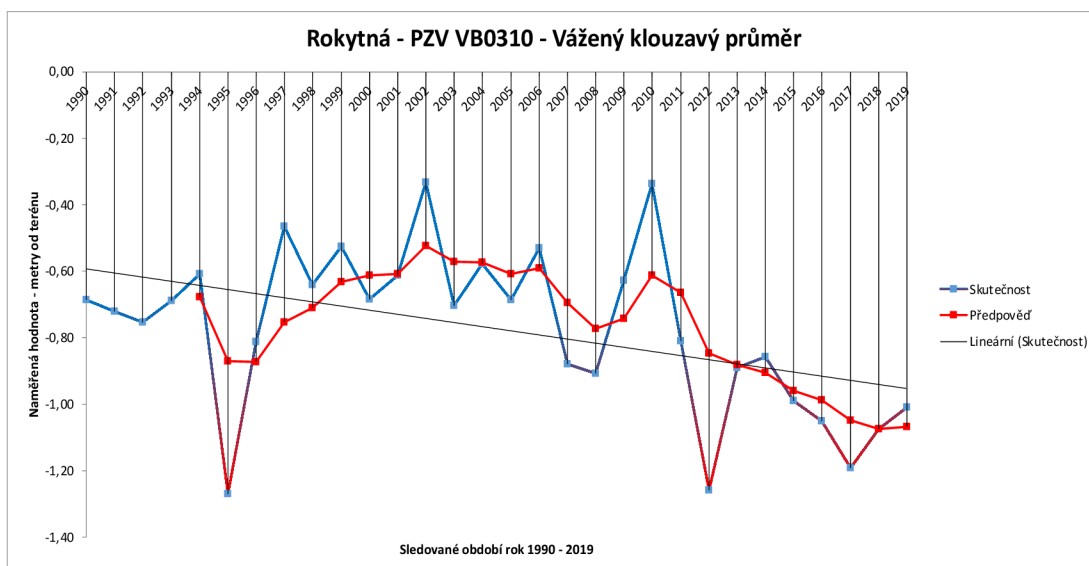
Obr. 17: Graf, Vážený klouzavý průměr Rokytná – Příštpo – průtoky (zpracování vlastní, 2022).



Obr. 18: Graf, Vážený klouzavý průměr Rokytná – Příštpo – denní stav (zpracování vlastní, 2022).



Obr. 19: Graf, Vážený klouzavý průměr Rokytná – vrt VB0308 (zpracování vlastní, 2022).



Obr. 20: Graf, Vážený klouzavý průměr Rokytná – vrt VB0310 (zpracování vlastní, 2022).

Na výsledném grafu (obr. č. 17) je patrný vývoj za sledované období 30 let. Jsou zde patrné výkyvy v průměrných průtocích v jednotlivých letech, které zapříčinily hydrologické události v podobě přívalových povodní nebo naopak suchých epizod. Patrný pokles průtoků byl výrazněji zaznamenán po letech „průměrných“ hodnot v roce 2012 a poté od roku 2015. Řadu let byl zde trend lineární, ale od zmíněných poklesů se trend snižuje. Zaměříme-li se na období posledních 5-ti let (2015-2019), je zde vyobrazen výrazný propad od roku 2015. Na výsledném grafu (obr. č. 18) je také zobrazená skutečnost odlišná od předpovědi. Prezentovaný graf na obrázku 19 zobrazuje měrnou stanici podzemních vod – vrt VB0308 na řece Rokytná, kde je výsledkem váženého klouzavého průměru prokázán pokles hladiny vody od zmiňovaného roku 2015, který je vyznačen na ose pod rokem 2015. Pokles pokračuje dále až na konec sledovaných dat do roku 2019. K podobným poklesům, dle výsledků grafu, došlo naposledy v letech 1993-1995. Výraznou změnu poklesu hladiny v roce 1995 zaznamenal i vrt VB0310, jak je zřejmé z obrázku 20. Podobný pokles pak v roce 2012 a dále od roku 2015. Zde je zobrazena i výrazně klesající linie trendu oproti předpovědi.

Výsledky - regresní analýza vztahu průtoky : denní stavy							
Regresní statistika							
Multiple R	0,83597922						
R Square	0,69886126						
Adjusted R Square	0,6881063						
Standard Error	3,81595038						
Observations	30						
ANOVA							
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Významnost F</i>		
Regrese	1	946,210574	946,210574	64,9803969	8,89158E-09		
Residual	28	407,721365	14,5614773				
Celkem	29	1353,93194					
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i> <i>Upper 95,0%</i>
Hranice	45,2699915	1,46613779	30,8770376	3,5873E-23	42,26674437	48,2732386	42,2667444 48,2732386
průtoky (m3/s)	15,2446755	1,89115447	8,06104192	8,8916E-09	11,37082116	19,1185298	11,3708212 19,1185298

Obr. 22: Rokytná – Regrese. Nejvýznamnější vliv na průtoky (zpracování vlastní, 2022).

Regresí byla vygenerována vždy nová tabulka, která představuje regresní analýzu vlivu mezi proměnnými denní stavy ku průtokům. Significance F neboli významnost udává testem Anova hodnotu vlivu významnosti 8,89158E-09, což značí o statisticky významném vlivu denních stavů na průtoky, protože v běžné statistice platí, že pokud je hodnota menší než 0,05 ($< 0,05$), tak považujeme proměnnou za statisticky významnou. Na obr. 21 je vyobrazena p-hodnota (významnost) u všech proměnných a v dalším sloupci je zde patrné, že všechny získané **p-hodnoty jsou $< 0,05$** , tudíž jsou považovány za **statisticky významné**.

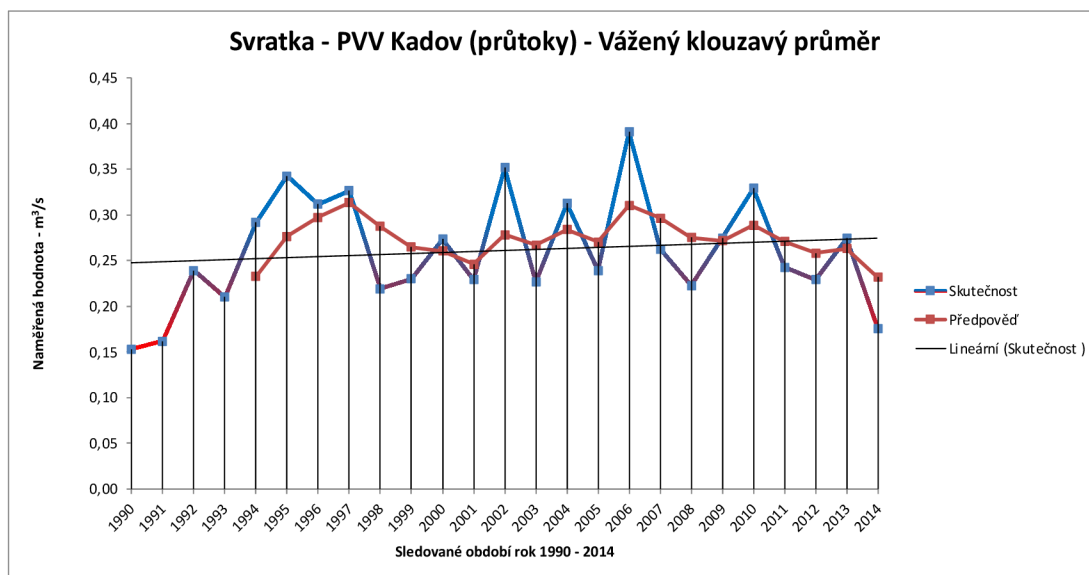
Není možné proto říct, že by proměnné nebyly na sobě závislé, není to závislost úplná funkční, protože není možné popsat funkčnost mezi srážkou a odtokem, protože je zde mnoho jiných ovlivňujících faktorů, ale jedná se o vysoce těsný vztah.

U každé korelační analýzy byl proveden určitý počet regresních analýz, podle počtu proměnných v korelační matici. V práci je prezentována jedna ukázka regresní analýzy, aby bylo zřejmé, jak bylo p-hodnot dosaženo.

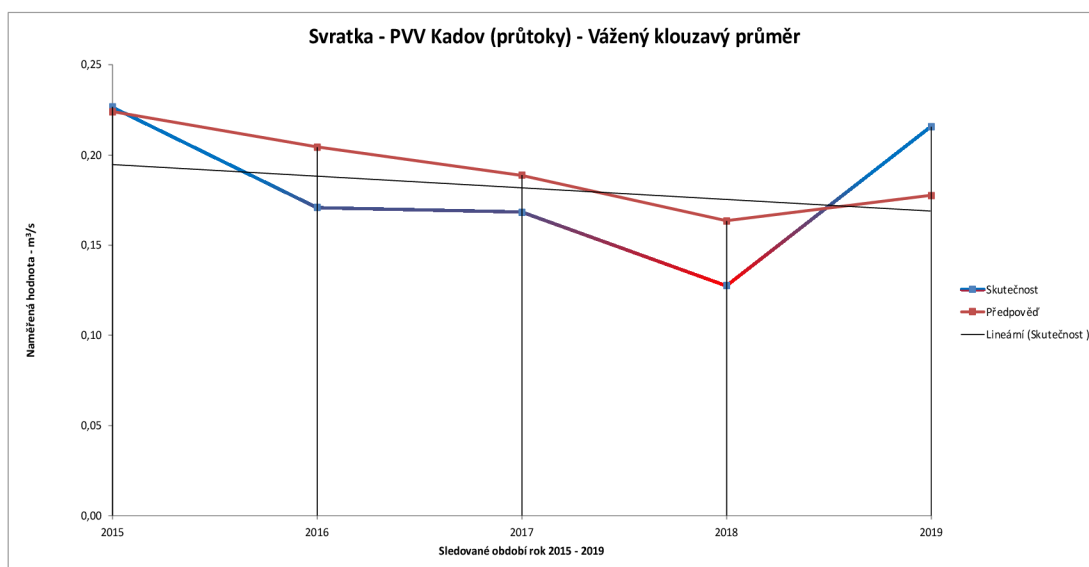
Jak je již zmíněno v rešeršní části „Klimatická změna“, velmi významný vliv na vodní toky povodí Dyje měl, ze sledovaného období, především rok 2015, kde jsou patrné u všech pozorovaných a porovnávaných údajů poklesy vody na vodních tocích, opřené o statistické teplotní údaje, a především chybějící úhrn srážek.

V práci byla proto navíc soustředěna pozornost právě na zmíněný rok 2015 a ze získaných dat 30 let byla provedena analýza výsledků klouzavých průměrů

rozdělených na dvě části. První od roku 1990 do roku 2014 a poté druhá část od roku 2015 do roku 2019. Na ukázkou bylo vybráno povodí Svratky – měrná stanice Kadov. První graf (obr. 23) tedy znázorňuje období 1990-2014, kde je vidět v roce 2014 výraznější pokles od sledovaného roku 1990 a na druhém grafu (obr. 24) je znázorněné období posledních sledovaných 5-ti let 2015-2019, kde je oproti předpovědi pokles na skutečných naměřených datech. Lineární trend má taktéž klesající úroveň.

