

Univerzita Karlova

Přírodovědecká fakulta

Katedra fyzické geografie a geoekologie

studijní program: Geografie

studijní obor: Učitelství geografie pro střední školy – Učitelství biologie pro střední školy



Bc. Daniela Kebertová

**Analýza extrémních hydrologických jevů a trendy srážkoodtokových
dat v povodí Litavky**

Analysis of extreme hydrological phenomena and trends of rainfall-runoff data in
the Litavka basin

diplomová práce

vedoucí práce: RNDr. Miroslav Šobr, Ph.D.

Praha 2024

Zadání diplomové práce

Téma

Analýza extrémních hydrologických jevů a trendů srážkoodtokových dat v povodí Litavky

Cíle

Hlavním cílem předkládané diplomové práce je analýza hydrologických extrémů (hydrologického sucha a povodní) a trendů srážkoodtokových dat v povodí Litavky, poskytnutých ČHMÚ.

Rešeršní část

- hydrologická a fyzickogeografická charakteristika povodí Litavky
- hydrologické extrémy a možnosti jejich hodnocení

Praktická část

- analýza srážkoodtokových dat v povodí Litavky
- analýza trendů v datových řadách ČHMÚ
- hodnocení hydrologického sucha metodou prahových hodnot, nedostatkových objemů a indexů sucha

Poděkování

Ráda bych tímto poděkovala svému školiteli RNDr. Miroslavu Šobrovi, Ph.D. za neskutečně lidský a zároveň profesionální přístup k vedení diplomové práce, jelikož právě toto dopomohlo ke zdárnému odevzdání. Jmenovitou zmínku si zajisté zaslouží i Michal Hruška a Bc. Lucie Moulisová za jazykové korektury. Velký dík směřuje i k mé rodině.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem závěrečnou diplomovou práci zpracovala samostatně, a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání stejného ani jiného akademického titulu.

V Praze, 31. 7. 2024

Bc. Daniela KEBERTOVÁ

Abstrakt

Předložená diplomová práce se zabývá analýzou extrémních hydrologických jevů v povodí Litavky, která pramení ve středních Čechách jihozápadně od Prahy. Hydrologické extrémy jsou v posledních letech často zkoumaným tématem z důvodu jejich častějšího výskytu a zároveň intenzivnějšího průběhu. Kvůli dostupnosti různě dlouhých hydroklimatických datových řad bylo povodí rozděleno na dvě části, horní a dolní tok řeky. Pro horní tok byly k dispozici datové řady o délce 42 let, pro dolní tok byla k dispozici data mapující období o délce 25 let. Použitá data pocházela ze dvou klimatologických a čtyř limnigrafických stanic. Hlavním cílem této práce bylo vyhodnotit srážkoodtoková data pomocí testů homogenity a trendu. K testování homogenity bylo využito Pettitova, Buishandova a SNHT testu, pro vyhledání trendu v datových řadách byl použit Mann-Kendallův test. Výsledky statistických testů potvrdily vzestupný trend v datových řadách teplot vzduchu. Srážkové úhrny v povodí zůstávají dlouhodobě konstantní. Na limnigrafických stanicích Čenkov a Beroun odchází k vyrovnávání křivky odtokového režimu v průběhu roku – březnová maxima se zplošťují. Analýza sucha v zájmovém povodí proběhla pomocí metody nedostatkových objemů, metody prahové hodnoty a s využitím dvou indexů sucha – *LOWFLOW* a *BFI* (index základního odtoku). Jako mimořádně málo vodné roky byly na profilu Čenkov, Hořovice a Beroun vyhodnoceny roky 2020 a 2007. Na profilu Obecnice bylo jako významné vyhodnoceno období začátku 90. let 20. století. Vysoké průtoky byly hodnoceny s využitím prahových hodnot N-letých průtoků Q1, Q5 a Q10. Povodňově nejzatíženější byly profily Čenkov na horním toku a Beroun na dolním toku.

Klíčová slova

Litavka — hydrologické extrémy — hydrologické sucho — povodně — srážko-odtokový režim — změna klimatu

Abstract

This master thesis deals with analysis of extreme hydrological phenomena in the Litavka river basin, located in central Bohemia, southwest of Prague. Hydrological extremes have been a frequently researched topic in the recent years due to their more frequent occurrence and at the same time more intense course. Due to the availability of hydroclimatic data series of different lengths, the basin was divided into two parts, the upper and the lower part of the river. Data series of 42 years were available for the upper part, the monitored period of the lower part was 25 years long. The data used came from two climatological and four limnigraphic stations. The main goal of this work was to evaluate the rainfall-runoff regime using homogeneity and trend tests. The Pettit, Buishand and SNHT tests were used to test homogeneity, and the Mann-Kendall test was used to find trends in the data series. The results of the statistical tests confirmed a rising trend in the data series of air temperatures. Precipitation totals in the basin remain constant for a long time. At the limnigraphic stations Čenkov and Beroun, the runoff regime curve levels out over the course of the year – the March maxima flatten out. The drought analysis in the basin of interest was carried out using the method of insufficient volumes, the threshold value method and using two drought indices – *LOWFLOW* and *BFI* (base flow index). The years 2020 and 2007 were evaluated as exceptionally low in water on the Čenkov, Hořovice and Beroun profile. The period of the beginning of the 1990s was evaluated as the most significant for drought on the Obecnice profile. High flows were assessed using N-year flow thresholds Q1, Q5 and Q10. The profiles of Čenkov on the upper part of the basin and Beroun on the lower part of the basin were the most affected by flooding.

Keywords

the Litavka river — hydrological extremes — hydrological drought — floods — runoff — climate change

Obsah

1 Úvod	8
2 Použitá data	9
3 Použité metody	13
3.1 Metody pro zjišťování změn v datových řadách.....	13
3.1.1 Homogenita v datových řadách.....	13
3.1.2 Testování trendu v časových řadách	16
3.2 Vyhodnocení hydrologických extrémů	17
3.2.1 Metody nedostatkových objemů	17
3.2.2 Indexy sucha.....	18
3.2.3 Metoda prahové hodnoty nízkých a vysokých průtoků.....	18
4 Fyzickogeografická charakteristika povodí Litavky	20
4.1 Geologické poměry	21
4.2 Geomorfologické poměry	24
4.3 Pedogeografické poměry	29
4.4 Klimatické poměry.....	30
4.5 Hydrografické poměry	33
4.6 Biogeografické poměry	37
4.7 Ochrana přírody	41
4.8 Krajinný pokryv	42
5 Hydrologické extrémý	45
5.1 Sucho	50
5.1.1 Příčiny sucha	52
5.1.2 Druhy sucha.....	53
5.1.3 Dopady sucha	54
5.1.4 Hodnocení sucha.....	56
5.2 Povodně	60
5.2.1 Klasifikace povodní	61
5.2.2 Faktory vzniku povodní.....	63
5.2.3 Hodnocení povodňových vln	65
5.3 Možnosti zmírnění dopadů hydrologických extrémů	65
5.3.1 Zmírňování dopadů sucha.....	66
5.3.2 Zmírňování dopadů povodní.....	67
5.3.3 Integrovaný pohled na zadržování vody v krajině.....	68
6 Výsledky	70
6.1 Testy homogenity.....	71
6.1.1 Data měsíčních, sezónních a ročních průtoků	71
6.1.2 Data měsíčních, sezónních a ročních srážkových úhrnů	72
6.1.3 Data měsíčních, sezónních a ročních teplot vzduchu	73
6.1.4 Data měsíčních, sezónních a ročních sum výšky sněhové pokrývky.....	74
6.1.5 Data ukazatelů sucha	75
6.2 Trendy v datových řadách	76
6.2.1 Data průtoků	76
6.2.2 Data srážkových úhrnů	78
6.2.3 Data teploty vzduchu	78
6.2.4 Data výšky sněhové pokrývky	79
6.2.5 Data ukazatelů sucha	80
6.3 Odtokový režim.....	80
6.3.1 Průměrné denní průtoky.....	81
6.3.2 Průměrné měsíční průtoky	84
6.3.3 Průměrné roční průtoky	86
6.4 Srážkové, teplotní a sněhové poměry	88
6.4.1 Srážky	88

6.4.2 Teploty vzduchu	92
6.4.3 Sněhové poměry	94
6.5 Extrémní hydrologické jevy	95
6.5.1 Nízké průtoky	95
6.5.2 Vysoké průtoky.....	102
7 Diskuze.....	107
7.1 Kvalita dostupných dat a zvolené metody	107
7.2 Výsledky v kontextu dalších studií.....	109
8 Závěr	110
9 Zdroje.....	111
9.1 Datové zdroje	111
9.2 Litaratura.....	111
Seznam obrázků	126
seznam tabulek	129

1 ÚVOD

Po nedávných intenzivních epizodách sucha v letech 2015–2023 a ničivých povodní z let 1997, 2002 a 2013 si česká společnost začala připomínat významnost obou hydrologických extrémů. Těmto tématům tak začala být věnována větší pozornost i ve vědecké sféře. Tyto přírodní jevy mají potenciál antropogenní činností velmi významným způsobem, a je proto nasnadě jim porozumět. V souvislosti s jejich častějším výskytem se opět začaly objevovat výzkumy, které pojednávají o jednom či druhém hydrologickém extrému. V současné době je však jen málo takových, které nabízejí komplexní pohled na obě části spektra extrémních hydrologických jevů. Je však nutno si připomenout, že sucha i povodně jsou součástí toho stejného hydrologického cyklu probíhajícího na planetě Zemi, a proto by se měl brát zřetel na to, jestli se navzájem sucha a povodně mohou ovlivňovat či se dokonce podmiňovat.

Tato práce si dává za cíl prostudovat povodí Litavky z fyzickogeografického hlediska a v rešeršní části prezentovat stav současného vědění týkající se extrémních hydrologických jevů a jejich hodnocení. Při analýze srážkoodtokových dat se zabývá otázkou, zda či v jaké míře působí na povodí klimatická změna.

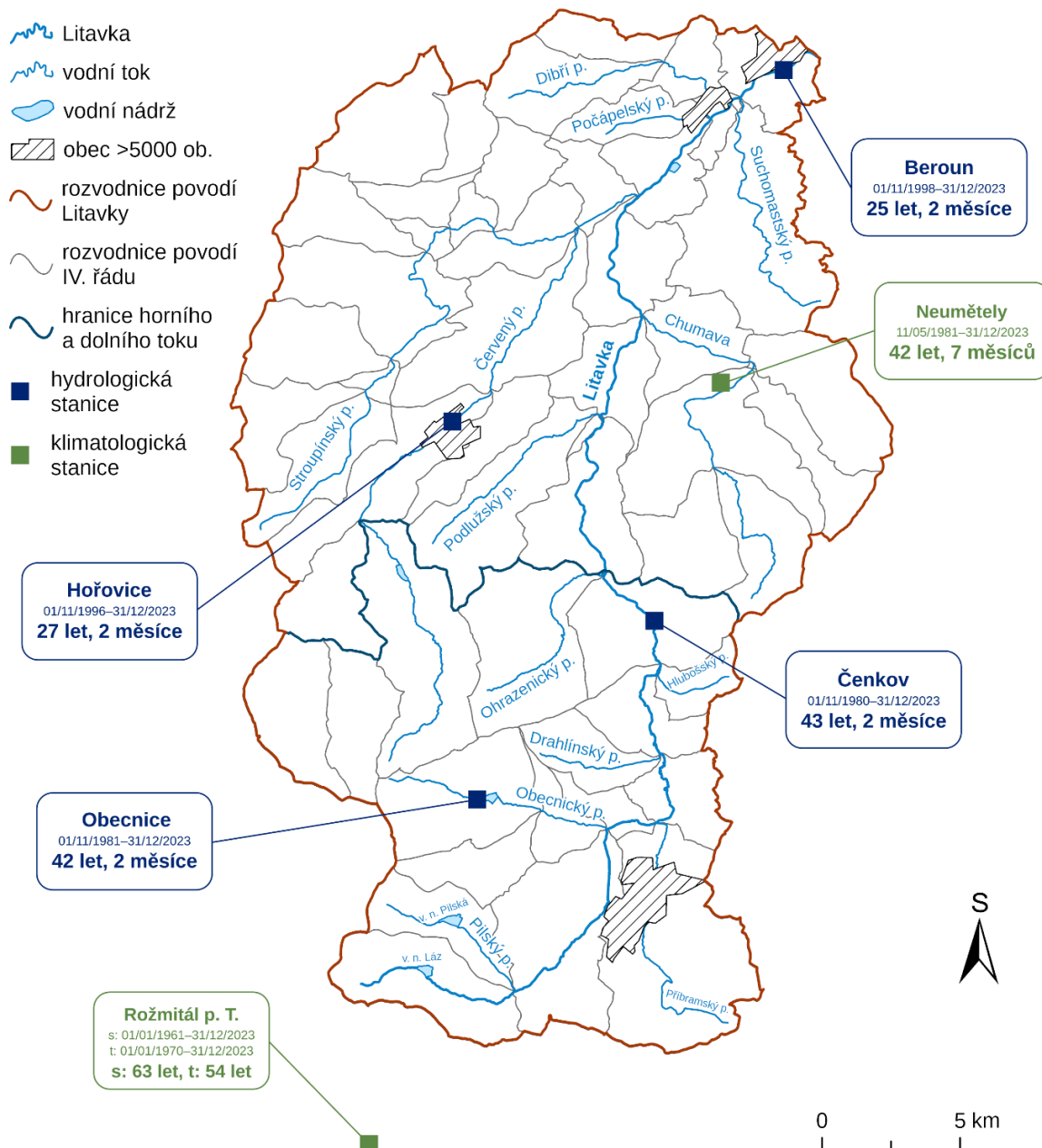
Hlavním předmětem však je hodnocení srážkoodtokových dat z hlediska homogenity a trendů. Dále se práce věnuje vyhodnocení hydrologického sucha pomocí metod prahové hodnoty, metody nedostatkových objemů a indexů sucha. Poslední dvě části práce jsou věnovány diskuzi a závěru.

2 POUŽITÁ DATA

Pro fyzickogeografickou část této diplomové práce byly použity datasey Agentury ochrany přírody a krajiny České republiky (dále jen AOPK ČR), ArcČR 500 v3.2, DIBAVOD a geologická a půdní mapa České geologické služby 1 : 50 000. Pro tvorbu map krajinného pokryvu byla využita data CORINE Land Cover 1990 a 2018. Všechny mapy byly zpracovány v programu ArcGIS Pro (verze 3.1.2). Klimadiagramy pro stanice Neumětely a Příbram byly vytvořeny z volně dostupných dat ČHMÚ o průměrných měsíčních teplotách a srážkových úhrnech v programu Microsoft Excel. Pro hlavní část práce byla využita data ze stanic Českého hydrometeorologického ústavu (dále jen ČHMÚ), která jsou veřejně přístupná podle Zákona č. 123/1998 Sb. o právu na informace o životním prostředí. Jednalo se o průměrné denní průtoků, průměrné denní srážkové úhrny, průměrné denní teploty a denní kumulativní výšku sněhové pokrývky. V době zpracovávání výsledků diplomové práce nebyly hydrologické datasey aktualizovány o data pro rok 2023, nicméně ČHMÚ vyhověl žádosti o jejich přednostní zpřístupnění pro účely této práce.

V povodí se nachází četné množství meteorologických i limnigrafických stanic, avšak s poměrně heterogenním rozpětím doby měření. Jednotný časový úsek pro všechny stanice není možné vytvořit, aniž by došlo ke ztrátě dat. Aby bylo zamezeno zkracování v rámci sjednocování časové řady, bylo povodí rozděleno na horní a dolní tok. Vedení hranice je vizualizováno na obrázku 1, který zároveň zobrazuje i využití měřicí stanice – limnigrafické profily jsou znázorněny tmavě modře, klimatologické stanice zeleně.

Pro horní tok byla zvolena datová řada hydroklimatických dat o délce 42 let (vztaženo na hydrologické roky), a to od 1. listopadu 1981 do 31. října 2023 (tj. hydrologický rok 1982–2023). Datové řady ze stanic na dolním toku Litavky byly o zhruba 15–17 let kratší než datové řady ze stanic na horním toku Litavky. Data pro dolní tok tedy byla posléze sjednocena na časovou řadu o délce 25 let (tedy od 1. listopadu 1998 do 31. října 2023, hydrologické roky 1999–2023). Z pěti limnigrafických stanic v povodí byly vybrány čtyři, přičemž z výběru byla vyloučena stanice Hředle, a to z důvodu pětileté mezery v dostupných datech, a současném dostatku dat z ostatních profilů. Hydrologická data tak pocházejí ze stanic Obecnice, Čenkov, Hořovice a Beroun. Data o úhrnech srážek a teplotách vzduchu byla získána z klimatologických stanic Neumětely (pro dolní tok), a dále ze stanice Rožmitál pod Třemšínem (pro horní tok), která se však nenachází přímo v povodí Litavky. Tato stanice byla vybrána z důvodu nedostatečně dlouhé časové řady z klimatologické stanice Příbram nacházející se přímo v povodí. Příbramská stanice byla uvedena do provozu až v roce 2005 a její využití by vzhledem k délce časových řad z ostatních stanic v oblasti horního toku nebylo vhodné. Srážkoodtoková data horního toku tedy pochází z limnigrafických stanic Obecnice a Čenkov, a z klimatologické stanice Rožmitál pod Třemšínem. Pro oblast dolního toku Litavky bylo využito dat z limnigrafických stanic Hořovice a Beroun, a z klimatologické stanice Neumětely. Délky celé doby měření a údaje



Obr. 1: Umístění hydrologických a klimatologických stanic zájmového území povodí Litavky (zdroj dat: ArcČR 500, DIBAVOD, ČHMÚ).

o poloze nadmořské výšce stanic jsou uvedeny v tabulce 1 a detailnější informace o těchto stanicích jsou zároveň uvedeny níže v textu.

Profil Obecnice (obrázek 2) se nachází na 3,8. říčním kilometru Obecnického potoka v nadmořské výšce 571 m n. m., a to zhruba 300 m západně od vodní nádrže Obecnice. Plocha povodí k této hydrologické stanici se rovná 9,36 km². Data jsou pro tuto stanici kompletní a spojitá od 1. listopadu 1981 do 31. prosince 2023. **Profil Čenkov** se nachází na 29. říčním kilometru řeky Litavky. Plocha povodí v tomto místě činí 158,19 km² a limnigrafická stanice leží v 389 m n. m. Tato datová řada je vůbec nejdelší ze všech hydrologických datových řad, konkrétně se jedná o dobu měření o délce 43 let

a 2 měsíců, a data z ní jsou spojitá a kompletní. Pro účely této práce byla tato řada zkrácena o 1 rok, aby byly výsledky analýzy srovnatelné se stanicí Obecnice.

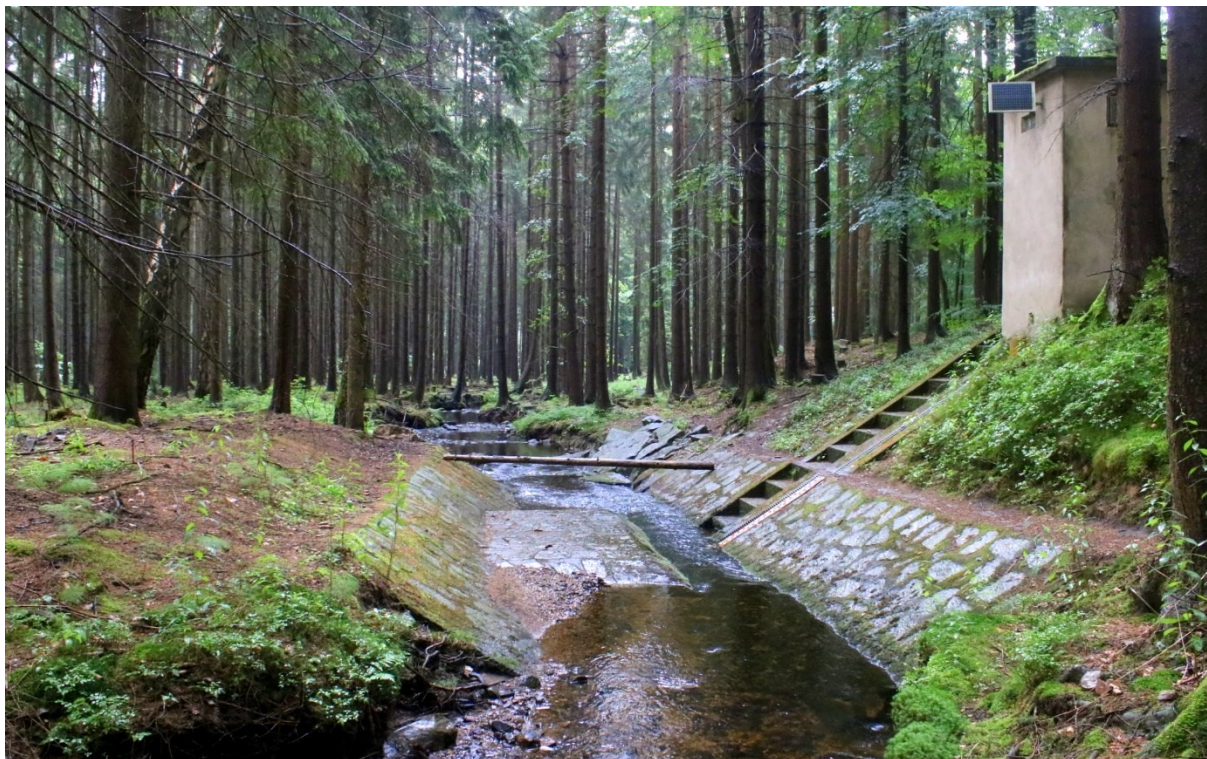
Údaje srážkoodtokových poměrů pro horní tok Litavky doplňují data z **klimatologické stanice Rožmitál pod Třemšínem**. Jak již bylo uvedeno, tato stanice neleží přímo v povodí, ale nachází se 4,9 km od jeho hranic. Poskytuje nicméně kompletní a spojitá data o denních úhrnech srážek o délce 63 let a data o průměrných denních teplotách o délce 54 let, přičemž pro účely této práce byla datová řada úhrnu srážek i průměrných denních teplot vzduchu zkrácena na 42 let. Co se měření úhrnu srážek týče, ve stanici byl v rámci doby měření dvakrát vyměněn měřicí přístroj, a to v roce 2007 a 2011. V současné době je úhrn srážek měřen váhovým srážkoměrem. Přístroj je umístěn ve výšce 1 m nad zemí. V roce 2011 došlo i k výměně přístroje měřícího teplotu vzduchu, v současné době je měřena teplotním čidlem.

Tab. 1: Měřicí stanice využité v této práci (zdroj dat: ČHMÚ).

	název stanice	typ stanice	souřadnice	nadm. výška [m n. m.]	dostupnost dat	celková délka řady	použitá data
h o r n í t o k	Obecnice	limnigrafická	13°55'5"E 49°43'3"N	571	01/11/1981– 31/12/2023	42 let, 2 měsíce	01/11/1981– 31/10/2023 42 let
	Čerkov	limnigrafická	14°0'21"E 49°46'35"N	391	01/11/1980– 31/12/2023	43 let, 2 měsíce	
	Rožmitál pod Třemšínem	klimatologická	13°51'59"E 49°36'18"N	534	srážky: 01/01/1961– 31/12/2023 teplota vzduchu: 01/01/1970– 31/12/2023	srážky: 63 let teplota: 54 let sníh: 63 let	
d o l n í t o k	Hořovice	limnigrafická	13°54'10"E 49°50'25"N	333	01/11/1996– 31/12/2023	27 let, 2 měsíce	01/11/1998– 31/10/2023 25 let
	Beroun	limnigrafická	14°4'2"E 49°57'22"N	218	01/11/1998– 31/12/2023	25 let, 2 měsíce	
	Neumětely	klimatologická	14°2'15"E 49°51'15"N	322	11/06/1981– 31/12/2023; sníh: 12/05/1981– 31/12/2023	srážky, teplota: 42 let, 6 měsíců, 21 dní; sníh: 42 let, 7 měsíců, 3 týdny	

Stejně jako tomu bylo u výše zmíněných stanic, i datová řada z limnigrafického **profilu Hořovice** je kompletní, a to od 1. listopadu 1996 do 31. prosince 2023, její délka tedy činí 27 let a 2 měsíce, pro účely této práce byla zkrácena na délku 25 let, aby odpovídala délce datové řady z profilu Beroun. Tato limnigrafická stanice se nachází na Červeném potoce, přičemž plocha jeho povodí k této stanici dosahuje velikosti 71,06 km². **Profil Beroun** je situován téměř u samého ústí Litavky do Berounky, je mu vzdálen pouhých 1,1 km. Data pro tento profil jsou kompletní a spojitá od 1. listopadu 1998 do 31. prosince 2023. K tomuto profilu plocha povodí Litavky dosahuje 625,49 km².

Klimatologická stanice Neumětely leží v 322 m n. m. na soukromém pozemku v severovýchodní části stejnojmenné obce. Jedná se o automatizovanou klimatologickou stanici I. typu. 26. srpna 2004 byl v této stanici vyměněn srážkoměr za srážkoměr váhový, který zůstává měřicím přístrojem k dnešnímu datu. Denní srážková data jsou kompletní od 11. června 1981 do 31. prosince 2023, to samé platí i pro data průměrných denních teplot vzduchu.



Obr. 2: Limnigrafická stanice Obecnice (zdroj: vlastní fotografie).

3 POUŽITÉ METODY

Následující kapitola pojednává o metodách použitých v této diplomové práci. První podkapitola je věnována metodám využitým při prvotním zpracování dat, tedy ověřování homogenity datových řad a následnému vyhledávání trendů. Posléze se kapitola zabývá metodami vyhodnocení sucha a nadprůměrných průtoků.

Data byla zpracována v tabulkovém procesoru Microsoft Excel (dále jen „Excel“), který byl rozšířen o doplněk XLSTAT určený pro datové analýzy. Jelikož jsou klimatická i hydrologická data poskytována ve formátu, který odděluje desetinná místa tečkou (oproti běžně v Česku používané čárce), bylo nutné při jejich prvním otevření oddělovač desetinných míst pro správné zobrazení dat nejprve systémově přenastavit. Pro získání měsíčních, sezónních a ročních datových řad o srážkových úhrnech, teplotách vzduchu a výšce sněhové pokrývky byla denní data ze stanic sčítána a průměrována pomocí kontingenční tabulky.

3.1 Metody pro zjišťování změn v datových řadách

Obecně lze říci, že pro hydroklimatologické analýzy se nejčastěji využívají datové řady průměrných měsíčních, sezónních a ročních průtoků a jim odpovídající data o úhrnu srážek a teplotách vzduchu. Před samotnou analýzou je však nutné zjistit, zdali měření probíhalo za jednotných podmínek a jestli nedošlo k ovlivnění naměřených hodnot externími faktory, které by mohlo vést k nesprávným závěrům. Pro testování a vyhledávání změn v hydrologických a klimatologických datových řadách existuje řada přístupů. Výčet těch zásadních představuje např. práce Aguilar a kol. (2003) nebo Kundzewicz, Robson (2004), vybrané z nich použité v této práci jsou popsány dále v textu.

3.1.1 Homogenita v datových řadách

Dlouhodobě zaznamenávané datové řady mají zásadní využití v hydroklimatologických analýzách. Takové řady, v nichž jsou změny způsobeny pouze vlivem klimatu, tedy přírodními faktory, jsou označovány jako řady homogenní (Aguilar a kol. 2003). Čím delší tyto řady jsou, tím přesněji mohou vystihnout sledovaný jev. Nicméně s rostoucí délkou datových řad se zvyšuje i pravděpodobnost ovlivnění měření neklimatickými faktory, které mohou způsobovat tzv. nehomogenity v jejich průběhu. Jedná se o taková místa v datové řadě, ve kterých z nějakého důvodu došlo ke změně jejího průběhu. Jinými slovy tedy jde o bod změny, kdy data zaznamenaná před tímto bodem mají vlivem změněných podmínek jinou distribuci než data zaznamenaná po tomto bodě (Beaulieu a kol. 2009). Pokud dané nehomogenity nejsou řádně zohledněny, mohou výsledky analýz vést ke špatným interpretacím dat a znehodnotit dlouhodobá měření (Peterson a kol. 1998). Na homogenitu datových řad může mít vliv např. přemístění měřicí stanice, výměna jejích přístrojů nebo úprava předpisů pro zaznamenávání a zpracování dat (Brázdil 2002). Pro zvýšení relevance výsledků tak u časových řad dochází k testování

homogenity. Detekce, a v určitých případech i odstranění nehomogenit, jsou podstatným krokem pro provedení datových analýz, jelikož umožní odlišit ty změny v měření, které jsou nepřírodního původu.

Homogenita dat se rozděluje na absolutní a relativní. K testování absolutní homogenity se využívá pouze jediné časové řady nezávislé na jiných. Pro testy relativní homogenity je potřeba dvou časových řad, přičemž jedna (pocházející nejčastěji ze sousední, tzv. referenční stanice) musí být s jistotou homogenní (Costa, Soares 2009). Hlavním zdrojem informací o možných nehomogenitách v časových řadách jsou v prvé řadě metadata (data o datech), neboli přídatné informace o samotných měřicích stanicích či měřicích nástrojích, výpadcích v měření nebo výměně měřicích nástrojů (Peterson a kol. 1998). V datových souborech poskytnutých ČHMÚ jsou metadata (obrázek 3) vždy uvedena ve standardním formátu pro každou měřicí stanici. Dále je pro určení homogenity možné využít různých metod, grafických nebo statistických.

Column1	Column2	Column3	Column4	Column5	Column6	Column7	Column8	Column9	Column10
METADATA									
DBC	STAN	TOK	POB	CHP	A	UTM_X	UTM_Y	PCR	SOUV
195900	Obecnice	Obecnicky potok PR		1-11-04-0040-1-00 9.36		422005.12	5507791.31	1981/11	A
DBC...databázové číslo									
STAN...název vodoměrné stanice (profilu)									
TOK...název toku									
POB...pobočka ČHMÚ spravující stanici									
CHP...číslo hydrologického pořadí									
A...plocha povodí ke stanici v km ²									
UTM_X...x-ová souřadnice polohy stanice v systému WGS 1984 UTM Zone 3:									
UTM_Y...y-ová souřadnice polohy stanice v systému WGS 1984 UTM Zone 3:									
PCR...počátek časové řady (rok/měsíc)									
SOUV...souvislá (nepřerušená) řada v databázi ano (A) / ne (N)									
DATOVÝ SOUBOR									
Jednotlivé sloupce postupně obsahují:									
S1...databázové číslo									
S2...označení typu dat									
S3...rok									
S4...měsíc									
S5...den									
S6...průměrný denní průtok (m ³ ·s ⁻¹)									

Obr. 3: Metadata z limnigrafické stanice Obecnice (zdroj: ČHMÚ).

Navzdory užitečnosti grafických metod pro vizualizaci změn v průběhu datové řady, jako jsou jednoduchá a podvojná součtová čára, obvykle díky nim není možné rozeznat přirozené změny v průběhu měření od čistě náhodných odchylek, a je proto nutné otestovat významnost těchto odchylek pomocí **statistických testů** (Buishand 1982), kterým bude věnována následující část textu. Všechny vzorce pro zjištění homogenity uvedené níže a jejich podoba byly převzaty z Wijngaard, Klein Tank, Können (2003). Pro vzorce platí, že:

- Y_i (kde i značí roky od 1 do n) je testovaná řada let,
- Y je průměr,
- s je standardní odchylka.

Pro účely této práce byl pro statistické otestování homogenity dat jako první vybrán neparametrický **Pettitův test** (Pettitt 1979), který je označován též jako Mann-Whitney-Pettitův test. Neparametrické testy jsou charakteristické tím, že u nich nelze předpokládat normální rozdělení dat. Někdy se též označují i jako „pořadové testy“. I Pettitův test pracuje s pořadím členů datové řady, zároveň ale také posuzuje střední hodnoty datových údajů a hledá mezi nimi významnou změnu. Díky tomuto testu je

možné určit homogenitu i pravděpodobný bod změny (měsíc či rok), přičemž vykazuje citlivost na odhalení změn zejména ve střední části časové řady (Wijngaard, Klein Tank, Können 2003).

Pettitův test spočívá ve vyhledání maximální hodnoty testovací charakteristiky (X_E), což je zároveň pravděpodobný bod změny. K výpočtu pravděpodobného bodu změny X_E je použito pořadí r_i řady roků $Y_1 \dots Y_n$. Prvním krokem je výpočet statistiky X_k podle následujícího vzorce (1):

$$X_k = 2 \sum_{i=1}^k r_i - k(n+1) \quad k = 1, \dots, n \quad (1)$$

kde r_i je pořadí měření i a hodnoty $Y_1 \dots Y_n$ jsou seřazeny vzestupně. Dalším krokem je definování bodu změny (vzorec (2)):

$$X_E = \max_{1 \leq k \leq n} |X_k| \quad (2)$$

když X_k dosáhne maximální hodnoty X_E v řadě, bod změny je přítomen.

Pettitův test pracuje s nulovou hypotézou H_0 , která předpokládá neexistenci bodu změny, při pravděpodobnosti překročení p . Pakliže p -hodnota Pettitova testu vyjde menší, než je hladina významnosti α (běžně se udává 0,05 %), nulová hypotéza je zamítnuta a předpokládá se, že platí alternativní hypotéza H_a , v datové řadě se bod změny vyskytuje a řada je tedy rozdělena na dvě části.

Vzhledem k vlastnostem Pettitova testu byl pro ověření jeho výsledků v práci dále využit i parametrický **Buishandův test**. Byl vytvořen na začátku 80. let a testován na datech o ročních srážkových úhrnech v Nizozemsku z let 1951–1980 (Buishand 1982). Buishandův test funguje na podobném principu jako test Pettitův, testuje změny v kumulativních odchylkách datové řady a též umožňuje zjištění pravděpodobného bodu změny. Je citlivý na určení bodu zlomu uprostřed datové řady. Na rozdíl od Pettitova testu se však jedná o parametrický test, tedy takový, u kterého lze předpokládat normální rozdělení dat – v rámci nulové hypotézy tvrdí, že hodnoty testované veličiny jsou na sobě nezávislé a normálně distribuované. Pokud dojde k potvrzení alternativní hypotézy H_a , je v datové řadě přítomen bod změny (Wijngaard, Klein Tank, Können 2003). Buishandův test je definován jako (vzorec (3)):

$$S_0^* = 0 \text{ a } S_k^* = \sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y}) \quad k = 1, \dots, n \quad (3)$$

Pokud je řada homogenní, hodnoty S_k^* se budou pohybovat kolem nuly, protože se neobjeví žádné systematické odchylky hodnot Y_i vzhledem k jejich průměru. Význam testovací statistiky lze vypočítat z následujícího vzorce (4) udávajícího rozdíl mezi maximem a minimem hodnot S_k^* vydělených standardní odchylkou s :

$$R = \frac{\max_{0 \leq k \leq n} (S_k) - \min_{0 \leq k \leq n} (S_k)}{s} \quad (4)$$

Pro doplnění Pettitova a Buishandova testu byl zvolen třetí statistický test, a to široce využívaný **SNHT test** (Standard Normal Homogeneity Test) vytvořený Alexanderssonem (1986). Byl vybrán zejména proto, že lépe identifikuje změny v odlehlých částech řady, tedy na začátku a na konci časové řady (Ducré-Robitaille, Vincent, Boulet 2003; Wijngaard, Klein Tank, Können 2003), a protože je spolehlivý jak pro vyhodnocení homogenity v časových řadách údajů o srážkových úhrnech (Beaulieu a kol. 2008), tak i o teplotách vzduchu, neboť je účelný i pro data zesponu neohraničená nulou. Stejně jako Buishandův test je testem parametrickým a identifikuje v řadě jediný bod změny. Costa, Soares (2009) uvádí, že parametrické testy jsou obecně spolehlivější a výkonnější než testy neparametrické. Důvodem je fakt, že k určení významnosti vyžadují méně informací. I proto byl pro hodnocení homogenity zvolen kromě Buishandova testu i SNHT. Od doby vytvoření však vznikly i další varianty, díky nimž je možné určit více bodů zlomu (Peterson a kol. 1998). Vzorec testu (5) je následující:

$$T(k) = k\bar{z}_1^2 + (n - k)\bar{z}_2^2 \quad k = 1, \dots, n \quad (5)$$

kde je popisována statistika maxima $T(k)$ pro porovnání průměru dat prvních k let s posledním článkem z $n - k$ let, kde (vzorec 6):

$$\bar{z}_1 = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y}) / s \quad \text{a} \quad \bar{z}_2 = \frac{1}{n - k} \sum_{i=k+1}^n (Y_i - \bar{Y}) / s \quad (6)$$

kde \bar{z}_1 je průměr řady od začátku datové řady do k , a \bar{z}_2 je průměr datové řady od k do n . Testovací statistika T_0 (výsledná hodnota) je definována (7) jako:

$$T_0 = \max_{1 \leq k < n} T(k) \quad (7)$$

Kombinace statistických testů byla zvolena z důvodu dobré kompatibility a vzájemného doplnění vlastností. Výběr by měl pokrýt potenciální normální i nenormální rozdělení dat, bod zlomu ve prostředech i na koncích datových řad a brát v potaz i data zesponu neohraničená nulou.

3.1.2 Testování trendu v časových řadách

Po otestování homogenity je posléze možné v datových řadách určit i trend vývoje. Jako jedna z metod k testování přítomnosti trendů v datových řadách slouží neparametrický Mann-Kendallův test, jehož je využíváno v hydrologické a klimatologické literatuře velmi hojně (Kahya, Kalaycı 2004). Stejně jako testy homogenity, i Mann-Kendallův test byl proveden v doplňku Microsoft Excel – XLSTATu.

Nulová hypotéza H_0 Mann-Kendalova testu tvrdí, že v datové řadě není trend přítomen. U tohoto testu se sledují dva parametry, které jsou významné pro určení trendu. Prvním z nich je p -hodnota, která vypovídá o síle testu. Čím blíže je p -hodnota nule, tím vzrůstá významnost testu. Pokud

p -hodnota při testování vyjde vyšší, než je hladina významnosti testu α (pro testování zvolena o hodnotě 0,05 %), nulová hypotéza H_0 nelze zamítnout, z čehož plyne, že trend není přítomen. Jinými slovy trend je přítomen v případě, že je p -hodnota menší než 0,05. Druhým významným parametrem je *odhad velikosti směrnice*, který určuje směr a velikost trendu (MK-S). Kladná hodnota MK-S označuje vzestupný trend, negativní hodnota indikuje trend klesající. Čím vyšší tato hodnota je, tím významnějším trend je. Fiala (2012) ve své práci označuje řadou s hodnotou MK-S nad $\pm 1,5$ jako „významné trendy“.

Mann-Kendallův test dokáže odhalit trendy ve velmi dlouhých řadách a je vhodný i pro práci s nestejně dlouhými datovými řadami. Je definován následujícím vzorcem (8):

$$T_j = \sum_{k < j} \text{sgn}(Z_{lj} - Z_{kj}) \quad (8)$$

Na délku datových řad pro testování trendů se mimo jiné ve své práci zaměřil Vlach (2019), aby ověřil hypotézu, která říká, že délka datové řady má vliv na výsledky analýz trendů. V této práci byly analyzovány průměrné průtoky z limnigrafických stanic na řece Svatavě a na Načetínském potoce v Krušných horách, řady minimálních průtoků Q_{\min} a řady nedostatkových objemů Q_{355m} a Q_{355s} . Na základě výsledků práce byla hypotéza zhodnocena jako opodstatněná, přičemž rozdíly v datové řadě v řádu jednotek let nezpůsobily v trendech výrazné rozdíly, nicméně prodloužení datových řad o desítky let již mělo na výsledky signifikantní vliv. Autor dále uvádí, že po zkrácení datových řad je nutné zacházet s výsledky s určitou mírou nejistoty, jelikož vlivem zkrácení mohou být eliminovány významné události. Zároveň ale upozorňuje na fakt, že v rámci porovnávání trendů na jednotlivých stanicích je zkrácení datových řad důležitou součástí analýz. Mann-Kendallův test využili kromě (Vlacha (2019) např. Burn, Cunderlik, Pietroniro (2004) při studii trendů dat kanadského povodí řeky Liard, dále Kliment, Matoušková (2009), Langhammer, Su, Bernsteinová (2015) či Blahušiaková a Matoušková (2015).

3.2 Vyhodnocení hydrologických extrémů

K vyhodnocení hydrologických extrémů byly použity čtyři různé metody. Jsou jimi metoda nedostatkových objemů, hodnocení pomocí BFI indexu, LOWFLOW indexu a metodou prahové hodnoty.

3.2.1 Metody nedostatkových objemů

Pro hodnocení suchých období byla využita metoda nedostatkových objemů, které lze vypočítat dle následujícího vzorce (9):

$$NO = \sum_{i=1}^t (LQ - Q_i) \cdot 24 \cdot 3600 \quad (9)$$

kde NO značí nedostatkový objem, t je počet dnů, kdy průtok nepřekročí QL (byl zvolen Q_{355d}), Q_i je průtok v $m^3 \cdot s^{-1}$ i -tého dne období s průtokem nižším průtokem limitnímu. Nedostatkový objem se udává v m^3 (Tremel 2011). Blíže je tato metoda popsána v kapitole 5.1.4.

3.2.2 Indexy sucha

Pomocí BFI neboli indexu bazálního odtoku (*Base Flow Index*) lze zjistit, v jaké šíři se základní odtok podílí na odtoku celkovém. Longobardi, Villani (2008) označují BFI za jeden z nejdůležitějších indexů sucha vůbec a předkládají studie dokazující vztah BFI s různými klimatickými a topografickými parametry. Vypočítá se vydělením hodnoty sedmidenního minimálního průtoku průměrným denním průtokem za daný rok (Blahušiaková, Matoušková 2016). Sedmidenní minimální průtok bylo vypočítáno v softwaru IHA v7.1.

LOWFLOW index neboli index nízkého průtoky, lze vypočítat pomocí podílu nejnižšího průměrného denního průtoky daného hydrologického roku (Q_{min}) a průměrného denního průtoky za sledované období (Q_a). Je vyjádřen vzorcem (10):

$$LOWFLOW = \frac{Q_{min}}{Q_a} \quad (10)$$

Čím větší hodnota indexu je, tím je menší záporná odchylka od dlouhodobého průměru v daném roce (Olden, Poff 2003).

3.2.3 Metoda prahové hodnoty nízkých a vysokých průtoků

Oba hydrologické extrémy je možné definovat podle určité limitní hladiny průtoky. Pro detekci nízkých průtoků byla zvolena obecně používaná prahová hodnota Q_{355} , tedy průtok, který je překročen nebo dosažen alespoň 355 dní v roce. Tato hodnota značí velmi nízký vodní stav. Aby se období dalo označit jako suché, musí být zvolené hranice sucha dosaženo alespoň po dobu 3 dní. Prahové hodnoty limnigrafických stanic v povodí Litavky uvádí tabulka 2. Dále se pro hodnocení sucha může využívat i hodnot Q_{330} nebo Q_{364} (extrémní nízký vodní stav), které jsou v tabulce pro názornost též zobrazeny.

Prahové hodnoty průtoky pro hydrologické sucho vychází z údajů o m -denních průtocích. Ty se vypočítají z dlouhodobých průměrných denních průtoků každého dne hydrologického roku, které se seřadí sestupně podle velikosti. Podle pořadí hodnoty v žebříčku (1–365) se určí Q_{30} , Q_{60} atd. tak, že třicátá položka v seřazeném žebříčku bude prahovou hodnotou Q_{30} . Pokud je cílem získat m -denní průtoky z více hydrologických let, je nutné tento proces provést pro každý hydrologický rok a následně vytvořit průměr všech sestupně seřazených hodnot pro každý den. Z těchto dat lze sestavit křivku překročení m -denních průtoků. Obdobně bylo provedeno hodnocení vodnosti let v rámci hodnocení odtokového režimu, bylo zpracováno na základě pravděpodobnosti překročení ročních průtoků

vyjádřené v procentech (%). Pravděpodobnost překročení je možné vypočítat podle Čegodajevova vzorce (11):

$$p\% = \frac{m - 0,3}{n + 0,4} \cdot 100 \quad (11)$$

kde $p\%$ je pravděpodobnost překročení, m je pořadí zvoleného průtoku ve zvolené datové řadě seřazené sestupně a n je celkový počet údajů v datové řadě.

Na základě prahové hodnoty je pak využita **metoda suchých dnů**, jež spočívá ve stanovení počtu těch dnů, které během hydrologického roku dosáhly nebo překročily zvolenou prahovou hodnotu. Vzhledem ke své povaze tato metoda umožňuje srovnat různé toky či limnigrafické stanice mezi sebou.

Tab. 2: Prahové hodnoty sucha pro zvolené měřící stanice (zdroj: vlastní výpočet z dat ČHMÚ (2023a–d)).

Obecnice (1982–2023)				Hořovice (1982–2023)			
průtok	Q ₃₃₀	Q ₃₅₅	Q ₃₆₄	průtok	Q ₃₃₀	Q ₃₅₅	Q ₃₆₄
m ³ ·s ⁻¹	0,029	0,027	0,023	m ³ ·s ⁻¹	0,089	0,069	0,056
Čenkov (1982–2023)				Beroun (1982–2023)			
průtok	Q ₃₃₀	Q ₃₅₅	Q ₃₆₄	průtok	Q ₃₃₀	Q ₃₅₅	Q ₃₆₄
m ³ ·s ⁻¹	0,307	0,283	0,298	m ³ ·s ⁻¹	0,697	0,574	0,491

Pro stanovení povodňových situací byla zvolena **metoda N-letých průtoků**. N -letý průtok je takový, který je překročen nebo alespoň dosažen jednou za N let, přičemž je označován jako Q_N . ČSN 75 1400 určuje doby opakování $N = 1, 2, 5, 10, 20, 50$ a 100 let – tedy Q_1, Q_5 atd. Hodnoty N -letých průtoků byly převzaty z evidenčních listů ČHMI pro dané profily a jsou následující:

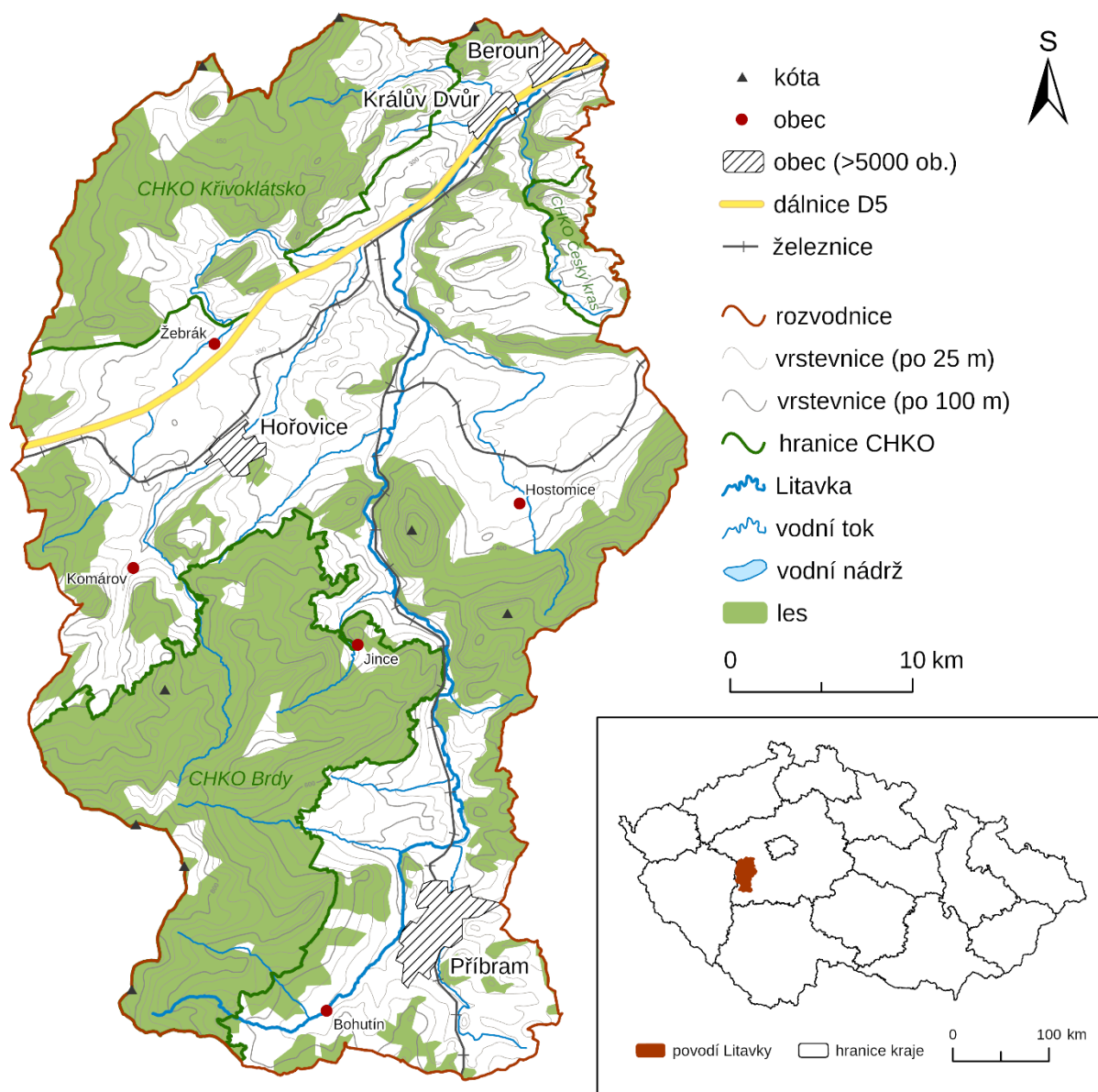
Tab. 3: Hodnoty N -letých průtoků (zdroj dat: ČHMÚ 2023a–d).

N-leté průtoky [m ³ ·s ⁻¹]					
limnigrafická stanice	Q ₁	Q ₅	Q ₁₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀
Obecnice	1,8	5,6	8,1	16,1	20,6
Čenkov	10,3	31,8	45,5	98,2	114,0
Hořovice	6,1	19,0	28,0	55,0	71,0
Beroun	270,0	615,0	799,0	1310,0	1560,0

4 FYZICKOGEOGRAFICKÁ CHARAKTERISTIKA POVODÍ LITAVKY

V této části práce jsou popsány fyzickogeografické charakteristiky zájmového povodí, které pomohou pochopit podmínky pro srážkoodtokové poměry, a bez kterých lze jen těžko uchopit podstatu hydrologických extrémů v povodí (Hladný 2007). Z hlediska absolutní geografické polohy se povodí Litavky nachází ve středních Čechách (obr. 4) a svým územím je situováno do dvou krajů – převážně do Středočeského (z 97,44 %), a minimální částí do Plzeňského (z 2,56 %). Do povodí svým územím zasahuje 97 obcí, přičemž největšími městy jsou Příbram, Beroun, Dobříš a Králův Dvůr.

Řeka Litavka pramení v jižní části zájmového území nedaleko vsi Nepomuk, v Chráněné krajinné oblasti Brdy v 765 m n. m. Je dlouhá 54,92 km a plocha povodí zabírá 628 km². Osa lokality je orientována severojižně. Tok řeky zpočátku směřuje jihovýchodním směrem, poté teče k severu a před ústím do Berounky drží severovýchodní směr.



Obr. 4: Povodí Litavky v rámci Česka (zdroj dat: ArcČR500, DIBAVOD, AOPK ČR; vlastní zpracování).

4.1 Geologické poměry

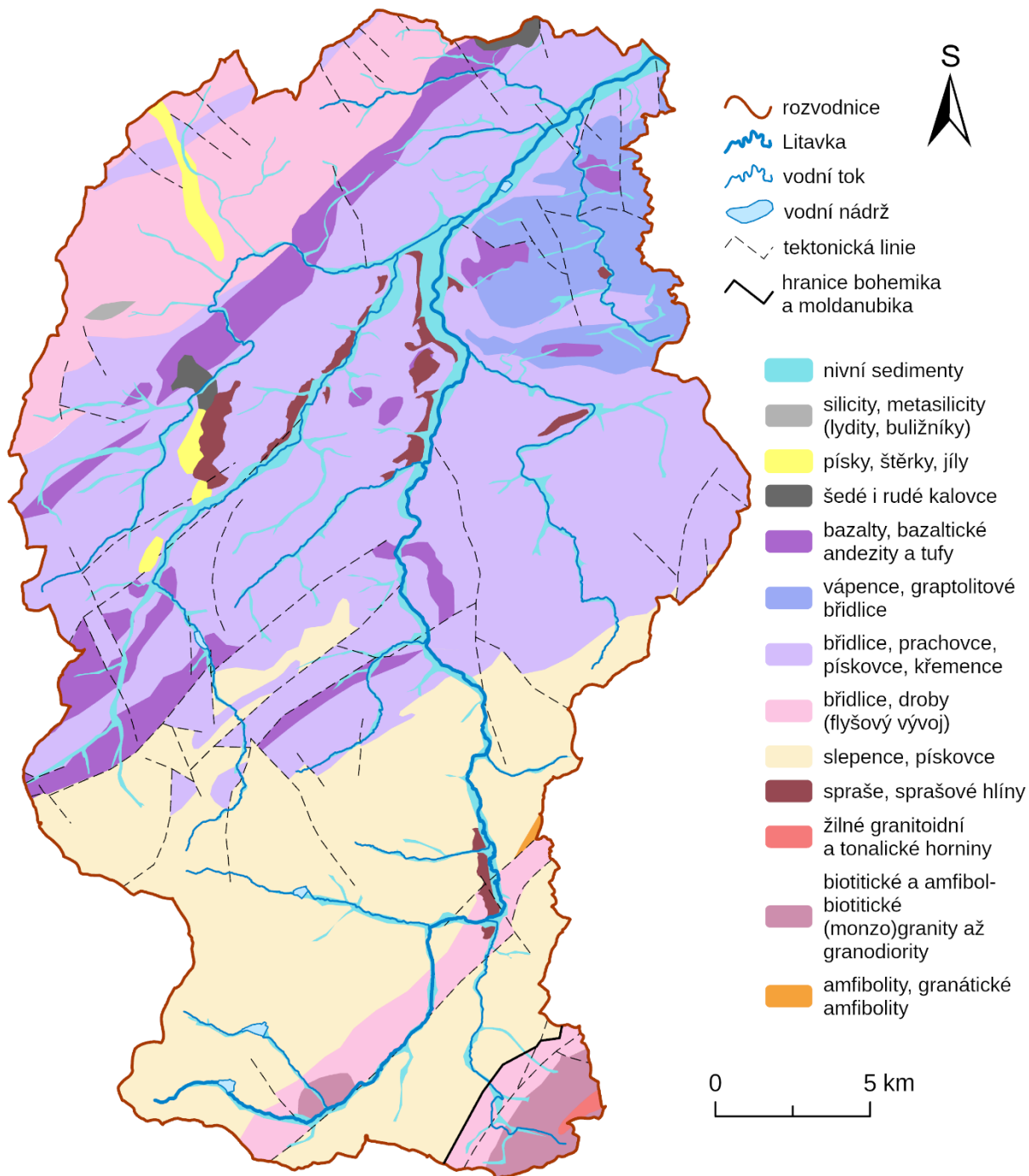
Na obrázku 5 lze vidět geologické poměry v celém povodí. Nejčastěji zde můžeme nalézt břidlice, prachovce, pískovce a křemence. V oblasti pražské pánve a Českého krasu se pak jedná o vápence a graptolitové břidlice. V oblasti Křivoklátska tvoří severní část povodí zejména břidlice a droby. Oproti tomu na jižní části území dominují slepence a pískovce (Česká geologická služba 2023).

Geologicky spadá oblast povodí Litavky do Českého masivu, který je jednou ze dvou významných geologických jednotek nacházejících se na území Česka. Český masiv tvoří většinu podloží v Čechách a v části západní Moravy, polohou se rozléhá mezi německým Durynskem na severu a Dunajem v Rakousku na jihu (Kubíková, Spilka, Špryňar 2016). Považuje se za jeden z největších pozůstatků variského vrásnění, vznikl v období devonu a karbonu. Skládá se ze čtyř samostatných jednotek s různou stavbou a geologickým vývojem, jimiž jsou tepelsko-barrandienská oblast (též nazývána jako oblast středočeská či bohemikum), saxothuringikum (sasko-durynská oblast), moravosilezikum (moravskoslezská oblast) a moldanubikum (moldanubická oblast). Kromě již zmíněného Českého masivu jsou významnou geologickou jednotkou Česka Západní Karpaty zasahující na východ a jihovýchod Moravy (Kachlík 2003).

Větší část zájmového území se rozprostírá na bohemiku. Bohemikum je tvořeno horninami paleozoického a svrchno-proterozoického stáří a v rámci Českého masivu zaujímá centrální pozici vzhledem k ostatním jednotkám. Je to zároveň jedna z nejlépe zachovaných částí avalonsko-kadomského vrásnění. Do této oblasti zasahuje několik geologicky významných lokalit – např. Barrandien (Chlupáč a kol. 2011) či Křivoklátsko, což jsou jediné oblasti Česka, ve kterých lze nalézt horniny proterozoického (starohorního) stáří v původním, nemetamorfovaném stavu. To je ve světovém měřítku velice vzácné. Při kadomském vrásnění zde totiž nedošlo k proniknutí hornin do hloubek a souvisejícímu zvýšení teplot, které by způsobily jejich metamorfózu (Žák a kol. 2016). Jak je patrné z obr. 5, moldanubikum lze nalézt pouze na jihovýchodním cípu povodí. Obsahuje horniny původem z období prekambria a paleozoika. Do těchto hornin pronikají intruzivní tělesa hlubinných granitoidů (Chlupáč a kol. 2011).

Jak již bylo uvedeno, povodí Litavky je geologicky velice zajímavé, dokonce lze říci že až světově významné. Při pohledu na chronologii vývoje oblasti zde nalezneme prvky zejména z období proterozoika (cca 2500–541 mil. let před přítomností) a paleozoika (541–252 mil. let před přítomností). Do období proterozoika je možné nahlédnout při návštěvě Křivoklátska, kde se nacházejí výchozy buližníků. Dodnes není jasné, jak buližníky přesně vznikly, nicméně se jedná o tmavě zbarvenou jemnozrnnou, velmi tvrdou horninu tvořenou křemenem. Její zbarvení je způsobeno organickým uhlíkem či minerálními příměsemi. Buližníková tělesa na Křivoklátsku mají čočkovitý tvar a co do velikosti dosahují od několika jednotek až po desítky metrů. Celkově se zde vyskytuje přes sto buližníkových skalek (Žák a kol. 2016).

V zájmovém území se nachází jedna z nejslavnějších paleontologických českých oblastí známá pro své zkameněliny a bohaté nálezy trilobitové fauny. Jedná se o okolí Jince a Rejkovic, rozléhající se



Obr. 5: Geologické poměry v povodí Litavky (zdroje dat: ArcČR500, DIBAVOD, Česká geologická služba 2023; vlastní zpracování).

v příbramsko-jinecké pánvi, která vznikla na počátku paleozoika, v kambriu. V tomto období se oblast nacházela hluboko na jižní polokouli a panovalo zde poměrně chladné klima. V blízkosti Jinec v okolí nedaleké obce Dominikální Paseky se nacházejí tzv. pasecké břidlice, v nichž byly nalezeny nejstarší nálezy fosilní makrofauny v Česku. Jedná se pravděpodobně o brakické či sladkovodní usazeniny. Fauna paseckých břidlic je tedy specifická svým nemořským původem a činí z nalezišť v této oblasti světoznámé geologické a paleontologické lokality. Častým druhem je např. velký členovec *Kodymirus vagans* (Chlupáč 1994; Cílek, Sůvová, Turek 2020). K nálezům fosilní makrofauny došlo i na jiných

místech v povodí, např. u Žebráku byly ve štileckém karbonském reliktu nalezeny fosilie prajepic s až půlmetrovým rozpětím křídel (Žák a kol. 2016).

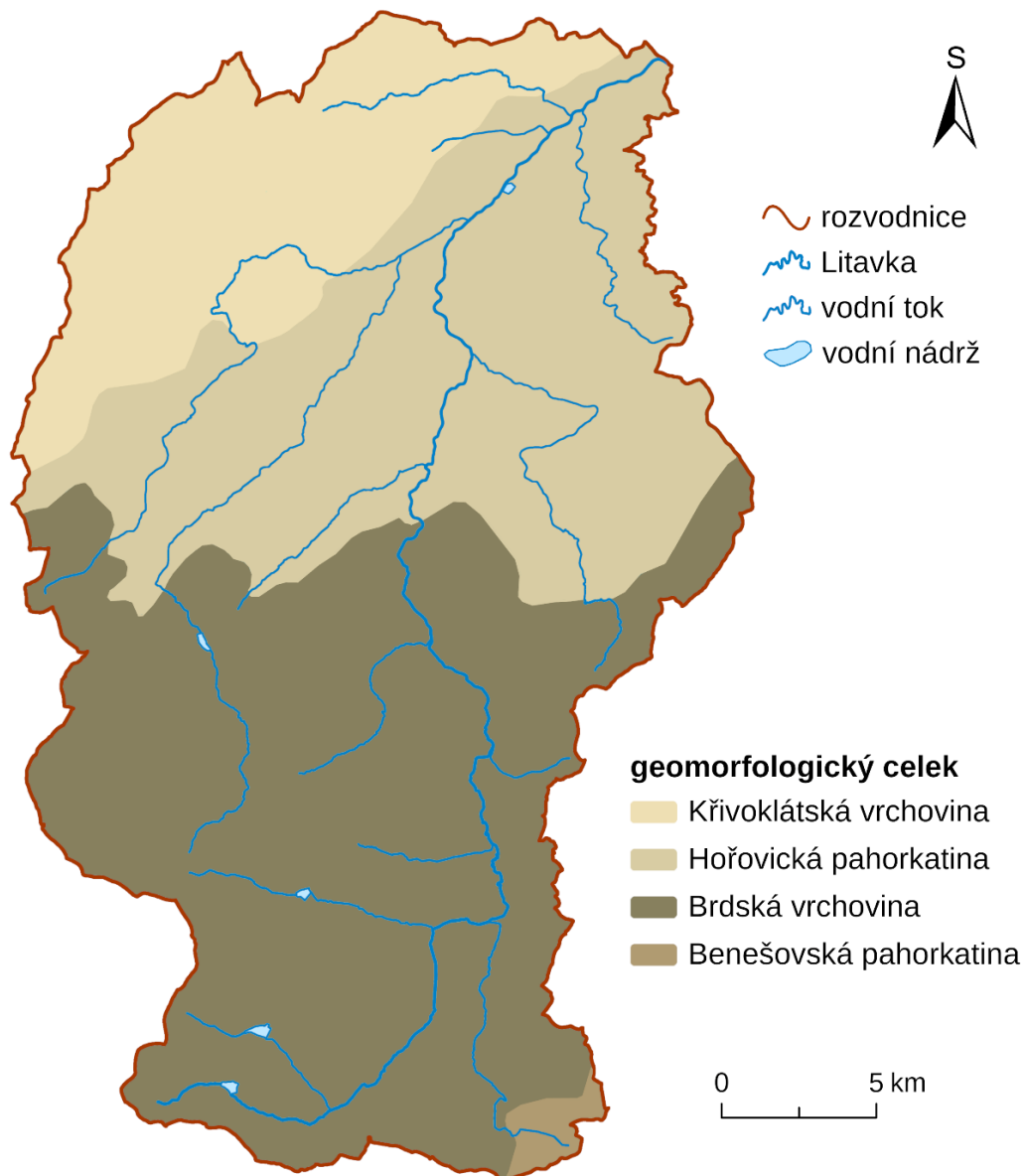
Z dob ordoviku se v povodí nachází další významný geologický prvek, jímž je tzv. pražská pánev (někdy též pražská synforma). Ta vznikla na jižním okraji Křivoklátska a jedná se o protáhlou prvohorní sníženinu tvořenou mořskými sedimenty, které se ukládaly i v průběhu siluru a devonu. Má charakter jakéhosi úzkého příkopu a táhne se ve směru SV–JZ a ze stran je obklopena starohorními horninami (Žák a kol. 2016).

Následné období mezi silurem a devonem je v povodí reprezentováno celosvětovým unikátem, Klonkem u Suchomast – jedním z nejdůležitějších stratigrafických profilů, jenž odkrývá zachovalou geologickou hranici právě mezi těmito dvěma obdobími. Tato hranice je definována prvním výskytem graptolita *Monograptus uniformis* a byla oficiálně uznána v roce 1972 jako vůbec první mezinárodně přijatá hranice mezi geologickými útvary (Chlupáč a kol. 2011).

V povodí lze najít i pozůstatky ze starších čtvrtohor ve formě spraší, tedy eolického prachového sedimentu. Spraše a sprašové hlíny se nachází v okolí Tlustice, Kotopek, Lochovic (v přímé blízkosti Červeného potoka) či Trhových Dušníků (na levém břehu Litavky) (Česká geologická služba 2023).

4.2 Geomorfologické poměry

Povodí Litavky je lokalizováno v oblasti geomorfologické provincie České vysočiny, která pokrývá většinu území Česka, v Českomoravské a Poberounské soustavě. Ačkoliv svou rozlohou nepatří povodí mezi rozsáhlá, stýkají se zde čtyři geomorfologické celky – z podsoustavy Středočeské pahorkatiny se jedná o Benešovskou pahorkatinu, z Brdské podsoustavy pak o Brdskou vrchovinu, Hořovickou pahorkatinu a Křivoklátskou vrchovinu (geomorfologické členění je dále rozvedeno v tab. 4) (Kalvoda, Balatka 2006). Rozdělení oblasti na geomorfologické celky zobrazuje obrázek 6.



Obr. 6: Geomorfologické jednotky zasahující do povodí Litavky (zdroje dat: ArcČR500, AOPK ČR, DIBAVOD; vlastní zpracování).

Tab. 4: Geomorfologické jednotky zasahující do povodí Litavky (Demek, Mackovčín a kol. 2006; Kalvoda, Balatka 2006).

geomorfologická provincie	soustava	podstousta	celek	podcelek	okrsek
Česká vysočina	Česko-moravská soustava	Středočeská pahorkatina	Benešovská pahorkatina	Březnická pahorkatina	Milínská vrchovina
				Brdy	Strašická vrchovina
	Hřebeny	Třemošenská vrchovina			
		Příbramská pahorkatina	Studenská vrchovina		
	Brdská vrchovina		Třebská pahorkatina	Rosovická pahorkatina	
		Hořovická pahorkatina			Hořovická brázda
	Komárovská brázda				
	Zdická brázda				
	Hostomická kotlina				
	Křivoklátská vrchovina	Zbirožská vrchovina	Karlštejnská vrchovina	Suchomastská vrchovina	
				Bubovická vrchovina	
	Křivoklátská vrchovina	Zbirožská vrchovina	Karlštejnská vrchovina	Hudlická vrchovina	
				Chyňavská pahorkatina	

Benešovská pahorkatina je členitý geomorfologický celek orientovaný z jihozápadu na severovýchod o celkové ploše 2418,40 km², který však do zájmového území zasahuje pouze okrajově. Jedná se o členitou pahorkatinu rozprostírající se zejména v povodí Vltavy, Otavy a Sázavy, kde jsou patrná zaříznutá říční údolí. Střední výška činí 366,2 m (Demek, Mackovčín, a kol. 2006).

Většinu zkoumaného území zabírá celek **Brdská vrchovina**. Za významné prvky zde lze považovat zejména častý výskyt periglaciálních tvarů jako jsou kamenná moře (např. v lokalitách Plešivec, Jindřichova skála (obr. 7) či Klobouček), tory (na Koníčku v Jineckých hřebenech), suťová pole či vrcholová skaliska. V porovnání s Benešovskou pahorkatinou zde střední výška dosahuje 556 m, a jedná se tak o nejvýše položený geomorfologický celek ze zájmového území. Povrch je tvořen širokými a zaoblenými hřbety ve směru JZ–SV. Bod s nejvyšší nadmořskou výškou nacházející se v tomto celku, a zároveň tedy i v celém zájmovém území, je vrchol Tok s 865 m n. m. (obr. 8), který leží v podcelku Brdy – nejvyšším pohoří ve středních Čechách. Na území Brd lze nalézt deset vrcholů přesahujících výšku 800 m n. m., přičemž v povodí Litavky se nachází tři – již zmíněný Tok, dále pak Brdce (839 m n. m.) a Jordán (826 m n. m.).

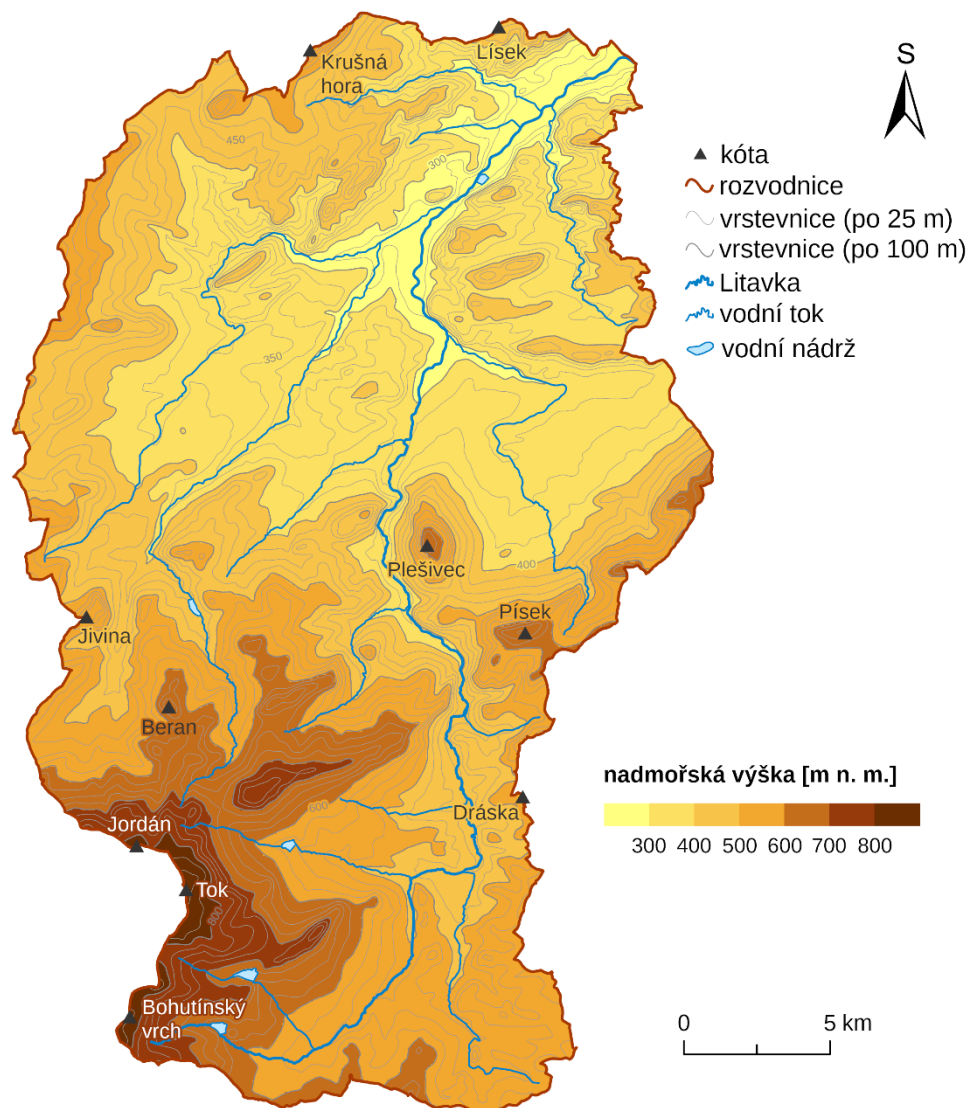


Obr. 7: Jindřichova skála – nejvyšší mrazový srub ve Středních Brdech a kamenné moře (vlastní fotografie, pořízeno 15. 5. 2023).

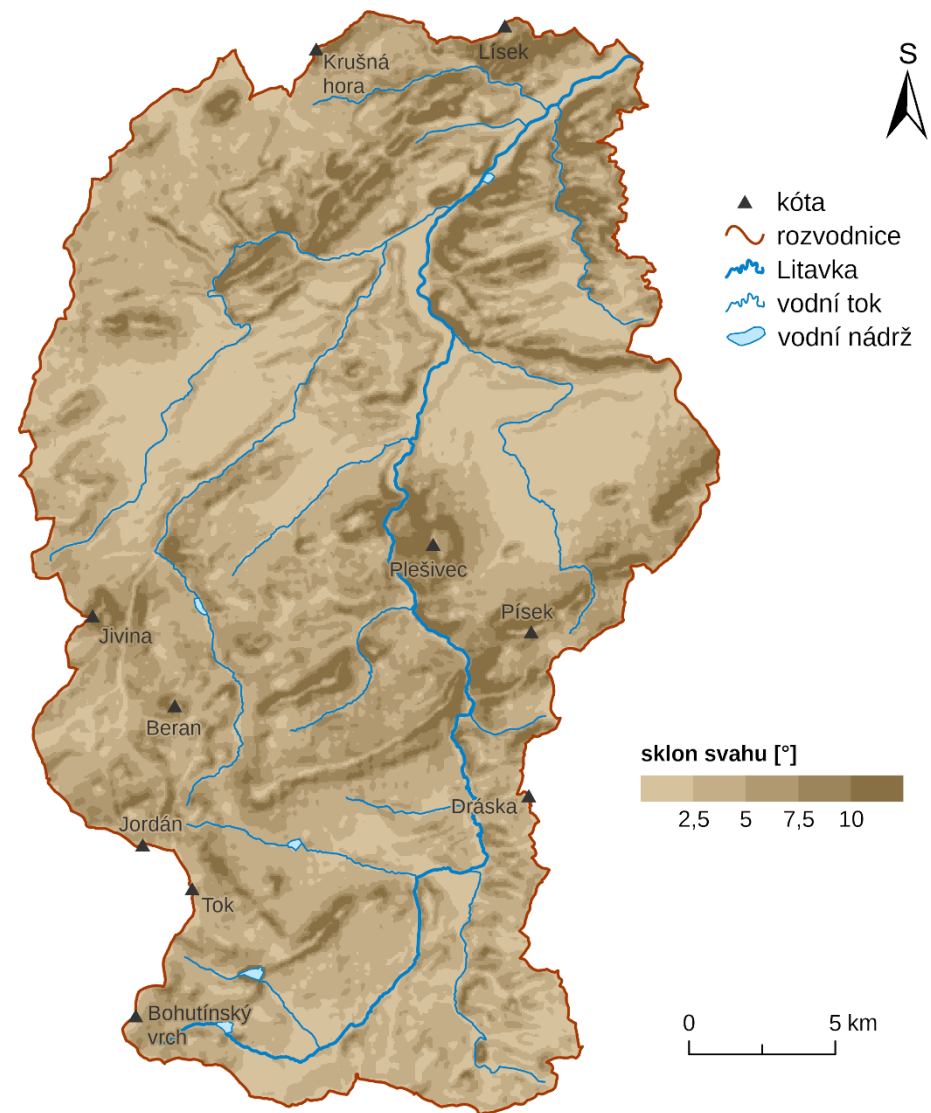
Kromě vlastních Brd se Brdská vrchovina dále dělí na dva podcelky – Hřebeny a Příbramskou pahorkatinu (Demek, Mackovčín, a kol. 2006). Značnou část zabírá CHKO Brdy.

Hořovická pahorkatina se táhne od JZ k SV a je vklíněna mezi Brdskou vrchovinu na jihu a Křivoklátskou vrchovinu na severu. Střední výška je zde v porovnání s Brdskou vrchovinou nižší – 352,7 m. Je tvořena strukturálně denudačním reliéfem s ostře odlišenými vrchovinnými a vhloubenými jednotkami. Celek se dále dělí na dva podcelky, a to na Hořovickou brázdu a Karlštejnskou vrchovinu (Demek, Mackovčín, a kol. 2006). V Hořovické pahorkatině je situován střední a dolní tok Litavky a řeka se zde vlévá do Berounky.