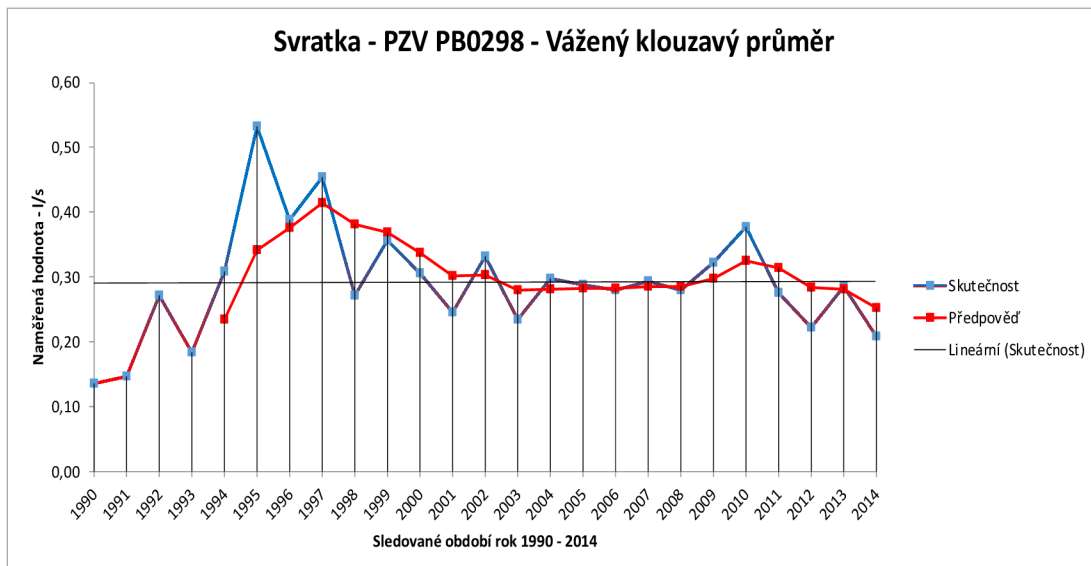


Obr. 23: Graf, Vážený klouzavý průměr Svratka – Kadov 1990-2014 (zpracování vlastní, 2022).

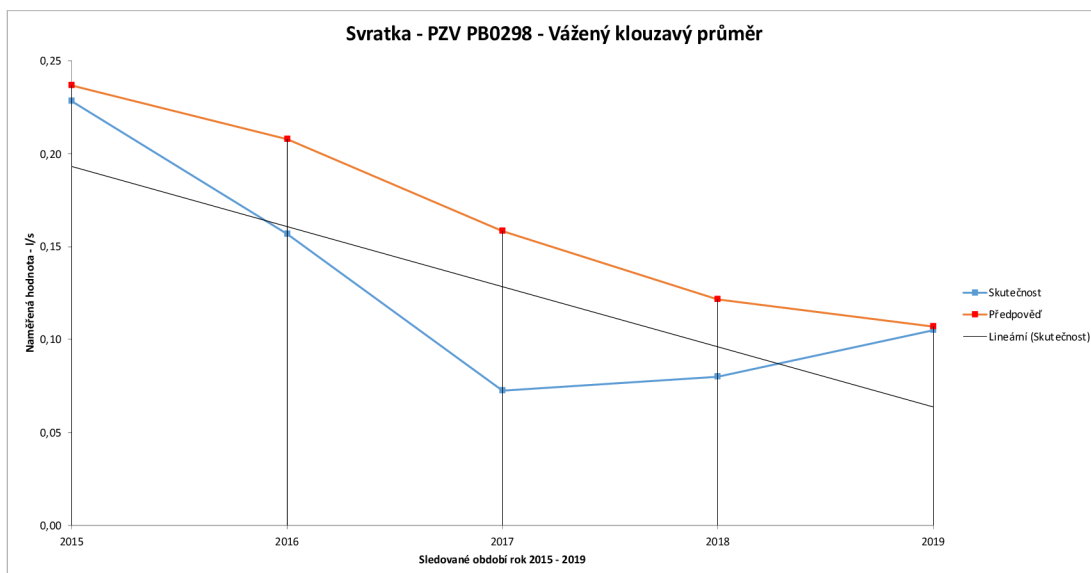


Obr. 24: Graf, Vážený klouzavý průměr Svratka – Kadov 2015-2019 (zpracování vlastní, 2022).

Na dalších grafech (obr. 25, 26) je znázorněné stejné období 1990-2014 a 2015-2019 ještě pro pramen řeky Svratky PB0298, kde je vidět propad naměřených hodnot již v roce 2012 a dále pak od roku 2015, oproti předpovědi.



Obr. 25: Graf, Vážený klouzávý průměr Svratka – pramen 1990-2014 (zpracování vlastní, 2022).



Obr. 26: Graf, Vážený klouzávý průměr Svratka – pramen 2015-2019 (zpracování vlastní, 2022).

Na závěr byla provedena korelační analýza mezi jednotlivými povodími, aby byl porovnán vzájemný vliv vybraných řek. Do vzájemných proměnných byly zahrnuty naměřené průměrné průtoky měrných objektů povrchových vod ze sledované oblasti

řeky Jihlavy, Moravské Dyje, Rokytné a Svratky a průměrné teploty a úhrn srážek v Jihomoravském kraji, do kterého všechny povodí spadají.

Korelace mezi povodími									
	V. B. průtoky	Jimramov průtoky	Borovnice průtoky	Kadov průtoky	Janov průtoky	Příštpo průtoky	Ptáčov průtoky	teploty - Jihom.kraj	srážky - Jihom.kraj
Jimramov průtoky (m3/s)	0,91	1,00							
Borovnice průtoky (m3/s)	0,92	0,96	1,00						
Kadov průtoky (m3/s)	0,85	0,93	0,89	1,00					
Janov průtoky (m3/s)	0,78	0,84	0,80	0,89	1,00				
Příštpo průtoky (m3/s)	0,77	0,70	0,67	0,67	0,83	1,00			
Ptáčov průtoky (m3/s)	0,81	0,84	0,81	0,87	0,97	0,86	1,00		
teploty - Jihom.kraj	-0,44	-0,35	-0,41	-0,34	-0,38	-0,42	-0,45	1,00	
srážky - Jihom.kraj	0,71	0,63	0,66	0,54	0,58	0,66	0,68	-0,33	1

	V. B. průtoky	p-hodnota	
Borovnice průtoky (m3/s)	0,92	5,30731E-13	< 0,05
Jimramov průtoky (m3/s)	0,91	1,61812E-12	< 0,05
Kadov průtoky (m3/s)	0,85	3,43807E-09	< 0,05
Ptáčov průtoky (m3/s)	0,81	6,84112E-08	< 0,05
Janov průtoky (m3/s)	0,78	3,43867E-07	< 0,05
Příštpo průtoky (m3/s)	0,77	6,84112E-08	< 0,05
srážky - Jihom.kraj	0,71	1,23262E-05	< 0,05
teploty - Jihom.kraj	-0,44	0,014779798	< 0,05

Obr. 27: Korelační a regresní analýza mezi povodími (zpracování vlastní, 2022).

Korelační a regresní analýza poukázala, že vliv mezi jednotlivými povodími je statisticky velmi významný. Jako proměnná vyslovující hypotézu byla vybrána stanice Veverská Bítýška a byl zkoumán vliv ostatních měrných stanic ze Svratky – Borovnice, Kadov a Jimramov, ale i stanice Ptáčov z Jihlavy, stanice Janov z Moravské Dyje a stanice Příštpo z Rokytné a dále vliv průměrných teplot a úhrn srážek za sledované období 1990-2019. Analýzou byly zjištěny korelační koeficienty proměnné Veverská Bítýška, výsledné proměnné byly seřazeny podle výšky korelačního koeficientu. Největší vliv na Veverskou Bítýšku má Borovnice. Čili na vyslovenou hypotézu:

„Má proměnná Borovnice vliv na proměnnou Veverskou Bítýšku?“ Můžeme zcela jednoznačně odpovědět: Ano, proměnná Borovnice má velký vliv na Veverskou Bítýšku. Tento vliv byl potvrzen hypotézou u všech porovnávaných proměnných.

Abychom mohli zjistit, zda tento vliv je statisticky významný, byla provedena regresní analýza a testem Anova bylo prokázáno, že významnost (p-hodnota) je nejen u proměnné Borovnice, ale u všech porovnávaných proměnných ku proměnné Veverská Bítýška menší než 0,05 (< 0,05), tudíž je statisticky významná.

Byla potvrzena hypotéza, že u těch relativně neovlivněných povodí, které byly prozkoumány v této diplomové práci je patrný vliv klimatické změny. Což se již projevilo na snížených a postupně klesajících hladinách. Po vyhodnocení lineárního trendu za dobu zkoumané časové řady byl prokázán negativní trend znázorněné

grafické přímky. Na některých povodích více, na některých méně, což je důsledek toho, že i ve vyšších částech povodí musí být brát zřetel na vodohospodářskou bilanci, a i zde jsou možné vlivy člověka. Z výsledků je patrné, že se hypotézy ukázaly jako pravdivé.

8 Diskuze

Tato diplomová práce se zabývá pozorovanými daty poskytnutými Českým hydrometeorologickým ústavem, pobočka Brno. Analýza byla zaměřena na vymezené území čtyř povodí.

Práce je rozčleněna do deseti hlavních kapitol, které se dále dělí na jednotlivé podkapitoly. Stěžejní částí jsou výsledky. Analýza dat proběhla pomocí několika statistických metod, jejichž vhodnost je relativní. Každá z nich totiž nese určitý prvek relativity.

Již v současné době pociťuje Česká republika nedostatek vodních zdrojů a v budoucnu se toto bude zvyšovat kvůli výrazným projevům klimatické změny, mezi které patří opakující se období sucha, a především nahodilý výskyt nedostatku srážek.

Cílem této práce bylo posouzení možného vlivu těchto změn na stav vodních toků v povodí Dyje.

Od roku 2014 se sucho opakovalo v několika následných letech a v některých oblastech dosáhl deficit srážek až 70 % ročních úhrnů. Toto má za následek prohloubení hydrologického sucha a pokles hladin a vydatnosti vodních zdrojů. Bohužel to poukazuje i na nedostačující akumulaci vody v přehradních nádržích v České republice. Velký potenciál je proto ve zvýšení míry akumulace povrchových vod a tím zajištění soběstačnosti v zásobování obyvatelstva pitnou vodou. Zadržováním dešťové vody a zpracováním vody odpadní můžeme šetřit zdroje podzemních vod.

Specifikem povodí Dyje jsou specifické vodohospodářské charakteristiky. Tato oblast patří mezi oblasti s nejnižší nadmořskou výškou a s nejnižšími ročními srážkami, což sebou nese velkou ztrátu vody. Zatímco v minulosti srážky stačily pokrýt vláhový deficit a doplnily zásoby podzemních vod, nyní je situace výrazně horší. Nárůst teplot zvýšil výpar a evapotranspiraci a průtoky v některých tocích ztlačily.

Podle prognóz budou suchá období pokračovat, a proto je potřeba realizovat adaptační opatření v praxi a lépe hospodařit s vodou v krajině například v podobě revitalizace vodních toků, podpory retence vody v krajině a zabývat se zásadními řídicími signály, které ovlivňují a budou ovlivňovat vodní bilanci v povodích. Z literatury je zřejmé, že hlavním hybatelem změn je proces evapotranspirace, který je ovlivňován především růstem teploty z důvodu klimatických změn.

Jak uvádí Kubala, 2020, v období sucha jsou podzemní vody náchylné i na zhoršování jejich jakosti a na vzájemné ovlivňování při jejich využívání v případě mělkých vrtů a domovních studní. Zdroje podzemních vod se obnovují velmi pomalu, na některých místech téměř vůbec z důvodu rozložení a intenzitě atmosférických srážek (Kubala, 2020).

Z výsledků práce je patrné, že na všech pozorovaných povodích se projevují trendy poklesu průtoků, hladin a odtoků v říčním systému. Je splněna základní hypotéza, že se projevují klimatické změny na vodní bilanci. Z grafického vyobrazení klouzavých průměrů je zřejmé, že ve sledovaném období 30-ti let (1990-2019) byl zaznamenán největší propad právě od roku 2015. Byla to anomálie v podobě minimálních srážek, která se dále projevovala na vodních stavech v povodí. Do roku 2015 byl nastaven určitý trend, který fungoval, ale zásahem v podobě „výpadku srážek“ došlo k poklesu vodní zdrojů, který trvá do konce zkoumaného období roku 2019. Došlo ke kumulaci dvou jevů – zvětšená evapotranspirace, která měla za následek, díky zvýšeným teplotám, vlnu veder, což vedlo k několika měsícům bez srážek a tím byl porušen celý mikroklimatický vzorek. Klimatologové se shodují, že se teplota zvyšuje, to je statisticky prokázáno, ovšem množství srážek, až na zmíněnou anomálii v roce 2015 je vesměs stejné v průměru za rok, ovšem velký rozdíl je v jejich nerovnoměrném rozložení a intenzitě. To nastává například v podobě přívalových dešťů, které způsobují, že se voda nestihne vsáknout do půdy a rovnou odteče. Snižuje se frekvence dlouhodobých srážek, které by mohly doplnit chybějící vodu.

Z důvodů, v kapitole 7 (Výsledky) zmíněných poklesů průměrných hodnot, nelze jednoznačně stanovit nějakou určitou předpověď trendu dopředu, protože neznáme vývoj srážek do budoucna. Dá se pouze hypoteticky odhadnout, že nebudou-li vypadávat srážkové úhrny takto anomálně, jako tomu bylo v roce 2015, tak prokázaná analýza předpovídá prognózu vývoje trendu.

Vyhodnocení korelace a regrese nabízí odpověď na vyslovenou hypotézu, zda mají denní stavy a ostatní porovnávané proměnné vliv na průtoky: Porovnávané proměnné mají významný vliv na průtoky na zobrazené řece Rokytná.

Bylo by zajímavé sledovat tyto jednotlivé řady údajů, jakým směrem se budou dále v budoucnu ubírat. Když se bude vycházet z klimatických změn, které jsou opřeny o skleníkové plyny a o základní rozdíl v radiaci, tak podle odborníků bude teplota dále

stoupat a zřejmě se bude moci o tom trendu za přibližně 20-30 let prohlásit, že bude výsledná trendová řada zcela jednoznačná.

9 Závěr

Sucho se vyskytuje v České republice již několik let a dle předpovědi klimatických scénářů můžeme očekávat v budoucnu jeho sílící dopady. V následujících letech lze očekávat další výrazný pokles povrchové i podzemní vody i z důvodu nestálosti srážkovo-odtokového režimu. Příčinám klimatických změn nezbývá než se snažit přizpůsobit a vytvářet podmínky k zajištění budoucí generace.

Cílem diplomové práce byla podrobná analýza trendů v konkrétních neovlivněných profilech povrchových a podzemních zdrojů v horních částech povodí Dyje na jižní Moravě za časové období posledních 30 hydrologických let 1990-2019 poskytnutých Českým hydrometeorologickým ústavem, pobočka Brno.

Teoretická část práce poskytuje přehled o termínech vodního hospodářství, klimatické změně a adaptačních opatřeních.

Praktická část představuje analýzu dat a jejich grafické zpracování.

Statistické metody a porovnání potvrdily vliv klimatických změn na vodní zdroje v povodí Dyje. Opakující se suché epizody mohou v budoucnu ještě více poznamenat povodí dalším poklesem vydatnosti vodních zdrojů. Prioritou by mělo být již nyní hospodaření s vodou v podobě neplýtvání a jejího zadržování v krajině.

Na začátku práce byly vysloveny hypotézy a v závěru můžeme odpovědět, že:

Ano, klimatické změny mají vliv nejen na povrchové, ale i na podzemní vodní zdroje sledovaných povodí.

Ano, nejsilnější korelační vztahy byly prokázány mezi průtoky a denními stavy jednotlivých toků s přímou vazbou na srážky.

Ne, není možné jednoznačně vyslovit předpoklad dalšího vývoje stavu zkoumaných vodních toků. Je možné pouze odhadovat, že budou dále zaklesávat hladiny, přičemž je nutné počítat s různými vlivy, které tento stav mohou ovlivnit. Například u povodí, která jsou ovlivněna odtoky z umělé akumulace vody v nádržích, na něž mají vliv manipulační řády. A proto je takováto úvaha, z pohledu vodohospodářské bilance, složitější. Výsledkem této práce je prokázáný trend u zkoumaných horních toků povodí Dyje, jsou zde patrné i vlivy zvýšené evapotranspirace, ovšem je potřeba zohlednit vliv suchého období, kdy za prokázaných posledních pět let byly srážky enormně nízké. Proto není možné jednoznačně odhadnout vývoj do budoucna.

Jedná se o zajímavé téma, které bych doporučila rozšířit o porovnání dalších měrných stanic na sledovaných řekách a o další časovou řadu. Sledovat jednotlivé vlivy. Porovnat se stejnými i jinými typy povodí, jestli to, co vyšlo ve výsledcích této práce bude totožné nebo rozdílné.

10 Přehled literatury a použitých zdrojů

10.1 Literární zdroje

Arlt, J., Artlová M. (2007): Ekonomické časové řady. Vlastnosti, metody, modelování, příklady a aplikace. Grada Publishing, a.s., Praha. 288 s. ISBN: 978-80-247-1319-9.

Bachmair, S., Stahl, K., Collins, K., Hannaford, J., Acreman, M., Svoboda, M., Knutson, C., Smith, K. H., Wall, N., Fuchs, B., Crossman, N. D. (2016): Drought indicators revisited: the need for a wider consideration of environment and society. Wiley Interdisciplinary Reviews: Water, 3(4), s. 516–536.

Bartoňová, A., Bednář, J., Bízek, V., Braniš, M., Brechler, J., Cílek, V., Fiala, J., Filip, J., Holoubek, I., Hovorka, J., Hůnová, I., Kalvová, J., Moldan, B., Moldanová, J., Přibil, R., 2004: Aktuální otázky znečištění ovzduší, UK Praha, 216 s. ISBN 80-239-2187-8.

Beran, A., 2019: Dizertační práce, Změny hydrologické bilance vlivem klimatické změny a možnosti adaptačních opatření. ČZU, Praha. 161 s.

Brázdil, R., Štekl, J. (1986): Cirkulační procesy a atmosférické srážky v ČSSR. 1. vydání Univerzita J. E. Purkyně, Brno. 298 s.

Brázdil, R., Trnka, M., a kol. (2015): Sucho v českých zemích: minulost, současnost, budoucnost. Centrum výzkumu globální změny Akademie věd České republiky, v.v.i, Brno. 402 s. ISBN: 978-80-87902-11-0.

Cílek, V., Ač, A., Bárta, M., Bartuška, V., Beran, H., Bezděk, A., Filip, J., Havel, P., Chvála, V., Klokočník, J., Komárek, S., Kostecký J., Luptáková, M., Navrátil, T., Rohovec, J., Řoutil, M., Sůvová, Z., Švihlíková, I., Trapková, L., Trnka, M., Wagner, V., Zelený, M., 2019: Věk nerovnováhy: klimatická změna, bezpečnost a cesty k národní resilienci. 1. vydání, Akademie věd České republiky, Praha. 346 s. ISBN: 978-80-200-2930-0.

Cipra, T. (1986): Analýza časových řad s aplikacemi v ekonomii. Nakladatelství technické literatury, Praha. 1. vydání. 248 s. DT 519.338.

Daňhelka, J., a kol. (2019): Vyhodnocení sucha na území České republiky 2018, ČHMÚ Praha. Komplettní zpráva ze září 2019, 91 s.

Dzuráková, M., a kol. (2017): Potenciál aplikace přírodě blízkých opatření pro zadržení vody v krajině a zlepšení ekologického stavu vodních útvarů. Vodohospodářské technicko-ekonomické informace, 59(4), 25-32

Gerden, T., 2018: The Adoption of the Kyoto Protocol of the United Nations Framework Convention on Climate Change. Contributions to Contemporary History, 58(2).

Hanel, M., Kašpárek, L., Mrkvičková, M., Horáček, S., Vizina, A., Novický, O., Fridrichová, R., 2011: Odhad dopadu klimatické změny na hydrologickou bilanci v ČR a možná adaptační opatření. 1. vyd., Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i. Praha. 107 s. ISBN: 978-80-87402-22-1.

Hisdal, H., Stahl, K., Tallaksen, L. M., Demuth, S. (2001): Have droughts in Europe become more severe or frequent? International Journal of Climatology, 21(3), 317–333s.

Hladný, J. a kol. (2005): Katastrofální povodeň v České republice v srpnu 2002. MŽP ČR, Praha. 68 s. ISBN: 80-7212-350-5.

Hulme, M., Jenkins, G. (2002): Climate Change Scenarios for the United Kingdom. UK Climate Impacts Programme. University of East Anglia, Norwich, UK. 112 s. ISBN: 0-902170-60-0.

Kašpárek, L. a kol. (2008): Vývoj hydrologické bilance při probíhajícím oteplování. In workshop Adolfa Patery: Extrémní hydrologické jevy v povodí. Praha. 94 s.

Kemel, M., 1994: Hydrologie. České vysoké učení technické, Praha. 222 s. ISBN: 80-01-00509-7.

Kořínek, R., 2016: Vodárenské věže – vodojemy. Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka, Praha. VTEI/2016/6 66 s. ISSN 0322-8916.

Krešl, J., 2001: Hydrologie. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno. 125 s. ISBN: 80-7157-513-5.

Kubala, P., 2020: Klimatická změna? Bez vody to nepůjde. Vodní hospodářství, 3/2020.

Kvítek, T. (2006): Zemědělská meliorace. Jihočeská univerzita, České Budějovice, Zemědělská fakulta. 165 s. ISBN: 80-7040-858-8.

Kyncl, M., Langarová, S. (2012): Globální změny klimatu a jejich vliv na zásobování vodou. Proceedings of the International Conference, (stránky 194-197). Bratislava. ISBN: 978-80-89281-86-2.

Metelka, L., Tolasz, R., 2009: Klimatické změny: Fakta bez mýtů. UK Praha. 35 s. ISBN: 978-80-87076-13-2.

Milly, P. C., & et al. (2008): Stationarity Is Dead: Whither Water Management? Science, 319(5863) stránky 573-574.

Novický, O., Kašpárek, L., Fridrichová, R., Fiala, T., Brzáková, J., Kourková, H., Treml, P., Vaculík, M. (2008): Časová a plošná variabilita hydrologického sucha v podmínkách klimatické změny na území České republiky. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., Praha, 170 s.

Plecháč, V., 1989: Voda, problém současnosti a budoucnosti. Svoboda, Praha. 327 s. ISBN 80-205-096-0.

Plecháč, V., 1999: Vodní hospodářství na území České republiky, jeho vývoj a možné perspektivy. Evan, Praha. 248 s. ISBN 80-238-4989.

Pretel, J., 2012: Klimatická změna a její projevy a možná rizika v ČR. Český hydrometeorologický ústav. Praha. 29 s.

Slámová, R., Martínková, M., Krysanova, V. (2010): Strategie adaptace na hydrologické dopady změny klimatu. Journal of Hydrology and Hydromechanics, 58(4) 233-244.

Sommer, M. (1973): Aplikovaná hydrologie. Vysoké učení technické, Brno. 247 s. ISBN: 978-80-214-5213-8.

Soukup, M., Hrádek, F. (1999): Optimální regulace povrchového odtoku z povodí. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Praha. 98 s. ISSN: 1211–3972.

Stahl, K. (2001): Hydrological drought, A Study Across Europe. Dissertation Thesis. Albert–Ludwig Universität, Freiburg, 121 s.