V rámci **Křivoklátské vrchoviny** lze pozorovat výrazné hřbety směřující ve směru JZ–SV. I v této oblasti v pleistocénu probíhaly periglaciální pochody, jejichž působení vytvořilo mrazové sruby a kryoplanační terasy. Pro Křivoklátskou vrchovinu byla vypočítána střední výška 417,8 m. Na povrch vystupují skalní suky tvořené odolnými buližníky (např. Hudlická skála) (Demek, Mackovčín a kol. 2006). Nejvyšším bodem geomorfologického celku v povodí je Krušná hora s 609 m n. m. a značná část oblasti spadá pod CHKO Křivoklátsko, jejíž jedinečnost spočívá ve velké škále přirozených typů vegetace (AOPK ČR 2023b).

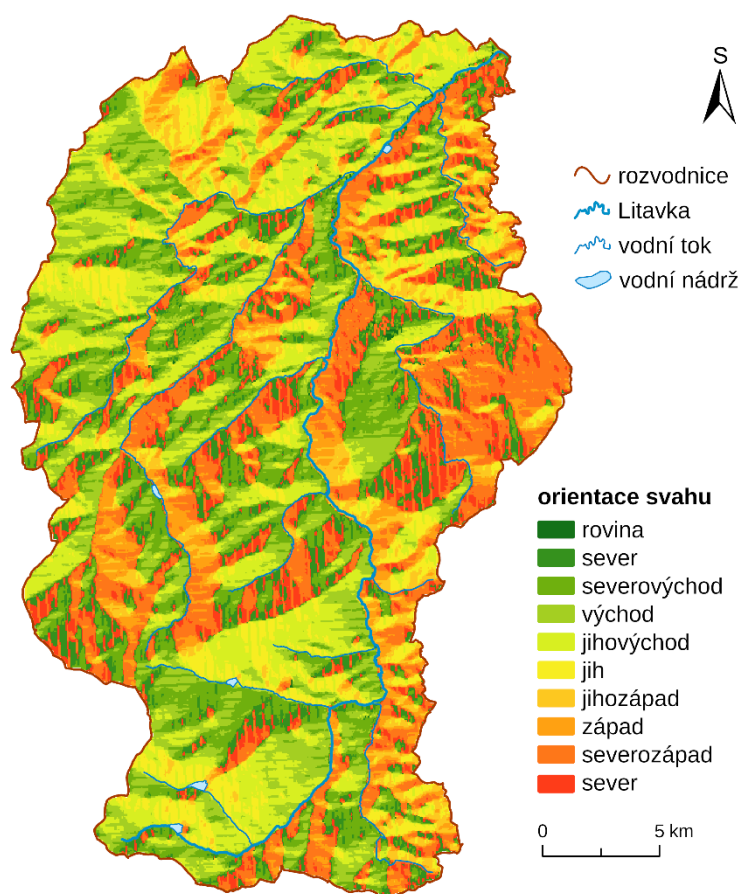


Obr. 8: Mapa výškové členitosti povodí Litavky (zdroje dat – ArcČR500, DIBAVOD; vlastní zpracování).



Obr. 9: Sklonitostní mapa povodí Litavky (zdroje dat: ArcČR500, DIBAVOD; vlastní zpracování).

Obr. 8 ilustruje výškové poměry v celém povodí Litavky. Jak již bylo nastíněno výše, nejvyšší nadmořské výšky jsou zastoupeny v jihozápadní části povodí, nejnižší pak v části severovýchodní. Nejnižším bodem zájmového území je soutok Litavky s Berouňkou v 215 m n. m. Obecně platí, že čím je větší sklonitost povrchu povodí, tím rychleji z něj voda odtéká, a též se snižuje míra infiltrace. Sklon svahů (znázorněný na obr. 9) je největší v oblasti, kde se stýká Hořovická pahorkatina a Křivoklátská vrchovina (v severovýchodní části), dále pak v pomyslné centrální části povodí – v okolí vrchů Plešivce a Písku. Za nejvíce rovinatou oblast lze považovat dolní toky potoků Chumava a Červeného v jižní části Hořovické pahorkatiny. Průměrný sklon reliéfu v povodí je roven $4,6^\circ$. Další morfometrickou analýzu povodí, konkrétně orientaci svahů, zobrazuje obr. 10. Převládající světovou stranou, na kterou jsou svahy v povodí orientovány, je východ.



Obr. 10: Orientace svahů v povodí Litavky (zdroje dat: ArcČR500, DIBAVOD; vlastní zpracování).

Orientace svahů ovlivňuje množství přijatého slunečního záření, a je tak významná pro mikroklima a biogeografické poměry. Východně orientované svahy bývají chladnější než svahy orientované na západ. To je způsobeno denní dobou dopadu slunečních paprsků na povrch – byť je množství dopadajícího záření symetrické a na západní i východní svahy dopadá stejné množství sluneční energie, na východní svahy dopadají sluneční paprsky v ranních hodinách, tzn. v době, kdy okolí stále není prohřáté vlivem nočního ochlazení (Křížek, Uxa, Peter 2016).

4.3 Pedogeografické poměry

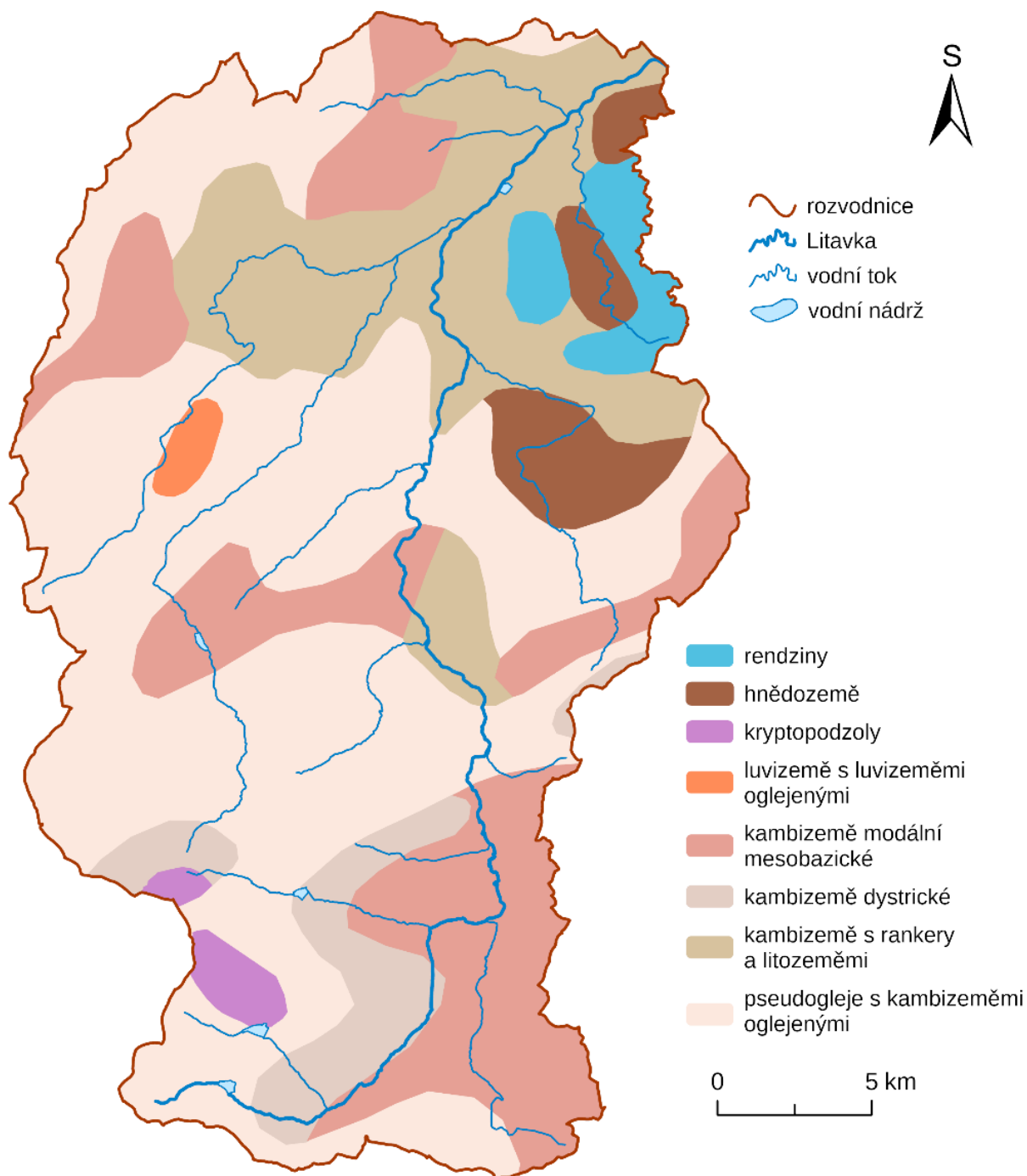
Jak je patrné z obrázku 11, v povodí Litavky převládá půdní typ pseudoglejů v kombinaci s kambizeměmi oglejenými. Pseudogleje jsou obvykle zastoupeny ve středních výškových stupních, přičemž hlavním půdotvorným procesem je oglejení, kterému často předchází illimerizace. Oglejení má vliv na vlastnosti těchto půd, činí je zemědělsky málo využitelnými, zejména kvůli nepříznivým sorpčním vlastnostem a kyselosti (Tomášek 2007) Pseudogleje obsahují výrazný mramorovaný horizont (Němeček a kol. 2008).

Kambizemě, neboli hnědé půdy, jsou v Česku nejrozšířenějším půdním typem a jsou rozšířené zejména v pahorkatinách, vrchovinách a v horách. Vznikají intenzivním vnitropůdním zvětráváním a zpravidla jsou spojené s členitým reliéfem. Mohou vznikat na různých matečných materiálech (pískovce, břidlice, bazalty...), a proto jsou jejich chemické i fyzikální vlastnosti značně variabilní (Tomášek 2007). Společnou vlastností různých subtypů kambizemě je vyvinutý kambický, jinak též hnědý (braunifikovaný), horizont (Němeček a kol. 2008). Na zkoumaném území lze nalézt několik subtypů – kromě již zmiňované kambizemě oglejené se zde uplatňují kambizemě modální mesobazické či dystrické.

V severovýchodní části povodí, ve které se nachází CHKO, se na vápencích vytvořily rendziny. Jedná se o poměrně výrazně skeletovité půdy s malou hloubkou, což se pojí s jejich náchylností k vysychání. V Česku se vzhledem k omezenému výskytu vápenců neobjevují příliš často (Němeček a kol. 2008). Rendziny se v povodí často vyskytují s terra fusca, sytě žlutou reliktní odvápněnou půdou, která je silně zvětralá. Společně s terra rossa (červené až červenohnědé barvy) jsou to zástupci tzv. terrae calcis, tedy patří mezi půdy vzniklé zvětráváním karbonátových hornin. Dále je v této oblasti možné nalézt i vápnité hnědozemě. Hnědozemě vznikají procesem illimerizace, tj. ochuzováním vrchní části půdy o jílovité částice, které se následně posouvají do spodních vrstev půdy (Ložek a kol. 2003). U hnědozemí tento pochod však není tak intenzivní jako například u luvizemí. Díky obsahu humusu jsou hnědozemě významnými půdami pro zemědělskou činnost, jelikož umožňují pěstování náročnějších obilovin jako jsou ječmen či pšenice (Tomášek 2007).

V nejvyšších částech povodí, tzn. na jihozápadě v oblasti brdských lesů, se nachází kryptopodzoly. Jejich vznik je spojen s kyselými horskými bučinami a smrčinami v oblastech s chladným a vlhkým podnebím. Jsou půdami silně kyselými a ze zemědělského hlediska neúživnými (Tomášek 2007). Mají obvykle rezivou až žltorezivou barvu a seskvioxidický spodický horizont (Němeček a kol. 2008). Ve vyšších polohách Brd je možné setkat se i s organozeměmi, a to zejména v centrální části pohoří, kde se vyskytují mělká rašeliniště. Tyto půdy se vyznačují schopností zadržovat vodu a jsou tak významné z hlediska vodohospodářského i biogeografického (Culek a kol. 2013).

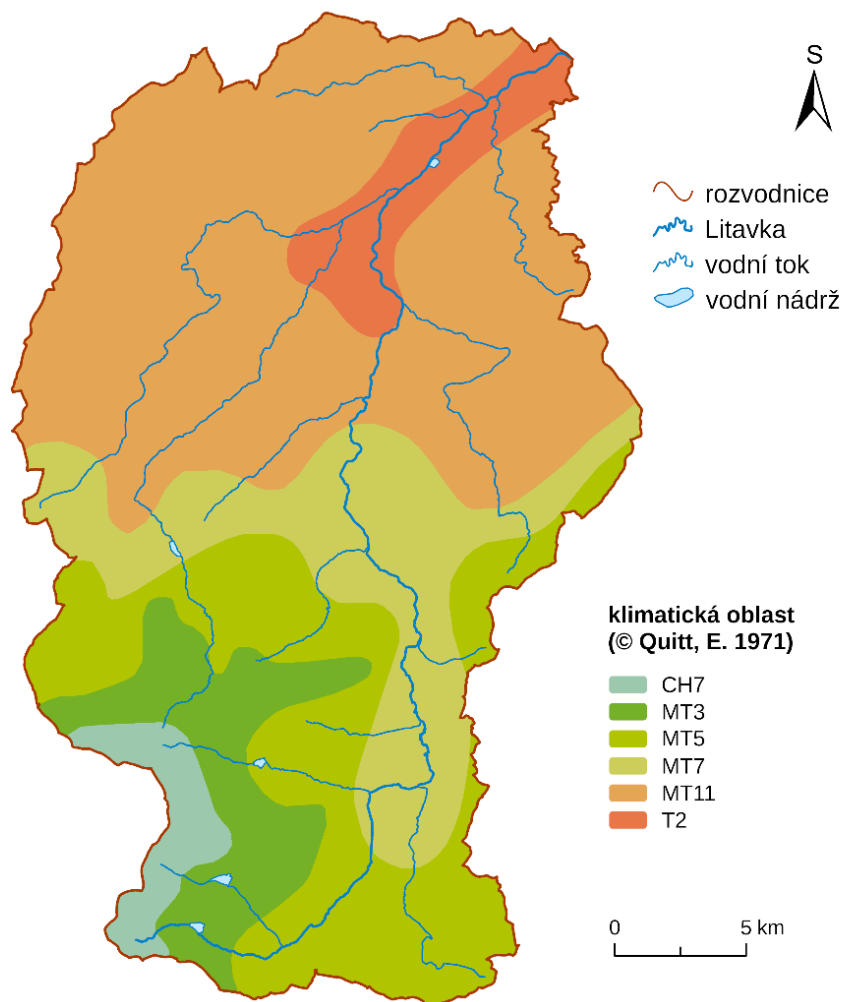
Výskyt rozdílných typů půd v povodí zásadně ovlivnil pravěké i současné osídlení oblasti. Místa s půdami bohatšími na živiny osidlovali již neolitictí zemědělci, kteří zakládali sídla, jejichž osídlení přetrvává až do současnosti (Kubíková, Spilka, Špryňar 2016).



Obr. 11: Pedologické poměry v povodí Litavky (zdroje dat: ArcČR500, ČGS, DIBAVOD; vlastní zpracování).

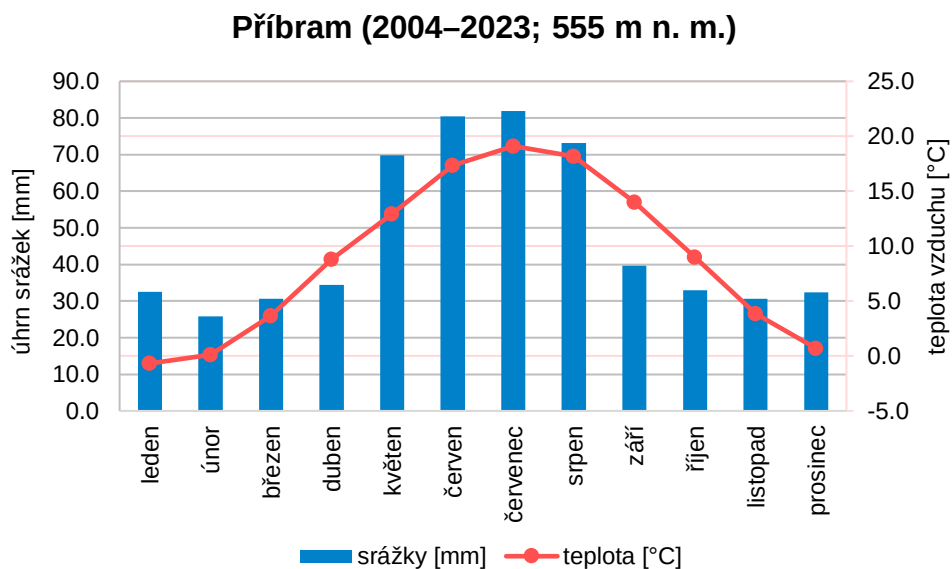
4.4 Klimatické poměry

Stejně jako většina českého území se i povodí Litavky podle Köppenovy klasifikace nachází ve dvou klimatických typech – Cfb a Dfb. Z větší části se jedná o Cfb, tedy o podtyp podnebí listnatých lesů mírného pásma. Ve vyšších polohách zájmového území jde o klima boreální – Dfb. Rozdíl mezi Cfb a Dfb spočívá v průměrné teplotě nejchladnějšího měsíce, kdy pro Cfb platí, že se tato pohybuje



Obr. 12: Klimatické poměry podle Quittovi klasifikace v povodí Litavky (zdroje dat: AOPK ČR, ArcČR500, DIBAVOD; vlastní zpracování).

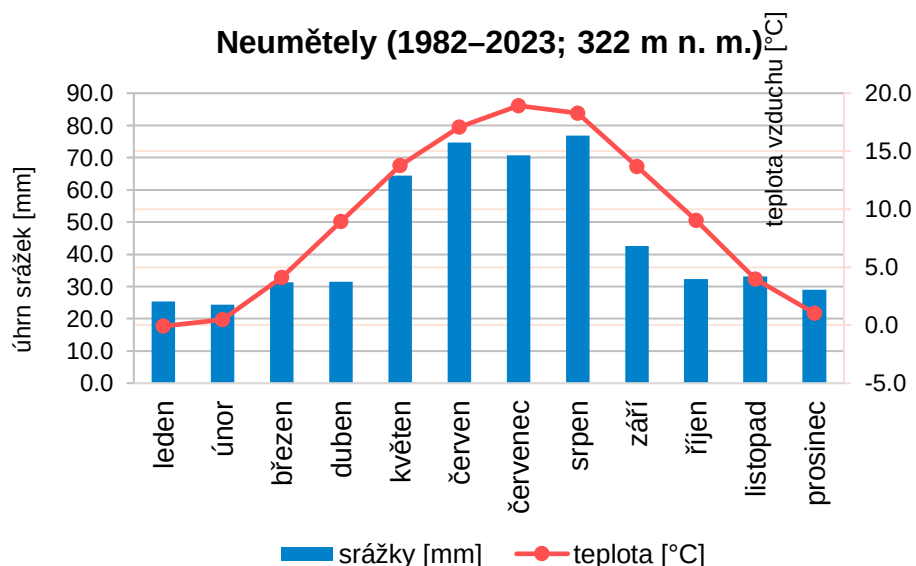
mezi -3 až 18 °C, kdežto u Dfb je pod -3 °C (Tolasz, Baštýřová 2007). Dle Quitta (obr. 12) se téměř celá severní polovina nachází v klasifikační jednotce MT11. Na severovýchodě podél dolního toku Litavky se pak podnebí mění v jednotku T2. V nejteplejší oblasti povodí se počet dní s průměrnou teplotou 10 °C a vyšší pohybuje mezi 160–170 za rok. Průměrná ledová teplota dosahuje -2 až -3 °C, oproti tomu průměrná teplota v červenci šplhá na 18 – 19 °C. Ve vegetačním období spadne průměrně 350–400 mm srážek, zatímco v zimním období klesá množství srážek na 200–300 mm. Jižní polovina území je chladnějšího rázu, pokrývají ji jednotky MT7, MT5, MT3 a CH7. Území s klasifikační jednotkou CH7 dosahuje v lednu průměrné teploty mezi -3 až -4 °C a počet ledových dní se pohybuje mezi 50–60 za rok. Vegetační období je zde deštivější, spadne tu mezi 500–600 mm srážek a v zimním období je tato hodnota také poměrně vyšší, jedná se o 350–400 mm, což je více než u T2 (Tolasz, Baštýřová 2007). Bližší informace o klimatických podmínkách poskytují klimadiagramy, které byly vyhotoveny z dostupných dat ČHMÚ pocházejících z klimatických stanic Neumětely (322 m n. m.) a Příbram (555 m n. m.).



Obr. 13: Klimadiagram města Příbram (zdroj dat: ČHMÚb, ČHMÚc; vlastní zpracování).

Na obrázku 13 jsou znázorněny průměrné měsíční teploty a úhrny srážek pro město Příbram, které byly vyhotoveny z 19leté časové řady (data dostupná od roku 2004 do roku 2023). Průměrná roční teplota vzduchu zde dosahuje 8,9 °C. Nejnižší průměrná měsíční teplota je naměřena v měsíci lednu, kdy se jedná pouze o -0,7 °C. Naopak nejvyšší průměrná teplota je pozorována v červenci a jedná se o 19,1 °C. Nejméně srážek spadne v Příbrami v únoru, nejvíce červenci, přičemž průměrný roční úhrn srážek činí 564 mm srážek.

Pozorované období bylo delší v obci Neumětely (obrázek 14), kde jsou klimatická data dostupná od roku 1982 do roku 2023 (jedná se tedy o 42letou časovou řadu). Průměrná teplota zaznamenaná klimatologickou stanicí v Neumětelích je 9,1 °C. Srážkově nejvydatnějším měsícem je srpen s úhrnem 76,9 mm. Nejméně srážek spadne průměrně v únoru, kdy se jedná pouze o 24,4 mm. Za rok v Neumětelích spadne průměrně 536 mm srážek. Průměrné měsíční teploty pod bodem mrazu se na obou klimatických stanicích vyskytovaly pouze v lednu.



Obr. 14: Klimadiagram obce Neumětely (zdroj dat: ČHMÚb, ČHMÚc; vlastní zpracování).

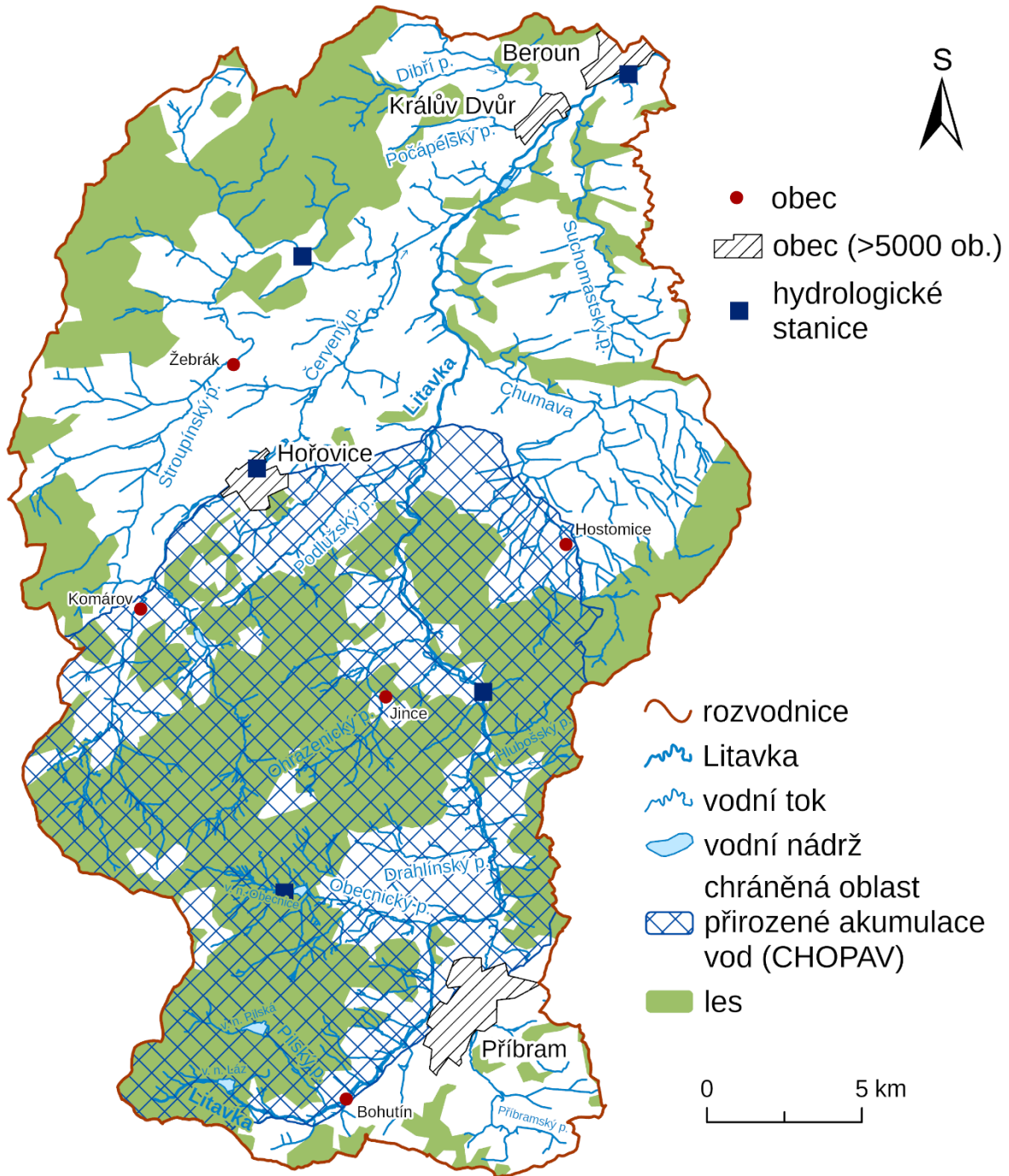
4.5 Hydrografické poměry

Na přiložené přehledové mapě (obr. 16) je znázorněna celá říční síť Litavky a jejích přítoků, celkem tato síť zaujímá plochu 628 km². Řeka Litavka od pramene k ústí měří 54,92 km, její pramen se nachází ve výšce 765 m n. m. a povodí opouští na soutoku s Berounkou v 217 m n. m. ve městě Beroun.

Litavka pramení v oblasti CHKO Brdy (obr. 15), kde je již po zhruba 2,5 km přímo na toku vybudována první vodní nádrž, VN Láz. Na horním toku řeky jsou kromě VN Láz (která zajišťuje zásobování pitnou vodou pro město Příbram s populací téměř 33 000 obyvatel) vybudovány ještě další dvě nádrže – VN Pilská (na Pilském potoce) a VN Obecnice (na Obecnickém potoce). Všechny tyto nádrže se nachází na území CHKO Brdy, které je vzhledem k pramenným oblastem a občasným rašeliništím podstatné pro hospodaření s vodou (Matušková 2018). Oblast Brd a její okolí též patří pod chráněnou oblast přirozené akumulace vod (CHOPAV). Po opuštění této oblasti řeka Litavka klesá a protéká Příbramí, Čenkovem a Jinci. Do rovinatějšího území se dostává v oblasti obce Lochovice, odkud již její tok není lemován lesy. Ve městě Zdice se stéká s jedním ze svých největších přítoků, totiž Červeným potokem, a rovinatým terénem pokračuje kolem soustavy zdických rybníků až do Berouna.



Obr. 15: Pramen Litavky pod Malým Tokem (vlastní fotografie, pořízeno 27. 9. 2021).



Obr. 16: Říční soustava zájmového území (zdroje dat: ArcČR500, DIBAVOD; vlastní zpracování).

Levostrannými přítoky Litavky jsou Pílský potok, Obecnický potok, Drahlínský potok, Ohrazenický potok, Podlužský potok, Červený potok (do něj se vlévá Stroupínský), Počápešský potok a Dibří potok. Z pravé strany se přilévá Příbramský potok, Hlubošský potok, Chumava a Suchomastský potok. V povodí se nachází dvě významné soustavy rybníků, a to v okolí Komárova a Králova Dvora.

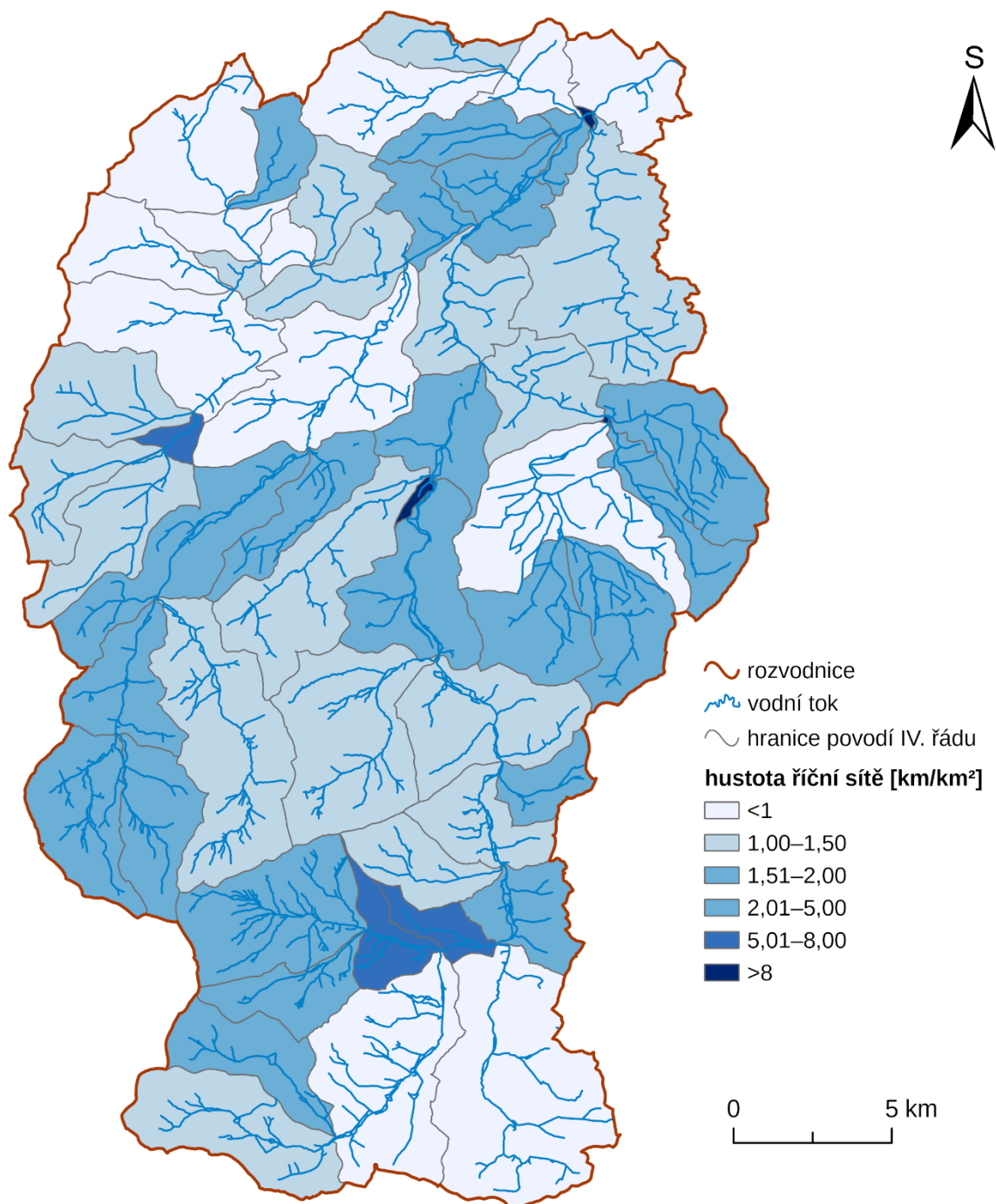
Tab. 5: Vybrané morfometrické charakteristiky povodí Litavky (zdroj dat: DIBAVOD, vlastní výpočty v softwaru ArcGIS Pro).

plocha povodí P	628 km ²
délka povodí L	38,09 km
délka rozvodnice L_R	139,35 km
skutečná délka toku l	54,92 km
celková délka toků Σl	792,53 km
maximální nadmořská výšky v povodí h_{max}	865 m n. m.
maximální nadmořská výšky v povodí h_{min}	217 m n. m.
plocha lesů v povodí	285,32 km ²

Pro určení tvaru povodí je nutno mít povědomí o jeho ploše a charakteristice povodí α (vzorec pro výpočet uveden v tab. 5). Povodí Litavky je větší než 50 km². Charakteristika povodí α je rovna hodnotě 0,43, což udává vějířovitý tvar povodí. Gravelliův koeficient je u povodí Litavky roven 1,57. Ten značí, že zájmové území je protáhlého tvaru. Hustota vodních toků v oblasti není vysoká, jak je patrné z tab. 6 a zároveň i obr. 17. Její průměrná hodnota činí pouze 1,26 km/km². Převýšení toku Litavky od pramene k ústí je 550 m při průměrném sklonu 11,8 ‰. Celé povodí je téměř z poloviny zalesněno (konkrétně ze 45 %), přičemž lesnatost je vizualizována v kapitole 4.8 na obrázku 25.

Tab. 6: Hydrografické charakteristiky zájmového území (zdroj dat: vlastní výpočet).

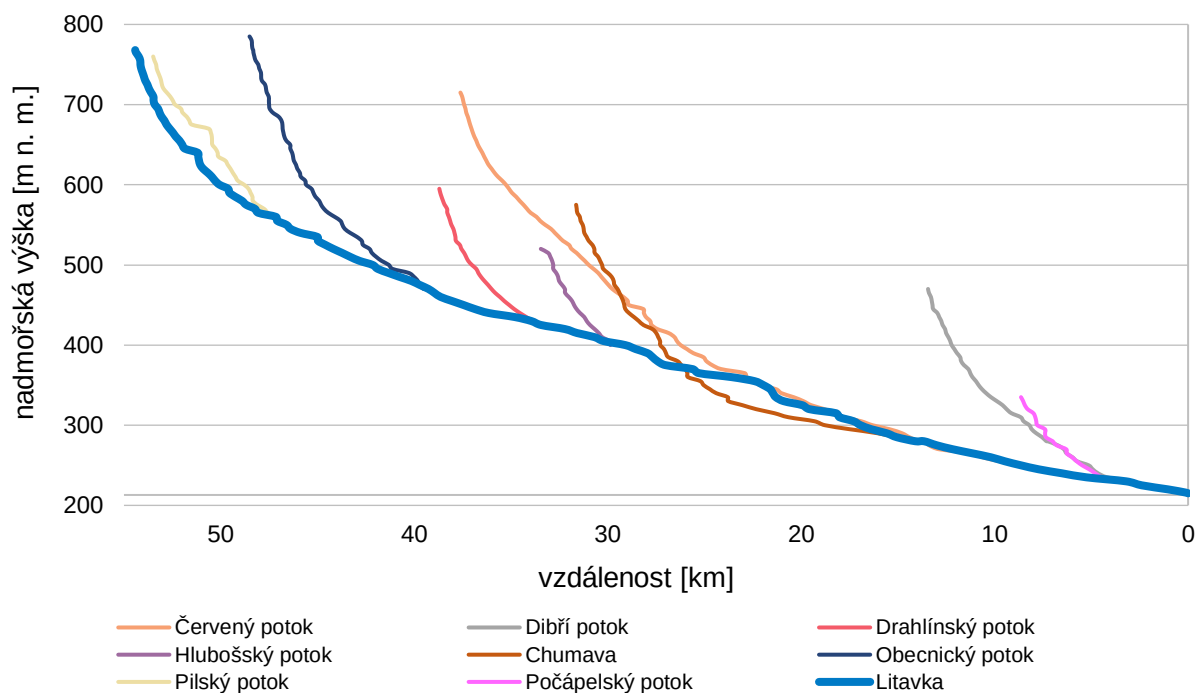
charakteristika tvaru povodí α	$\alpha = \frac{P}{L^2} = 0,43$
Gravelliův koeficient K_G	$K_G = \frac{L_R}{2\sqrt{P\pi}} = 1,57$
hustota říční sítě r	$r = \frac{\Sigma l}{P} = 1,26 \text{ km/km}^2$
převýšení povodí Δh	$\Delta h = h_{max} - h_{min} = 648 \text{ m}$
převýšení toku ΔH	$\Delta H = H_{max} - H_{min} = 550 \text{ m}$
průměrný sklon povodí I	$I = \frac{\Delta h}{\sqrt{P}} = 25,85 \text{ ‰}$
průměrný sklon toku I_t	$I_t = \frac{\Delta H}{l} = 11,8 \text{ ‰}$
lesnatost povodí K_l	$K_l = \frac{\Sigma P_l}{P} \cdot 100 = 45,43 \text{ ‰}$



Obr. 17: Hustota říční sítě povodí Litavky (zdroje dat – ArcČR500, DIBAVOD; vlastní výpočet i zpracování).

Na obrázku 18 je ilustrován rozvinutý podélný profil Litavky, který hodnotí spád koryta celé řeky od pramene až k ústí do řeky Berounky. Nadmořská výška pramene je 865 m n. m., postupně řeka klesá až do nadmořská výšky 217 m n. m.

podélný profil Litavky

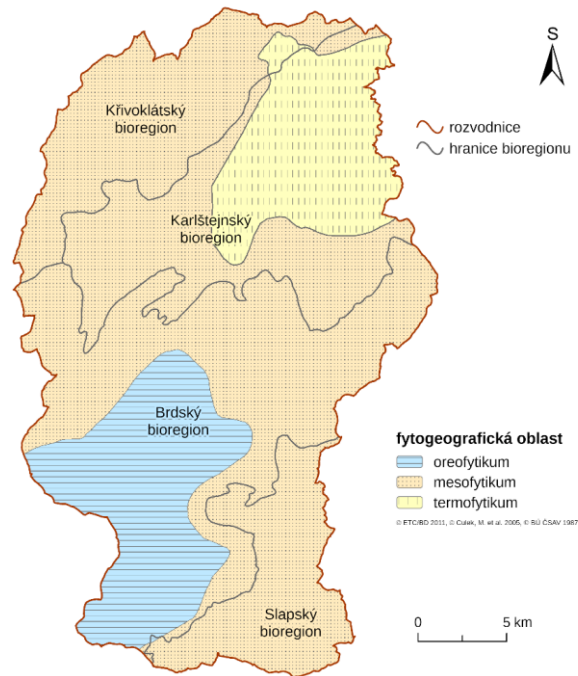


Obr. 18: Podélný profil Litavky a jejích přítoků (zdroj dat: Mapy.cz, vlastní zpracování).