Stejskal, L. (2012): Změna klimatu a její dopady: hlavní hrozba 21. století. Trendy, rizika a scénáře bezpečnostního vývoje ve světě, Evropě a ČR – dopady na

bezpečnostní politiku a bezpečnostní systém ČR. Program bezpečnostního výzkumu České republiky v letech 2010-2015. Ministerstvo vnitra ČR. (BV II/2 – VS). Praha SBP CESES. 34 s.

ŠILAR, J. (1996): Hydrologie v životním prostředí. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. 136 s. ISBN: 80–7078–361–3.

Tourková, J., 1999: Hydrogeologie. ČVUT, Praha. 165 s. ISBN: 80-01-01501-7.

Van Loon, A. F. (2015): Hydrological drought explained. Wiley Interdisciplinary Reviews: Water, 2(4), s. 359–392 Google scholar.

Wilhite, D. A. (1994): Preparing for Drought: A Guidebook for Developing Countries. Diane Publishing, 78 s.

10.2 Internetové zdroje

Admiral Markets, 2020: SMA Indikátor. Finanční centrum vzdělávání. (online) [cit.2022.02.05], dostupné z <<https://admiralmarkets.com/cz/education/articles/forex-indicators/sma-indikator>>.

Consilium.europa.eu, 2022: Summit o změně klimatu COP26 (online) [cit.2022.02.05], dostupné z <<https://www.consilium.europa.eu/cs/policies/climate-change/paris-agreement/cop26/>>.

ČHMÚ, ©2010: Český hydrometeorologický ústav: Hydrologická bilance množství a jakosti vody ČR (online) [cit.2022.02.24], dostupné z: <<http://voda.chmi.cz/opzv/bilance/bilance.html>>.

ČHMÚ, ©2016: Český hydrometeorologický ústav: Hydrologické ročenky ČR. (online) [cit.2022.02.24], dostupné z: <http://voda.chmi.cz/roc/index.html>>.

ČHMÚ, ©2019: Český hydrometeorologický ústav: Základní otázky a odpovědi (online) [cit.2021.10.10], dostupné z <<http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/zmena-klimatu/zakladni-otazky-a-odpovedi>>.

ČHMÚ, ©2020: Český hydrometeorologický ústav: Sucho, aktuální situace (online) [cit.2022.02.25], dostupné z <<http://portal.chmi.cz/aktualni-situace/sucho#>>.

- Dobrovolný, P. (2020):** Masarykova univerzita, fakulta informatiky. Informační systém, Brno. Statistika časové řady. (online) [cit.2022.02.28], dostupné z <https://is.muni.cz/el/1431/podzim2006/Z0069/um/Statistika_8_casove_rady.pdf>.
- eAGRI, ©2007:** Plán rozvoje vodovodů a kanalizací území České republika, Karlovarský kraj, (online) [cit.2022.02.05], dostupné z <http://eagri.cz/public/web/file/40142/_22865_13024_CZ041_Karlovarsky_kraj.pdf>.
- eAGRI, ©2009-2021:** Voda, Správci povodí, (online) [cit.2021.09.30], dostupné z <<http://eagri.cz/public/web/mze/voda/spravci-vodnich-toku/>>.
- Hančlová, J., Tvrdý, L. (2003):** Úvod do analýzy časových řad. Ekonomická fakulta, VŠB – TU, Ostrava. 34 s. (online) [cit.2022.02.21], dostupné z: <https://www.fd.cvut.cz/departament/k611/PEDAGOG/VSM/7_AnalyzaCasRad.pdf>.
- IPCC, 2021:** The Intergovernmental Panel on Climate Change (online) [cit.2021.10.15], dostupné z <<https://www.ipcc.ch>>.
- Klimatická změna, 2021:** Dopady změny klimatu (online) [cit.2021.09.05], dostupné z <<https://www.klimatickazmena.cz/cs/vse-o-klimaticke-zmene/dopady-zmeny-klimatu-extremni-jevy/>>.
- Martinkova, M., Hanel, M., 2016:** Evaluation of relations between extreme precipitation and temperature in observational time series from the czech republic. Advances in Meteorology (online) [cit.2021.10.10], dostupné z <https://www.researchgate.net/publication/305218659_Evaluation_of_Relations_between_Extreme_Precipitation_and_Temperature_in_Observational_Time_Series_from_the_Czech_Republic>.
- MŽP ČR, ©2010:** Ministerstvo životního prostředí: Základní principy hydrogeologie (online) [cit.2021.10.11], dostupné z <[https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/metodiky_ekologicke_zateze/\\$FILE/OES-Hg_prirucka_TT-20100801.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/metodiky_ekologicke_zateze/$FILE/OES-Hg_prirucka_TT-20100801.pdf)>.
- MŽP ČR, ©2008-2020:** Ministerstvo životního prostředí: Mezivládní panel pro změnu klimatu (IPCC) (online) [cit.2021.10.15], dostupné z

<https://www.mzp.cz/cz/mezivladni_panel_pro_zmenu_klimatu>.

MŽP ČR, ©2008-2020: Ministerstvo životního prostředí: Rámcová úmluva OSN o změně klimatu (online) [cit.2021.10.22], dostupné z

<https://www.mzp.cz/cz/ramcova_umluva_osn_zmena_klimatu>.

MŽP ČR, ©2020: Ministerstvo životního prostředí: Tiskové zprávy, Sucho pod zákonem ze dne 1.12.2020 (online) [cit.2021.10.01], dostupné z

<https://www.mzp.cz/cz/news_20201201-sucho-pod-zakonem-Parlament-schvalil-novelu-vodniho-zakona>.

MŽP ČR, ©2008-2020: Ministerstvo životního prostředí: Voda, Ochrana vod, Povrchové vody, Podzemní vody (online) [cit.2021.10.03], dostupné z

<https://www.mzp.cz/cz/povrchove_vody>.

MŽP ČR, ©2008-2020: Ministerstvo životního prostředí: Kjótský protokol k Rámcové úmluvě OSN o změně klimatu (online) [cit.2021.10.25], dostupné z

<https://www.mzp.cz/cz/kjotsky_protokol>.

NDMC (National Drought Mitigation Center) (2012): Droughts Basic. Types of drought. National Drought Mitigation Center, University of Nebraska–Lincoln, USA (online) [cit.2022.02.15], dostupné z <<https://drought.unl.edu>>.

Povodí Moravy, s.p., 2016: Plán povodí Dyje. Charakteristiky dílčího povodí Dyje (online) [cit.2021.10.25], dostupné z

<http://pop.pmo.cz/download/web_PDP_Dyje_kraje/kapitola-i/kapitola-i.html#a_i_1_3>.

R Project, 2020: Načteno z The R Project for Statistical Computing. The R Foundation. (online) [cit.2022.02.15], dostupné z <<https://www.r-project.org/about.html>>.

SOKOLOV, ©2020: Město Sokolov, Městský úřad, Odbor životního prostředí: Vodoprávní úřad, (online) [cit.2022.02.06], dostupné z

<https://www.sokolov.cz/urad/odbory/odbor_zivotniho_prostredi/vodopravni_urad/informace-o-useku-26090>.

UNFCCC, 2021: United Nations Framework Convention on Climate Change 2021 (online) [cit.2021.10.22], dostupné z <<https://unfccc.int/process-and-meetings/the-convention/what-is-the-united-nations-framework-convention-on-climate-change>>.

United Nations Treaty Collection, 2021: The Paris Agreement (online) [cit.2021.10.25], dostupné z <https://treaties.un.org/pages/ViewDetails.aspx?src=TREATY&mtdsg_no=XXVII-7-d&chapter=27&clang=_en>.

Vodní hospodářství, měsíčník. 3/2019: Vodní hospodářství, spol. s r. o., Čkyně. (online) [cit.2022.02.28], dostupné z <https://www.vodnihospodarstvi.cz/ArchivPDF/vh2019/vh_03-2019.pdf>.

10.3 Obrázky

Obr. 1: Rámcový mechanismus oběhu vody na Zemi (Ruda, A.: Katedra geografie, Pedagogická fakulta, Masarykova univerzita) (online) [cit.2021.10.10] dostupné z <https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/ps14/fyz_geogr/web/pages/07-voda.html>.

Obr. 2: Schéma zásobování vodou (Škrobánková, H.: Prezentace, Zásobování vodou, bilance a měření) (online) [cit.2022.02.05] dostupné z <<https://slideplayer.cz/slide/2510984/>>.

Obr. 3: Znázornění klimatické změny (Šuta, M.: Blog.Respekt.cz) (online) [cit.2021.10.28] dostupné z <<https://suta.blog.respekt.cz/klimaticke-zmeny-fakta-bez-mytu/>>.

Obr. 4: Plán dílčího povodí Dyje: Vymezení dílčích povodí ČR (online) [cit.2021.10.06] dostupné z <http://pop.pmo.cz/download/web_PDP_Dyje_kraje/kapitola-i/kapitola-i.html#a_i_1_1>.

Obr. 5: Zobrazení zkoumaných řek a měrných objektů na nich. Zpracováno v programu ArcGIS (zpracování vlastní, 2022).

Obr. 6: Plán dílčího povodí Dyje: Hydrologické poměry (online) [cit.2021.10.06]
dostupné z

http://pop.pmo.cz/download/web_PDP_Dyje_kraje/kapitola-i/kapitola-i.html#a_i_1_3

Obr. 7: Povodí Jihlava. Měrné objekty. Zpracováno v programu ArcGIS (zpracování vlastní, 2022).

Obr. 8: Povodí Rokytná. Měrné objekty. Zpracováno v programu ArcGIS (zpracování vlastní, 2022).

Obr. 9: Povodí Svratka. Měrné objekty. Zpracováno v programu ArcGIS (zpracování vlastní, 2022).

Obr. 10: Povodí Moravská Dyje. Měrné objekty. Zpracováno v programu ArcGIS (zpracování vlastní, 2022).

Obr. 11: Svratka – měrný objekt Borovnice. Foto ČHMÚ, 2021.

Obr. 12: Moravská Dyje – pramen PB0205. Foto ČHMÚ, 2021.

Obr. 13: Rokytná – vrt VB0308. Foto ČHMÚ, 2021.

Obr. 14: Svratka – pramen PB0146. Foto ČHMÚ, 2021.

Obr. 15: Úhrn srážek v mm v jednotlivých krajích z dat ČHMÚ (zpracování vlastní, 2022).

Obr. 16: Průměrné teploty ve °C v jednotlivých krajích z dat ČHMÚ (zpracování vlastní, 2022).

Obr. 17: Graf, Vážený klouzavý průměr Rokytná – Příštpo – průtoky (zpracování vlastní, 2022).

Obr. 18: Graf, Vážený klouzavý průměr Rokytná – Příštpo – denní stavy (zpracování vlastní, 2022).

Obr. 19: Graf, Vážený klouzavý průměr Rokytná – vrt VB0308 (zpracování vlastní, 2022).

Obr. 20: Graf, Vážený klouzavý průměr Rokytná – vrt VB0310 (zpracování vlastní, 2022).

Obr. 21: Rokytná - Korelace a regrese (zpracování vlastní, 2022).

Obr. 22: Rokytná – Regrese. Nejvýznamnější vliv na průtoky (zpracování vlastní, 2022).

Obr. 23: Graf, Vážený klouzavý průměr Svratka – Kadov 1990-2014 (zpracování vlastní, 2022).

Obr. 24: Graf, Vážený klouzavý průměr Svratka – Kadov 2015-2019 (zpracování vlastní, 2022).

Obr. 25: Graf, Vážený klouzavý průměr Svratka – pramen 1990-2014 (zpracování vlastní, 2022).

Obr. 26: Graf, Vážený klouzavý průměr Svratka – pramen 2015-2019 (zpracování vlastní, 2022).

Obr. 27: Korelační a regresní analýza mezi povodími (zpracování vlastní, 2022).