4.6 Biogeografické poměry

Z biogeografického hlediska je povodí Litavky velmi významnou lokalitou. Stejně jako většina území Česka se i zájmové území nachází v kontinentální biogeografické oblasti, hercynské podprovincii, a dále se člení na čtyři různorodé bioregiony – Křivoklátský, Karlštejnský, Slapský a Brdský (obr. 19). V zájmové oblasti se nachází tři velkoplošná zvláště chráněná území, jimiž jsou CHKO Křivoklátsko, CHKO Český kras a v současné době nejmladší česká CHKO Brdy, která od roku 2016 nahradila Vojenský prostor Brdy. Jmenovaným lokalitám bude věnována vlastní podkapitola.

Křivoklátský bioregion je nejseverněji položená biogeografická jednotka v povodí Litavky. Na území CHKO Křivoklátsko je koncentrován nezvykle vysoký počet rostlinných druhů a jejich společenstev, který je v měřítku Česka jedinečný a v rámci Evropy se vyskytuje jen velmi zřídka. V minulosti nebyla oblast výrazněji osídlena, což zapříčinilo v současnosti poměrně vysokou lesnatost (jak ilustruje obr. 19), která se odhaduje na 60–64 %. Ve středověku byla tato oblast vyhrazena primárně pro účely královských honiteb a lovu. To později ovlivňovalo počty přirozených populací živočichů (Kolbek 2011). Mohlo by se zdát, že název Křivoklátsko pochází od hradu Křivokláta, v jehož okolí se rozprostírá. Nicméně není tomu tak, název odkazuje „krajinu křivých klátů“, jak se označovaly právě typické staré kmeny zakrselých dubů a borovic na skalách místních kopců (Královské lesy 2016).



Obr. 20: Biogeografické regiony a fytogeografické oblasti v povodí Litavky (zdroje dat – AOPK ČR, ArcČR500; vlastní zpracování).

Celkově zabírá bioregion plochu 1253 km² a je orientován ve směru jihozápad–severovýchod. Biodiverzita je podpořena údolním fenoménem řeky Berounky, která tvoří výrazně zařiznuté sníženiny. V bioregionu se vyskytuje mnoho reliktních druhů, přičemž se zde nachází suprakolinní až submontánní vegetační stupeň s výskytem bohatého spektra lesní vegetace. Mezi tu patří zejména bučiny a doubravy (Culek a kol. 2013), v roklích a na suťových svazích lze nalézt i habrové javořiny (Hůla 2009). Z flóry na Křivoklátsku roste například vrbina hajní (*Lysimachia nemorum*), svízel hercynský (*Galium saxatile*), lomikámen trsnatý (*Saxifraga rosacea*) či tis červený (*Taxus baccata*). Faunu pak reprezentují



Obr. 19: Lesy Křivoklátska (zdroj: vlastní fotografie, pořízeno 29. 10. 2022).

mimo jiné čáp černý (*Ciconia nigra*), výr velký (*Bubo bubo*), vřetenka lesklá (*Bulgarica nitidosa*) nebo ploskoroh žlutý (*Libelloides coccajus*) (Culek a kol. 2013).

V severovýchodní části do povodí zasahuje **bioregion Karlštejnský**, jenž zahrnuje nejrozsáhlejší krasové území v Čechách – Český kras. Bioregion zabírá plochu 447 km² a je protažen, stejně jako Křivoklátský bioregion, směrem jihozápad–severovýchod jako sníženina mezi okolními vrchovinami. Výrazné rozdíly v biotě oproti sousedním bioregionům podmiňuje vápencové geologické podloží, díky kterému se zde vyskytuje množství subendemických a endemických druhů organismů. Rozsáhlé jsou teplomilné doubravy, dubohabřiny, suťové lesy či vápnomilné bučiny bukovo-dubového a dubovo-bukového vegetačního stupně. Značná část bioregionu zabírá fyto geografický okres termofytika typického výskytem převážně teplomilných rostlin (Culek a kol. 2013). Ze zástupců flóry je možné v bioregionu pozorovat například vstavač nachový (*Orchis purpurea*), hlaváček jarní (*Adonis vernalis*), třemdavu bílou (*Dictamnus albus*), zárazu hřebíčkovou (*Orobancha caryophyllacea*), zvonovec liliolistý (*Adenophora liliifolia*) či medovník meduňkolistý (*Melittis melissophyllum*) (Databáze Pladias 2023). Mezi zvířenou vyskytující se v této oblasti lze potkat vrápence velkého (*Rhinolophus ferrumequinum*), plcha velkého (*Glis glis*), ještěrku živorodou (*Zootoca vivipara*), mloka skvrnitého (*Salamandra salamandra*), chlupatku jednozubou (*Petasina unidentata*), slíďáka lesostepního (*Arctosa lutetiana*) nebo cikádu trnkovou (*Cicadivetta tibialis*) (Culek a kol. 2013).

Slapský bioregion je netypickou přechodovou částí na úpatí Brd s mírně podmáčenými plošinami. Ze všech zmiňovaných bioregionů je svou celkovou rozlohou největší (ta činí 1716 km²). Mezi Brdským a Karlštejnským bioregionem, se kterými sousedí, je patrná kontrastní hranice tvořená příkrým svahem. Téměř celá oblast se řadí do mezofytika (obr. 20) se suprakolinním vegetačním stupněm. Na Příbramsku se nachází zejména bikové bučiny. Okolí Příbrami je poznamenáno antropogenními zásahy spojenými s těžbou uranu a vznikem četných hald (Culek a kol. 2013).

Ve vyšších polohách na jihovýchodě povodí leží **Brdský bioregion** s celkovou rozlohou 846 km². Jedná se o území po dlouhou dobu téměř nedotčené civilizací, jelikož se na jeho velké části po 90 let (1926–2016) rozprostíral Vojenský újezd Brdy. V dřívějších dobách nebyly Brdy člověkem ve velké míře využívány z důvodu neúživnosti půd a neprovozovalo se zde ani pastevectví. Bioregion je vlivem své nadmořské výšky chladnější a vlhčí než předchozí bioregiony, v nejvyšších oblastech se uplatňuje vrcholový fenomén. I přesto zde lesy celkově zabírají kolem 72 % rozlohy, jedná se zejména o smrčiny. Nejvyšší polohy spadají do fyto geografické oblasti oreofytika představujícího zejména chladnomilnou květenu. Vegetační stupně se zde uplatňují tři, suprakolinní, submontánní a montánní. Rostlinstvo je zde standardně střeoevropského rázu (Culek a kol. 2013). Lze zde spatřit černýše lesního (*Melampyrum sylvaticum*), kyčelnici cibulkonosnou (*Dentaria bulbifera*), dřípatku horskou (*Soldanella montana*), vstavače kukačku (*Anacamptis morio*; obr. 21), koniklec luční český (*Pulsatilla pratensis subsp. Bohemika*; obr. 22) či rosnatku okrouhlostou (*Drosera rotundifolia*; obr. 23) (Databáze Pladias 2023). Z fauny je zastoupen např. tetřívka obecná (*Tetrao tetrix*), kuňka žlutobřichá (*Bombina variegata*), listonoh jarní (*Lepidurus apus*; obr. 24) (Culek, a kol. 2013).



Obr. 21: Vstavač kukačka (*Anacamptis morio*), lokalita PP Na horách (vlastní fotografie, pořízeno 6. 5. 2023)



Obr. 22: Koniklec luční český (*Pulsatilla pratensis* subsp. Bohemika), lokalita PP Na horách (vlastní fotografie, pořízeno 6. 5. 2023).



Obr. 23: Rosnatka okrouhlostá (*Drosera rotundifolia*), lokalita CHKO Brdy (vlastní fotografie, pořízeno



Obr. 24: Listonoh jarní (*Lepidurus apus*), lokalita CHKO Brdy (vlastní fotografie, pořízeno 22. 6. 2021).

4.7 Ochrana přírody

V povodí Litavky se nachází tři velkoplošná zvláště chráněná území, která celkově zabírají plochu 227,69 km², což je zhruba 36 % z celé plochy zájmového území. To je podíl poměrně významný, a proto je těmito územím věnována samostatná kapitola.

Plocha **CHKO Brdy** zasahující do povodí Litavky čítá 124,15 km², což je více než 1/3 celkové rozlohy CHKO – ta činí 345 km² (AOPK 2023c). Brdy jsou nejmladší českou chráněnou krajinnou oblastí vzniknuvší v roce 2016 z původního vojenského újezdu. Využívání této oblasti člověkem mělo a má značný vliv na vlastnosti krajinného pokryvu, jemuž se věnuje kapitola 4.8. Počátky existence vojenského újezdu sahají do období 1. světové války, která přinesla rozmach zbrojního průmyslu. V českých zemích v tomto období neexistoval prostor, kde by bylo možné používat děla většího dostřelu, a začalo tedy hledání vhodné lokality pro takovéto vojenské cvičiště. Mimo to hrál svou roli i narůstající počet a význam dělostřelectva. Jako jediná v úvahu připadající oblast z celé země byla oblast Středních Brd, a tak zde v roce 1927 byla založena první dělostřelecká střelnice o ploše 20 000 ha. Dopadové plochy byly zřízeny mezi lety 1928–1929 a první ostrá střelba posléze proběhla v roce 1930 na dopadové ploše Jordán (Cílek a kol. 2015). Po roce 1989 byl vojenský prostor využíván v mnohem menším měřítku.

První diskuze o zrušení vojenského újezdu Brdy započaly roku 2011, jejich hlavním důvodem bylo zejména snižování stavu armády (Pejšek 2013). Roku 2014 Poslanecká sněmovna ČR schválila návrh „Zákona o zrušení vojenského újezdu Brdy, o stanovení hranic vojenských újezdů, o změně hranic krajů a o změně souvisejících zákonů“ (Zákon o hranicích vojenských újezdů) a tento zákon posléze nabyl účinnosti 1. 1. 2016. Po téměř 90 letech tak byla oblast téměř kompletně otevřena veřejnosti. Malá část v okolí dopadové plochy Brda nadále slouží armádním účelům. Jedná se o posádkové cvičiště Jince, které je nepřístupné a pravidelně zde probíhají střelby. Ke dni zrušení vojenského újezdu zároveň nabylo platnost vládní nařízení č. 292/2015 Sb. o zřízení Chráněné krajinné oblasti Brdy. V současné době tak zajišťuje správu oblasti CHKO Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky (zkráceně AOPK), která je přímo podřízena Ministerstvu životního prostředí. Ochrana Brd se zaměřuje zejména na udržení typického krajinného rázu, na geologické a geomorfologické lokality a vzácnou faunu a flóru (AOPK ČR 2015).

CHKO Český kras do zájmového území zasahuje necelými 8 % své rozlohy (10,16 km² v povodí z celkových 130 km²). Tato CHKO byla vyhlášena 19. 9. 1972 (AOPK ČR 2023a) a je tak v rámci povodí nejstarší ze tří zmiňovaných CHKO. Jedná se o unikátní území z hlediska světové geologie, jež nicméně není nejrozsáhlejší krasovou oblastí celého Česka – toto prvenství patří Moravskému krasu. Hlavní roli zde hraje rozloha vlastní CHKO, která ačkoliv je u Moravského krasu menší, nezahrnuje celé tamní krasové území. Ve srovnání s CHKO Moravský kras je Český kras méně bohatý na typy krasových jevů, nicméně zde lze spatřit kaňonovitá údolí vytvořená řekou Berouňkou (Skořepa, Tůma 2016).

CHKO Křivoklátsko se celkově rozprostírá na 624,97 km², z čehož se v povodí Litavky nachází 93,38 km², tj. zhruba 15 %. Vyhlášeno bylo 23. 1. 1979 a je zároveň uznáno i jako biosférická rezervace na seznamu UNESCO. V CHKO se nachází 27 maloplošných chráněných území, mezi něž patří např. přírodní památka (dále jen PP) Vraní skála nebo přírodní rezervace (PR) Jouglovka, do CHKO je zahrnuta i ptačí oblast. Hlavními předměty ochrany jsou ráz krajiny tvořený vrcholovými a říčními fenomény a velké množství přirozeně rozmanité vegetace.

4.8 Krajinový pokryv

Dnešní krajina je tvořena spolupůsobením vlivu člověka a přirozených přírodních procesů probíhajících v krajině. Povodí Litavky má pestrý krajinový ráz, je zde možné najít jak rozlehlé zemědělské plochy, které se nacházejí zejména při středním a dolním toku Litavky od Hořovic přes Lochovice a Hostomice až po Králův Dvůr, tak místa člověkem téměř netknutá. Mezi taková patří hluboké lesy Brdy a Křivoklátska.

Brdy (a jejich geomorfologické pokračování na východním břehu Litavky – Hřebeny) byly v minulosti pokryty smíšenými a listnatými lesy. Postupem času je člověk proměnil ve smrkové monokultury. Díky přítomnosti vojenského újezdu byly tzv. „Vysoké Brdy“ uchráněny před znehodnocením vlivem infrastruktury a nadměrného turismu či rozvoje sídel (Ložek a kol. 2003). V minulém století došlo na území Brd k vysídlení některých obcí (v rámci povodí se jednalo o obec Hrachoviště, která byla opuštěna v roce 1952) (Cílek a kol. 2015). Zemědělství v oblasti Brd nikdy nebylo primárním zdrojem obživy tamních obyvatel, hlavní roli zde hrálo hornictví a hutnictví. Proto krajina v této oblasti neměla vyloženě zemědělskou podobu, která by ani nebyla kvůli kamenitým a málo úrodným půdám možná (Němec 1998; Matušková 2018). Ještě v 17. století byly Brdy považovány za nejzachovalejší lesní celek středních Čech, kvůli rozvoji železářského průmyslu a lesní pastvy však docházelo k postupnému vytěžování lesních porostů. Činnost probíhající v lesích byla značně upravena vydáním tzv. „lesních řádů“ za dob vlády Marie Terezie a od poloviny 18. století tak docházelo ke změně přirozené druhové skladby lesy vlivem výsadby kulturních smrčín (Cílek a kol. 2015).

Lesy jsou klíčovým krajinovým prvkem nejen pro Brdy, ale i pro Křivoklátsko, kde zdejší 60% podíl celkové lesnatosti vysoce převyšuje český průměr a v posledních letech dokonce dochází k rozšiřování lesního území díky přirozené sukcesi. Lesní společenstva jsou zde zároveň poměrně rozmanitá (Žák a kol. 2016). Křivoklátsko si i do současné doby stále udržuje přirozený ráz přírodních podmínek, a to zejména díky svému historickému vývoji, kdy stejně jako u Brd vzhledem k neúrodným a kamenitým půdám nedošlo k větší kolonizaci oblasti (Cílek, Sůvová, Turek 2020).

Oproti dvěma předchozím lokalitám se v povodí vyskytují i poměrně hojná bezlesí, a to v oblasti Českého krasu. Český kras je významný i díky surovinovým zdrojům, proto je zde krajina poznamenána povrchovou těžbou (např. Velkolom Čertovy schody, který zásobuje materiálem

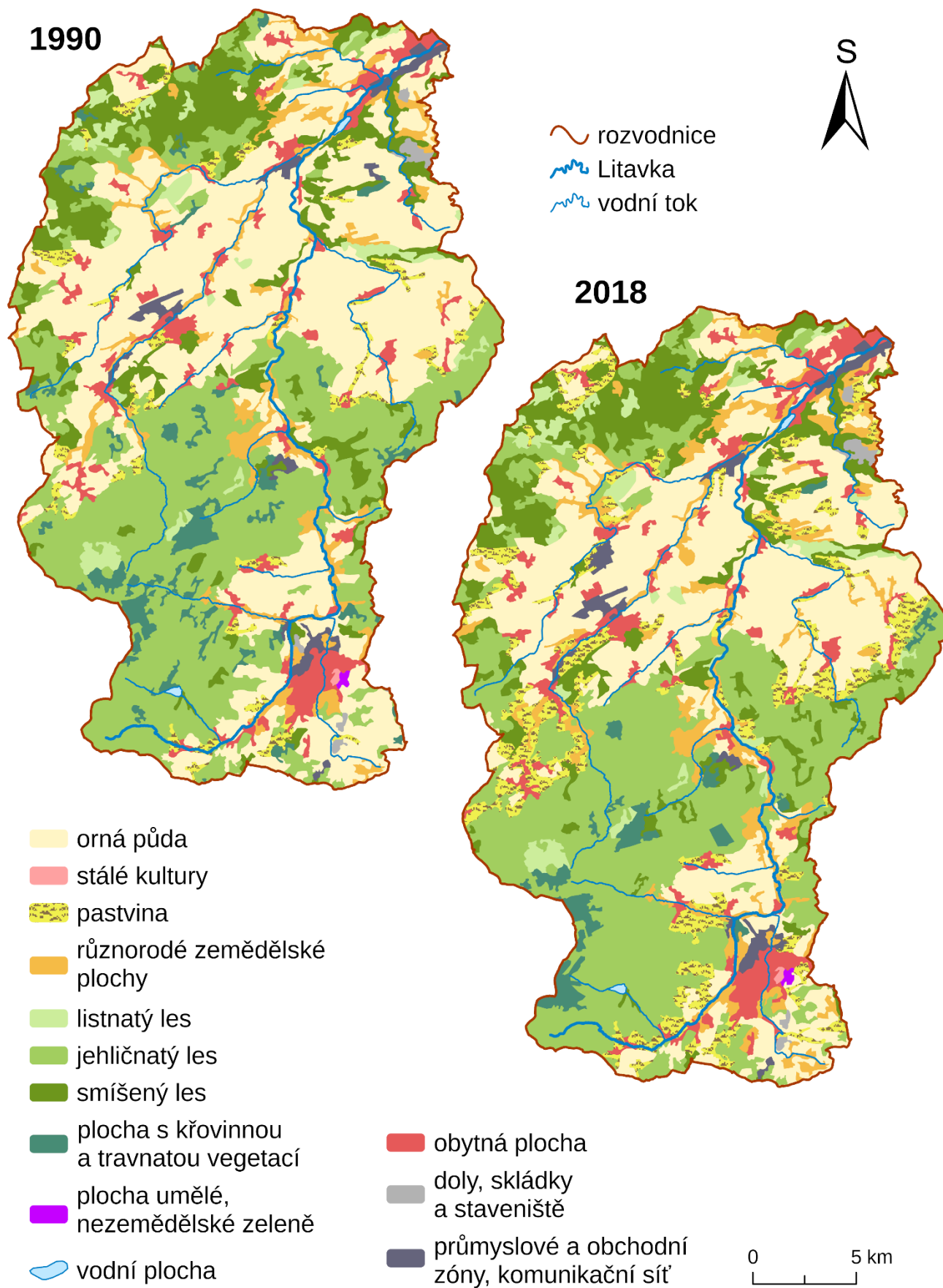
cementárny a vápenice v nedalekém Králově Dvoře a Berouně, dále již vytěžený lom Kosov na vápenec a břidlici) (Cílek, Sůvová, Turek 2020; Velkolom Čertovy schody (2015).

Tab. 7: Absolutní a relativní podíly typů krajinného pokryvu zájmové lokality (zdroj dat: CORINE Land Cover, vlastní výpočet).

kategorie	1990		2018		rozdíl
	[km ²]	[%]	[km ²]	[%]	
jehličnatý les	188,0	29,9	192,6	30,6	+0,73
orná půda	234,4	37,3	183,3	29,2	-8,13
smíšený les	70,0	11,1	71,4	11,4	+0,23
pastvina	18,3	2,9	54,5	8,7	+5,76
různorodé zemědělské plochy	36,0	5,7	45,4	7,2	+1,48
obytná plocha	33,0	5,2	37,4	6,0	+0,71
listnatý les	14,9	2,4	17,1	2,7	+0,34
plocha s křovinnou a travnatou vegetací	21,5	3,4	13,4	2,1	-1,28
průmyslové a obchodní zóny, komunikační síť	8,8	1,4	9,7	1,6	+0,16
doly, skládky a staveniště	2,4	0,4	2,3	0,4	-0,03
pevninské vody	0,5	0,1	0,7	0,1	+0,03
plocha umělé, nezemědělské zeleně	0,4	0,1	0,4	0,1	0,00
stálé kultury	0,3	0,0	0,3	0,0	0,00
celková plocha	628,4	100,0	628,4	100,0	

Celistvou představu o krajinném pokryvu zájmového území poskytuje tab. 7 uvádějící absolutní a relativní údaje o plochách různých typů pokryvu. Data z tabulky graficky interpretuje obr. 25. Celkem bylo pro účely této práce identifikováno 13 typů krajinného pokryvu, přičemž obecně lze říci, že mezi uvedenými lety 1990 a 2018 nedošlo ke značným změnám a způsoby využití půdy jsou relativně stabilní. Pro analýzu byla použita data CORINE Land Cover a bylo zjištěno, že celková plocha povodí činí 628 km². V zájmové oblasti převažují oproti dalším typům pokryvu dvě kategorie – jehličnatý les a orná půda. Jehličnatý les byl v roce 2018 zastoupen z 30,6 % a podíl orné půdy ve stejném roce činil 29,2 %. Pro účely porovnání je možné srovnat podíl orné půdy s průměrem v celém Česku, kde je tato hodnota rovna 36,9 % (k 31. 12. 2022, ČÚZK (2023)). Se značným odstupem pak následuje les smíšený zabírající 11,4 % zájmového území. Nejmenší podíl na krajinném pokryvu v povodí tvoří plochy umělé, nezemědělské zeleně a stálé kultury. Tyto dva typy krajinného pokryvu v roce 2018 netvořily ani 0,1 % celkové plochy. Při sečtení procentního zastoupení různých typů lesa v povodí lze konstatovat, že v les tvoří dominantní typ krajinného pokryvu, a že tato hodnota činí téměř 45 % z celkové plochy zájmového území.

K největším změnám došlo u orné půdy, jejíž celková plocha se mezi lety 1990 a 2018 zmenšila o 8,13 procentních bodů (dále jen p. b.), a dále pak u pastvin, kdy se plocha zvětšila o 5,76 p. b. Tyto dvě změny spolu souvisí, některá území orné půdy byla přeměna právě v pastviny.



Obr. 25: Změny krajinného pokryvu v zájmové lokalitě mezi lety 1990 (vlevo) a 2018 (vpravo) (zdroje dat: ArcČR500, CORINE Land Cover; vlastní zpracování).

5 HYDROLOGICKÉ EXTRÉMY

Extrémní přírodní události, ať už se jedná o události hydrologické, meteorologické či jiné, jsou integrální součástí prostředí planety Země, a v přírodním, ale i v sociálním prostředí vždy hrály zásadní roli (Brázdil, Kirchner a kol. 2007). V přírodních ekosystémech jsou součástí přirozeného vývoje, ovšem jakmile dojde k jejich interakci s lidskou společností a kulturní krajinou, mohou způsobit velké materiální škody či dokonce ztráty na lidských životech (Brázdil 2002). Pokud extrémní přírodní procesy ovlivní přírodu a společnost závažným způsobem, označujeme je jako přírodní katastrofy (Langhammer, (ed.) 2007).

Obecně jsou sice lehce rozpoznatelné, nicméně je obtížné je definovat, a představa jejich „extrémnosti“ častokrát závisí na kontextu. Mohou mít různé vlastnosti, frekvenci výskytu, intenzitu, délku trvání, prostorový rozsah a vícerozměrové závislosti, které nelze popsat jedinou fyzikální veličinou. Většina v současnosti používaných definic považuje „extrémy“ za události, které překročí určitý vybraný práh jedné ze svých vlastností (většinou práh intenzity nebo frekvence). Hraníční hodnoty jsou však v současné literatuře stále nejasné a mnohdy subjektivní (Camuffo, Della Valle, Becherini 2020).

Nejčastěji vyskytujícími se extrémy v globálním měřítku jsou povodně a sucho, tedy extrémní hydrologické jevy (Bai a kol. 2023). I pro Česko jsou povodně a sucho považovány za nejčastější a vůbec nejničivější přírodní katastrofy (Brázdil, a kol. 2005; Brázdil, Kirchner a kol. 2007).

Právě tyto jsou zároveň přírodními ohroženími způsobujícími ve světovém měřítku největší ztráty na lidských životech, největší ekonomické ztráty a poškození zemědělské produkce. A protože produkce potravin je hlavním pilířem společenské stability a bezpečnosti, spojitost mezi vodou, energií a potravinami je jednou z klíčových otázek hydrologických věd posledních let (Bai a kol. 2023). Mimo zemědělské produkce potravin hydrologické extrémy ovlivňují i kvalitu vody samotné, a to jak pro potřeby člověka, tak pro organismy ve vodě žijící (Hrdinka a kol. 2012; Mrkvičková 2012). Je též vhodné podotknout, že v průběhu historie v souvislosti s hydrologickými extrémy docházelo až ke kolapsu různých starověkých civilizací (např. Munoz a kol. 2015).

Hydrologické extrémy vznikají působením výjimečného průběhu přírodních procesů, jimiž mohou být např. abnormální meteorologické situace (Čurda, Janský, Kocum 2011). Četné ukázky z odborné literatury ukazují, že v posledních desetiletích jsou čím extrémní hydrologické události tím častější (Hisdal a kol. 2001; Kundzewicz, Matczak 2015; Samaniego a kol. 2018; Diaz, Corzo, Pérez 2019; AghaKouchak a kol. 2020; Shah a kol. 2022; Jamali, Eslamian 2023). Předpokládá se, že jejich dopady se budou s pokračující klimatickou změnou, rapidně se navyšující lidskou populací a ekonomickým růstem nadále stupňovat (Ward a kol. 2020). Tyto faktory vyvíjí bezprecedentní tlak na světové vodní zdroje a ovlivňují ekosystémy způsobem, který mnohdy zvyšuje jejich zranitelnost. To však může lidskou společnost zásadně ovlivňovat, protože bude docházet ke ztrátám ekosystémových služeb, které jsou pro život na planetě Zemi klíčové (Crausbay a kol. 2017).

Právě lidstvo, ať už úmyslně nebo neúmyslně, ovlivňuje frekvenci, velikost a prostorové rozložení povodní a sucha (Van Loon a kol. 2016a). Při socioekonomickém pohledu na problematiku extrémních přírodních jevů ilustruje Raška a kol. (2018), na příkladu povodní, jako základní faktor tzv. princip odtržení (z angl. *disconnection*). Uvádí, že vznik měst je sice spojován s okolím řek, nicméně v minulosti naši předkové respektovali nebezpečí, která řeky mohou přinášet, a většinou budovali svá sídla v dostatečné vzdálenosti od toků mimo záplavová území tak, aby minimalizovali případná ohrožení způsobená přirozenými procesy.

Jinými slovy lidé sice využívali přírodních zdrojů, nicméně byli nuceni se před projevy přírodních procesů bránit (Vilímek 2007). V moderní době však člověk začal oddělovat principy fungování přírody a principy fungování společnosti. Od 19. století docházelo k rozvoji průmyslu a diverzifikaci infrastruktury. Sídla se začala stavět v údolních nivách bez ohledu na to, že tyto oblasti bývají pravidelně zaplavovány, a jsou tak vzhledem k potenciálnímu nebezpečí zranitelná (Hladný 2007). Současně s technickým pokrokem se začalo uplatňovat paradigma, že člověk může technickými prostředky ovládat přírodní živly. Tato představa částečně přetrvává ve společnosti dodnes (Doleželová 2006), nicméně mnoho přírodních katastrof ukazuje, že je z určitého pohledu lichá. Člověk by měl přirozené přírodní procesy začít opět respektovat a najít mezi nimi a svojí působností v krajině rovnováhu. Kundzewicz a Matczak (2015) podotýkají, že pokud se svět nedokáže přizpůsobit narůstajícímu výskytu a zvyšující se extrémnosti hydrologických událostí, bude pravděpodobně docházet k čím dál tím větším socioekonomickým i environmentálním škodám.

Hydrologický cyklus je jeden z nejdůležitějších fyzikálních procesů probíhajících na planetě Zemi. Jedná se o koloběh vody a její interakci mezi hydrosférou, atmosférou, litosférou, biosférou a antroposférou, který je ale zároveň ovlivňován lidskými aktivitami a socio-ekonomickým rozvojem. Vzhledem k současným změnám ve vývoji klimatu (globální klimatické změně) a využívání půdy (*land-use*) prochází hydrologický cyklus vysokou úrovní prostorové i časové variability, což má za následek řadu problémů souvisejících s vodou. Porozumění změnám v hydrologickém cyklu a vodním zdrojům je tedy klíčovou otázkou výzkumu v oblasti životního prostředí a přírodních zdrojů (Blöschl a kol. 2019; Yang, Yang, Xia 2021).

Klimatická změna je v současnosti 21. století považována za jedno z největších ohrožení planety Země (Mishra, Singh 2010). UNFCCC (*the United Nations Framework Convention on Climate Change*) ho ve článku 1 definuje jako „změnu klimatu, která je přímo nebo nepřímo připisována lidské činnosti, která mění složení globální atmosféry, a která je kromě přirozené proměnlivosti klimatu pozorována v průběhu porovnatelných časových období“ (United Nations 1992, s. 7). Pro sledování a vysvětlení trendů týkajících se extrémních přírodních událostí je nutné vzít v úvahu narůstající koncentraci emisí, oxidu uhličitého a dalších skleníkových plynů v ovzduší (Wilhite, Vanyarko 2000). Ta je jedním z činitelů, které způsobují zvyšování průměrné globální teploty. Na základě šesté Hodnotící zprávy Mezinárodního panelu pro klimatickou změnu (*Assesment report of the International Panel for*

Climate Change – IPCC) z roku 2023 lze konstatovat, že globální průměrná teplota z let 2011–2020 v porovnání s průměrnou teplotou mezi lety 1850–1900 stoupla o 1,1 °C (Lee a kol. 2023).

Podle Clausiova-Clapyronova zákona se s rostoucí teplotou zvyšuje schopnost atmosféry poutat vodní páru, což vytváří potenciál pro častější a intenzivnější srážky. Zvyšující se průměrná teplota způsobuje zrychlení výparu z moří a oceánů a zároveň zrychluje i proces evapotranspirace, a má za následek zvyšování koncentrace vodní páry v atmosféře. To vede ke změnám charakteristik atmosférických srážek, jako je typ srážek (jedná se zejména o změnu ze sněhových na dešťové), množství, frekvence, intenzita, doba trvání a časoprostorové rozložení (Trenberth, Jones, a kol. 2007; Hladný 2009). Tyto změny se však neprojevují na celé planetě stejně. Regiony nacházející se ve vyšších zeměpisných šířkách a rovníkových oblastech budou zaznamenávat vyšší pravděpodobnost silných srážkových událostí či dokonce častější výskyt tropických cyklon (Fischer, Knutti 2015). Naproti tomu ve většině subtropických oblastí dochází k poklesům v množství srážek (Lee a kol. 2023).

Projevy změny klimatu jsou regionálně specifické, závisí na topografii dané oblasti – v některých regionech se zvyšuje pravděpodobnost výskytu povodní, v jiných regionech výskytu sucha. V určitých oblastech dochází ke zvýšení pravděpodobnosti projevů povodní i sucha zároveň. Kvůli klimatické změně dochází k narušení rovnováhy mezi chemickými a fyzikálními procesy v rámci hydrosféry a atmosféry, a tak ani nárůst globální průměrné teploty není rovnoměrný a některé oblasti se dokonce ochlazují (Lee a kol. 2023).

V regionech, jejichž zásoby vody souvisí s výskytem sněhu nebo ledu, bude mít zvýšení povrchové teploty planety pro hydrologický cyklus značné důsledky. V oteplujícím se světě bude ubývat sněhových srážek a jejich tání bude nastávat v dřívějších jarních měsících. Důsledkem pak budou změny v odtoku, kdy se maxima (v mírných zeměpisných šířkách) budou objevovat dříve, než by bylo z hlediska vegetační sezóny potřeba. Pokud nedojde k současné změně sezonality a výskytu srážek, je pravděpodobné, že se kvůli vyšším teplotám a intenzivnější evapotranspiraci nebudou tvořit v zimním období dostatečné zásoby vody ve formě sněhové pokrývky, které by pokryly spotřebu v průběhu léta a brzkého podzimu (Barnett, Adam, Lettenmaier 2005). Zvýší se tak potenciál pro rozvoj sucha v období léta (Huning, AghaKouchak 2020). Vlivem ubývajících sněhové pokrývky na odtok ve střední Evropě se zabývala např. Blahušáková a kol. (2020).

Hydrologické extrémny nemusí být způsobeny pouze hydroklimatickými variacemi daného regionu a lokálním průběhem koloběhu vody, ale mohou být významně spojeny s rozsáhlými atmosférickými cirkulacemi, jakou je například ENSO (*El-Niño South Oscillation*) (Emerton, Stephens, Cloke 2019; De Luca a kol. 2020) nebo NAO (*North Atlantic Oscillation*) (Hurrell 1995).

Přírodní ohrožení (např. povodně, sucho, tropické cyklóny, požáry...) jsou obecně podmíněny meteorologickými prvky – úhnm srážek, teplotou a tlakem aj. –, které se často též označují jako „proměnné“. Jakmile hodnota výskytu těchto prvků překračuje určitou prahovou hodnotu, která je blízko horní či spodní hranice rozsahu obvykle pozorovaných hodnot, lze situaci považovat za extrémní. Extrémní důsledky mohou být způsobeny projevem pouze jednoho prvku, ale v současnosti se ukazuje,

že častěji jsou extrémny (ať už meteorologického, klimatického nebo meteorologického typu) způsobeny kombinací extrémních hodnot několika prvků najednou (Leonard a kol. 2014). Obecná definice pro sdružené hydrometeorologické události vytvořená Leonardem a kol. (2014, str. 115) zní: „Za sdruženou hydrometeorologickou událost se považuje extrémní dopad, který závisí na několika statisticky závislých proměnných nebo prvcích.“ Zásadní publikací pro problematiku sdružených hydrometeorologických událostí je práce Zscheischlera a kol. (2020), která zvýšila povědomí o tomto fenoménu.

Ačkoliv jsou dva zmíněné hydrologické extrémny součástí jednoho procesu – globálního hydrologického cyklu – výzkumy se z velké většiny soustředí buď pouze na suchu, anebo pouze na povodně. Stále však existuje pouze malé množství studií, které by se zabývaly jejich dynamickým spolupůsobením a společnými dopady (Leonard a kol. 2014; Di Baldassarre a kol. 2017; Ward a kol. 2020). Hlavní důvod, proč jsou sucha a povodňové události studovány obvykle odděleně, spočívá hlavně v odlišných procesech vedoucích k jejich vzniku (Brunner a kol. 2021), a v odlišnosti v časovém i prostorovém měřítku (Van Loon 2015). Dopady, které tyto jevy mohou mít, však často nelze vysvětlit zaměřením se pouze na jeden prvek celého hydrologického cyklu. Často záleží na jejich kombinaci. Opatření která snižují dopady jednoho extrémny totiž zároveň mohou prohlubovat dopady extrémny druhého (Brunner a kol. 2021).

Nabízí se tedy otázka, jestli by interakce těchto prvků při snaze o pochopení rizik, které tyto události mohou skýtat pro lidskou společnost, neměly být zohledněny (Leonard a kol. 2014). Protože člověk neustále mění charakteristiky obou hydrologických extrémny a existuje i mnoho společných přístupů k této problematice, autoři čím dál tím častěji vyzývají k společnému rámci a analýze a hodnocení povodní i sucha dohromady (Van Loon a kol. 2016b; Di Baldassarre a kol. 2017; Kreibich a kol. 2019; Brunner a kol. 2021).

Četné příklady z odborné literatury navíc dokazují, že množství významných povodí velkých vodních toků se potýká s oběma extrémny. Krysanova a kol. (2008) ve své studii uvádí povodí Amudarji (nebezpečí výskytu povodní – 2005, nebezpečí výskytu sucha – 2000, 2001), Labe (nebezpečí povodní – 2002, nebezpečí sucha – 2003), Nilu (nebezpečí povodní – 2002, nebezpečí sucha – každoročně), Rýnu (nebezpečí povodní – 1993, 1995, 1995, nebezpečí sucha – 2003, 2005, 2006) či Tisy (nebezpečí povodní – 2001, 2005, nebezpečí sucha – 1998, 2001).

Další ukázkou je Kalifornie, kde mezi roky 2012–2017 panovalo rekordní suchu (AghaKouchak a kol. 2015), aby posléze bylo v krátkém časovém intervalu vystřídáno intenzivními dešti trvajících několik měsíců, které způsobily silné povodně. Tímto vývojem byla poškozena přehrada Oroville Dam, konkrétně její odtokový kanál, nouzový i primární přepad, přičemž kvůli obavám z podtrhnutí muselo být z území pod přehradou evakuováno 190 000 lidí (Vahedifard a kol. 2017). V Austrálii mezi lety 1997–2009 panovalo tzv. „tisícileté suchu“, jež mělo kritické dopady na životní prostředí i ekonomiku. Po dvanácti letech bylo náhle přerušeno destruktivními povodněmi, které zničily množství hrází na řece Murray (Ward a kol. 2020).

Bai a kol. (2023) ve své práci představují relativně nový koncept DFAA (drought-flood abrupt alternation, v překladu „náhlé střídání sucha a povodní“). Tento jev je charakterizovaný rychlým vystřídáním jednoho hydrologického extrému za druhý v rámci jednoho roku, a to buď sucha za povodně (drought-to-flood, DTF) nebo naopak povodní za sucha (flood-to-drought, FTD). Mechanismy, které způsobují prudké změny z intenzivního sucha na intenzivní povodně, nejsou doposud plně pochopeny (Brunner 2023), nicméně vzhledem k rychlosti změn mezi těmito jevy představuje DFAA významně větší nebezpečí ve srovnání s izolovanými epizodami sucha nebo povodní. Zvýšenou pravděpodobnost výskytu DFAA může způsobovat narůstající nestacionarita atmosféry a změny klimatu, přičemž v posledních letech dochází k postupnému nárůstu frekvence DFAA zejména v jihozápadní Austrálii a v Číně. To je problémové zejména z důvodu ohrožení produkce rýže a dalších zemědělských plodin (Bi a kol. 2019; Zhang a kol. 2024). Aby bylo možné porozumět náhlému střídání hydrologických extrémů a zároveň vytvořit strategii pro snižování jejich dopadů, je zapotřebí dalšího výzkumu v této oblasti (Ward a kol. 2020; Brunner 2023). Na druhou stranu střídání povodní a sucha je někdy žádoucím jevem, protože je nezbytné pro některé ekosystémy. Vliv tohoto jevu je důležitý například pro geomorfologický vývoj delty řeky Brazos v Texasu, která je závislá na přirozeném cyklu povodní a sucha spojeného s vlivem ENSO (Fratlicelli 2006).