10.4 Přílohy

Výsledky porovnání

Klouzavé průměry Jihlava:

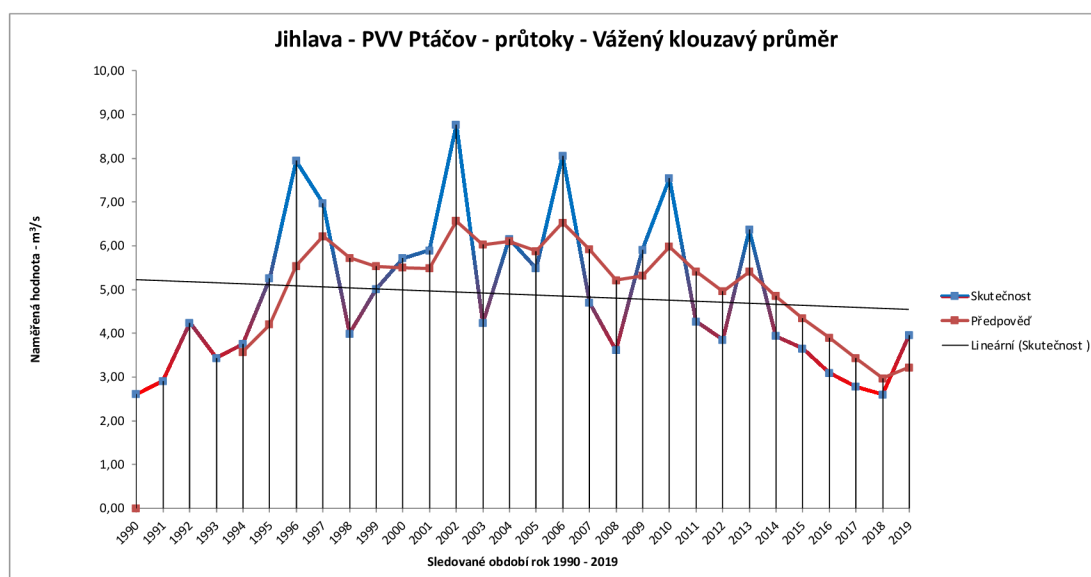
Ptáčov – průtoky, Ptáčov – denní stavy, vrty VB0304 a VB0305

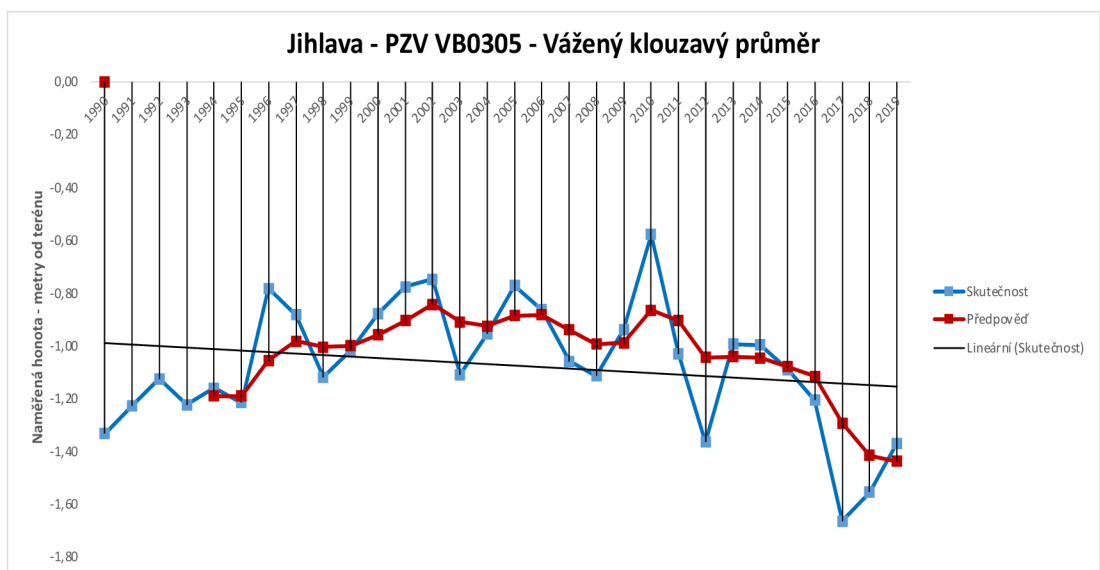
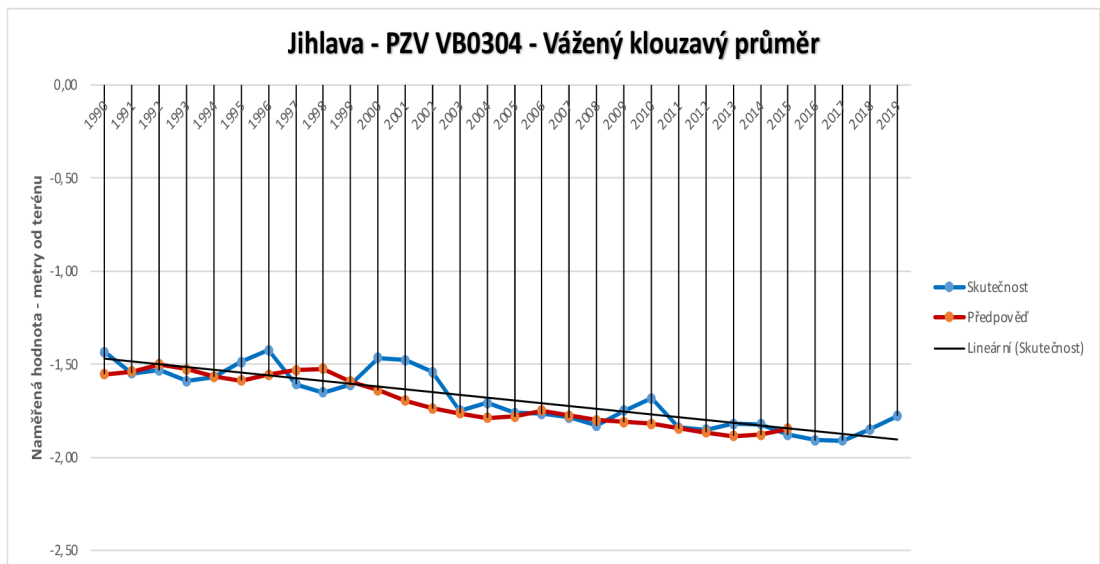
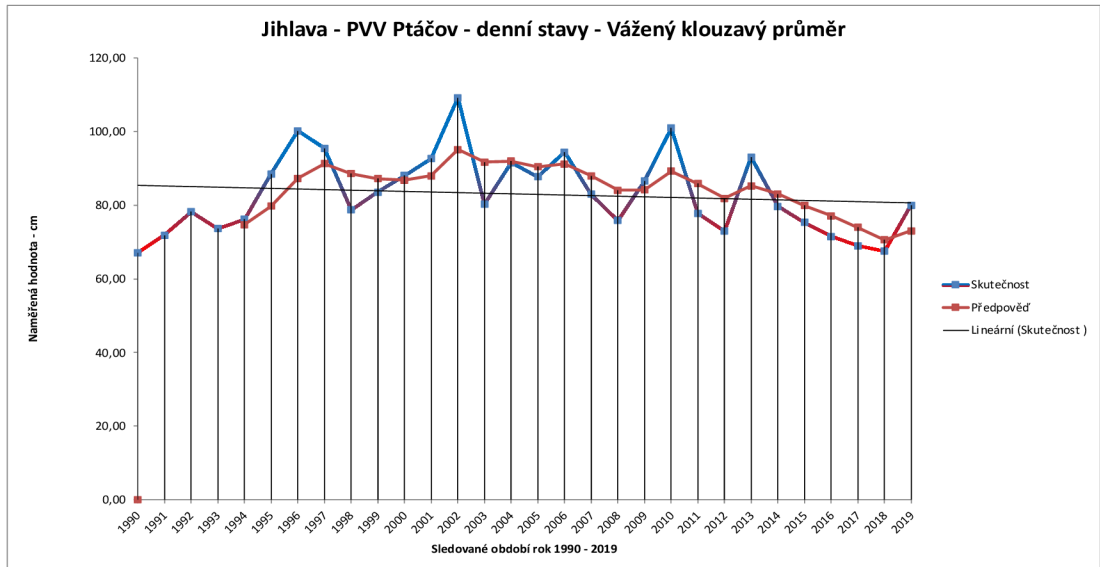
Klouzavé průměry Moravská Dyje:

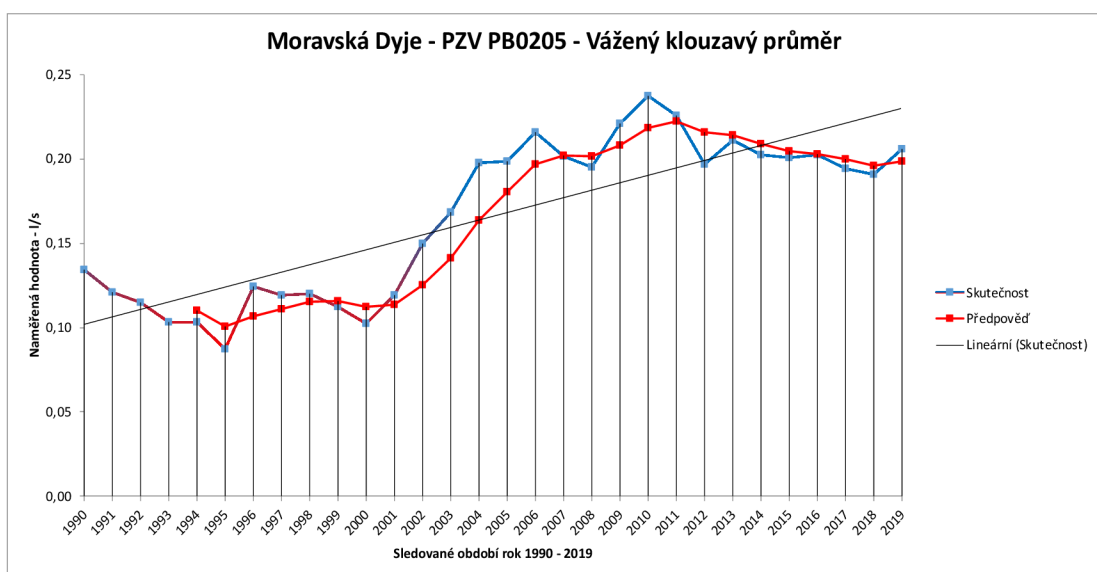
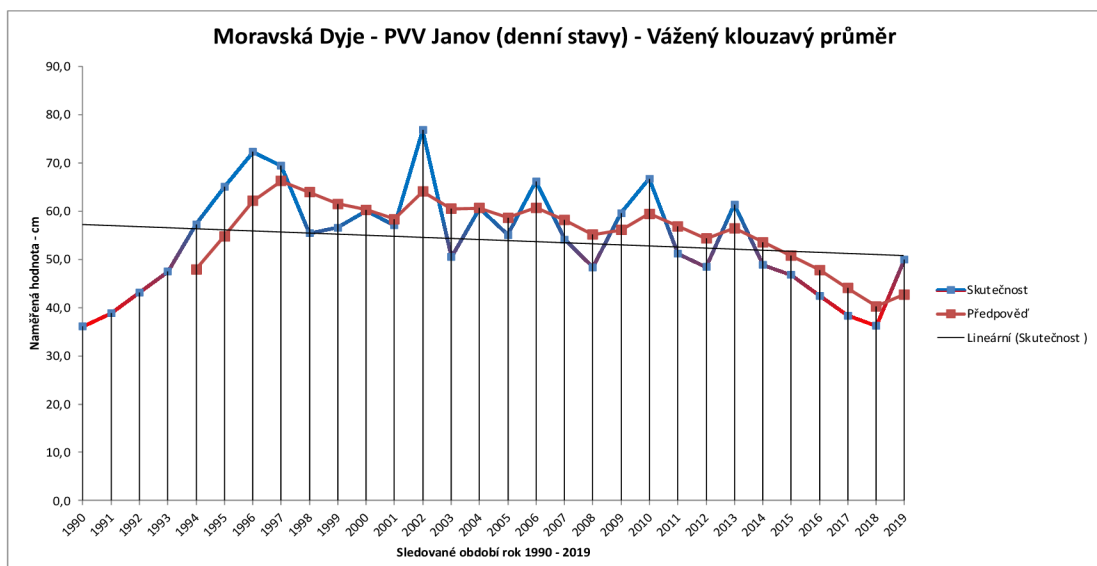
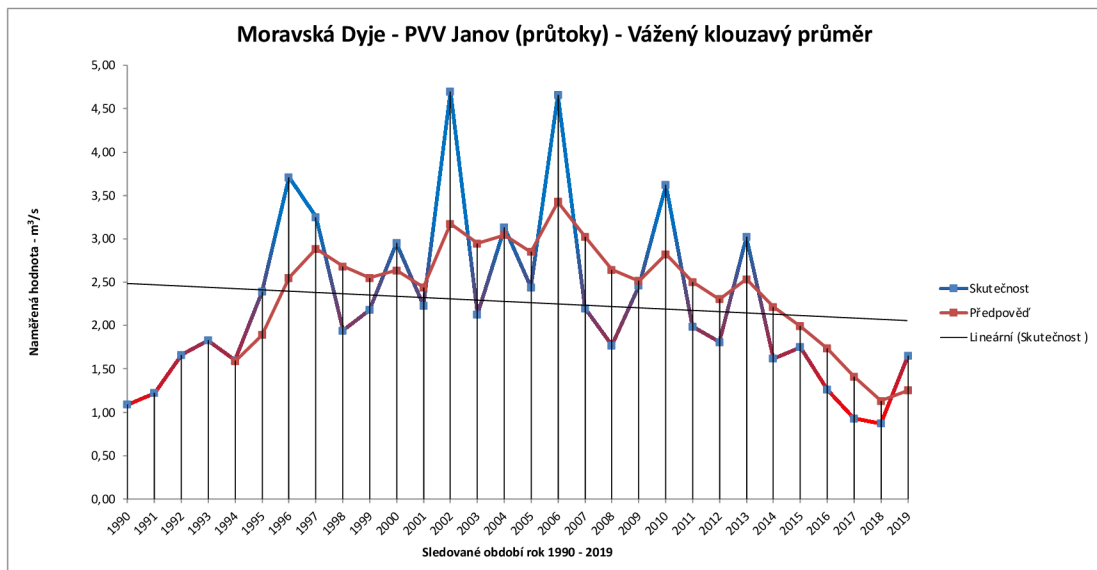
Janov – průtoky, Janov – denní stavy, pramen PB0205, vrt VB0244

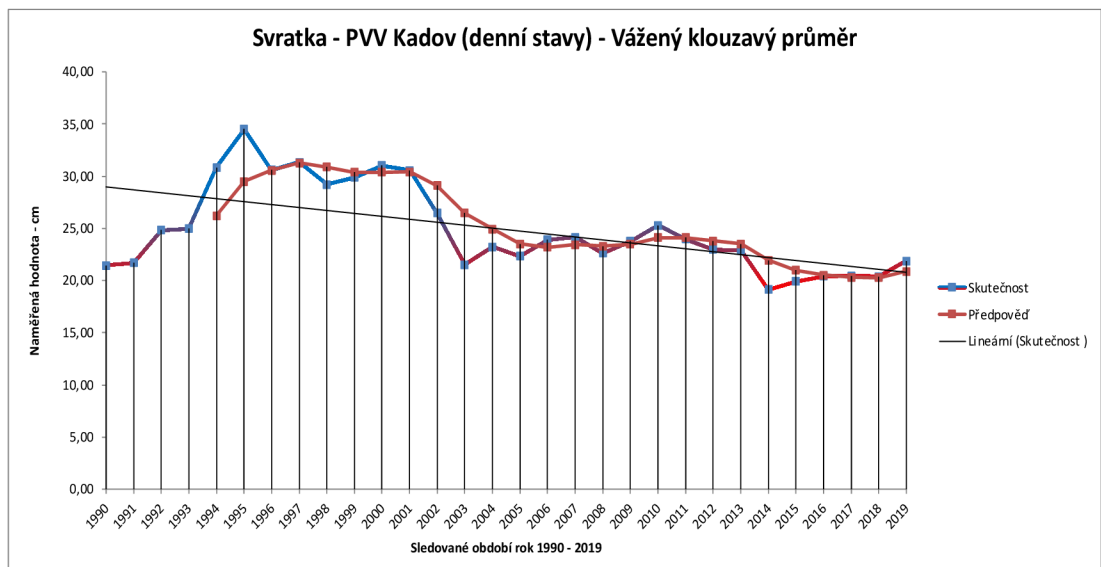
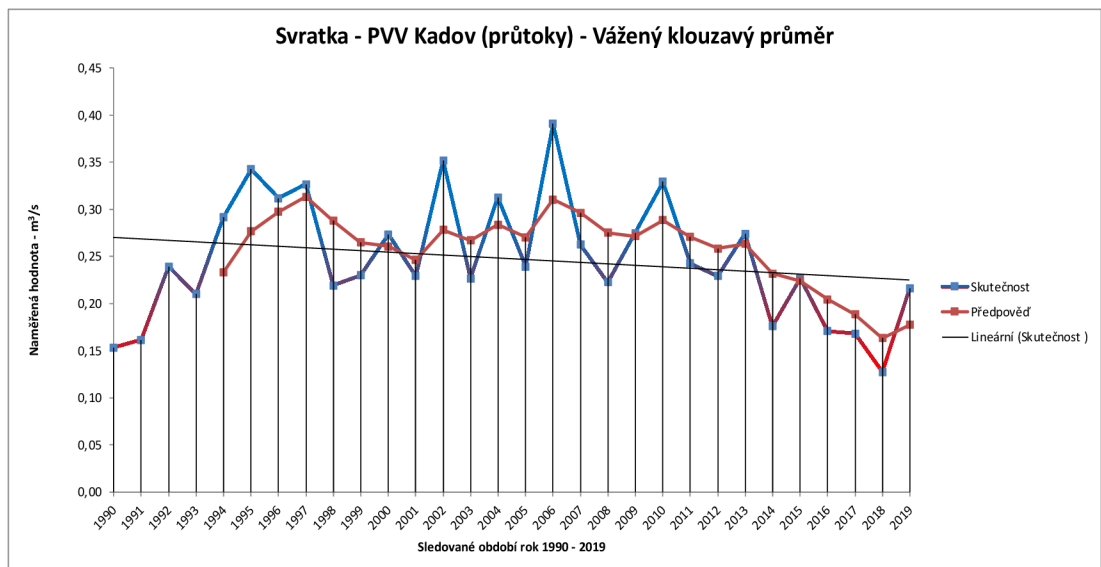
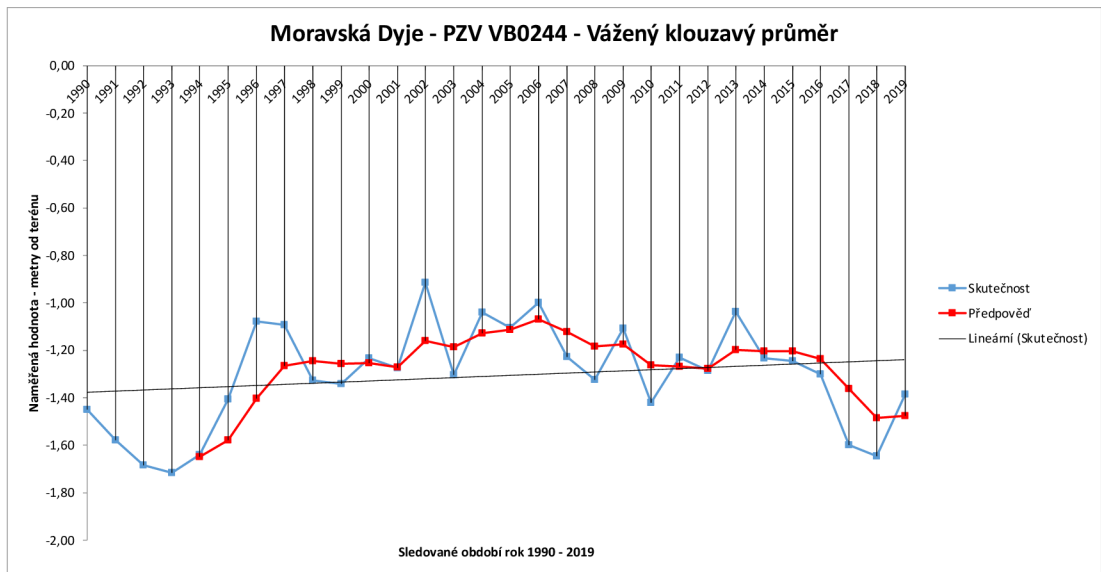
Klouzavé průměry Svatka:

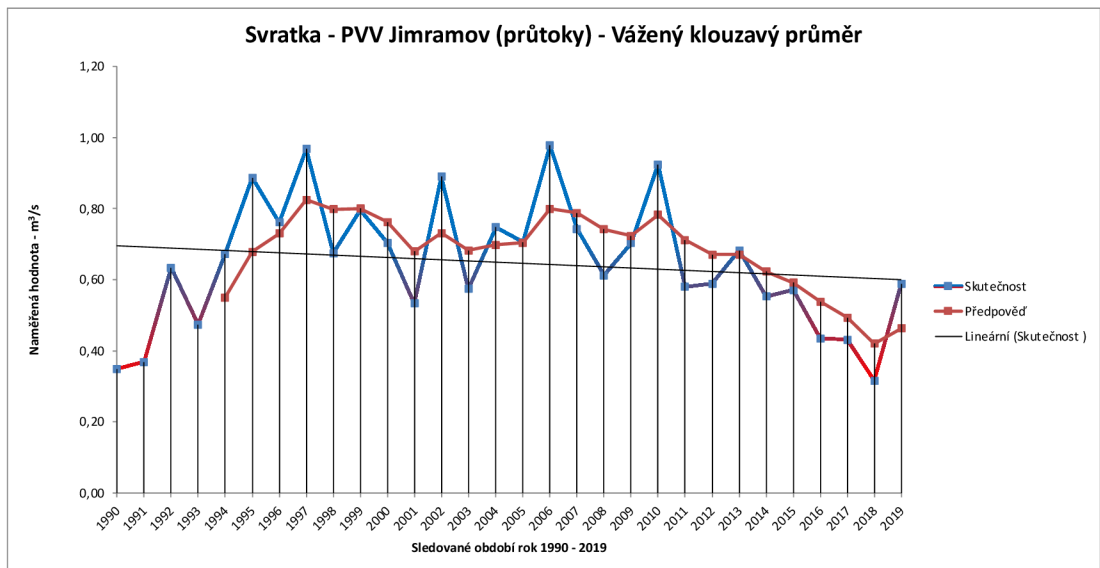
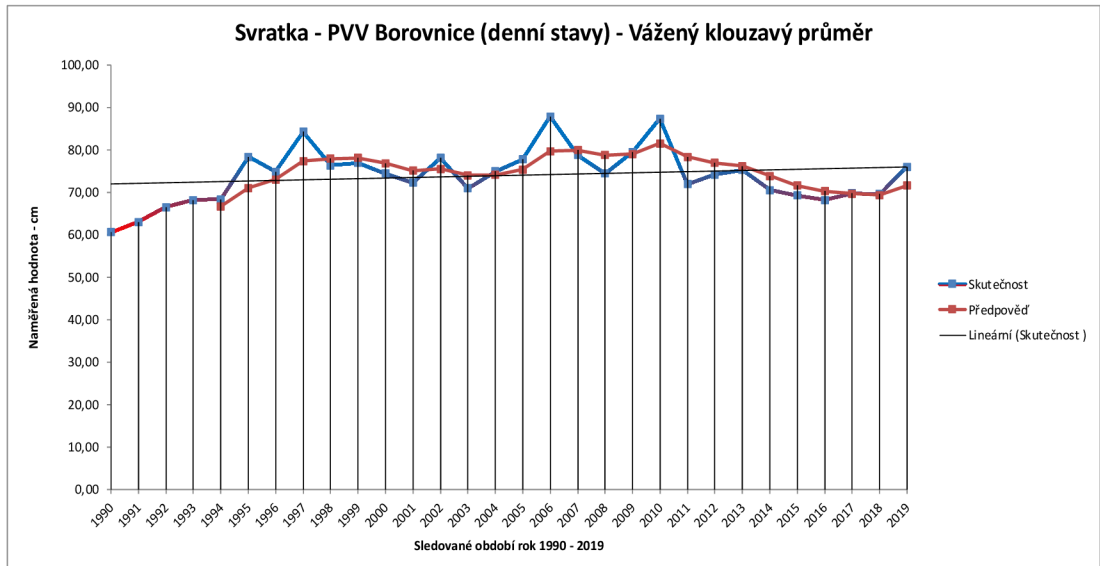
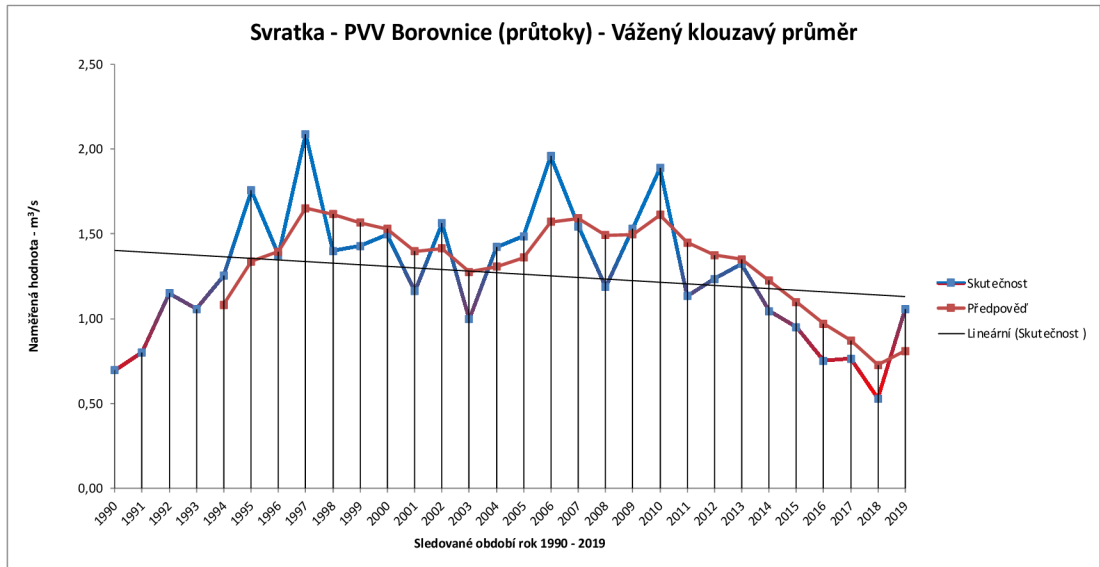
Kadov – průtoky, Kadov – denní stavy, Borovnice – průtoky, Borovnice – denní stavy, Jimramov – průtoky, Jimramov – denní stavy, Veverská Bítýška – průtoky, Veverská Bítýška – denní stavy, prameny PB0146, PB0147, PB0150, PB0298 a vrt VB0270.

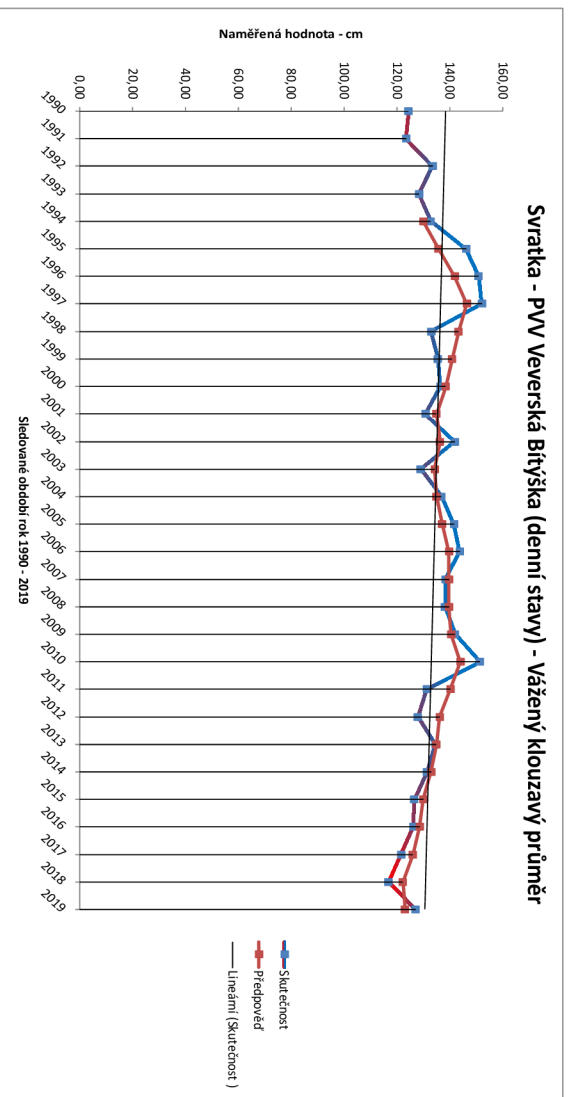
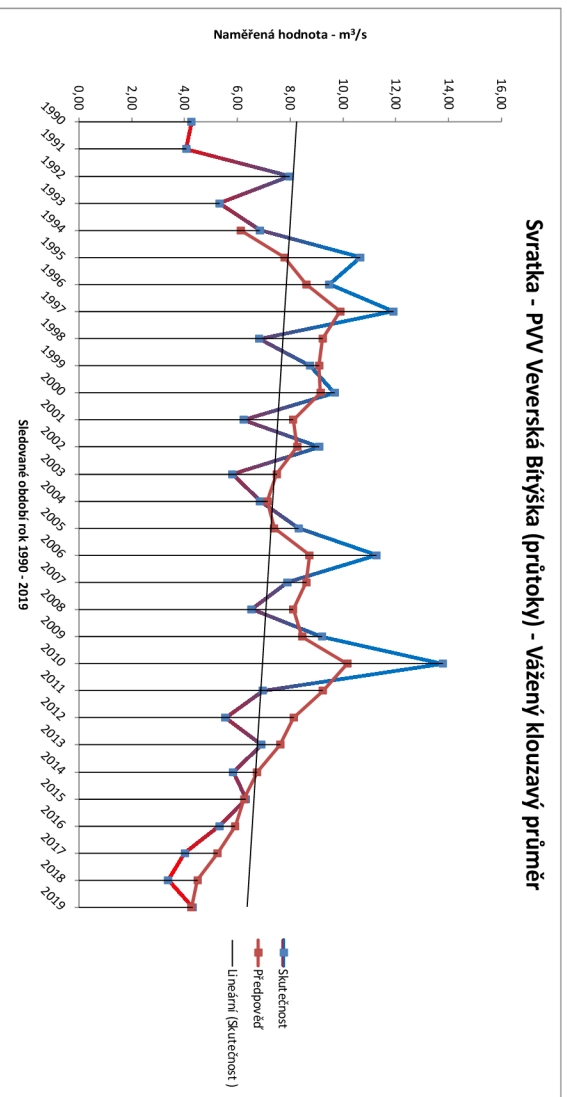
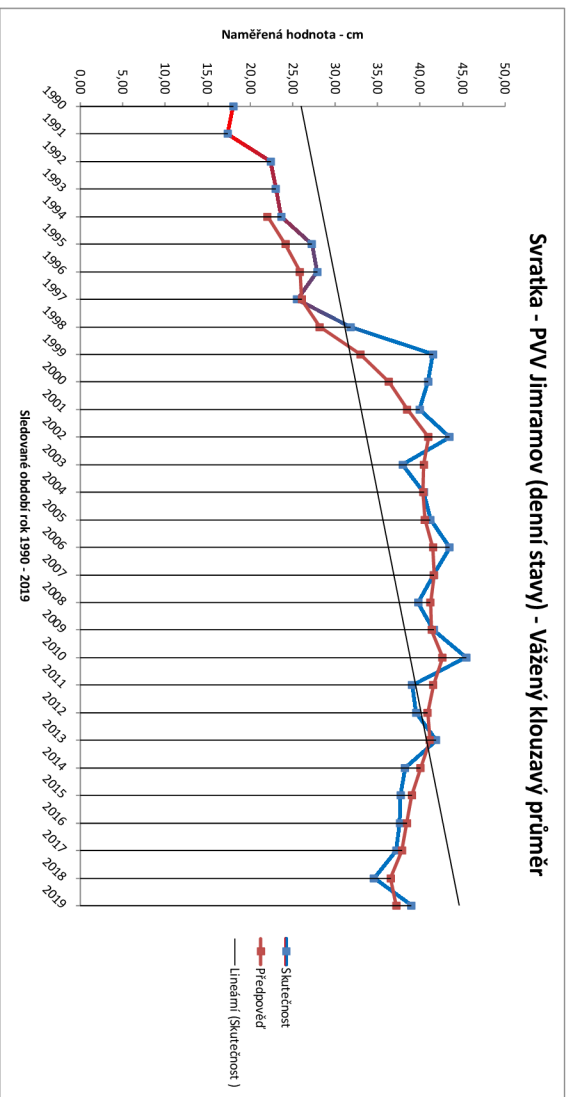