Vzhledem k významným dopadům hydrologických extrémů je nutné věnovat jejich problematice značnou pozornost, a to zejména kvalitě a množství dlouhodobých datových záznamů o průběhu, a standardizaci metod pro identifikaci a vyhodnocení těchto událostí. Obecně se v současné době lze setkat se dvěma přístupy k vyhodnocování a předpovědi vývoje hydrologických extrémů. Jsou jimi statistické metody, kterými se tato práce bude dále zabývat, a hydrologické modelování (Liu, Li, Attarod 2021). Hydrologické modely se často využívají v případech, když není k dispozici dostatek dat, jejich kvalita je nízká nebo jsou pozorování ovlivněna lidskou činností. Hydrologické modelování pak může být využito například k doplňování chybějících dat (Van Loon 2015). Hydrologickými modely se na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy ve svých diplomových pracích zabývali kupříkladu Jeníček (2009), Lörinc (2018), Burian (2021) nebo Čermák (2022).

V současné době rychle roste dostupnost dat, která mohou podpořit studium hydrologických extrémů. He a kol. (2020) vytvořili první globální katalog sucha a povodní pro období 1950–2016, který shromažďuje data *in situ* pozorování, data získaná metodami dálkového průzkumu Země (DPZ), a který je spojen i s hydrodynamickým modelováním. Pomáhá tak poskytovat nepřetržité a konzistentní odhady vývoje hydrologického cyklu a hydrologických extrémů. Lindersson a kol. (2020) poskytují rešerši volně přístupných globálních datasetů pro studium hydrologických extrémů. Diaz, Corzo, Pérez (2019) ve svém článku představují sadu nástrojů STRIVIng (*Spatio-TempoRal distribution and Interannual Variability of projections*), která umožňuje analýzu možných budoucích projevů klimatu. Jedná se o open source nástroj, jenž poskytuje základní informace a data o časoprostorovém rozložení hydrologických extrémů a umožňuje jejich interpretaci. Další ukázky veřejně dostupných dat nabízí ve své práci Brunner a kol. (2021). V Česku dostupnost dat o meteorologických faktorech upravuje zákon

č. 123/1998 Sb. o právu na informace o životním prostředí. Denní, měsíční i roční data z desítek měřících stanic jsou zveřejněna na webových stránkách ČHMÚ (ČHMÚ 2023b).

5.1 Sucho

Sucho je komplexní jev, který je výsledkem složitých interakcí mezi meteorologickými anomáliemi, fyzickogeografickými podmínkami a lidským působením, a jenž může mít výrazné společenské důsledky (Wilhite, Glantz 1985). S rostoucí lidskou populací se společnost stává více náchylnou k jeho dopadům, jelikož sama vytváří čím dál tím větší tlak na vodní zdroje (Wilhite 1993) a aktivně tak ovlivňuje v současné době antropocénu (ne)dostupnost vody. Z toho důvodu se z určitého pohledu na věc sucho již nedá považovat za čistě přírodní fenomén (Wilhite, Vanyarko 2000; Van Loon a kol. 2016b).

I přesto, že od dávných dob sucho ohrožovalo existenci lidských civilizací (Wilhite, Vanyarko 2000), ve srovnání s dalšími přírodními ohroženími ovlivňujícími lidskou společnost mu byla v nedávné minulosti věnována jen malá pozornost. Bylo tomu tak pravděpodobně z důvodu pomalého a nevýrazného nástupu (Wilhite, Vanyarko 2000; Soukalová, Muzikář 2015). Například Tannehill (1947, s. vii – předmluva) popsal průběh sucha takto: „Plíží se k nám postupně, téměř tajuplně, ale jeho důsledky jsou strašlivé“. V současnosti se ale tomuto jevu kvůli jeho čím dál významnějším projevům oprávněně dostává mnohem většímu zájmu (Van Loon a kol. 2016b).

Sucho je normální a opakující se součást klimatických podmínek dočasného trvání a je charakterizováno množstvím klimatologických a hydrologických parametrů (Mishra, Singh 2010). I když je spojeno s nedostatkem vody v určitém regionu, nelze ho zaměňovat s ariditou, jež je charakterizována typickým suchým průběhem klimatu a dlouhodobým nízkým úhrnem srážek v dané oblasti (Wilhite 1993). V aridních oblastech míra infiltrace a výpar běžně přesahuje roční úhrn srážek (Janský 2019), což může způsobit výskyt abnormálního sucha i v těchto regionech. Jeho výskyt je zjišťován porovnáním pozorovaných dat suchých období s dlouhou řadou záznamů o množství srážek, tedy v porovnání s normálním stavem (Lake 2008). Sucho by též nemělo být zaměňováno s dlouhodobým nedostatkem vody, který je způsoben uměle, nízkými průtoky či desertifikací (Van Loon 2015).

Vzhledem ke složité povaze problematiky sucha je téměř nemožné poskytnout jednu univerzální definici, která by sucho kvantifikovala a zároveň ho popsala v celé jeho šíři. Klíčové charakteristiky, které by byly pro tuto definici použity, jako je délka trvání, intenzita nebo prostorový rozsah sucha, jsou závislé na podmínkách konkrétního regionu, kde se sucho projevuje (Hao, Singh 2015). V podstatě tak nelze pro většinu praktických využití sucho beze zbytku číselně vyjádřit. Definice sucha se musí vztahovat k určitému regionu nebo dopadu který má, a reflektovat jeho unikátní meteorologické, hydrologické, zemědělské a socioekonomické charakteristiky (Wilhite 1993). Wilhite (1993, s. 3) dokonce označuje univerzální definici sucha za „nereálnou představu“ a ve své dřívější práci (Wilhite, Glantz 1985, s. 13) uvádí, že univerzální číselná definice „nemůže a ani by neměla existovat“. Lloyd-

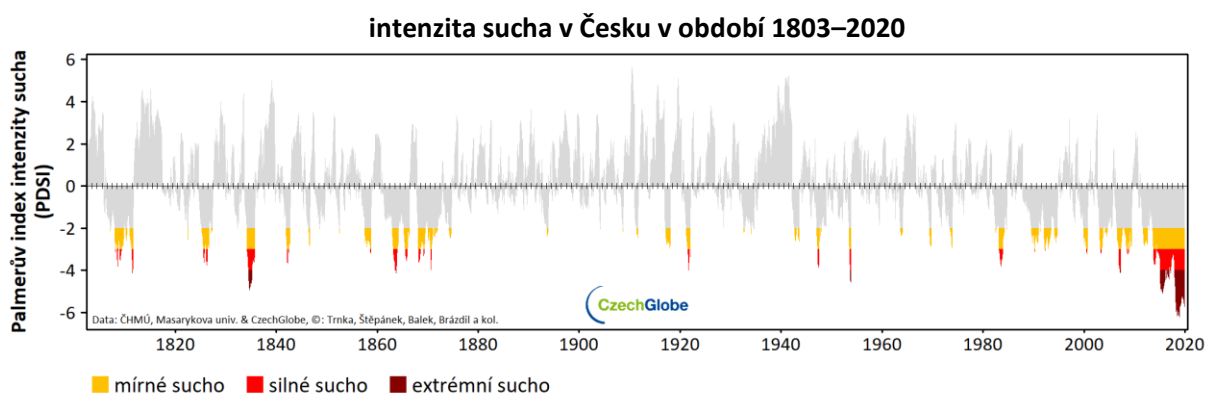
Hughes (2014) ve svém článku též argumentuje nepraktičnost komplexního matematického vyjádření sucha. Odkazuje však na knihu Sheffielda a Wooda (2011, s. 11), kteří vytvořili definici kvalitativní a označují sucho za „deficit množství vody vzhledem k normálu“. Podobně označují sucho i Brázdil, Trnka a kol. (2015, s. 13), a to jako „zápornou odchylku vodní bilance od klimatického normálu v dané oblasti během určitého časového intervalu“. Pokud se autoři o definici sucha pokouší, obecně se dají rozdělit do dvou skupin – na ty, které označují sucho jako čistě přírodní fenomén a na ty, které sucho považují za hrozbu lidské společnosti, a to zejména primárnímu sektoru hospodářství (Lake 2008). Podrobněji se definicí sucha zabývají například Dracup, Lee, Paulson Jr. (1980), Hisdal a Talaksen (2000), Glantz a Katz (1977), McKee, Doesken a Kleist (1993) nebo Mishra a Singh (2010).

V posledních letech je sucho více evidentní nejen z důvodu nedostatku srážek, resp. jejich rozdílného rozložení úhrnů v průběhu roku, ale i z důvodu častějšího výskytu velice zřetelných opakujících se suchých epizod (Rožnovský 2014). Dai (2013) uvádí, že například mezi lety 1980 a 2010 došlo k 8% nárůstu výskytu sucha na globální úrovni.

V evropském měřítku dochází k významným suchým epizodám čím dál tím častěji, což vyúsťuje v závažné socioekonomické a environmentální škody (Stahl a kol. 2016; Moravec a kol. 2021). V roce 2022 došlo v Evropě k současnému výskytu sucha a vysokých teplot, což se projevilo zejména v podobě výskytu lesních požárů, škod v zemědělství a celkovém nedostatku vody. Nejméně závažněji byl zasažen Pyrenejský poloostrov, Francie a Itálie (Tripathy, Mishra 2023), tedy oblast Středomoří, která je dlouhodobě na sucho v rámci Evropy k suchu nejnáchylnější (Romano a kol. 2022). Teploty v těchto oblastech přesáhly průměr o 2,5 °C (Tripathy, Mishra 2023). V případě Itálie měla vliv velmi suchá zima a nedostatek sněhových srážek od prosince 2021 do března 2022, který byl příčinou nejhoršího přístrojově zaznamenaného sucha v létě 2022 na řekách Pádu a Adiži. Sněžné sucho 2022 bylo dle autora součástí výraznějšího trendu výskytu sušších a teplejších zim, které se začaly častěji opakovat od 90. let minulého století (Colombo a kol. 2023). Výskytem sucha v Evropě se zabývá např. Stahl (2001), Spinoni a kol. (2015), Büntgen a kol. (2021) nebo Ionita a kol. (2021).

V Česku jsou nejvíce suchem ohrožené oblasti jižní Moravy, Lounska a Žatecka. Počet období, kdy panuje sucho, klesá se stoupající nadmořskou výškou (Tolasz, Baštýřová 2007). Velmi suchými roky z poslední doby byly 2015, 2018, 2019 a 2022, přičemž první příčku v závažnosti zaujímá rok 2018, následuje 2019 a za třetí nejsušší lze v současné době považovat rok 2022 (ČHMÚ 2022). V roce 2018 bylo sucho způsobeno atmosférickou cirkulací, která nedovolovala postupu front ze Středomoří a Atlantiku. Tento kalendářní rok byl suchý už od svého začátku, v zimních měsících se nevytvořily dostatečně velké sněhové zásoby, a i jarní měsíce byly srážkové podprůměrné. Nejvýraznější projevy pak nastaly v červenci a srpnu, kdy úhrn srážek byl vůči normálu méně než poloviční. Zároveň v Česku panovaly vysoké teploty, kvůli kterým byl umocněn vliv evapotranspirace, což způsobilo rychlé vymizení vody z krajiny (Daňhelka a kol. 2019). Obr. 26 zobrazuje jeden z možných pohledů na sucho dle Palmerova indexu intenzity sucha (PDSI) v Česku, zpracovaného v rámci projektu Intersucho. Je

z něj patrné, že od počátku 21. století se u nás sucha vyskytovala s větší frekvencí. Výčtu největších období sucha pro Česko se věnují ve svých pracích Treml (2011; 2012) či Brázdil, Trnka a kol. (2015).



Obr. 26: Hodnota Palmerova indexu intenzity sucha (PDSI) vyjadřující anomálii půdní vlhkosti na základě průměrné řady teplot a srážek pro území ČR a období 1803 až duben 2020 (zdroj: <https://www.silvarium.cz/lesnictvi/sucho-jako-fenomen-nasi-doby>).

5.1.1 Příčiny sucha

Stejně jako sucho samo i příčiny, které ho způsobují, nejsou jednoduše popsatelné. Zahrnují nejen atmosférické procesy a proměnlivost klimatu, ale též hydrologický cyklus, který do atmosféry dodává vodu a následně ji odvádí zpět do vodních toků (Mishra, Singh 2010). Mimo jiné velkou roli hraje využití vody člověkem a jeho potřeby nebo druhové složení vegetace v dané oblasti (Wilhite 1993). Jak již bylo zmíněno, obecně řečeno je sucho způsobeno přírodními a antropogenními faktory. Výzkum příčin a dopadů sucha má esenciální význam pro vodní hospodářství, protože zhruba polovina zemského povrchu na souši je náchylná k výskytu suchých epizod (Mishra, Singh 2010).

Z přírodních příčin jsou nejvýraznějším faktorem vzniku sucha synoptické situace, kdy dochází po delší dobu k nedostatku úhrnu srážek a vysoké míře evapotranspirace (Brázdil a kol. 2009; Treml 2011; Rožnovský 2014). Vliv mají též vlastnosti půdy a její nasycenost vodou (Brunner, Van Loon, Stahl 2022). Meteorologické podmínky jako jsou teplota, povětrnostní podmínky nebo vlhkost vzduchu pak sucho mohou značně prohlubovat (Brázdil a kol. 2009). Při pohledu na faktor srážek závisí na konkrétní době jejich příchodu a intenzitě srážkových úhrnů (Wilhite 1993). V oblasti Česka jsou z klimatologického hlediska pro suchá období významná Sibiřská (pro zimní období) a Azorská (pro letní období) tlaková výše (Brázdil a kol. 2009). Sucho může být způsobeno i krátkodobými klimatickými změnami souvisejícími se změnou pozice ITCZ (Intertropical Convergence Zone), Hadleyových buněk, jet streamu (Nott 2006) anebo přirozenou variabilitou atmosféry ENSO (El Niño – Jižní oscilace), která by při hodnocení vzniku sucha neměla zůstat opomíjena (Trenberth a kol. 2014). Nízké průtoky ve vodních tocích jsou ovlivněné též geologickými a geomorfologickými podmínkami (Zahrádková 2015).

Na rozdíl od jiných katastrof může být sucho přímo zaviněno člověkem (Van Loon a kol. 2016). Antropogenní příčiny vzniku sucha zahrnují nadměrné využívání přírodních zdrojů, odlesňování půdy nebo nepřímo způsobenou erozi, kvůli které půda ztrácí schopnost vodu zadržovat (Mishra, Singh 2010; Mehran, Mazdiyasn, AghaKouchak 2015). Ovlivňování krajinného pokryvu má přitom vliv na srážkoodtokové poměry jak z kvalitativního, tak kvantitativního hlediska (Podhrázská, Toman 2022). Dále se může jednat o odběr podzemních a povrchových vod pro účely zavlažování, manipulaci s průtoky nebo o revitalizaci toků (Zahrádková 2015). Vznik sucha závisí dále i na vodní bilanci regionu, způsobu hospodaření s vodou a poptávkou po pitné vodě (Lloyd-Hughes 2014).

5.1.2 Druhy sucha

Literatura týkající se rozdělení sucha je bohatá a autoři se často liší v pohledu na danou problematiku. Thornthwaite (1947) rozděluje sucho na tři kategorie: permanentní sucho je spjato s oblastmi se suchým klimatem, sezónní se vyskytuje v oblastech s obdobím dešťů a obdobím sucha a sucho nahodilé, které lze pozorovat v téměř jakékoliv oblasti.

V současnosti je však nejčastěji používá rozdělení podle Wilhita a Glantze (1985), kteří rozdělují sucho podle vědních oborů na meteorologické, hydrologické, agronomické a socioekonomické. Toto dělení bylo vytvořeno na základě více než 150 různých definic sucha z tehdy dostupné literatury. Ačkoliv se tyto kategorie běžně používají při snaze co nejlépe sucho popsat, je běžné, že jednotlivé druhy sucha se mezi sebou prolínají či se vyskytují souběžně (Brázdil a kol. 2009).

Při suchých epizodách nejdříve dochází k projevům **meteorologického sucha**. To je definováno jako deficit úhrnu srážek vzhledem k jejich dlouhodobému průměru. Dochází tedy k záporné odchylce od normálu úhrnu srážek pozorovaného po delší čas (Hladný 2009). Meteorologické sucho je způsobeno anomáliemi v atmosféře a atmosférickou cirkulací (Daňhelka a kol. 2019). Pouze meteorologické sucho lze vyjádřit pomocí kvantitativní definice, protože existují klimatologické normy vypočtené z dat vztahujících se ke konkrétnímu regionu. Může jím být např. roční úhrn srážek či průměrné měsíční srážky (Lloyd-Hughes 2014). Meteorologické sucho předchází všem ostatním typům sucha, a proto je zásadní zkoumat regionální charakteristiky před vyhodnocením jeho dopadů (Brázdil a kol. 2009). Důsledkem meteorologického sucha se uplatňují další typy sucha (Treml 2011; Brázdil, Kirchner a kol. 2007).

Po meteorologickém suchu dochází k nástupu **sucha agronomického** neboli zemědělského. V některých publikacích lze najít i další označení, jako je např. půdní sucho, sucho lesnické apod. (Marek, a kol. 2022; Van Loon 2015). Pro účely této diplomové práce bude tento stupeň sucha označován jako agronomický. Agronomické sucho je charakteristické nedostatkem vláhy v půdě (Wilhite 1993), kdy množství spadlých srážek nestačí k pokrytí potřeby zemědělských kultur. Projevy agronomického sucha závisí na biologických vlastnostech půdy, fyziologických charakteristikách pěstovaných rostlin, a z části má vliv i úroveň použité zemědělské techniky (Hladný 2009). Nároky rostlin na vodu závisí na druhu rostliny, biologických a fyziologických vlastnostech a fázi jejího růstu

(Wilhite, Glantz 1985). Pro zemědělství je sucho největší katastrofou, která tento sektor může postihnout. (Thornthwaite 1947). V souvislosti s agronomickým suchem se dále může vymezovat i tzv. sucho fyziologické, které je definováno jako vlastní nedostatek vody pro rostlinu, kdy již není schopna vykonávat vnitřní fyziologické procesy a dochází k jejímu vadnutí (Rožnovský 2014).

Třetím stupněm sucha je **sucho hydrologické**. Je spojeno s nedostatkem srážek v rámci nadzemní části hydrologického cyklu a s hladinou podzemní vody v určité oblasti (Lake 2008) a projevuje se nízkými průtoky ve vodních tocích (Tremel 2011). Nejčastěji vzniká po dlouhodobě trvajícím období (řádově od dní do let) velmi nízkých průtoků v porovnání s dlouhodobými normály – denními, měsíčními či jinými (Rožnovský 2014; Soukalová, Muzikář 2015). Pokud po dlouho dobu přetrvávají nedostatečné úhrny srážek, klesá povrchový odtok a zároveň i dotování podzemních vod, což vede k poklesu jejich hladiny a nižším hodnotám základního odtoku (Hladný 2009). Podle Hladného (2009, s. 66) je hydrologické sucho „pro povrchové toky definováno počtem za sebou jdoucích dnů, týdnů, měsíců i roků s výskytem velmi malých průtoků vzhledem k dlouhodobým průměrům“. Vzhledem k plynulému pohybu vody v krajině a určitému zpoždění v projevení nedostatku srážek v podzemních komponentách hydrologického cyklu může hydrologické sucho nastat až po skončení sucha meteorologického (Rožnovský 2014; Soukalová, Muzikář 2015). Van Loon, Van Lanen (2011) a Van Loon a kol. (2014) vytvořili specifickou typologii rozvíjející hydrologické sucho na další podtypy: klasické sucho způsobené nedostatkem dešťových srážek, sucho v období smíšených srážek, sucho přechodného období, sucho v období zmrzlého sněhu, sucho v období teplého sněhu, sucho v období tání ledovců, sucho v období tání sněhu a smíšené sucho.

Socioekonomické sucho je svázáno s projevy sucha meteorologického, agronomického a hydrologického na lidskou společnost a hospodářství. Jakmile dochází k ovlivnění lidských aktivit, dochází k socioekonomickému suchu (Hladný 2009).

Crausbay a kol. (2017) argumentují, že zmíněná běžně používaná klasifikace sucha je velmi antropocentrická a zaměřuje se na pouze na část problému. K integraci všech pohledů na sucho vymezují proto **sucho ekologické**, jež definují jako (s. 2544) „občasný deficit v dostupnosti vody, který přivádí ekosystémy za práh zranitelnosti, ovlivňuje ekosystémové služby a je spouštěčem zpětnovazebných smyček v přírodních a/nebo lidských systémech“. Tento pohled na sucho zahrnuje ekologické, klimatické, hydrologické, socioekonomické i kulturní aspekty problematiky a bere v úvahu ekosystémové služby, které jsou pro člověka nezbytné.

5.1.3 Dopady sucha

Dopady sucha jsou v porovnání s ostatními přírodními katastrofami, jako jsou například zemětřesení či dopady hurikánů, méně patrné, ale zasahují větší oblasti (Wilhite 1993). Často mají kumulativní charakter a jsou determinovány zejména délkou trvání (Moravec a kol. 2021), přičemž s narůstající délkou se dopady zvětšují (Blinka 2002; Wilhite, Vanyarko 2000). Kromě vlastní délky a intenzity sucha jsou dále ovlivněny i obdobím, kdy se sucho vyskytne a potažmo přijetím preventivních opatření

sloužících ke zmírnění jeho následků (Brázdil, Kirchner a kol. 2007). Zároveň platí, že následky sucha mohou přetrvávat i dlouhou dobu po skončení suché epizody (Brázdil, Kirchner a kol. 2007). Dopady sucha navíc mohou být nadále zhoršovány lidskou činností, kdy dochází ke kladení vyšších požadavků na dodávky vody a dalších přírodních zdrojů převyšujících možnosti zdrojů a vyčerpávají je (Wilhite, Vanyarko 2000).

European Drought Impact report Inventory (EDII) vyčleňuje patnáct kategorií dopadů sucha s více než stovkou podkategorií, zatímco například americký *US Drought Impact Reporter* (DIR) využívá kategorií deseti (Tallaksen, van Lanen 2023). Jednotlivé dopady na sebe povětšinou navazují, mohou nepřímo ovlivňovat další regiony či globální trh (Tallaksen, van Lanen 2023). Kates (1985) i Wilhite, Vanyarko (2000) dělí dopady na přímé a nepřímé. Mezi přímé (primární) následky lze zařadit následky na živé přírodě, jako je usychání zemědělských plodin. Sucho má však vliv na nejen na zemědělství. Může vážně ovlivnit různé sektory, od cestovního ruchu až po energetiku (Van Loon a kol. 2016b). Na následky primární navazují následky nepřímé, tj. sekundární a terciární (někdy označovány jako socioekonomické) jako jsou ztráty výdělku pro farmáře, uzavírání podniků či stěhování se za prací. Nepřímé následky se mohou objevit až s určitým zpožděním od doby výskytu suché epizody (Kreibich a kol. 2019).

Ve starší publikaci Wilhite (1993) rozděluje dopady sucha do třech kategorií – ekonomické, sociální a environmentální. Mezi ekonomické dopady řadí snížení zisků z výroby obilovin, mléčných výrobků, chovu dobytka, produkce dřeva nebo obecný nedostatek potravin a zvýšení jejich cen. Současné paradigma stanovuje, že sucho figuruje jako hrozba do budoucna zejména pro zemědělskou výrobu a potravinovou bezpečnost, které jsou zásadní pro obživu lidstva (Wilhite, Vanyarko 2000; Mishra, Singh 2010; Stahl a kol. 2016). Ekonomické ztráty v zemědělství totiž mohou vyústit až v hladomor a konflikty, a to zejména v zemích globální periferie (FSIN 2023). Sociální dopady zahrnují sníženou kvalitu života ve venkovských oblastech, ztrátu důvěry v politické zastoupení, ztráty na lidských životech či ohrožení veřejné bezpečnosti. Environmentální dopady se pak vyznačují negativním vlivem na přírodní prostředí, přičemž se jedná např. o ztrátu biodiverzity, zvýšené riziko požárů, snižování kvality vody, zvýšenou náchylnost půdy k erozi, ohrožení biotopů a živočišných druhů (Wilhite 1993).

Environmentální dopady mohou ohrozit celé ekosystémy (Zahrádková 2015). V důsledku sucha například dochází v některých oblastech docházet ke zvýšenému úhynu stromů (Senf a kol. 2020; Allen, Breshears, McDowell 2015). Výskyt krátkodobého sucha nemá na ekosystémy značný vliv, nicméně opakované dlouhodobé vystavení nepříznivým podmínkám je významným rizikem, což je evidentní i na příkladu ekonomických ztrát z těžby dřeva ze střední Evropy – v Česku, Německu či Polsku (Moravec a kol. 2021). Předpokládá se, že ekosystémy se mohou kvůli nedostatku vody začít přeměňovat z jednoho typu na jiný. Jiang a kol. (2013) ve své studii vytvářeli simulace pro různé klimatické modely pro západní oblast Severní Ameriky, přičemž bylo zjištěno, že zhruba polovina stálezelených jehličnatých stromů v západní části Severní Ameriky vymizí a budou nahrazeny křovisky a travními

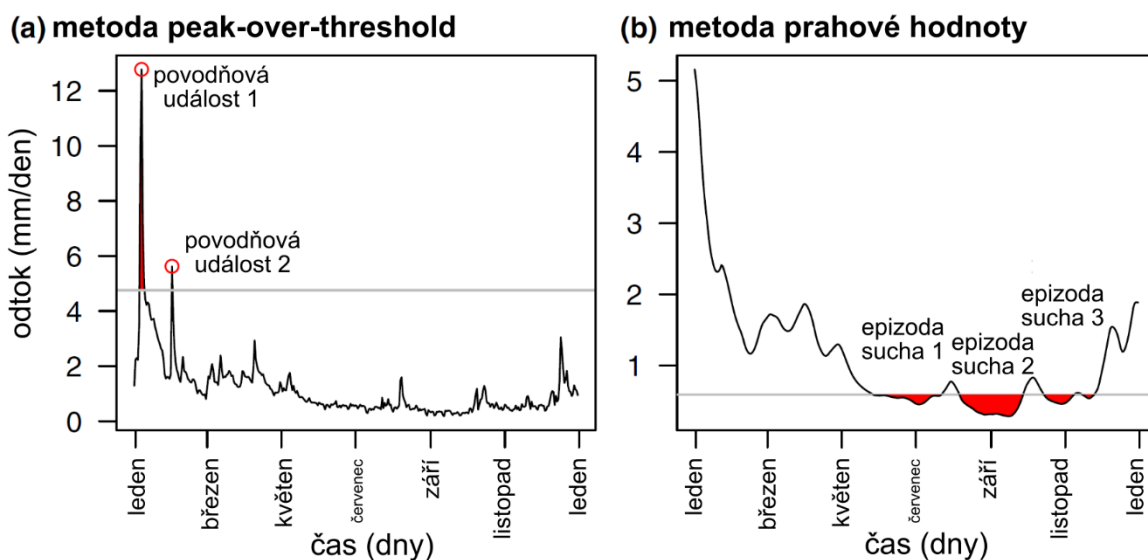
společenstvy. Různé růstové formy (tj. keř, strom, bylina) rostlin jsou vázány na určité relativně stálé podmínky prostředí, mezi než patří právě i dostupnost vody (v podobě průměrného úhrnu srážek v oblasti). Pokud se tyto podmínky dlouhodobě změní, dojde i k posunu v druhovém složení místního biomu. Dalším příkladem tohoto jevu je šíření vyšších keřů do tundry, která je obvykle tvořena lišejníky, mechy či zakrslými dřevinami (Klimešová 2022).

5.1.4 Hodnocení sucha

Pro hodnocení a sledování hydrologických extrémů existují obecně vzato dvě možnosti získávání dat o jejich průběhu, přičemž se jedná buď o (systematická) přístrojová měření, anebo tzv. dokumentární údaje neboli historické záznamy. První zmíněné se začaly využívat v širším měřítku až od druhé poloviny 19. století, tedy umožňují analýzu extrémních hydrologických událostí pouze v rámci posledních zhruba 200 let. Jeden z nejdelších časových klimatických záznamů na světě z instrumentální doby pochází z italské Boloně, který poskytuje souvislé údaje o teplotě a úhrnu srážek od roku 1715 až do současnosti (Brázdil, Kirchner a kol. 2007; Camuffo, Della Valle, Becherini 2020). Dokumentární údaje jsou oproti přístrojovým měřením zpravidla časově rozmanitější, avšak je nutno brát v potaz jejich možnou nepřesnost (Brázdil, Kirchner a kol. 2007). Ta může být způsobena subjektivním pojetím popisu události autorem, časovou nenávazností údajů či zaujatým zaměřením na extrémní události, které způsobily významné materiální škody či si vyžádaly oběti na lidských životech. Získávání dat z preinstrumentální doby umožňují dokumentární záznamy v podobě korespondence, deníků, kronik, análů či jiných pamětí (Brázdil 2000).

V současné době je sucho měřeno pomocí hydroklimatických ukazatelů, jako jsou srážky, vlhkost půdy, průtoky a hladina podzemní vody (Mishra, Singh 2010). Existuje široká škála metod a přístupů, vybrané z nich popsány v další části textu.

Metoda prahové hodnoty (ilustrováno na obr. 27) je často označována jako nejčastěji používaná metoda pro stanovení sucha. Princip spočívá v definování určité prahové hodnoty (M -denní průtok, Q_M), pod kterou-li poklesne průtok, signalizuje počátek sucha (Brázdil, Trnka a kol. 2015). Tato definující hodnota může být konstantní anebo se může měnit v závislosti na ročním období a části roku, přičemž by měla být regionálně specifická. V aridních či semiaridních oblastech je vhodné pro různá období využívat variabilní prahové hodnoty. Vodní deficit může být díky této metodě rozdělen na dvě části, a to na dobu rozvoje sucha a dobu návratu k normálu. Rozvoj sucha lze pozorovat od doby, kdy dojde k dosažení Q_M , a trvá do doby dosažení minimálního průtoku (Q_{min}) celé epizody sucha. Návrat do normálu je doba kdy se velikost průtoku vrací od Q_{min} a dosahuje opět hodnoty Q_M (Tallaksen, van Lanen 2023). V Česku je obvyklé používat prahovou hodnotu M -denního průtoku Q_{355d} ($Q_{95\%}$), neboli hodnotu průtoku, která je překročena alespoň 355 dní v roce. Tuto hodnotu zároveň definuje tzv. ekologický (zůstatkový) průtok, který je pro Česko určen legislativou (Novický 2010).



Obr. 27: Metoda určování nízkých a vysokých průtoků pomocí metody prahové hodnoty (zdroj: Tallaksen, van Lanen 2021, upraveno a přeloženo).

Princip **metody nedostatkových objemů** spočívá ve vymezení objemu vody, který chybí k akumulaci změřeného průtoku na limitní hodnotu průtoku za určitou dobu trvání sucha. Jedná se o množství vody, jež by bylo potřeba nashromáždit v období sucha, aby byl pokryt zvolený limitní průtok. Limitní průtokem se zpravidla volí 355, 330 nebo 360denní průtok. Q_L může být vyjádřen jak číslem dne, tak procentuálním vyjádřením M-denního průtoku.

Indexy sucha

Pro vyhodnocování, sledování a detekci sucha je zásadní jeho kvantifikace (Van Loon 2015), k čemuž se využívá tzv. indexů sucha. Ty slouží k numerickému vyjádření jeho závažnosti a jsou nepostradatelnými nástroji k objektivní interpretaci výsledků (Niemeyer 2008).

V současnosti existuje značné množství různých typů indexů, nicméně neexistuje jeden konkrétní index, jenž by byl vhodný k popsání všech dopadů, které sucho může mít. Výběr indexu vždy záleží na autorově záměru a cíli výzkumu (Hayes a kol. 2011). V různých částech světa je využíváno různých indexů a neexistuje všeobecný konsenzus, jak nízké průtoky monitorovat (Stahl a kol. 2020). Světová meteorologická organizace a Lincoln Declaration on Drought jako klíčový meteorologický index sucha sice označila standardizovaný srážkový index, nicméně se jednalo o doporučení spíše než o závaznou směrnici (Hayes a kol. 2011; Svoboda, Fuchs 2016; Tallaksen, van Lanen 2023). European Drought Observatory využívá indexu LFI (*Low Flow Index*), UK Drought Portal pak indexu SSI (*Standardized Soil Moisture Index*) (Stahl a kol. 2020). Český projekt InterSucho využívá mimo modelu vodní bilance SoilClim i index NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*).

Obecně jsou indexy kategorizovány stejně jako typy sucha, které popisují – tedy jako meteorologické, hydrologické, agronomické a socioekonomické indexy, avšak ani v rámci těchto užších kategorií nelze jednoznačně určit jeden nejvhodnější a univerzálně použitelný index. Hodnotitel by si

měl nejprve zvolit určitá kritéria, podle nichž zvolí index s nejpříhodnějšími vlastnostmi (Keyantash, Dracup 2002), protože indexy typicky zvýrazňují jen určité dopady sucha (Lloyd-Hughes 2014; Hao, Singh 2015). Proto je v rámci analýzy vhodné využívat více než jeden index (Wanders, Van Lanen, Van Loon 2010; Van Loon 2015). Příkladem dobré praxe může být v tomto ohledu práce autorů Brázdila, Kirchnera a kol. (2007), kteří využili pro hodnocení sucha na Moravě a ve Slezsku standardizovaný srážkový index (SPI), Langův dešťový faktor, Palmerův index intenzity sucha (PDSI) a Palmerův Z-index.

Výčtu a popisem existujících indexů se věnují například Olden, Poff (2003) či Niemeyer (2008), z (relativně) recentních publikací pak Bachmair a kol. (2016), Svoboda, Fuchs (2016), nebo Tallaksen, van Lanen (2023), kteří se detailně zabývají i postupy výpočtů vybraných indexů a jejich vhodností k vybraným účelům. Bachmair a kol. (2016) podotýká, že tvorba souhrnů věnujících se výčtu existujících indexů je v současné době nepraktická z důvodu neustále rostoucího množství nových indexů. Proto budou dále zběžně představeny pouze některé vybrané indexy, a to podle Brázdila, Trnky a kol. (2015), kteří rozdělují indexy na indexy prosté a indexy komplexní.

Mezi nepoužívanější komplexní indexy sucha patří bezesporu meteorologický **Palmerův index intenzity sucha** (PDSI – *Palmer Drought Severity Index*) (Blinka 2002), který byl jednou z prvních metod, jež do výpočtu sucha zahrnovala i jiné proměnné nežli úhrn srážek. Je založen na principu sledování odchylky průměrných (nejčastěji měsíčních) srážek a teplot a odchylky v nasycenosti půdy vláhou oproti obvyklým poměrům dané oblasti (Palmer 1965). K výpočtu jsou dále zapotřebí informace o evapotranspiraci, odtoku a půdní a hloubkové infiltraci (Blinka 2002). PDSI byl vytvořen ve Spojených státech amerických (data pocházela z Iowy a Kansasu) a původně byl zamýšlen pro použití k vyhodnocení sucha v nezávlažovaných oblastech nezávislých na zásobování vodou z horských partií (Wilhite, Glantz 1985). Nezohledňuje tak specifické vlastnosti tuhých srážek, a proto není vhodný pro oblasti s výskytem sněhu či zmrzlé půdy (Žalud a kol. 2006). Jeho „tradiční podoba“ však byla během času modifikována a v dnešní době existuje několik upravených verzí, jako sc-PDSI, PMDI, PHDI atd. (Mishra, Singh 2010; Brázdil, Trnka, a kol. 2015; Tallaksen, van Lanen 2023).

Standardizovaný srážkový index (SPI – *Standardized Precipitation Index*) do výpočtu zahrnuje pouze údaje o měsíčních srážkových úhrnech, přičemž autor doporučuje vycházet nejlépe z minimálně 30leté časové řady. Jeho hlavní výhodou je, že může být použit k výpočtu nedostatku srážek pro různá časová měřítka, a není limitován topografií, protože může být vypočítán pro libovolnou světovou oblast (McKee, Doesken, Kleist 1993; Mishra, Singh 2010). SPI je tak vhodný pro hodnocení meteorologického sucha, a to i na většině evropského kontinentu. Jeho hlavní výhodou je jednoduchost, protože vyžaduje pouze data o srážkových úhrnech a kalkulaci dvou parametrů. Může být využit pro zimní i letní období. Jeho standardizovaná povaha však skýtá i několik nevýhod, mezi něž patří nemožnost identifikovat regiony, které jsou náchylnější na sucho

v porovnání s jinými. Při výpočtu se mohou objevit zavádějící velmi kladné nebo naopak velmi záporné hodnoty (Lloyd-Hughes, Saunders 2002).

Standardizovanému srážkovému indexu se způsobem výpočtu podobá **standardizovaný srážkový evapotranspirační index** (SPEI – *Standardized Precipitation Evapotranspiration Index*), jehož cílem bylo zdokonalit výše zmíněné SPI. Kromě normovaných údajů o srážkových úhrnech je založen i na údajích o teplotě. Postup výpočtu zahrnuje klimatickou vodní bilanci a hodnoty SPEI pro různá místa mezi sebou mohou být porovnávány díky standardizované povaze indexu a stejně jako SPI je vhodný pro hodnocení meteorologického sucha (Vicente-Serrano, Beguería, López-Moreno 2010; Brázdil, Trnka, a kol. 2015).

Výše zmíněné indexy se řadí mezi světově nejpoužívanější (Blinka 2002; Stagge a kol. 2017; Almeida-Ñauñay a kol. 2022). Jak již bylo zmíněno, existuje ale velmi široká škála dalších indexů sucha. Mezi komplexní indexy sucha podle Brázdila, Trnky a kol. (2015) dále patří např.:

- SWSI – index dodávek povrchové vody (*Surface Water Supply Index*),
- RDI – index náhrad sucha (*Reclamation Drought Index*), a jiné v publikaci uvedené.

Prosté indexy jsou oproti komplexním často jednodušší a srozumitelnější. Vyjadřují vztah mezi dlouhodobým normálem sledované veličiny (např. průtoku) a hodnotami pozorovanými ve vybraném časovém období (Brázdil, Trnka a kol. 2015).

Odtokový index sucha (SDI – *Streamflow Drought Index*) byl poprvé představen Nalbantisem a Tsakirisem (2009) a vyjadřuje intenzitu hydrologického sucha. Vykazuje podobnost s výše uvedeným SPI. SDI se stanovuje pomocí výpočtů kumulativního průtoku ve 3., 6., 9. a 12. měsíci hydrologického roku a na základě úhrnu srážek lze s jeho pomocí hydrologické sucho i předpovídat (Nalbantis, Tsakiris 2009).

Standardizovaný index odtoku (SRI – *Standardized runoff index*) uvádí stav hydrologického sucha podle kvantilového rozpětí hodnoty indexu. Postup opět odpovídá metodě stanovení indexu SPI s tím rozdílem, že SRI pracuje s průtočnými řadami odtoku a poskytuje tak alternativu k indexům založeným na klimatických veličinách (Shukla, Wood 2008).

Index bazálního odtoku (BFI – *Base Flow Index*) udává poměr bazálního (základního) odtoku ku odtoku celkovému. BFI je doporučeno vypočítávat pro celou periodu měření spíše než rozdělovat časovou řadu na menší úseky. Tento index vykazuje citlivost na chybějící data, je proto vhodné případné chybějící hodnoty v časových řadách před derivací indexu dopočítat. BFI je stanoven na základě fyzickogeografických charakteristik povodí. Ovlivňuje ho zejména klima, frekvence a délka trvání srážkových událostí, vlastnosti půd a geologie oblasti.

Mezi prosté indexy sucha podle Brázdila, Trnky a kol. (2015) dále patří např.:

- LFI – index nízkého průtoku (*Low Flow Index*),
- RSDI – index regionálního nedostatku odtoku (*Regional Streamflow Deficiency Index*),
- SWI – standardizovaný index úrovně hladiny (*Standardized Water Level Index*),

- GRI – index zdrojů podzemní vody (*Groundwater Resource Index*) a jiné.

Čím dál tím využívanějšími metodami pro účely zkoumání sucha se v posledních letech stávají aktivní i pasivní přístupy **dálkového průzkumu Země** (Altemus Cullen 2023), a to zejména díky své rychlosti, praktičnosti a vysoké přesnosti v určování jeho výskytu (Erdem a kol. 2021). Mezi indexy, které využívají data ze satelitů, letadel či dronů (často označovány anglickou zkratkou UAV, tj. unmanned aerial vehicle), patří TCI (*Temperature Condition Index*), PCI (*Precipitation Condition Index*), VHI (*Vegetation Health Index*) či VCI (*Vegetation Condition Index*). Monitorováním sucha pomocí metod DPZ se zabývá ve své práci podrobněji Gaja (2013).

5.2 Povodně

Povodně jsou nejčastějším přírodním ohrožením na světě (AghaKouchak a kol. 2020). Kvůli svému charakteru a přírodním podmínkám Česka se povodně i pro náš stát ukazují jako nejvýraznější přírodní riziko (Langhammer (ed.) 2007).

Vodní zákon České republiky (254/2001 Sb.) ve znění zákona č. 544/2020 Sb. rozumí povodní „přechodné výrazné zvýšení hladiny vodních toků nebo jiných povrchových vod, při kterém voda již zaplavuje území mimo koryto vodního toku a může způsobit škody“. V podstatě lze tedy říci, že pokud dojde k nadnormálnímu překročení retenční kapacity povodí, krajina nebude schopna vodu zadržet a dojde k významnému odtoku vody z povodí, při kterém může dojít ke škodám na majetku či ztrátám na životech. V případě, že dojde k vylití říčního toku z koryta a voda vytvoří souvisle zatopené území, se jedná o záplavu.

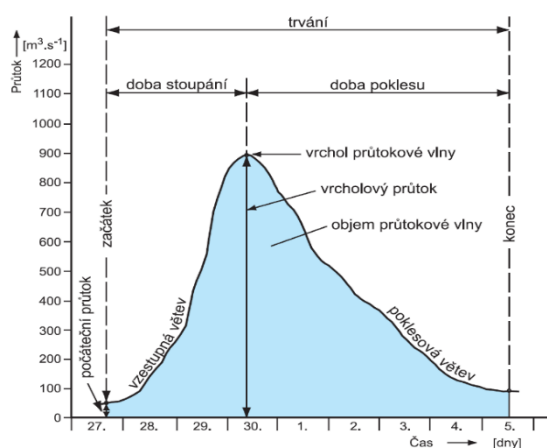
Na českých řekách lze pozorovat tzv. povodňové období klidu a neklidu. Údaje o sezonalitě jsou tedy elementárním podkladem pro zjištění zatížení území povodňovým nebezpečím (Hladný 2009).

N-letý průtok (Q_N ; někdy též „N-letá voda“) označuje hodnotu průtoku, která může být dosažena nebo překročena z hlediska dlouhodobého průměru jednou za N let. Q_5 bude tedy označovat průtok, který na pravděpodobně vyskytne nebo bude překročen průměrně jednou za pět let. Tato hodnota je vypočítávána jako průměr z dlouhodobé řady maximálních ročních průtoků. Údaje o kulminačních průtocích jsou významné pro protipovodňový management a N-leté průtoky s dobou opakování méně nebo rovno sto letům patří mezi základní hydrologické údaje. Pro významné N-leté průtoky, jako je Q_5 , Q_{20} , Q_{100} ... se vymezují tzv. záplavová území, která jsou ohraničena záplavovou čarou. Jedná se o území, která mohou být v případě výskytu pěti-, dvacetí- a stoleté vody být z části či zcela zatopena vodou.

Míra nebezpečí spojená s povodněmi se vymezuje pomocí stupňů povodňové aktivity (SPA). První stupeň je označován jako stav bdělosti, nedochází k vyběžení vodního toku a zpravidla nedochází ke škodám na majetku. Druhý SPA vyhláší příslušný povodňový orgán, jedná se o stav pohotovosti a již při něm dochází k menším rozlivům vody mimo koryto. Třetí stupeň je nazýván stupněm ohrožení.

Hrozí při něm bezprostřední nebezpečí, povodňové orgány aktivují záchranné složky, dochází k záchranným pracím a evakuaci ze záplavového území (ČHMI, nedatováno).

Průběh povodňové vlny se vyznačuje přechodným zvětšením (tzv. doba stoupání) a následným poklesem průtoků (tzv. doba poklesu) vodních stavů překračujících průtočnou kapacitu koryta. Průběh je následně doprovázen rozlivem vody přes břehovou hranu. Průběh povodňové vlny je možno vyjádřit hydrogramem (obr. 28), který je rozdělen na vzestupnou a poklesovou větev se znázorněným vrcholem průtokové vlny v jejím maximu. Z hydrogramu lze též vyčíst vrcholový průtok a objem průtokové vlny v konkrétním čase (ČSN 1975, 1983 v Brázdil a kol. 2005). Vrcholový, jinak též kulminační, průtok (Q_{max}) je měřen v $m^3 \cdot s^{-1}$ a lze podle něj stanovit velikost jednotlivých povodní. Při popisu povodňové vlny je nejvýznamnější charakteristikou kulminační vodní stav, neboli nejvyšší vrcholový vodní stav u průtokové vlny (Státníková 2012).



Obr. 28: Hydrogram průtokové vlny a její prvky (upraveno podle ČSN, 1975, 1983) (zdroj: Brázdil a kol. (2005)).

Pro porozumění povodním je zásadní hodnocení krátkodobých a dlouhodobých srážkových událostí a jejich dopadů na přírodním i zastavěném území (Teegavarapu 2012). Jak již bylo uvedeno v případě sucha, dopady přírodních katastrof mají dvojí charakter, a to přímé škody způsobené vlastním průběhem přírodního živlu a důsledky nepřímé neboli sekundární. Primární dopady povodňových událostí jsou závislé na přímém účinku a velikosti vodního proudu, patří k nim zejména boření staveb v okolí toku či staveb umístěných přímo na toku. Mezi sekundární účinky lze řadit podmáčení půdy, které je důvodem k preventivnímu stržení stavby, výpadky dodávky energií, kontaminaci zdrojů pitné vody... Dále může následkem povodní docházet k erozi nebo akumulaci naneseného materiálu (Brázdil, Kirchner a kol. 2007; Langhammer (ed.) 2007).

5.2.1 Klasifikace povodní

Brázdil a kol. (2005) uvádí ve své publikaci rozdělení povodní podle Československé státní normy 1983 (ČSN 1983, s. 59). Tato kategorizuje povodně na dešťové, sněhové, smíšené a ledové. ČSN 1983 již v současnosti není platná a byla nahrazena normou ČSN 75 0110 (750110) Vodní hospodářství – Terminologie hydrologie a hydrogeologie. Hladný (2009) k tomuto rozdělení dále přidává povodně

zvláštního typu. Pro účely této práce bude vyzdvihnuta klasická typologie povodní skládající se z dešťových, sněhových, smíšených, ledových a zvláštní povodní.

Dešťové povodně jsou povodně způsobené kapalnými srážkami a je možné je dále rozdělit na **povodně ze srážek trvalých** a **povodně ze srážek přívalových**. Tyto povodně se v českých podmínkách nejčastěji objevují od dubna do října, a proto se někdy označují i jako „*povodně letního typu*“. Povodně z trvalých srážek jsou vyvolány jedno- až několikanásobnými trvalými srážkami, způsobenými významnými synoptickými jevy. Povodně z přívalových srážek (někdy nesprávně nazývány jako „bleskové povodně“ – patrně vlivem přímého překladu z anglického označení flash floods) jsou způsobeny dešťovými srážkami s velkou intenzitou (desítky milimetrů za hodinu, výjimečně až přes sto milimetrů za hodinu) a většinou krátkou dobou trvání, vznikají v souvislosti s intenzivní konvekcí. Přívalové povodně způsobují v Česku největší škody (Borga a kol. 2011 v Raška a kol. 2018). Konvekční srážky, které přívalové povodně způsobují, často přichází v průběhu večera, noci, nebo časného rána, což umocňuje jejich nebezpečnost a potenciál pro vznik škod na majetku i lidských životech. Příkladem přívalové povodně je povodeň z května 1872 na Berounce, která si vyžádala 240 obětí (Müller, Kakos 2004; Hladný 2009). Je ovšem nutné podotknout, že oba podtypy dešťových povodní mohou působit ve stejný čas, přecházet jeden do druhého či se vyskytovat v časovém sledu za sebou (Brázdil a kol. 2005), jak se tomu stalo například 17. – 18. 6. 1979 při katastrofální povodni na Stěnavě a Metuji (Kakos 1979, Kremsa 1979 v Müller 2007).

V případě náhlého tání sněhu v zimním a jarním období existuje možnost vzniku **povodní sněhových**, které sice většinou v Česku nedosahují extrémních hodnot (hodnota kulminačního průtoku většinou nepřesáhne hodnotu pětiletého průtoku) (Hladný 2009), ale jsou jedním z nejčastějších typů českých povodní (Čurda, Janský, Kocum 2011). Vyskytují se zpravidla jen na menších tocích, kde v některých případech mohou být doprovázeny i pohybem ledových ker (Brázdil a kol. 2005).

Pokud dojde souběžně k působení tání sněhu, dešťových srážek a v některých případech zároveň i tání ledu, vznikají podmínky pro nástup **smíšených povodní**. Ty se mohou vyskytovat pouze za specifických meteorologických podmínek, kdy v zimě či na začátku jara dojde vlivem povětrnostních podmínek k oteplení do kladných teplot, které jsou většinou doprovázeny teplým silným větrem. V českých podmínkách se s nimi lze setkat v období od prosince do března, a tudíž se označují i jako „*povodně zimního typu*“. V případě, že dojde k výskytu povodní s extrémními dopady, se často jedná právě o smíšené povodně, kdy na jejich vznik působí několik nebezpečných dějů najednou (Hladný 2009). Jako příklad smíšených povodní lze uvést situaci z března 2006, kdy došlo k zvýšenému průtoku vody vlivem intenzivních dešťových srážek a tání sněhové pokrývky v povodí Otavy. Kombinace těchto faktorů způsobila protržení hráze rybníka Blažňov u obce Žihobce (Šobr, Jeníček, Vočadlova 2008).

Ledové povodně vznikají po déle trvajícím období mrazů, při nichž dochází k zámrazu řek a oteplení způsobí odlamování ledu. To může vytvořit v tocích ledové zácpy a nápěchy a omezit tak průtočnost koryta. K ledovým povodním dochází nejčastěji společně se smíšenými povodněmi, ledové povodně se samy o sobě vyskytují zřídka (Brázdil, a kol. 2005). Zejména na vodohospodářsky

ovlivněných tocích v Česku ubývá ledových povodní z důvodu ovlivnění teplotního režimu řek teplejší vodou, která je vypouštěna z vodních nádrží nebo z chladicích systémů atomových a tepelných elektráren (Hladný 2009).

Zvláštní povodně nejsou způsobeny významnou meteorologickou situací, důvodem jejich vzniku je zmenšení průtočnosti koryta vodního toku. To je často způsobeno např. přehrazením koryta sesuvem půdy, sněhovou lavinou či lavinou vzniklou uvolněním horniny či jiného materiálu – jedná se pak o lavinové povodně a splaveninové povodně (mury). Mury vznikají v horských oblastech, když se v důsledku intenzivních dešťů či tání sněhu uvolní na prudkých svazích množství zvětralín, které v kombinaci s vodou, bahnem, kamením a šterkem vytvoří destruktivní proud vody. Nelze opomenout, že takovýmto způsobem vzniklo čtvrté největší české jezero v blízkosti Mladotic, Mladotické (též Odlezelské či Potvorovské) jezero (Janský 1976, 1977 v Müller, Kakos 2004). Jako další příklad zvláštních povodní uvádějí Brázdil a kol. (2005) záplavy z tzv. zpětného vzduť, kdy se v důsledku vyšší hladiny hlavního toku na dolních částech vedlejších toků vytvoří souvisle zaplavená plocha. Pro celistvý pohled je vhodné zmínit i typy povodní, které nejsou obvyklé pro středoevropskou oblast a na území Česka se s nimi nelze setkat. Jedná se například o pobřežní povodně, estuáριοvé povodně nebo povodně vzniklé přehrazením toku ledovcem či ledovcovým příkrovem (ČHMI, nedatováno).

Starší práce Matějčicka a Hladného (1999) rozděluje povodně na „letní typ povodní“, a „zimní a jarní typ povodní“. Letní typ pak dále dělí na povodně způsobené krátkodobými přívalovými dešti, a povodně regionálních dešťů. Zimní typ rozděluje na povodně vznikající následkem tání sněhu a povodně vznikající následkem vytváření a pohybu ledové masy v toku. I tyto autoři vymezují typ povodní vzniklých ze specifických příčin. Vlasák (2008) na konkrétním příkladu řeky Otavy navrhuje dokonce devět klasifikačních typů povodní.

Jiné pohledy na typologii povodní nabízí zahraniční literatura. Turkington a kol. (2016) uvádějí, že existují rozdílné přístupy pro typologii povodní v závislosti na účelu, regionu, faktorech vzniku povodní a na dostupnosti dat. Kupříkladu Alila a Mtiraoui (2002) seskupili povodňové události pro oblast Arizony na základě spojitosti s ENSO a bouřemi různého typu (monzunovými bouřemi, frontální bouřemi a tropickými cyklony). Teegavarapu (2012) používá rozdělení povodní na tři typy, a to říční povodně, pozemní povodně a povodně přívalové. Říční povodně jsou spojeny s zestupem vodní hladiny v blízkém okolí vodního koryta. Pokud se voda vylije z vodního koryta a zaplaví větší část okolního území, většinou v relativně plochých oblastech, jedná se o povodeň pozemní. Přívalové povodně jsou pak charakteristické svým náhlým nástupem a lokálním působením, objevují se na kopcovitém či urbanizovaném území. Vznikají vlivem krátkodobých intenzivních srážek.

5.2.2 Faktory vzniku povodní

Základní vliv na tvorbu odtoku v povodí, a tedy i na vznik potenciálních povodní, mají fyzickogeografické podmínky oblasti. Mezi ně patří geologické, geomorfologické, pedologické, klimatické, biogeografické a hydrogeografické, hydrologické a hydrogeologické poměry společně

s krajinným pokryvem (prakticky představeny na příkladu povodí Litavky v kapitole 4), konkrétně jde například o sklon terénu, nadmořskou výšku, délku toku či plochu a tvar říční sítě. Kromě přírodních podmínek definovaných absolutní geografickou polohou oblasti mají na vznik povodní vliv tzv. předběžné a příčinné hydrometeorologické faktory (Brázdil, a kol. 2005; Nied a kol. 2014).

První zmíněné určují podmínky v oblasti v časovém období dnů až měsíců před povodní a jedná se např. o míru naplnění koryt vodních toků, nasycenost povodí, míru promrznutí půdy či výšku sněhové pokrývky a obsah vody ve sněhu. Příčinné faktory ovlivňují výskyt povodně blíže jejímu počátku, a to v řádu několika dnů až několika hodin, a fungují tak jako spouštěcí mechanismus. Jedná se zejména o meteorologické veličiny jako jsou teplota vzduchu, rychlost větru či srážky (Brázdil a kol. 2005). Dále je možné vymezit faktory ovlivňující, jež jsou dlouhodobé a mají vliv zejména na následky a dopady povodní.

Za příčinné meteorologické faktory lze považovat kladné teploty vzduchu, srážky či rychlost větru (Brázdil a kol. 2005). Na příkladu letních povodní v Česku Hladný (2007) představuje vliv cirkulačních podmínek v atmosféře. Právě ty mohou způsobit výskyt silných srážkových úhrnů trvajících v řádu až několika dnů. Vznik těchto srážek je způsoben vlivem výstupných pohybů vzduchu, jež mohou být podmíněny orografickým návětrným efektem, cyklonami a brázdami nízkého tlaku vzduchu nebo atmosférickými frontami. V případě že jsou silné srážky podmíněny termickou konvekcí, která způsobuje vznik bouřkové oblačnosti, jedná se o krátkodobé úkazy lokálního charakteru. I ty však mohou způsobit rozvodnění vodních toků.

Teegavarapu (2012) označuje jako determinující faktory pro vznik povodní vlhkost půdy, nasycenost půdy a hladinu podzemní vody. Matějček, Hladný (1999) uvádějí pět faktorů ovlivňujících povodeň a kategorizují je na přírodní a antropogenní. Z přírodních jde o intercepci (zadržovací účinek vegetace), detenci (schopnost zbrzdovat odtok v terénu), infiltraci (vsak vody do půdy a prostupování do podzemních vod) a objem říční sítě (jaký objem vody jsou schopna zadržet říční koryta). Autoři dále zmiňují, že povodně mohou být ovlivněny i prvky antropogenního původu, jako přítomností či absencí vodních nádrží a odlehčovacích kanálů. Tyto stavby mohou zadržet část objemu povodňové vlny, potažmo odvést část jejího objemu mimo ohrožený úsek, a zmírňovat tak dopady na tok pod nádrží (Matějček, Hladný 1999).

Negativní vliv na povodňovou problematiku má regulace vodních toků v podobě napřimování a zkracování, které je často doprovázeno i odstraňováním přirozených meandrů. Způsobuje zrychlené šíření povodňových vln (Brázdil, Kirchner a kol. 2007). Merz, Blöschl (2003) ve své práci navrhuje typologii procesů, které stojí za vznikem povodní. Spíše než na fyzickogeografické podmínky se zaměřují na dynamiku povodí, stav povodí a působení atmosféry. Na základě dat z 490 rakouských povodí vymezují povodně z dlouhotrvajících dešťových srážek, povodně z krátkodobých dešťových srážek, přívalové povodně, povodně z tání sněhu a tzv. „rain-on-snow“ povodně (podrobněji se tímto typem povodní ve své práci zabývá Jelínková (2019), přičemž překládá tento termín jako „smíšené povodně“).

5.2.3 Hodnocení povodňových vln

Stejně jako v případě sucha i hodnocení povodňových vln je možné díky údajům dvojího typu. Kromě historických zdrojů, které poskytují informace o povodních a jsou dílem člověka, existují též paleohydrologické metody, jež umožňují získat informace o povodních z pre-instrumentální doby. Zaměřují se zejména na analýzu fluvialních sedimentů, letokruhů a speleotémů (Wilhelm a kol. 2018). Zmíněné přístupy však nejsou aktuální pro tuto diplomovou práci. Tato kapitola představí některé vybrané statistické metody hodnocení průtokových dat.

V zahraniční literatuře (souhrn v Petrow, Merz 2009) se často objevuje **metoda určení maximálních ročních průtoků** (A_{MAXF} – annual maximum flow). Jejím principem je určení průměrné hodnoty z nejvyšších denních průtoků pozorovaných v daný hydrologický rok. Získaná data jsou vhodná pro následné vyhledávání trendů (Petrow, Merz 2009).

Metoda prahové hodnoty (POT – „Peaks over Threshold“) spočívá ve výběru průtoků Q_B určujícího hranici, nad kterou lze průtok ve vodním toku považovat za extrémní. POT data velmi dobře znázorňují celistvější informace o povodních, zejména častost výskytu a velikost povodně (Robson 2002). Výběr prahového průtoků Q_B není triviální záležitostí. V případě že je hraniční průtok zvolen příliš nízký, místo dominantních povodní způsobených frontálními srážkami bude metoda citlivá i na přechodně zvýšené průtoky vzniklé vlivem krátkodobých konvektivních srážek. V opačném případě volby příliš vysoké mezní hodnoty průtoků bude výsledný počet povodňových událostí nízký (Lang, Ouarda, Bobée 1999; Čekal, Hladný 2008).

Richards-Baker Flashiness index (R-B index) měří kolísání průtoků vzhledem k celkovému průtoků a poskytuje data o odtokových poměrech. Umožňuje detekovat postupné změny odtokových poměrů spojené se změnami v krajinném pokryvu a využití a způsobu obhospodařování území. Variabilita indexu v průběhu roku je v porovnání s dalšími indexy povodňových událostí menší. R-B index dokáže odhalit statisticky významné trendy v datech o průtoků. Dosahuje hodnot od 0 do 2, přičemž čím větší výsledná hodnota je, tím větší rozkolísanost průtoků označuje (Baker a kol. 2004).

Čurda, Janský a Kocum (2011) využili ve své studii **index extremity kulminačního průtoků** I_{EKP} . Tento ukazatel udává podíl mezi maximální dosaženou hodnotou desetiminutového průtoků v období mezi dnem předcházejícím dni kulminačního průtoků (KP) a dnem vlastního kulminačního průtoků, a průměrnou hodnotou průtoků vypočítaného z období sedmi dní před příchodem průtokové vlny (PP).

5.3 Možnosti zmírnění dopadů hydrologických extrémů

Hydrologické extrémy mají výrazný dopad na celou lidskou společnost. Je proto zásadní, aby společnost byla na tyto události připravena a mohla na ně posléze lépe reagovat. To lze provést studiem trendů a variability změn extrémních hydrologických událostí. Následně je tak možné získat potřebné a praktické informace, které pomohou v kontrole využívání regionálních vodních zdrojů, posouzení

potenciálních škod a přizpůsobení se klimatické změně (Jamali, Eslamian 2023). Řešení problematiky případných přírodních katastrof musí být systematické a trvale rozvíjené (Hladný 2009). České společnosti připomenuly nutnost prevence proti dopadům hydrologických extrémů škody způsobené katastrofálními povodněmi a epizodami sucha na konci 20. na začátku 21. století (povodně např. v letech 1997, 2002, 2006, 2009, 2010, 2013; epizody sucha v letech 2003, 2015, 2018, 2019, 2022).

5.3.1 Zmírňování dopadů sucha

Sucho je globální problém jehož, řešení musí být interdisciplinární snahou vědců, politiků a mezinárodních organizací (Wilhite, Vanyarko 2000). Klíčovým prvkem ke zmírňování dopadů sucha je rychlá reakce, která navazuje na předem připravené akční plány.

Byť v Evropě prozatím neexistuje jednotná strategie k řešení problematiky sucha (Blauhut a kol. 2022), členské státy Evropské unie jsou zavázány řídit se *Rámcovou směrnicí o vodě*. Ta vyžaduje, aby byl obnoven „dobrý stav“ všech vodních útvarů a vyzývá státy k zavedení opatření pro zvládnutí sucha ve svých strategických plánech pro správu daných povodí. Management povodí vodních toků nicméně vyžaduje rovnováhu mezi přístupy pro zmírňování dopadů sucha i zmírňování dopadů povodní, a oba tyto extrémy je potřeba zohledňovat stejně. Po celém světě existují programy na šetření s vodou, odsolování slané vody, zachycování dešťových srážek nebo na opětovné použití odpadních vod (Van Loon 2015).

Evropská komise pro adaptaci vůči dopadům sucha zavedla tři kategorie opatření, a to šedá, zelená a měkká. Princip šedých opatření spočívá zejména v technických zásazích do krajiny, v budování staveb pro ochranu společnosti před suchem. Mezi tato opatření patří například výstavba nádrží pro zadržování a akumulaci povrchové vody, budování vodních kanálů pro přívod vody z jiných oblastí nebo výstavba systémů na čištění odpadních vod. Zelená opatření se často jinak označují jako „přírodě blízká opatření“ a patří mezi ně již zmiňované zvýšení retenční schopnosti krajiny, obnova mokřadů a zadržování vody v nich či zlepšení hospodaření s půdou v zemědělství. Měkká opatření spočívají v legislativním zajištění problematiky sucha, ve vývoji hlásných a předpovědních systémů, zvyšování povědomí o suchu nebo tvorbě krizových akčních plánů pro případ výskytu suché epizody (Brázdil, Trnka, a kol. 2015).

Na národní úrovni mohou dopady sucha ovlivňovat vlády daného státu, a to třemi způsoby: vytvořením strategie pro zmírňování sucha ještě před jeho samotným nástupem, programy pomoci bezprostředně po období sucha a připraveností nebo pohotovostním plánováním pro včasnou reakci na příchod sucha (Parry and Carter 1987 ve Wilhite, Vanyarko 2000). V Česku jsou vodní zdroje závislé na rozdělení atmosférických srážek v průběhu roku a akumulaci a zadržení vody na našem území, na naše území nepřitéká prakticky žádná voda z okolních států. Z hlediska absolutní geografické polohy se náš stát nachází „na střeše Evropy“ (Šobr 2014). Ministerstvo životního prostředí ČR k řešení problematiky sucha vydalo dlouhodobá i operativní opatření, která jsou rozdělena do tří kategorií – bdělosti, pohotovosti a nebezpečí (Soukalová, Muzikář 2015). Jedním z legislativních opatření je pak „*Koncepce*

ochrany před následky sucha pro území České republiky na období 2023–2027“, která navazuje na *Koncepci* vydanou v roce 2017. Tato byla připravena v návaznosti na výskyt sucha a nedostatku vody v letech 2014 a 2015 (Ministerstvo zemědělství 2023). Koncepce uvádí tři strategické cíle pro hospodaření s vodou:

- „Zvýšit informovanost o riziku sucha prostřednictvím monitoringu a predikce výskytu sucha, zajistit připravenost na události sucha pomocí plánů pro zvládnání sucha a všeobecné osvěty.
- Zabezpečit udržení rovnováhy mezi dostupnými vodními zdroji a potřebou vody napříč sektory i v měnících se klimatických a socioekonomických podmínkách.
- Zmírňovat dopady sucha na akvatické i terestrické ekosystémy prostřednictvím obnovy přirozeného vodního režimu krajiny.“ (Ministerstvo zemědělství 2023, s. 25)

Opatření chránící před následky sucha rozděluje *Koncepce* na operativní, preventivní a strategická. Důležitým bodem je rozvoj systémů pro monitoring sucha, který je v současné době v Česku již úspěšně zaveden. Informace o aktuální stavu sucha je možné zjistit v internetových aplikacích Českého hydrometeorologického ústavu (www.chmi.cz), HAMR (<https://hamr.chmi.cz>) nebo na portále Intersucho (www.intersucho.cz).

5.3.2 Zmírňování dopadů povodní

Stoprocentní ochrana před povodňovými událostmi je nemožná (Janský 2003; Kundzewicz, Matczak 2015). Povodňové události z let 1997 a 2002 v Česku ukázaly, že je nutné vnímat území českého státu jako prostor s významnou soustavou potenciálně nebezpečných vodních toků, kterým by měla být věnována zvýšená pozornost (Doleželová 2006). V roce 2000 tak vznikl věcně legislativní dokument *Strategie ochrany před povodněmi pro území České republiky* (Ministerstvo zemědělství ČR 2000).

V protipovodňové ochraně se využívají zejména dva typy opatření, a to technická a netechnická. Dříve se využívala zejména první zmíněná (stavba přehrad, zpevnování říčních koryt), nicméně množství publikací a vládou schválených dokumentů se shoduje na tom, že ochrana před povodněmi by měla být interdisciplinární a měla zvažovat i přírodě blízká opatření. Zároveň musí splňovat podmínky účelnosti a hospodárnosti (Čamrová 2006; Hladný 2007). Postupně se proto více využívá kombinovaného přístupu, který je nezbytný pro efektivní zmírňování negativních dopadů povodní (Langhammer, (ed.) 2007). Mezi technická opatření patří:

- rozšiřování a úprava (zpevnování) koryt,
- výstavba retenčních a jiných nádrží,
- výstavba přehrad,
- budování poldrů a suchých nádrží,
- ochranné protipovodňové hráze (ČHMÚ 2023a).

Ochrana proti škodám způsobeným povodněmi tedy není pouze otázkou technického rázu, ale zahrnuje sociální hledisko a ekonomické hledisko. Je tak nutné protipovodňovou ochranu provádět ve spolupráci

s místními komunitami obyvatel v návaznosti na územní a regionální plánování (Čamrová 2006). Netechnická opatření se v literatuře též označují jako opatření pasivní, organizační nebo ekohydrologická. Nemohou zásadním způsobem omezit výskyt povodní, nicméně lze je využít ke snížení extremity povodňové vlny a napomoci jejímu zpomalení (Langhammer, Vilímek 2004 v Langhammer ((ed.) (2007). Netechnická opatření zahrnují:

- předpovědní a varovné systémy,
- edukaci obyvatelstva žijícího v povodí vodního toku,
- soubory zákonů vedoucích ke snížení škod,
- úpravy v krajině – regulace lesního hospodářství, regulace zemědělství,
- zvyšování retenční schopnosti krajiny, umístování dalších vodních prvků (Čurda, Janský, Kocum 2011; ČHMÚ 2023a).

5.3.3 Integrovaný pohled na zadržování vody v krajině

Ačkoliv jsou standardní opatření (tj. technická – vodní nádrže, kanály...) pro ochranu před hydrologickými extrémami nezbytná, a to zejména v urbanizovaném prostředí, ne vždy jsou kompletně účinná (Krysanova a kol. 2008). Strategie snižování rizika postavené na standardních postupech často fungují krátkodobě, ale z dlouhodobého hlediska mohou vést k nečekaným důsledkům. Opatření, která jsou přijata ke snížení rizika jednoho hydrologického extrému, mohou neúmyslně vést ke zvýšení rizika z jiného hydrologického extrému (Di Baldassarre a kol. 2017).

Např. některá tradiční protipovodňová opatření se ukazují jako neefektivní v případě, že hydrologická událost překročí úroveň extremity, na kterou byla tato navržena. Systémy pro hospodaření s vodou (jako jsou právě nádrže atd.) se dříve navrhovaly a byly provozovány s předpokladem, že přírodní systémy fungují v rámci určité variability poměrně stacionárně, a jejich maxima a minima se pohybují v rámci určitého rozsahu, který není často překračován (Milly a kol. 2008). Jak se však ukazuje, sucha a povodně se stávají extrémnějšími, a ještě více předpokládaná maxima (či minima) překračují, což může v minulosti konstruované stavby značně ohrozit. Případné dopady selhání těchto opatření jsou pak mnohem ničivější než samotný hydrologický extrém (Ward a kol. 2020). Di Baldassarre a kol. (2017) ve svém článku tuto problematiku probírají na příkladu přehrad a vodních nádrží. Při extrémních povodních, na které nebyly stavby projektované, může dojít k jejich katastrofickému selhání, což životně ohrožuje oblasti, které se nacházejí v území pod nimi (Ward a kol. 2020). Tak tomu bylo i u výše zmíněné Oroville Dam v Kalifornii při povodňové události v roce 2017. V době, kdy byla přehrada navrhována, se nepočítalo se změnami v intenzitě extrémů (Vahedifard a kol. 2017).

Jak předchozí dvě podkapitoly naznačují, při ochraně před důsledky sucha i povodní se jako nejlepší strategie jeví integrovaný přístup (regionálně specifický), který je složen jednak ze standardních opatření, jednak se snaží o navýšení retenční kapacity celého povodí, která slouží jak ke zmírňování sucha, tak i k zmírňování povodňových událostí (Krysanova a kol. 2008; Čurda, Janský, Kocum 2011;

Soukalová, Muzikář 2015). Zároveň se ale soustředí i na sociální aspekty ochrany před extrémů. Společenský pohled zahrnuje uvědomělé územní plánování, investice do varovných a předpovědních systémů a edukaci místních obyvatel v ohrožených oblastech (Krysanova a kol. 2008). Pro uplatnění těchto integrujících opatření je nutné: vymezit ochranná pásma říčních niv v okolí vodních toků, jež jsou pravidelně zaplavovány a akumulují vodu; zdokonalit vodní hospodářství, vodu se snažit nejprve zadržovat, skladovat, a až následně nechat odtéct; být si vědomi nebezpečí, které hydrologické extrémů mohou způsobit, protože žádné opatření nikdy neposkytne stoprocentní ochranu (Krysanova a kol. 2008). Zavedení těchto postupů a obnova hydrologického přírodě blízkého režimu vodních toků je ale mnohdy obtížnou záležitostí, jelikož se procesu musí zúčastnit mnoho zainteresovaných stran s různými zájmy (Baker a kol. 2004). Mezi integrovaná opatření patří obnova mokřadů, opatření snižující povrchový odtok na zemědělské půdě a zvyšující infiltraci, použití propustných dlažebních materiálů ve městech a příměstských oblastech a výstavba malých vodních nádrží (Baker a kol. 2004). Další příklady (používané v Česku) lze najít v *Katalogu přírodě blízkých opatření*, který byl zpracován v návaznosti na *Koncepci na ochranu před následky sucha pro území České republiky*. Dokument vymezuje 26 typů opatření, která jsou kategorizována jako: plošná opatření na zemědělské půdě, biotechnická opatření, opatření v lesích, opatření na tocích a nivách, a malé vodní nádrže (VÚV TGM 2018).

Čerstvým příkladem integrovaného přístupu k zvyšování retenčního potenciálu krajiny v Česku je vybudování tzv. „protipovodňového parku“ na levém břehu řeky Svratky v Brně-Židlochovicích, který byl otevřen v červenci 2024. V této čtyřtisícové obci docházelo k úbytku spodní vody, který způsoboval ve velkém měřítku usychání vegetace. Díky revitalizaci říční nivy se však nyní zvyšuje hladina spodní vody i ekologická stabilita území. Speciální nádrže zadržující vodu pomáhají tlumení zimních povodní a v létě slouží jako zdroj vody pro rostliny i živočichy. Lidé je navíc mohou biotop využívat ke koupání či bruslení (Krejčí, Tiskové oddělení MŽP 2024).



Obr. 29: Protipovodňový park Svratka nad Židlochovicemi na Brněnsku. Autor: CTK/Patrik Uhlíř (2024).

6 VÝSLEDKY

Kapitola 6 věnující se výsledkům práce je rozdělena na dvě části. První část (podkapitoly 6.1 a 6.2) se zabývá analýzou vlastních datových řad, konkrétně vyhodnocuje homogenitu a posléze v těchto řadách vyhledává trend. Druhá část (podkapitoly 6.3, 6.4 a 6.5) se pak věnuje interpretaci dat z hlediska srážkoodtokového režimu a hydrologických extrémů.

Jak již bylo uvedeno v kapitolách 2 a 3, aby nedošlo ke zbytečné ztrátě dat pro provedení statistik u některých stanic, zájmové území muselo být rozděleno na dvě části (horní tok a dolní tok) s odlišnou délkou časové řady. Pro horní tok je tato datová řada dlouhá 42 let (hydrologické roky 1982–2023), přičemž klimatická data pochází ze stanice Rožmitál pod Třemšínem a hydrologická data ze stanic Obecnice a Čenkov. Datová řada pro dolní tok je výrazně kratší – její délka činí pouhých 25 let (hydrologické roky 1999–2023), klimatická data jsou ze stanice Neumětely, hydrologická ze stanic Hořovice a Beroun. Vzhledem k různě dlouhým řadám měření nelze stanice horního a dolního toku Litavky mezi sebou ve většině případů porovnávat.

Výsledky jsou prezentovány v podobě přehledových tabulek a grafů. Jelikož jsou data v této kapitole řazena tematicky (tj. vlastní podkapitoly se budou věnovat buďto např. srážkám, nebo průtokům), pro lepší čtenářovu orientaci v textu bylo každé části toku, resp. každé délce datové řady, a příslušným stanicím přiřazeno barevné označení. Horní tok, tedy 42letá datová řada (1982–2023), je značena odstíny modré (Rožmitál pod Třemšínem, Obecnice, Čenkov). Dolní tok s délkou datové řady 25 let (1999–2023) je reprezentován odstíny oranžové (Neumětely, Hořovice, Beroun).

6.1 Testy homogenity

Prvním krokem při vyhodnocování výsledků bylo testování homogenity datových řad, jež bylo provedeno pomocí kombinace tří statistických testů – Pettitova, Buishandova a SNHT. Byly testovány měsíční, sezónní (jaro, léto, podzim, zima a chladný a teplý půlrok) a roční datové řady z vybraných limnigrafických a klimatologických stanic v povodí Litavky. Pro všechny tři typy testů homogenity byla stanovena hladina významnosti 5 %. Níže v tabulkách jsou **červeně** vyznačeny ty datové řady, u kterých byla v rámci testování zamítnuta hypotéza H_0 , a byly tak označeny jako nehomogenní. Pro lepší přehlednost jsou v této části práce prezentovány zkrácené tabulky. Podrobnější tabulky s vícem statiských parametrů je možno nalézt v příloze – příloha 1 pro testy homogenity dat srážek, teplot vzduchu a výšky sněhu a pro testy homogenity průtoků tamtéž.