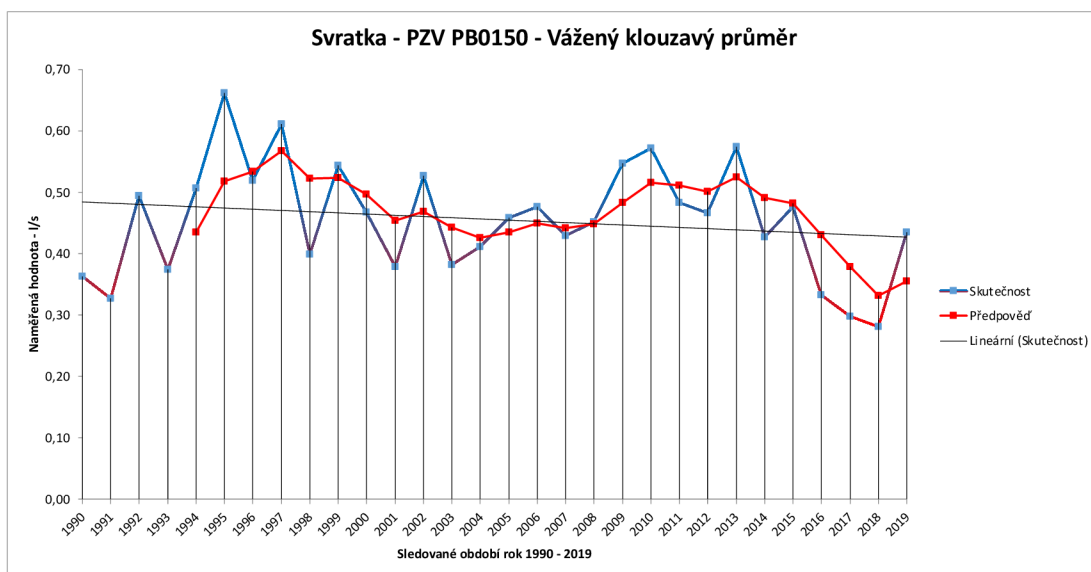
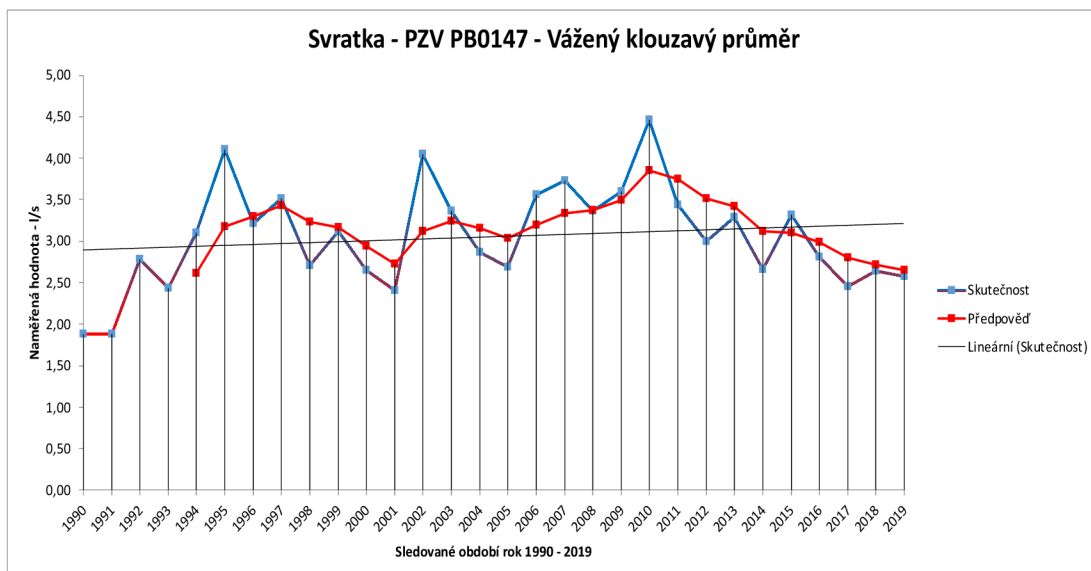
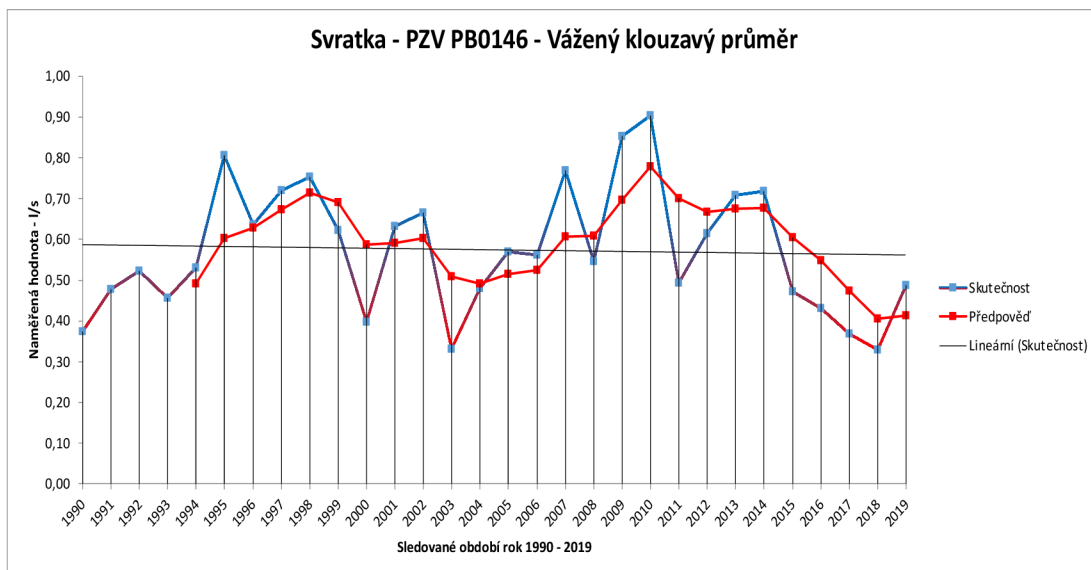


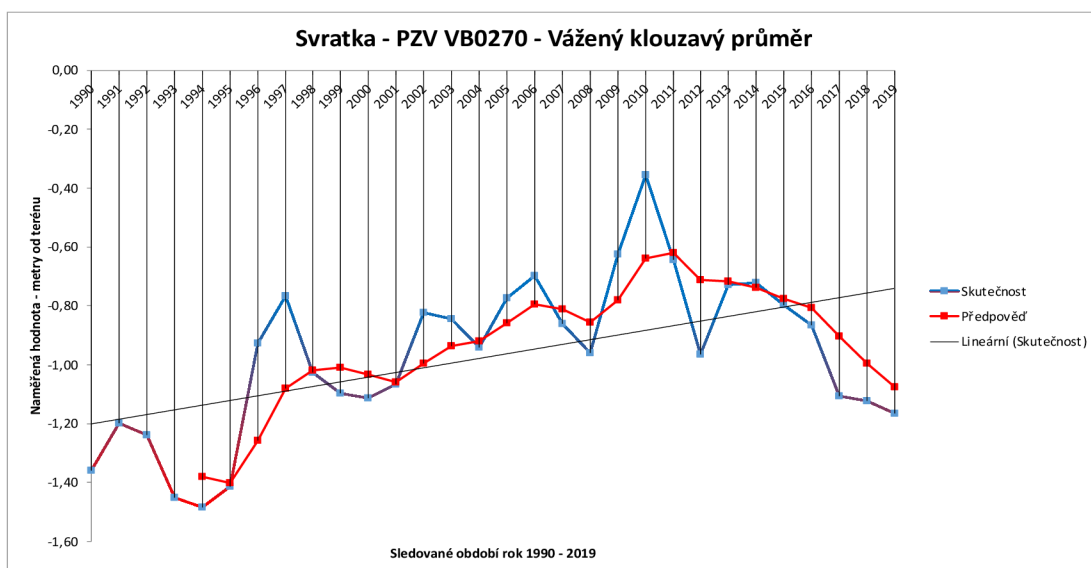
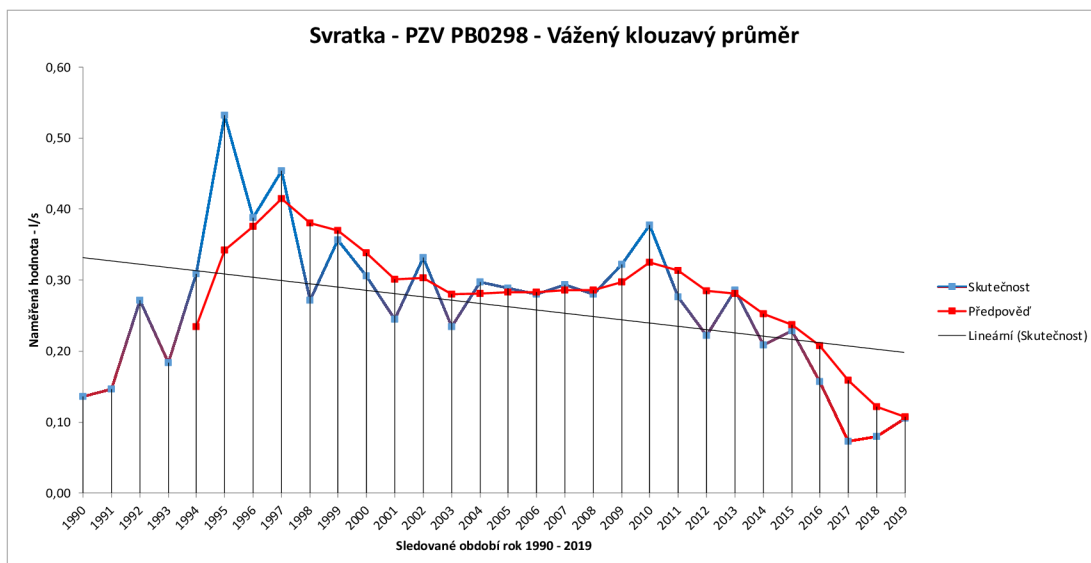












Korelační a regresivní analýza – Svratka

řeka Svratka		V. B. průtoky	V. B. denní stavy	srážky Jihom.kraj	teploty Jihom.kraj	Jimramov průtoky	Jimramov denní stavy	Baronovice průtoky	Baronovice denní stavy	Kadov průtoky	Kadov denní stavy	PB0146	PB0147	PB0150	PB0298	VB0270
V. B. denní stavy (cm)	0,93	1,00														
úhelní srážek (mm) Jihom.kraj	0,71	0,72	1,00													
teploty (°C) Jihomoravský kraj	-0,44	-0,52	-0,33	1,00												
Jimramov průtoky (m³/s)	0,91	0,90	0,63	-0,35	1,00											
Jimramov denní stavy (cm)	0,25	0,19	0,16	0,20	0,34	1,00										
Baronovice průtoky (m³/s)	0,92	0,91	0,66	-0,41	0,96	0,29	1,00									
Baronovice denní stavy (cm)	0,81	0,78	0,60	-0,25	0,87	0,58	0,88	1,00								
Kadov průtoky (m³/s)	0,85	0,85	0,54	-0,34	0,93	0,26	0,89	0,76	1,00							
Kadov denní stavy (cm)	0,58	0,57	0,29	-0,42	0,57	-0,19	0,60	0,35	0,56	1,00						
pramen PB0146 (l/s)	0,66	0,71	0,75	-0,37	0,66	0,24	0,71	0,66	0,54	0,41	1,00					
pramen PB0147 (l/s)	0,75	0,70	0,64	-0,10	0,77	0,46	0,69	0,73	0,74	0,30	0,62	1,00				
pramen PB0150 (l/s)	0,80	0,80	0,57	-0,34	0,82	0,13	0,78	0,61	0,76	0,58	0,69	0,73	1,00			
pramen PB0298 (l/s)	0,86	0,88	0,51	-0,48	0,85	0,08	0,84	0,62	0,80	0,75	0,68	0,71	0,88	1,00		
vrt VB0270 (m od terénu)	0,45	0,42	0,40	-0,10	0,40	0,69	0,39	0,59	0,31	-0,28	0,43	0,54	0,26	0,21	1	

	V. B. průtoky	p-hodnota
V. B. denní stavy (cm)	0,93	1,83042E-13
Baronovice průtoky (m³/s)	0,92	5,30731E-13
Jimramov průtoky (m³/s)	0,91	1,61812E-12
pramen PB0298 (l/s)	0,86	1,3274E-09
Kadov průtoky (m³/s)	0,85	3,43807E-09
Baronovice denní stavy (cm)	0,81	8,00304E-08
pramen PB0150 (l/s)	0,80	1,29316E-07
pramen PB0147 (l/s)	0,75	2,1634E-06
úhelní srážek (mm) Jihom.kraj	0,71	1,23262E-05
pramen PB0146 (l/s)	0,66	7,68403E-05
Kadov denní stavy (cm)	0,58	0,000748028
vrt VB0270 (m od terénu)	0,45	0,012728655
Jimramov denní stavy (cm)	0,25	0,176062272
teploty (°C) Jihomoravský kraj	-0,44	0,014779798