6.1.1 Data měsíčních, sezónních a ročních průtoků

Při testování datových řad průtoků o délce 42 let pro horní tok (stanice Obecnice a Čenkov, tabulka 8) označily testy převážnou většinu řad jako homogenní. U profilu Obecnice se vyskytla nehomogenita pouze jedenkrát, přičemž byla určena pouze Pettitovým testem, jako rok změny byl stanoven rok 1985. P -hodnota pro tento test činila 0,008, což značí, že chyba při odmítnutí nulové hypotézy H_0 může nastat s pravděpodobností 0,8 %. Ostatní testy však na této stanici nehomogenitu neobjevily.

Tab. 8: Výsledky Pettitova, Buishandova a SNHT testu homogenity – průtoky na horním toku (zdroj dat: ČHMÚ).

Qm, Qs, Qr (1982–2023)	OBECNICE			ČENKOV		
	Pettit	Buishand	SNHT	Pettit	Buishand	SNHT
leden	1985	2013	2019	2005	2013	1982
únor	1994	1994	1994	1985	2005	1985
březen	1993	1996	1993	2010	2010	2010
duben	2010	2006	1988	2001	2001	2001
květen	1988	2005	2005	1997	1987	1987
červen	2008	2012	2012	1996	2012	2012
červenec	2014	1992	1992	1997	2020	2020
srpen	2013	2013	2013	2002	2002	2002
září	1994	1994	2021	2001	2001	2021
říjen	1992	1994	1992	1998	1998	1998
listopad	1995	1995	1995	2003	2003	2003
prosinec	1999	1999	1999	1999	1999	1997
jaro	2010	2006	2006	2001	2001	2001
léto	2013	2013	2013	1997	2002	2020
podzim	1994	1994	1994	2002	2002	2002
zima	1993	1993	1985	2005	2005	1982
chladný půlrok	1993	1993	1993	2005	2005	2005
teplý půlrok	2013	2013	2013	1997	2002	2002
rok	1993	1993	1993	2002	2002	2002

U stanice Čenkov ležící o 180 výškových metrů níže stanovily testy nehomogenitu u čtyř datových řad. Ve dvou případech byly výsledky shodné u všech třech testů, bylo tomu tak u měsíce dubna a jarní sezóny, v obou případech se shodným rokem změny 2001. Pettitův a Buishandův test nadále shodně

určily jako nehomogenní roční datovou řadu s rokem změny 2002. Pettitův test dále určil jako nehomogenní měsíc září, nicméně ostatní testy nehomogenitu neodhalily.

I datové řady týkající se stanic na dolním toku (Hořovice a Beroun) o délce 25 let vykazovaly jen málo nehomogenit. Na profilu Hořovice (levá část tabulky 9) určily všechny testy nehomogenitu pouze u jedné datové řady, a to u měsíce března s rokem změny 2013. Březen byl jako nehomogenní označen i v případě profilu Beroun, shodně jako Hořovice nehomogenitu potvrdily testy Pettitův, Buishandův i SNHT. Na berounské limnigrafické stanici (pravá část tabulky 9) byla dále jako nehomogenní vyhodnocena řada chladného půlroku (tedy měsíce říjen–březen), bod změny byl jako u březnové řady 2013. Buishandův a SNHT test určily jako nehomogenní dále měsíc listopad.

Tab. 9: Výsledky Pettitova, Buishandova a SNHT testu homogenity – průtoky na dolním toku (zdroj dat: ČHMÚ).

Qm, Qs, Qr (1999–2023)	HOŘOVICE			BEROUN		
	Pettit	Buishand	SNHT	Pettit	Buishand	SNHT
leden	2005	2013	2013	2013	2013	2013
únor	2005	2005	2005	2013	2013	2006
březen	2013	2013	2013	2013	2013	2013
duben	2013	2013	2022	2013	2006	2022
květen	2005	2005	2005	2018	2012	2021
červen	2005	2009	2008	2019	2012	2012
červenec	2014	2008	2020	2014	2008	2020
srpen	2020	2002	2002	2014	2002	2002
září	2009	2009	2021	2014	2014	2021
říjen	2008	2009	2009	2003	2014	2014
listopad	2018	2003	2003	2003	2003	1999
prosinec	2009	2013	2013	2016	2016	2016
jaro	2013	2013	2013	2010	2006	2006
léto	2014	2013	2013	2014	2014	2014
podzim	2009	2014	2002	2004	2014	2002
zima	2013	2013	2013	2013	2013	2013
chladný půlrok	2013	2013	2013	2013	2013	2013
teplý půlrok	2008	2014	2014	2014	2014	2014
rok	2013	2013	2013	2014	2013	2014

6.1.2 Data měsíčních, sezónních a ročních srážkových úhrnů

Statistické testy byly použity i pro testování homogenity klimatických dat. V případě horního toku řeky Litavky pocházela data z klimatologické stanice Rožmitál pod Třemšínem (délka 42 let, data jsou uvedena v tabulce 10 vlevo), a v případě dolního toku ze stanice Neumětely (délka řady 25 let, výsledky testů homogenity k vidění v tabulce 10 vpravo). Datové řady srážkových úhrnů byly dle výsledků Pettitova, Buishandova i SNHT testu z převážné většiny homogenní, a to jak měsíční, tak i sezónní a roční data. Nehomogenity se vyskytly pouze na stanici Neumětely, a to dvakrát, v rámci měsíčních dat v září a listopadu, kdy byly určeny pouze Pettitovým testem. Datová řada pro podzim však jako nehomogenní určena nebyla. *P*-hodnota Pettitova testu pro září byla 0,013 a pro listopad 0,030 (tyto hodnoty jsou uvedeny v příloze 1). Bod zlomu pro zářijovou datovou řadu byl určen na rok 2007, pro listopadovou řadu na rok 2005.

Tab. 10: Výsledky Pettitova, Buishandova a SNHT testu homogenity – úhrn srážek na horním (vlevo) a dolním toku (vpravo) (zdroj dat: ČHMÚ).

ROŽMITÁL POD TŘEMŠÍNEM				NEUMĚTELY			
Hm, Hs, Hr (1982–2023)	Pettit	Buishand	SNHT	Hm, Hs, Hr (1999–2023)	Pettit	Buishand	SNHT
leden	2002	2002	2002	leden	2013	2013	2013
únor	1986	1986	1986	únor	2009	2005	2005
březen	2010	2009	2009	březen	2002	2002	2001
duben	1997	1997	1997	duben	2007	2005	2021
květen	2000	2000	2000	květen	2021	2005	2021
červen	1990	1990	2019	červen	2019	2019	2019
červenec	2012	1991	1983	červenec	2014	2014	2014
srpen	2019	2019	1983	srpen	2018	2018	2019
září	2005	2007	2007	září	2007	2014	2022
říjen	1991	1991	1985	říjen	2010	2011	2011
listopad	2011	2003	1982	listopad	2005	2005	2005
prosinec	2013	1995	2013	prosinec	2013	2013	2013
jaro	2010	2009	2009	jaro	2012	2005	2005
léto	1991	1991	1990	léto	2008	2019	2014
podzim	2002	2002	1983	podzim	2013	2013	2002
zima	2013	2013	1985	zima	2013	2013	2013
chladný půlrok	1985	1985	1985	chladný půlrok	2005	2005	2020
teplý půlrok	2014	2014	2014	teplý půlrok	2008	2008	2000
rok	2013	2013	1985	rok	2008	2008	1999

6.1.3 Data měsíčních, sezónních a ročních teplot vzduchu

Jak již bylo zmíněno výše v textu, pro datové řady, které mohou obsahovat členy se zápornou hodnotou, je vhodné využít parametrický test SNHT. Proto výsledky testování homogenity teplot vzduchu budou brát v potaz zejména tento, přičemž stejně jako u předchozích testování byly využity i Pettitův a Buishandův jako test kontrolní. I pro tyto testy byla zvolena hladina významnosti 5 %, jejich výsledky lze vidět v tabulce 11.

V datových řadách teplot vzduchu ze stanice Rožmitál pod Třemšínem bylo zjištěno nejvíce nehomogenit ze všech testovaných datových řad. U této stanice byla nehomogenita potvrzena všemi třemi testy najednou u měsíců června, července, listopadu a prosince. Za zmínku stojí zejména velmi nízké p -hodnoty u června, které u všech testů vyšly 0,000, a tak lze usoudit, že pravděpodobnost výskytu chyby při určení nehomogenity je téměř neexistující. Stejně výsledky pro p -hodnotu byly zaznamenány i u léta, podzimu, teplého půlroku a roku. Z hlediska sezón byly určeny nehomogenity u léta, podzimu, chladného i teplého půlroku i celého roku. Body zlomu se u stanice Rožmitál pod Třemšínem nachází v rozmezí let 1987–2013. U některých datových řad testy sice shodně určily homogenitu, nicméně odhalily lišící se body zlomu, a to zejména u sezónních dat (pro podzim, chladný i teplý půlrok) a roční datové řady. Samotný SHNT test určil nehomogenitu u února a zimního ročního období, dále nehomogenity byly objeveny dvěma testy ze tří u měsíce dubna, srpna a u jarní a zimní sezóny.

Měsíční datové řady ze stanice Neumětely byly téměř vždy homogenní, přičemž jedinou výjimkou byl prosinec s bodem zlomu v roce 2011 (určen shodně všemi třemi testy). Jako nehomogenní byly též všemi třemi testy označeny datové řady léta, chladného půlroku a celého roku. Buishandův test

odhalil nehomogenitu v datové řadě podzimu s rokem změny 2013, a dále společně s Pettitovým testem i v zimní datové řadě s rokem změny též 2013. Tyto výsledky korespondují s rokem změny u roční datové řady i chladného půlroku (2013). Obecně řečeno lze u stanice Neumětely pozorovat nehomogenitu dat zejména v zimním období, kdy roky změny jsou určeny na rok 2013 a 2014, případně 2011.

Tab. 11: Výsledky Pettitova, Buishandova a SNHT testu homogenity – teploty vzduchu na horním (vlevo) a dolním toku (vlevo) (zdroj dat: ČHMÚ).

ROŽMITÁL POD TŘEMŠÍNEM				NEUMĚTELY			
Tm, Ts, Tr (1982–2023)	Pettit	Buishand	SNHT	Tm, Ts, Tr (1999–2023)	Pettit	Buishand	SNHT
leden	2006	2006	1987	leden	2011	2011	2017
únor	1994	1987	1987	únor	2013	2013	2013
březen	1988	1988	1988	březen	2013	2013	2013
duben	1997	1997	1997	duben	2020	2020	2020
květen	1997	1997	1991	květen	2003	2003	2003
červen	2001	2001	2001	červen	2015	2015	2016
červenec	2005	2005	2005	červenec	2012	2012	2012
srpen	1999	1999	2014	srpen	2014	2014	2014
září	2010	2010	2010	září	2013	2013	1999
říjen	2012	2012	2012	říjen	2016	2013	2016
listopad	2000	2000	2000	listopad	2008	2008	2000
prosinec	2011	2011	2011	prosinec	2011	2011	2011
jaro	1997	1997	1997	jaro	2003	2019	2019
léto	2001	2001	2001	léto	2014	2014	2014
podzim	1998	1998	2013	podzim	2013	2013	2013
zima	2013	2006	1987	zima	2013	2013	2013
chladný půlrok	2013	2006	2013	chladný půlrok	2013	2013	2013
teplý půlrok	2001	1998	1998	teplý půlrok	2014	2014	2014
rok	2006	2006	2013	rok	2013	2013	2013

6.1.4 Data měsíčních, sezónních a ročních sum výšky sněhové pokrývky

Datové řady kumulativní výšky denní sněhové pokrývky se dají převážně označit za homogenní. U stanice Rožmitál pod Třemšínem nacházející se v nadmořské výšce 534 m n. m. byly nehomogenity odhaleny pouze Pettitovým a Buishandovým testem, SNHT žádnou nehomogenitu v řadách neshledal. Pettitův i Buishandův test shodně určily jako nehomogenní duben a teplý půlrok, v obou případech s rokem změny 2003. Pettitův test dále detekoval nehomogenitu v březnu a na jaře, a to se stejným rokem změny (2010). Leden, únor, říjen, listopad a prosinec byly označeny jako homogenní, což koresponduje s homogenní řadou dat podzimu, zimy i chladného půlroku.

Stanice Neumětely lokalizovaná v nadmořské výšce 322 m n. m. vykazovala nehomogenitu Pettitovým testem v zimě, chladném půlroce a v roční datové řadě. Buishandův test odhalil nehomogenity v dubnové měsíční datové řadě, dále v řadě chladného i teplého půlroku a roční datové řadě. SNHT označil jako nehomogenní pouze podzim s rokem změny 1999, nicméně je nutné vzít v potaz, že tento test je citlivý na zlomy na koncích datových řad, a proto mohou být tyto výsledky diskutabilní, i vzhledem k tomu, že ostatní testy nehomogenitu neodhalily. *P*-hodnota u tohoto výsledku činila 0,030. Vzhledem k tomu, že testy neurčily nehomogenitu v žádném ze zimních měsíců, je

poměrně zajímavé shledání, že dva testy ze tří určily jako nehomogenní datovou řadu chladného půlroku.

Tab. 12: Výsledky Pettitova, Buishandova a SNHT testu homogenity – kumulativní výška sněhové pokrývky na horním (vlevo) a dolním toku (vpravo) (zdroj dat: ČHMÚ).

ROŽMITÁL POD TŘEMŠÍNEM				NEUMĚTELY			
Sm, Ss, Sr (1982–2023)	Pettit	Buishand	SNHT	Sm, Ss, Sr (1999–2023)	Pettit	Buishand	SNHT
leden	1996	1996	1996	leden	2013	2013	2013
únor	2013	2010	2013	únor	2013	2010	2013
březen	2010	2010	2010	březen	2008	2006	2006
duben	2003	2003	2003	duben	2003	2003	2003
květen	–	–	–	květen	–	–	–
červen	–	–	–	červen	–	–	–
červenec	–	–	–	červenec	–	–	–
srpen	–	–	–	srpen	–	–	–
září	–	–	–	září	–	–	–
říjen	1996	2006	2008	říjen	2011	2011	2011
listopad	2009	2011	2011	listopad	2011	2011	1999
prosinec	2006	2013	1982	prosinec	2011	2011	2011
jaro	2010	2010	2010	jaro	2008	2006	2006
léto	–	–	–	léto	–	–	–
podzim	2010	2010	2010	podzim	2013	2011	1999
zima	2013	2011	2013	zima	2013	2011	2013
chladný půlrok	2013	2011	2013	chladný půlrok	2013	2011	2011
teplý půlrok	2003	2003	2003	teplý půlrok	2003	2003	2003
rok	2011	2011	2013	rok	2013	2011	2011

6.1.5 Data ukazatelů sucha

Posledními datovými řadami, které byly testovány na přítomnost nehomogenit, byly roční řady ukazatelů sucha v délce příslušných sledovaných období získaných výpočtem při zjišťování výskytu hydrologických extrémů (rozebrány níže v kapitole 6.5). Pro sucho jsou to počet suchých dní za rok, nedostatkové objemy, LOWFLOW index a BFI index. Detailnější pohled na vypočtené hodnoty nabízí příloha 1. Jak je vidět v tabulce 13, obě stanice dolního toku téměř ve všech případech zaznamenaly nehomogenity.

Tab. 13: Výsledky Pettitova, Buishandova a SNHT testu homogenity – ukazatele sucha (zdroj dat: ČHMÚ).

POČET SUCHÝCH DNÍ				NEDOSTATKOVÉ OBJEMY			
horní tok (1982–2023; n = 42)	Pettit	Buishand	SNHT	horní tok (1982–2023; n = 42)	Pettit	Buishand	SNHT
Obecnice	2013	1993	1984	Obecnice	2013	1993	1984
Čenkov	2001	2002	2002	Čenkov	2001	2002	2002
dolní tok (1999–2023; n = 25)	Pettit	Buishand	SNHT	dolní tok (1999–2023; n = 25)	Pettit	Buishand	SNHT
Hořovice	2014	2014	2014	Hořovice	2014	2014	2014
Beroun	2014	2014	2014	Beroun	2014	2014	2014

BFI INDEX				LOWFLOW INDEX			
horní tok (1982–2023; n = 42)	Pettit	Buishand	SNHT	horní tok (1982–2023; n = 42)	Pettit	Buishand	SNHT
Obecnice	1995	1984	1984	Obecnice	1994	1994	1994
Čenkov	1996	1996	1996	Čenkov	2002	2001	2001
dolní tok (1999–2023; n = 25)	Pettit	Buishand	SNHT	dolní tok (1999–2023; n = 25)	Pettit	Buishand	SNHT
Hořovice	2014	2014	2014	Hořovice	2014	2013	2014
Beroun	2004	2004	2004	Beroun	2014	2014	2014

6.2 Trendy v datových řadách

Po otestování homogenity v datových řadách bylo uskutečněno i testování dat na přítomnost trendu. Pro tento účel bylo využito Mann-Kendalova testu, který je blíže popsán v kapitole 3.1.2. Stejně jako u testování homogenity testování trendů proběhlo na 5% hladině významnosti a byly testovány datové řady průměrných měsíčních, sezónních a ročních průtoků ze stanice Obecnice, Čenkov (pro horní tok) a Hořovice, Beroun (pro dolní tok), a dále klimatická data srážek, teplot vzduchu a kumulativní výšky denní sněhové pokrývky ze stanic Rožmitál pod Třemšínem (pro horní tok) a Neumětely (pro dolní tok).

V přehledových tabulkách jsou zeleně podbarveny ty datové řady, u kterých došlo k potvrzení přítomnosti trendu. Zobrazují parametry testovací statistiky τ , p -hodnotu a dále jsou v tabulkách uvedeny hodnota $MK-S$ a směr trendu (vzestupný trend je označen znakem „ \nearrow “, klesající trend znakem „ \searrow “).

6.2.1 Data průtoků

Tabulka 14 zobrazují výsledky testování trendů průměrných ročních průtoků na horním toku Litavky, tedy ve stanicích Obecnice a Čenkov. Na stanici Obecnice byl zaznamenán pouze jeden trend, a to trend klesající u měsíční datové řady dubna. P -hodnota tohoto trendu je 0,029, a vzhledem k velikosti $MK-S$, která činí $-0,002$, lze signifikanci trendu označit za poměrně malou. U ostatních testovaných datových řad žádné trendy nebyly zaznamenány. Na další stanici po směru proudu řeky, tedy v Čenkově, již došlo k odhalení přítomnosti trendů v průtokových datech ve více případech. Shodně jako na stanici Obecnice se i zde vyskytl klesající trend v měsíci dubnu, pro Čenkov však s vyšší $MK-S$ hodnotou činící $-0,017$, testovací statistika τ byla $-0,285$. Tento výsledek souhlasí s výsledky testování homogenity, které pro Čenkov a měsíc duben odhalilo nehomogenní řadu s rokem změny 2001. Klesající trend dále vykazovala i sezónní datová řada jara. Trend byl identifikován i v měsíci září, taktéž byl klasifikován jako mírně klesající.

Výsledky testování přítomnosti trendů datových řad průtoků z dolního toku řeky a let 1999–2023 jsou zobrazeny v tabulce 15. U stanic Hořovice i Beroun byl trend odhalen pro stejné období, tj. měsíc březen, avšak u berounského profilu byl signifikantnější ($-0,022$ v Hořovicích oproti $-0,157$ v Berouně). Porovnání testů homogenity a trendů u dolního toku ukazuje výskyt nehomogenity taktéž právě v březnu, zlomovým rokem byl rok 2013. Tyto stanice jsou od sebe vzdáleny přibližně 17 km vzdušnou čarou a výškový rozdíl mezi nimi činí 115 m. Pro datové řady berounské stanice byl dále zaznamenán klesající trend v chladném půlroce, toto období opět souhlasí s výskytem nehomogenity v datové řadě s rokem změny 2013.

Tab. 14: Výsledky Mann-Kendallova testu – průtoky, horní tok (zdroj dat: ČHMÚ).

OBEKNICE				
Qm, Qs, Qr (1982–2023)	tau	p-hodnota	MK-S	trend
leden	-0.013	0.914	0.000	–
únor	0.206	0.056	0.001	–
březen	0.078	0.474	0.001	–
duben	-0.236	0.029	-0.002	↘
květen	-0.013	0.914	0.000	–
červen	0.050	0.649	0.000	–
červenec	-0.034	0.762	0.000	–
srpen	-0.057	0.603	0.000	–
září	0.059	0.588	0.000	–
říjen	0.165	0.126	0.000	–
listopad	0.066	0.544	0.000	–
prosinec	-0.071	0.516	0.000	–
jaro	-0.036	0.745	0.000	–
léto	0.008	0.948	0.000	–
podzim	0.150	0.165	0.000	–
zima	0.024	0.828	0.000	–
chladný půlrok	0.066	0.544	0.000	–
teplý půlrok	-0.029	0.795	0.000	–
rok	0.008	0.948	0.000	–

ČENKOV				
Qm, Qs, Qr (1982–2023)	tau	p-hodnota	MK-S	trend
leden	-0.050	0.649	-0.002	–
únor	0.036	0.745	0.002	–
březen	-0.164	0.129	-0.013	–
duben	-0.285	0.008	-0.017	↘
květen	-0.115	0.288	-0.005	–
červen	-0.022	0.845	-0.001	–
červenec	-0.113	0.298	-0.004	–
srpen	-0.064	0.558	-0.001	–
září	-0.228	0.035	-0.003	↘
říjen	-0.180	0.095	-0.002	–
listopad	-0.101	0.351	-0.003	–
prosinec	-0.168	0.119	-0.009	–
jaro	-0.243	0.024	-0.014	↘
léto	-0.078	0.474	-0.003	–
podzim	-0.168	0.119	-0.003	–
zima	-0.073	0.502	-0.004	–
chladný půlrok	-0.159	0.141	-0.008	–
teplý půlrok	-0.134	0.217	-0.005	–
rok	-0.203	0.059	-0.005	–

Tab. 15: Výsledky Mann-Kendallova testu – průtoky, dolní tok (zdroj dat: ČHMÚ).

HOŘOVICE				
Qm, Qs, Qr (1999–2023)	tau	p-hodnota	MK-S	trend
leden	-0.113	0.441	-0.007	–
únor	-0.053	0.726	-0.004	–
březen	-0.347	0.016	-0.022	↘
duben	-0.280	0.053	-0.010	–
květen	0.087	0.559	0.002	–
červen	0.167	0.252	0.004	–
červenec	-0.160	0.272	-0.003	–
srpen	0.047	0.761	0.001	–
září	0.013	0.944	0.000	–
říjen	0.113	0.441	0.001	–
listopad	-0.060	0.691	-0.001	–
prosinec	-0.013	0.944	-0.001	–
jaro	-0.173	0.234	-0.007	–
léto	0.000	1.000	0.000	–
podzim	0.060	0.691	0.000	–
zima	-0.087	0.559	-0.004	–
chladný půlrok	-0.240	0.097	-0.008	–
teplý půlrok	0.127	0.388	0.003	–
rok	-0.207	0.154	-0.003	–

BEROUN				
Qm, Qs, Qr (1999–2023)	tau	p-hodnota	MK-S	trend
leden	-0.200	0.168	-0.049	–
únor	-0.233	0.107	-0.066	–
březen	-0.393	0.006	-0.157	↘
duben	-0.267	0.065	-0.056	–
květen	-0.113	0.441	-0.015	–
červen	0.020	0.907	0.006	–
červenec	-0.227	0.118	-0.030	–
srpen	-0.127	0.388	-0.022	–
září	-0.220	0.129	-0.021	–
říjen	-0.147	0.315	-0.011	–
listopad	-0.173	0.234	-0.020	–
prosinec	-0.093	0.528	-0.019	–
jaro	-0.227	0.118	-0.060	–
léto	-0.113	0.441	-0.017	–
podzim	-0.153	0.293	-0.013	–
zima	-0.213	0.141	-0.046	–
chladný půlrok	-0.347	0.016	-0.064	↘
teplý půlrok	-0.047	0.761	-0.007	–
rok	-0.280	0.053	-0.038	–

6.2.2 Data srážkových úhrnů

V datových řadách srážkových úhrnů nebyl Mann-Kendallovým testem trend zaznamenán ani pro jedinou klimatologickou stanici, jak je patrné z tabulky 16. Všechny p -hodnoty testovaných řad se drží nad hladinou významnosti 0,05 a žádná z datových řad se této hranici nepřibližuje. Toto opět koresponduje s výsledky testů homogenity, kdy srážkové řady byly až na dvě výjimky Pettitova testu u stanice Neumětely vyhodnoceny jako homogenní. Celkově může být řečeno, že u obou stanic zůstávají průměrné roční srážkové úhrny dlouhodobě konstantní.

Tab. 16: Výsledky Mann-Kendallova testu – úhrn srážek (zdroj dat: ČHMÚ).

ROŽMITÁL POD TŘEMŠÍNEM					NEUMĚTELY				
Hm, Hs, Hr (1982–2023; n = 42)	tau	p-hodnota	MK-S	trend	Hm, Hs, Hr (1999–2023; n = 25)	tau	p-hodnota	MK-S	trend
leden	0,057	0,603	0,182	–	leden	–0,107	0,469	–0,263	–
únor	0,012	0,922	0,025	–	únor	–0,147	0,315	–0,448	–
březen	–0,084	0,442	–0,250	–	březen	0,020	0,907	0,056	–
duben	–0,119	0,274	–0,258	–	duben	0,153	0,293	0,555	–
květen	0,082	0,448	0,369	–	květen	0,067	0,657	0,560	–
červen	0,073	0,502	0,315	–	červen	0,100	0,498	0,610	–
červenec	0,015	0,897	0,060	–	červenec	–0,043	0,779	–0,314	–
srpen	–0,027	0,812	–0,150	–	srpen	0,173	0,234	1,245	–
září	–0,058	0,595	–0,175	–	září	–0,020	0,907	–0,108	–
říjen	0,159	0,141	0,425	–	říjen	0,153	0,293	0,463	–
listopad	–0,136	0,209	–0,368	–	listopad	–0,007	0,981	–0,043	–
prosinec	–0,065	0,551	–0,190	–	prosinec	0,033	0,834	0,093	–
jaro	–0,050	0,649	–0,189	–	jaro	0,073	0,624	0,636	–
léto	0,062	0,573	0,555	–	léto	0,107	0,469	1,813	–
podzim	0,022	0,845	0,133	–	podzim	0,050	0,744	0,317	–
zima	0,021	0,854	0,105	–	zima	–0,080	0,591	–0,545	–
chladný půlrok	–0,024	0,828	–0,181	–	chladný půlrok	–0,167	0,252	–0,944	–
teplý půlrok	0,043	0,696	0,414	–	teplý půlrok	0,120	0,414	1,767	–
rok	–0,022	0,845	–0,400	–	rok	0,093	0,528	1,013	–

6.2.3 Data teploty vzduchu

Jak je patrné již na první pohled z tabulky 17, na rozdíl od datových řad průtoků a srážkových úhrnů vykazují datové řady teplot vzduchu mnohem více trendů, zejména u stanice horního toku Rožmitál pod Třemšínem. U této stanice byl zaznamenán vzestupný trend u více než poloviny měsíců v roce vyjma ledna, března, května, září a října. Stejně tak tomu bylo u všech ročních období, chladného i teplého půlroku a roční datové řady. Na základě těchto dat by se tedy dalo tvrdit, že v této výše položené oblasti teploty vzduchu v průběhu let zaznamenávají rostoucí tendenci. Testy homogenity vyhodnotily pro každé období různé roky změny, shoda všech tří testů nicméně nastala pro červen (2001), červenec (2005), listopad (2000), prosinec (2011) a léto (2001).

Datové řady teplot vzduchu z klimatologické stanice Neumětely vykazují přítomnost trendu v prosinci, což opět koresponduje s testem homogenity odhalujícím nehomogenitu s bodem zlomu v roce 2011. MK-S pro prosincovou řadu je 0,124, jedná se tedy opět o vzestupný trend. Výsledky taktéž naznačují zvýšení teplot vzduchu na podzim, v zimě a v chladném půlroce. V ostatních obdobích Mann-Kendallův test přítomnost trendu neprokázal.

Tab. 17: Výsledky Mann-Kendalova testu – teplota vzduchu (zdroj dat: ČHMÚ).

ROŽMITÁL POD TŘEMŠÍNEM					NEUMĚTELY				
Tm, Ts, Tr (1982–2023; n = 42)	tau	p-hodnota	MK-S	trend	Tm, Ts, Tr (1999–2023; n = 25)	tau	p-hodnota	MK-S	trend
leden	0,148	0,172	0,045	–	leden	0,253	0,080	0,085	–
únor	0,231	0,032	0,084	↗	únor	0,113	0,441	0,070	–
březen	0,123	0,255	0,030	–	březen	0,000	1,000	–0,002	–
duben	0,220	0,042	0,042	↗	duben	–0,167	0,252	–0,042	–
květen	0,036	0,745	0,009	–	květen	–0,280	0,053	–0,088	–
červen	0,482	<0,0001	0,086	↗	červen	0,260	0,072	0,063	–
červenec	0,308	0,004	0,055	↗	červenec	0,267	0,065	0,054	–
srpen	0,322	0,003	0,046	↗	srpen	0,153	0,293	0,026	–
září	0,152	0,159	0,033	–	září	0,193	0,183	0,052	–
říjen	0,198	0,067	0,033	–	říjen	0,180	0,216	0,059	–
listopad	0,317	0,003	0,051	↗	listopad	0,240	0,097	0,081	–
prosinec	0,220	0,042	0,051	↗	prosinec	0,353	0,014	0,124	↗
jaro	0,222	0,039	0,030	↗	jaro	–0,187	0,199	–0,043	–
léto	0,508	<0,0001	0,068	↗	léto	0,273	0,059	0,051	–
podzim	0,403	0,000	0,042	↗	podzim	0,293	0,042	0,054	↗
zima	0,273	0,011	0,063	↗	zima	0,287	0,047	0,098	↗
chladný půlrok	0,329	0,002	0,052	↗	chladný půlrok	0,293	0,042	0,071	↗
teplý půlrok	0,501	<0,0001	0,044	↗	teplý půlrok	0,087	0,559	0,010	–
rok	0,463	<0,0001	0,047	↗	rok	0,267	0,065	0,039	–

6.2.4 Data výšky sněhové pokrývky

Datové řady hodnot kumulativní výšky denní sněhové pokrývky nemohly být z principu testovány pro každý měsíc a roční období. I rámci těchto dat došlo k objevení několika trendů (viz tabulka 18), a to klesajícího charakteru. Ve dvou případech se vyskytly trendy s neurčeným směrem, kdy MK-S hodnoty byly rovny nule. Stalo se tak u stanice Rožmitál pod Třemšínem v případě měsíce dubna, a na stejné stanici v případě datové řady teplého půlroku. Klesající trend byl zaznamenán v měsíci březnu a na jaře. Výsledky Mann-Kendalova testu opět korespondují s testy homogenity.

Tab. 18: Výsledky Mann-Kendalova testu – kumulativní výška sněhové pokrývky (zdroj dat: ČHMÚ).

ROŽMITÁL POD TŘEMŠÍNEM					NEUMĚTELY				
Sm, Ss, Sr (1982–2023; n = 42)	tau	p-hodnota	MK-S	trend	Sm, Ss, Sr (1999–2023; n = 25)	tau	p-hodnota	MK-S	trend
leden	0,058	0,595	0,909	–	leden	–0,264	0,068	–2,000	–
únor	–0,092	0,398	–1,857	–	únor	–0,222	0,133	–0,333	–
březen	–0,216	0,047	–0,500	↘	březen	–0,065	0,682	0,000	–
duben	–0,338	0,005	0,000	ano	duben	–0,295	0,089	0,000	–
květen	/	/	/	/	květen	/	/	/	/
červen	/	/	/	/	červen	/	/	/	/
červenec	/	/	/	/	červenec	/	/	/	/
srpen	/	/	/	/	srpen	/	/	/	/
září	/	/	/	/	září	/	/	/	/
říjen	0,095	0,467	0,000	–	říjen	0,024	0,945	0,000	–
listopad	–0,117	0,293	–0,091	–	listopad	–0,235	0,147	0,000	–
prosinec	–0,143	0,189	–1,000	–	prosinec	–0,117	0,438	–0,129	–
jaro	–0,263	0,015	–0,774	↘	jaro	–0,065	0,682	0,000	–
léto	/	/	/	/	léto	/	/	/	/
podzim	–0,061	0,585	–0,028	–	podzim	–0,213	0,185	0,000	–
zima	–0,089	0,410	–3,786	–	zima	–0,264	0,068	–3,872	–
chladný půlrok	–0,152	0,159	–6,864	–	chladný půlrok	–0,274	0,058	–4,625	–
teplý půlrok	–0,338	0,005	0,000	ano	teplý půlrok	–0,295	0,089	0,000	–
rok	–0,148	0,172	–7,071	–	rok	–0,284	0,050	–4,708	↘

Výška sněhové pokrývky se z dlouhodobého časového hlediska v průběhu let na této stanici tedy v období jara snižuje. Klimatologická stanice Neumětely zaznamenala přítomnost pouze jednoho

trendu. Zajímavé je zjištění, že pro stanici Neumětely dosáhl klesavý trend u roční řady MK-S hodnoty $-4,708$, což je nejsignifikantnější trend ze všech provedených testování klimatických datových řad v této práci. Je tedy možné tvrdit, že na dolním toku řeky Litavky dochází ročně k úbytku sněhové pokrývky. Ostatně i testy homogenity prokázaly v roční řadě nehomogenitu, konkrétně při využití Pettitova (s rokem změny 2013) a Buishandova testu (rok změny 2011).

6.2.5 Data ukazatelů sucha

Tabulka 19 zobrazuje testování trendu vybraných charakteristik sucha. Pro profil Obecnice nebyl v žádné datové řadě shledán žádný trend. Profil Čenkov zaznamenal trendy ve dvou testovaných řadách – počet suchých dní vykazuje vzestupný trend, nedostatkové objemy trendy silně vzestupný.

Na profilu Hořovice byl potvrzen trend pouze u LOWFLOW indexu, a to klesající. Profil Beroun vykazuje trendy u všech charakteristik sucha, vzestupné trendy u počtu suchých dní a nedostatkových objemů, přičemž oba tyto jsou vzhledem k MK-S signifikantní. Dále pak klesavé trendy v BFI indexu a LOWFLOW indexu.

Tab. 19: Výsledky Mann-Kendalova testu – ukazatele sucha (zdroj dat: ČHMÚ).

POČET SUCHÝCH DNÍ					NEDOSTATKOVÉ OBJEMY				
horní tok (1982–2023; n = 42)	tau	p-hodnota	MK-S	trend	horní tok (1982–2023; n = 42)	tau	p-hodnota	MK-S	trend
Obecnice	-0,011	0,931	0,000	–	Obecnice	-0,011	0,931	0,000	–
Čenkov	0,264	0,015	1,000	↗	Čenkov	0,264	0,015	51060,096	↗
dolní tok (1999–2023; n = 25)	tau	p-hodnota	MK-S	trend	dolní tok (1999–2023; n = 25)	tau	p-hodnota	MK-S	trend
Hořovice	0,276	0,060	1,000	–	Hořovice	0,276	0,060	25987,549	–
Beroun	0,413	0,005	2,550	↗	Beroun	0,413	0,005	376471,010	↗
BFI INDEX					LOWFLOW INDEX				
horní tok (1982–2023; n = 42)	tau	p-hodnota	MK-S	trend	horní tok (1982–2023; n = 42)	tau	p-hodnota	MK-S	trend
Obecnice	0,196	0,069	0,003	–	Obecnice	0,153	0,158	0,003	–
Čenkov	0,117	0,278	0,001	–	Čenkov	-0,022	0,845	-0,001	–
dolní tok (1999–2023; n = 25)	tau	p-hodnota	MK-S	trend	dolní tok (1999–2023; n = 25)	tau	p-hodnota	MK-S	trend
Hořovice	-0,147	0,315	-0,001	–	Hořovice	-0,304	0,036	-0,004	↘
Beroun	-0,287	0,047	-0,005	↘	Beroun	-0,367	0,011	-0,007	↘

6.3 Odtokový režim

V kapitole 4 byly popsány fyzickogeografické charakteristiky zájmové oblasti, jež mají zásadní vliv na formování odtoku. Kromě nich závisí odtokový režim též na zdroji vody, který tok napájí. V povodí Litavky jako hlavní zdroj vodnosti slouží dešťové a sněhové srážky, a proto lze režim odtoku řeky popsat jako niválně-pluviální (sněhovo-dešťový). Tato kapitola si klade za cíl využít data poskytnutá ČHMÚ o průměrných denních průtocích a představit ucelený pohled na odtokové poměry v povodí.

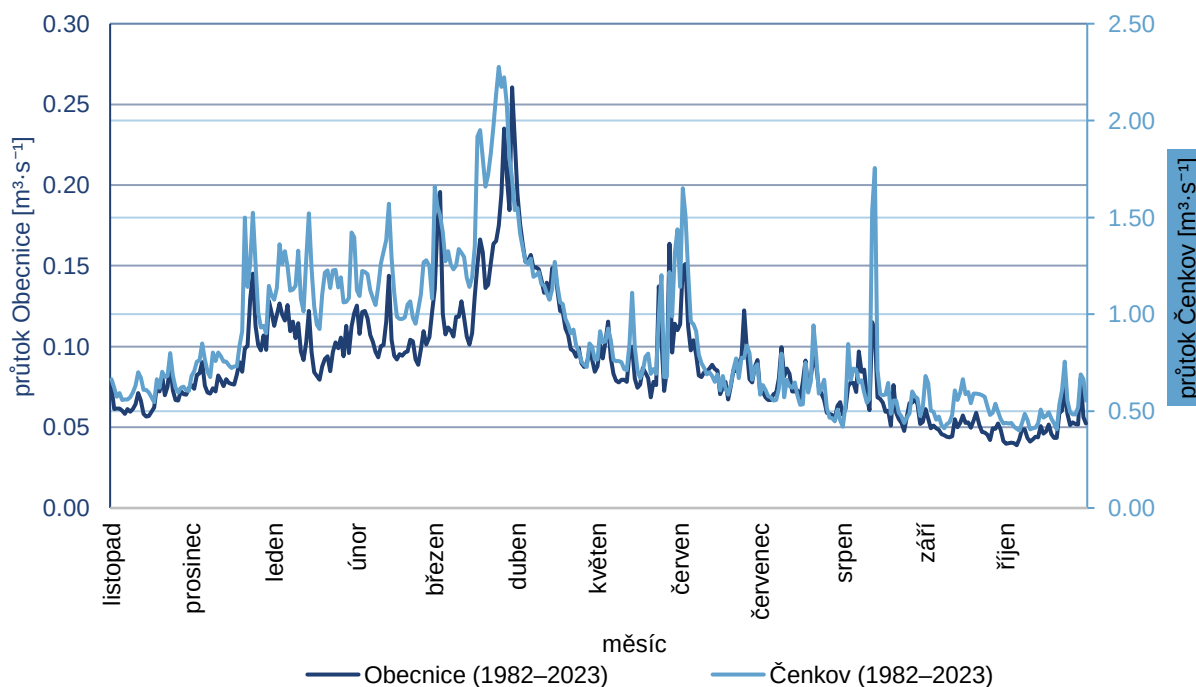
Stejně jako u předchozí kapitoly bude v následujících částech práce nejprve analyzován horní tok povodí (profily Obecnice a Čenkov, období 1982–2023), posléze dolní tok (profily Hořovice

a Beroun, období 1999–2023). Ač je nasnadě porovnávat všechny limnigrafické stanice mezi sebou, je dobré čtenáři připomenout, že délky období, ze kterých jsou počítány průměry zobrazované na grafech, se různí. To činí jednotlivé části toku mezi sebou neporovnatelnými.

Pro tuto část práce byly záměrně zkonstruovány méně detailní přehledové grafy, jejichž účelem je zachovat kompaktnost textu. Ne vždy je možné z těchto grafů vyčíst konkrétní hodnotu zobrazených jevů. Pro detailnější pohled na zobrazenou problematiku i u stanic s nižšími průtoky slouží příloha 2, kde se nachází grafy pro každý profil zvlášť a jejich výpovědní hodnota je násobně vyšší.

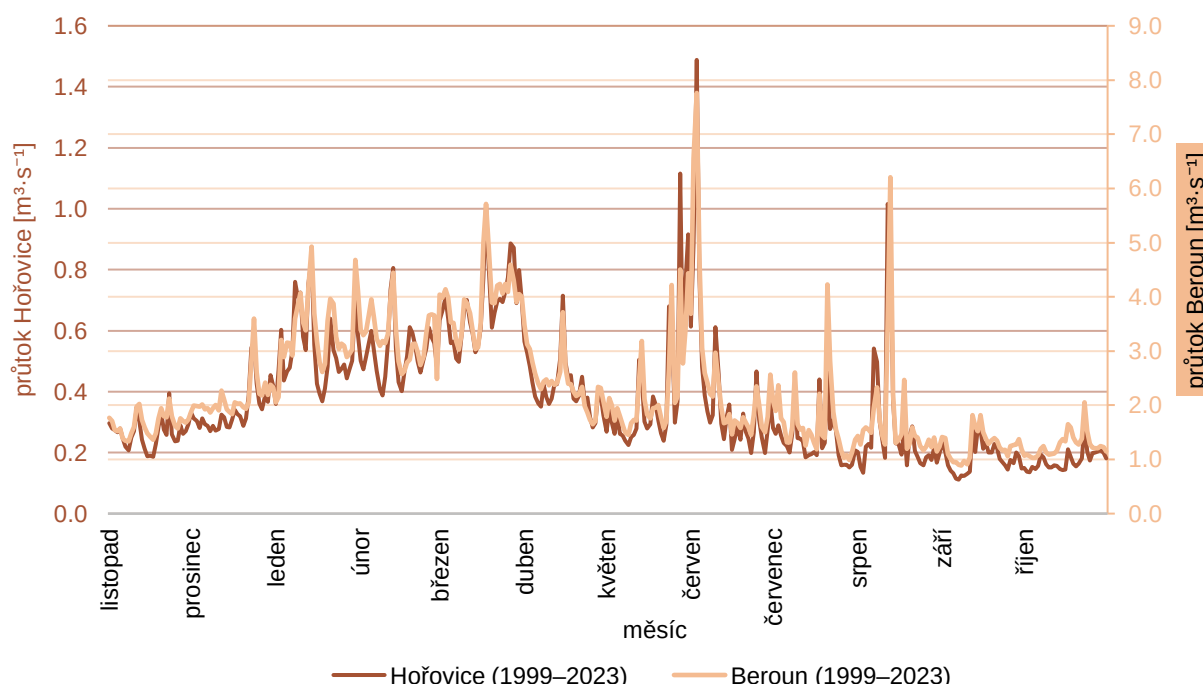
6.3.1 Průměrné denní průtoky

Při pohledu na graf chodu průměrných denních průtoků (obrázek 30) v rámci měsíců hydrologického roku, který zobrazuje údaje z profilů Obecnice a Čenkov o délce datové řady 42 let, si lze povšimnout, že nejvyšších hodnot dosahují průměrné denní průtoky na konci března. Absolutní maximum průměrného denního průtoku na profilu Obecnice je $0,260 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ze dne 30. 3. Pro profil Čenkov je maximální hodnota dosažena 25. 3. a je rovna $2,277 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Dalším významným obdobím pro zvýšené průměrné denní průtoky je červen a polovina srpna. Jelikož je stejný fenomén patrný i u profilů na dolním toku, kde je také enormnější, bude rozebrán níže. Minimálních hodnot dosahují průměrné denní průtoky u obou profilů v říjnu. Absolutní minimum na profilu Obecnice je stanoveno na den 5. 10. a činí $0,038 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, u Čenkova dosahuje $0,400 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a nastává o jeden den později než na profilu Obecnice, tedy 6. 10. Průměrné denní průtoky profilu Obecnice, která leží z vybraných stanic v nejvyšší nadmořské výšce a nejbližší pramenné oblasti, jsou přibližně desetkrát menší než u profilu Čenkov.



Obr. 30: Průměrné denní průtoky – profil Obecnice a Čenkov (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování).

Na profilech dolního toku vycházejících z datové řady o délce 25 let je možné pozorovat (obrázek 31), že maximální denní průměrný průtok nastává u obou stanic shodně v červnu, další maximum je viditelné v srpnu. Toto je zajímavé zjištění vymykající se předpokladům, které by čtenář o tomto povodí mohl mít. Nekoresponduje totiž s informacemi zjištěnými při analýze měsíčních průtoků (podkapitola 6.3.2). Ta ukazuje, že nejvyšší měsíční průtoky nastávají v březnu. Vysvětlením toho jevu je výskyt hydrologických extrémů – povodní. V datové řadě denních průtoků jsou přítomny maxima výrazně překračující červnové průměry, což vede k výraznému zkreslení dat průměrných denních průtoků. Např. v roce 2006 na začátku června nastal den s průtokem $15,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, v roce 2010 dosáhl denní průtok hodnoty $27,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (3. 4.) a v roce 2013 byla při červnových povodních zaznamenán průtok dokonce $124,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (3. 6.), přičemž hodnoty se držely nad $10,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ po dobu více než deseti dnů. Pro uvedení do kontextu je vhodné uvést, že hodnota dlouhodobého průměrného průtoky pro profil Beroun dosahuje $2,283 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Srpnové hodnoty se potýkají se stejným jevem, zde hrají roli zejména povodně z roku 2002.



Obr. 31: Průměrné denní průtoky – profil Hořovice a Beroun (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování).

Při pohledu na obě křivky je patrné, že průtoky na profilu Beroun jsou několikanásobně větší než na profilu Hořovice, dle poměru průměrných denních průtoků je to zhruba šestkrát. Co se maximálních hodnot průměrného denního průtoky týče, na hořovickém profilu se jedná o $1,488 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a u berounského o $7,760 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Tato maxima u obou profilů byla stanovena na 3. 6. Minimální denní průtok činí na profilu Hořovice $0,111 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (7. 9.) a na profilu Beroun $0,888 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (8. 9.).

Další sledovanou charakteristikou odtoku jsou **křivky překročení** a **m-denní průtoky**. Křivka překročení m-denních průtoků podává informaci o tom, jak často byly dosáhnuty nebo překročeny zvolené hodnoty průtoky, tedy s jakou pravděpodobností průtoková hodnota nastane. M-denní průtok je

tak hodnota, která je dosažena nebo překročena v průměru m dní v hydrologickém roce. Hodnoty těchto průtoků stanovuje ČSN 75 1400, jedná se o m = 30, 60, 90... 330, 355, 364.

Tab. 20: Hodnoty m-denních průtoků (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní výpočet).

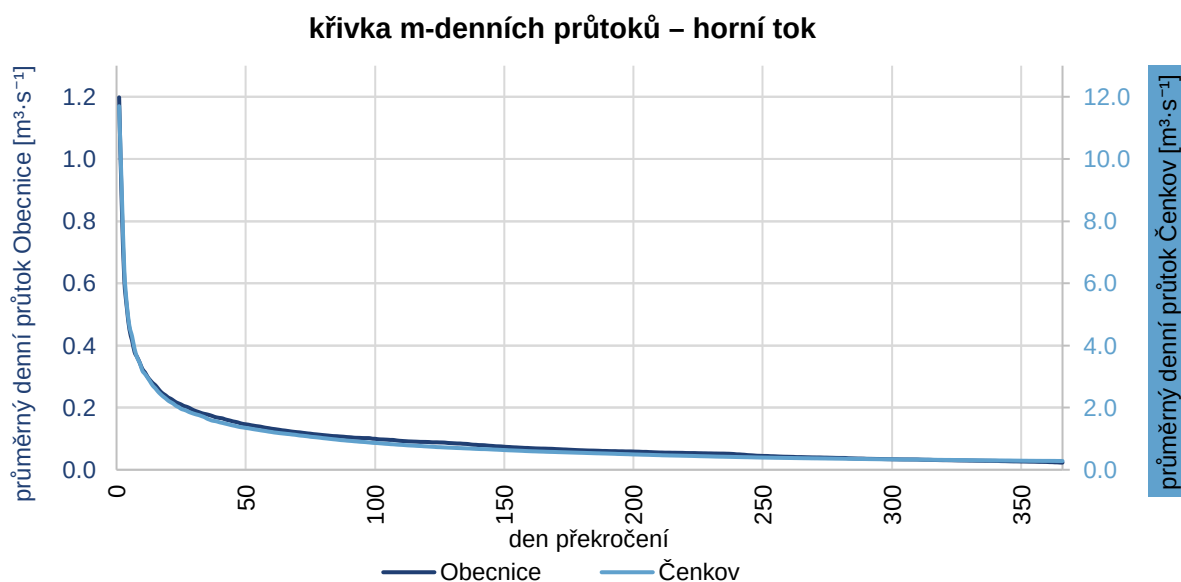
Obecnice (1982–2023)													
průtok	Q ₃₀	Q ₆₀	Q ₉₀	Q ₁₂₀	Q ₁₅₀	Q ₁₈₀	Q ₂₁₀	Q ₂₄₀	Q ₂₇₀	Q ₃₀₀	Q ₃₃₀	Q ₃₅₅	Q ₃₆₄
m ³ .s ⁻¹	0,191	0,132	0,105	0,089	0,074	0,063	0,056	0,050	0,040	0,034	0,030	0,026	0,024

Čenkov (1982–2023)													
průtok	Q ₃₀	Q ₆₀	Q ₉₀	Q ₁₂₀	Q ₁₅₀	Q ₁₈₀	Q ₂₁₀	Q ₂₄₀	Q ₂₇₀	Q ₃₀₀	Q ₃₃₀	Q ₃₅₅	Q ₃₆₄
m ³ .s ⁻¹	1,801	1,215	0,932	0,751	0,633	0,546	0,470	0,410	0,368	0,337	0,309	0,287	0,283

Hořovice (1999–2023)													
průtok	Q ₃₀	Q ₆₀	Q ₉₀	Q ₁₂₀	Q ₁₅₀	Q ₁₈₀	Q ₂₁₀	Q ₂₄₀	Q ₂₇₀	Q ₃₀₀	Q ₃₃₀	Q ₃₅₅	Q ₃₆₄
m ³ .s ⁻¹	0,823	0,528	0,385	0,299	0,248	0,209	0,175	0,148	0,127	0,108	0,089	0,069	0,056

Beroun (1999–2023)													
průtok	Q ₃₀	Q ₆₀	Q ₉₀	Q ₁₂₀	Q ₁₅₀	Q ₁₈₀	Q ₂₁₀	Q ₂₄₀	Q ₂₇₀	Q ₃₀₀	Q ₃₃₀	Q ₃₅₅	Q ₃₆₄
m ³ .s ⁻¹	4,879	3,183	2,433	1,987	1,674	1,453	1,276	1,115	0,951	0,824	0,697	0,574	0,491

Křivky překročení jsou zobrazeny na obrázku 32 pro limnigrafické stanici horního toku a na obrázku 33 pro stanice dolního toku.



Obr. 32: Křivka m-denních průtoků – profil Obecnice, Čenkov (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování).

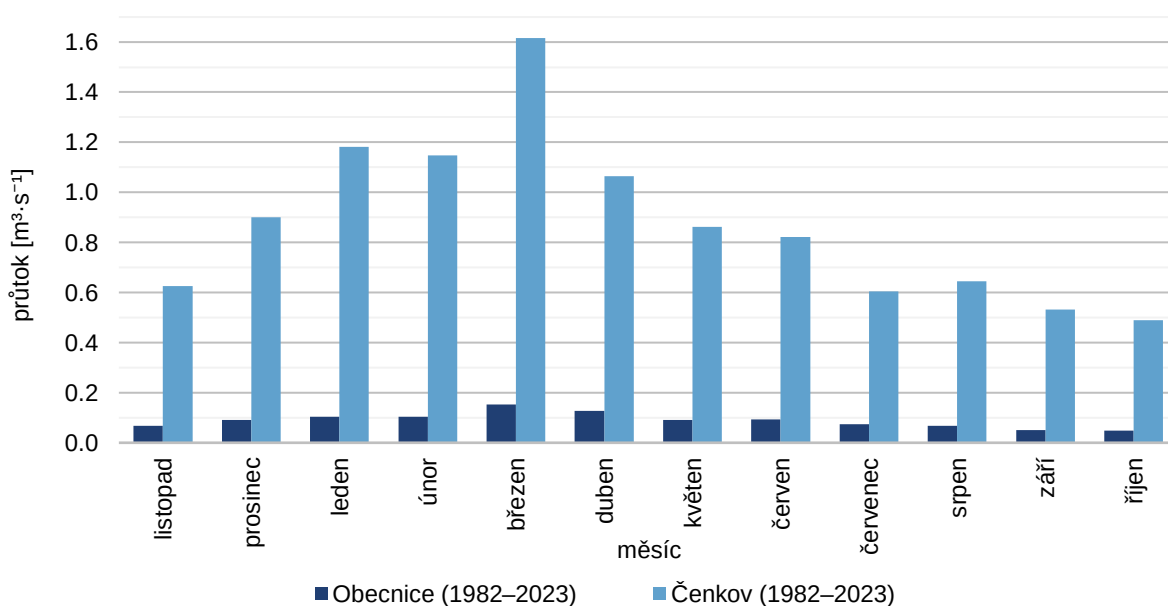


Obr. 33: Křivka m-denních průtoků – profil Hořovice, Čenkov (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování).

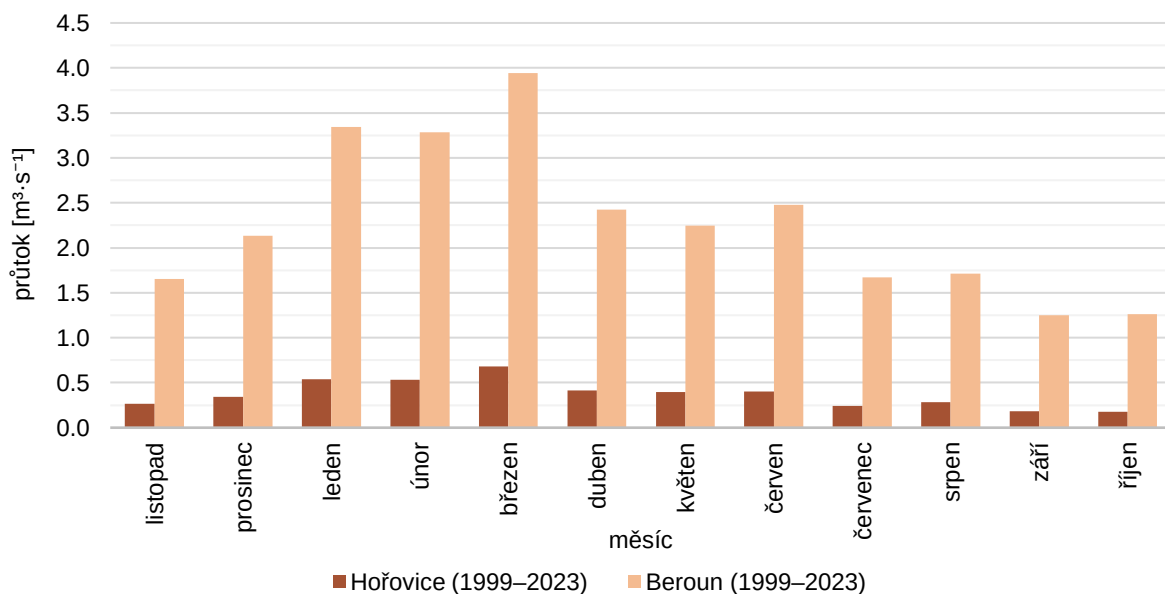
6.3.2 Průměrné měsíční průtoky

Odtokový režim lze nejlépe popsat vyjádřením průměrných měsíčních průtoků, které jsou ilustrovány pomocí grafů pro horní tok (obrázek 34) a pro dolní tok (obrázek 35). Zobrazují dlouhodobé průměry za jednotlivé měsíce v průběhu hydrologického roku. Ty byly vypočítány z dlouhodobých průměrných denních průtoků.

Z obrázku 34 lze vyčíst, že nejvodnějším měsícem pro profily Obecnice a Čenkov je březen (Obecnice – $0,152 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, Čenkov – $1,616 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), nejméně vodným je říjen (Obecnice – $0,049 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, Čenkov – $0,490 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). V případě horního toku tak výsledky korespondují s analýzou denních průměrných průtoků. I leden a únor jsou poměrně vodnými měsíci, přičemž maximum dosažené v březnu je způsobeno tající sněhovou pokrývkou.



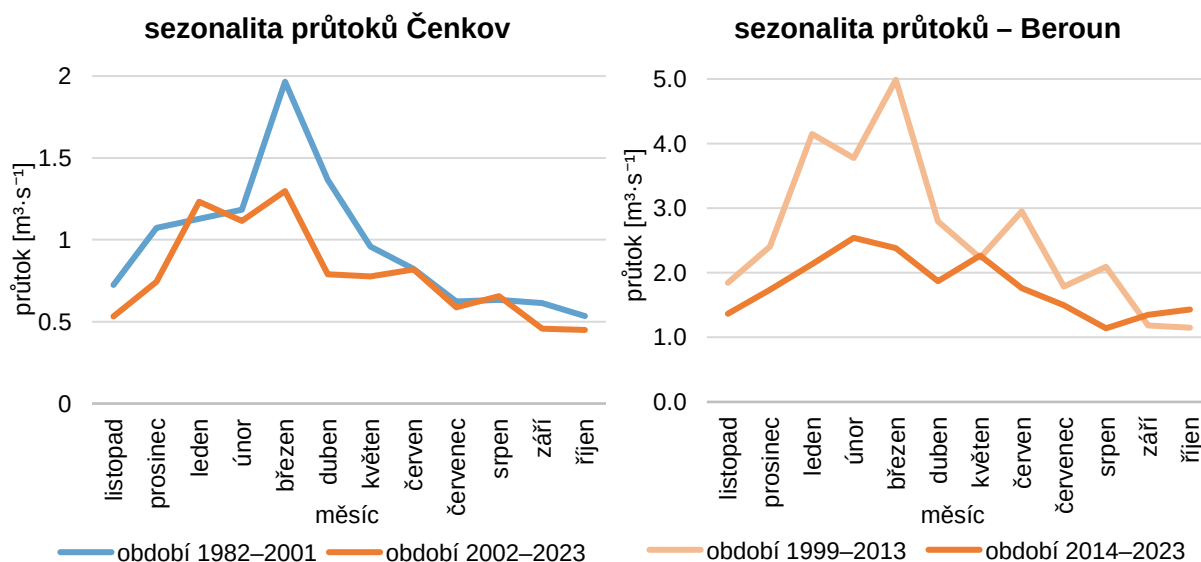
Obr. 34: Průměrné měsíční průtoky – profil Obecnice, Čenkov (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování).



Obr. 35: Průměrné měsíční průtoky – profil Hořovice, Beroun (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování).

Na **obrázku XZ** je ilustrován průběh odtoku v hydrologickém roce na profilech Hořovice a Beroun. Na tomto grafu se již nevyskytují abnormality způsobené extrémními průtoky při povodňových situacích a ten tak lépe ilustruje běžný průtok. Profil Hořovice dosahuje maxima v březnu, průměrný měsíční průtok se v tomto měsíci rovná $0,679 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Naopak nejmenší měsíční průtok je patrný v říjnu, v němž dosahuje pouhých $0,174 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Měsíční maximum dosažené v profilu Beroun nastává taktéž v březnu, činí $3,945 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Minimum je zde možné zaznamenat však o měsíc dříve, a to v září, kdy hodnota průměrného měsíčního průtoku dosahuje $1,251 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Při testech homogenity vyšlo najevo, že datové řady ročních průtoků ze stanic Čenkova a Berouna jsou nehomogenní, a to s bodem zlomu pro Čenkov v roce 2002 a pro Beroun v roce 2014.



Obr. 36: Sezonalita průtoků před a po bodu změny v datové řadě – profily Čenkov, Beroun (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování).

Byly proto sestaveny grafy zobrazující průběh průtoků v roce. Na obrázku 36 je vidět zřetelná změna sezonality, u stanice Čenkov je nejmarkantnější snížení průtoků v březnu. V letním období se průtoky drží na podobné úrovni jako před bodem zlomu. Na berounském profilu došlo mezi dvěma obdobími rozdělenými rokem 2014 k výraznému vyrovnání průtoků a napřímení křivky v době původně výrazných maxim (březen, červen, srpen). Nutno dodat, že průměry pro Beroun z prvního období byly pravděpodobně ovlivněny extrémně vysokými průtoky v době povodní ze srpna 2002 a června 2013.

6.3.3 Průměrné roční průtoky

Pro všechny limnigrafické stanice byly analyzovány i **průměrné roční průtoky** (Q_r), které byly zkombinovány s metodou posouzení vodnosti toku. Jak již bylo uvedeno, samostatné grafy pro každou limnigrafickou stanici jsou k nalezení v příloze 2. Tyto grafy zároveň zobrazují hodnotu průměrného průtoky na profilech a vodnost jednotlivých let. Hodnocení vodnosti let bylo zpracováno na základě pravděpodobnosti překročení ročních průtoků vyjádřené v procentech [p%]. Postup výpočtu byl podobný jako u konstrukce čáry překročení průměrných denních průtoků, avšak namísto Q_d byly využity průměrné roční průtoky (Q_r). Ty byly seřazeny sestupně a byla pro ně vypočítána pravděpodobnost překročení dle Čegodajevova vzorce uvedeného výše. Systém rozdělení kategorií pro hodnocení vodnosti let ilustruje tabulka 21. Výsledné hodnoty jsou zobrazené v grafech v příloze 2, zároveň jsou komentovány i níže v textu.

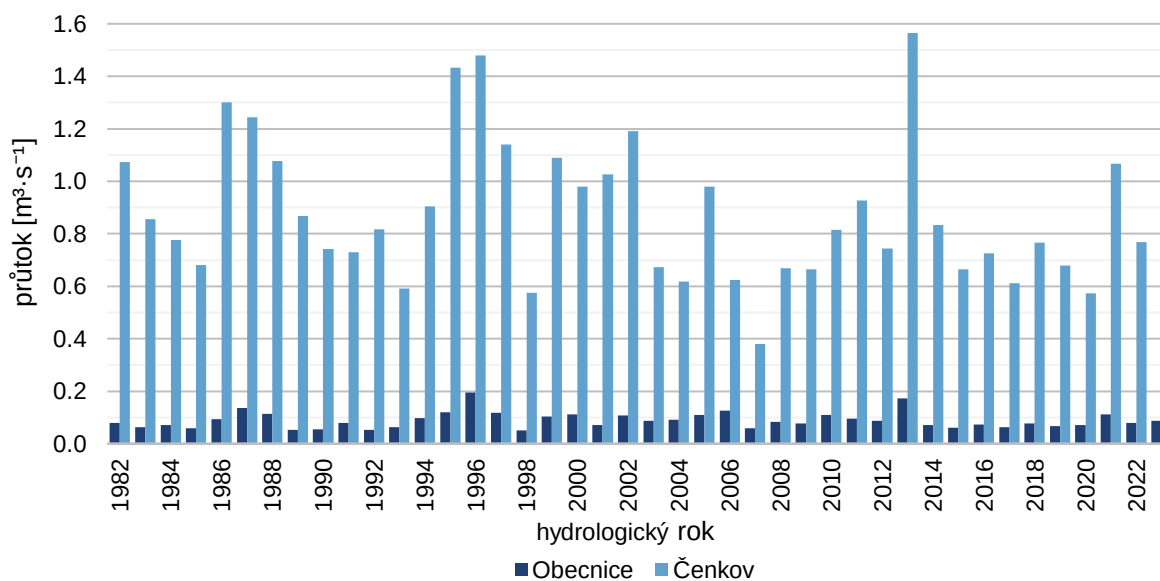
Tab. 21: Procentuální, slovní a číselné hodnocení vodnosti.

slovní ohodnocení	pravděpodobnost překročení (p%)	číselný ekvivalent pro grafické hodnocení
mimořádně vodný rok	0–10	5
vodný rok	11–40	4
průměrně vodný rok	41–60	3
málo vodný rok	61–90	2
mimořádně málo vodný	91–100	1

Z obrázku 37 je patrné, že na profilu Obecnice byl nejvyšší průměrný roční průtok zaznamenán v roce 1996, v němž jeho hodnota dosáhla $0,195 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a jednalo se tak o mimořádně vodný rok. Tento rok byl nadprůměrný i z hlediska srážek, jak je viditelné v následující podkapitole. Nejvíce srážek spadlo v červenci, kdy průměr srážkového úhrnu činil 135,9 mm. Podobně vodným byl i rok 2013, který zaznamenal roční průměr $0,195 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. V tomto roce byly průtoky dotovány srážkami zejména v období května (měsíční květnový průměr z tohoto roku byl 103,6 mm) a června (měsíční průměr 115 mm). Tehdy způsobily na Litavce jedny z největších povodní v rámci sledovaného období. Mimořádně vodné roky nastaly mezi lety 1982–2023 čtyřikrát, kromě již zmíněných to dále byly roky 1987 a 2006. Mimořádně málo vodný rok nastal za dobu pozorování pětkrát – v letech 1983, 1989, 1990 a 1998.

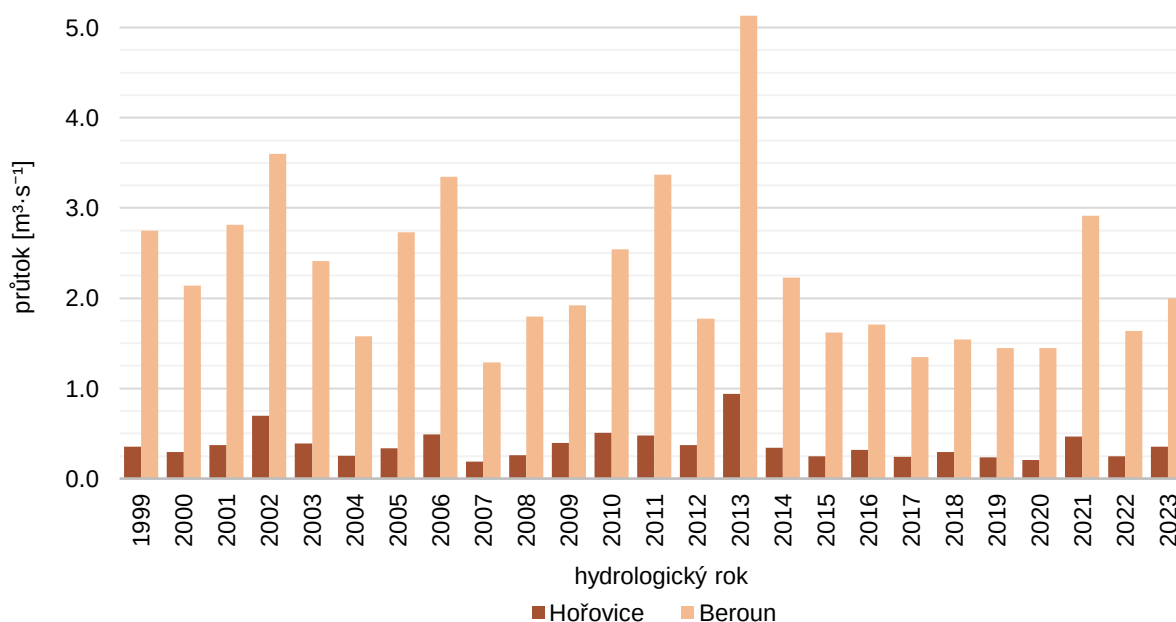
Profil Čenkov vykazuje průměrný průtok $0,874 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Nejvyššího ročního průměru průtoky zde bylo dosaženo též v roce 2013 ($1,564 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), mimořádně vodné roky byly stejně jako v případě Obecnice zaznamenány čtyřikrát (avšak jiné – 1986, 1995, 1996 a 2013). Nejnižší hodnota průměrného ročního průtoky byla vypočítána pro rok 2007 ($0,379 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Mimořádně málo vodné roky nastaly

v letech 1993, 1998, 2007 a 2020. Zajímavé je, že roky, kdy v Česku panovalo intenzivní sucho (tedy 2015, 2018 a 2019 a 2022) jsou na tomto profilu hodnoceny jako málo vodné nebo průměrné vodné, nikoliv jako mimořádně málo vodné.



Obr. 37: Průměrné roční průtoky za sledované období – profily Obecnice, Čenkov (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování).

Roční průměry limnigrafických stanic dolního toku jsou zobrazeny na obrázku 38. Na profilu Hořovice byl mimořádně málo vodný rok zaznamenán v roce 2007 (průměrný roční průtok roven $0,186 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) a 2020 (hodnota činila $0,203 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Mimořádně vodný tok nastal v roce 2002 ($0,699 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), 2010 ($0,506 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) a 2013 ($0,940 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Mimořádně vodné a mimořádně málo vodné roky na profilu Beroun nastaly shodně s profilem Hořovice. Absolutní maximum průměrného ročního průtoku v Berouně bylo $5,129 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ v roce 2013, absolutní minimum pak v roce $1,287 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (rok 2007).



Obr. 38: Průměrné roční průtoky za sledované období – profily Hořovice, Beroun (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování).

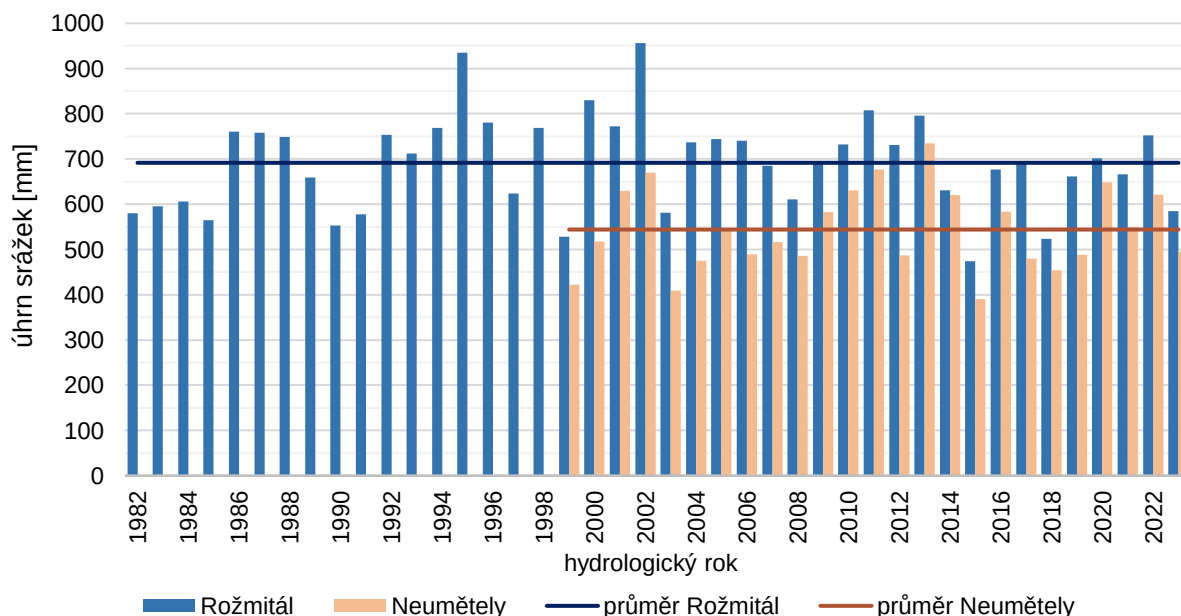
6.4 Srážkové, teplotní a sněhové poměry

V následujících podkapitolách jsou rozebrány klimatické poměry povodí Litavky. Stejně jako u odtokového režimu je i v tomto případě analýza rozdělena na části týkající se horního toku (klimatologická stanice Rožmitál pod Třemšínem s dostupností dat v rámci hydrologických roků 1982–2023) a dolního toku (klimatologická stanice Neumětely, dostupnost dat mezi pro hydrologické roky 1999–2023).

6.4.1 Srážky

Na obrázku 39 lze kromě **průměrných ročních úhrnů srážek** (H_r) pro zkoumaná časová období vidět i celkový dlouhodobý průměr celkových ročních srážek z obou zkoumaných stanic (průměry jsou vyznačeny liniemi obdobných barev jako sloupce srážkových úhrnů).

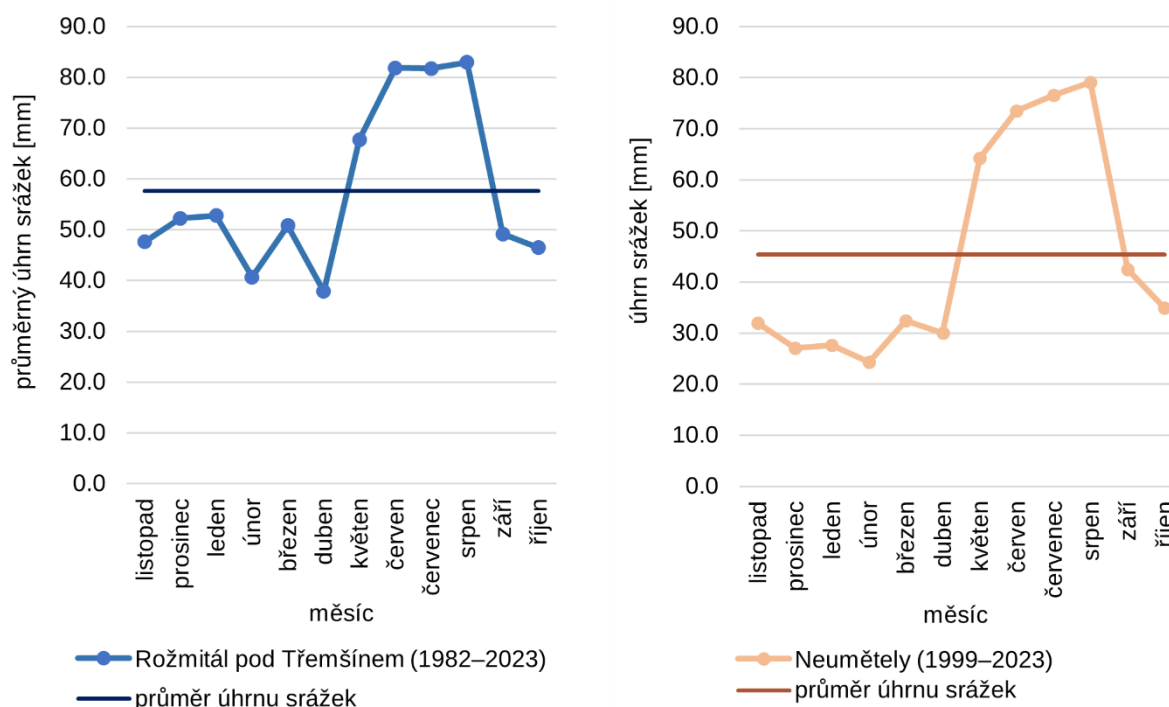
Klimatologická stanice Rožmitál pod Třemšínem zaznamenává mezi od počátku měření v průměru 691,7 mm srážek za rok. V celém sledovaném období se vyskytuje 22 let ze 42, která je možné označit za srážkově nadprůměrné. Nejnižší průměrný roční úhrn srážek nastal v roce 2015 a činil 473,5 mm. Naopak srážkově nejbohatším rokem byl rok 2002 s 956,1 mm. Kdyby byl graf proložen lineární spojnicí trendu, měla by stejný průběh jako linie dlouhodobého průměru, a proto v tomto případě není uvedena ani jako vizuální doplněk. Při Mann-Kendallově testu se totiž opravdu ukázalo, že v ročním průměrném úhrnu srážek není přítomen žádný trend.



Obr. 39: Průměrný roční úhrn srážek – stanice Rožmitál pod Třemšínem, Neumětely (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování).

Ve stanici Neumětely se dlouhodobý roční průměr činí 544,1 mm. Z celkem 25 let bylo 12 srážkově nadprůměrných, přičemž na srážky nejbohatší rok byl rok 2013. Naopak srážkově nejchudší byl rok 2015, kdy hodnota průměrného ročního úhrnu činila pouze 390,8 mm. Ani v případě této stanice nebyl nalezen žádný trend a průměrný roční úhrn srážek zůstává po sledované období nevykazuje vzestupnou ani klesající tendenci.

Průměrné měsíční úhrny srážek (H_m) jsou zobrazené na obrázku 40. Z těchto grafů je patrný průběh srážek v průběhu hydrologického roku. Na stanici Rožmitál pod Třemšínem jsou srážkově nejbohatšími měsíci červen, červenec a srpen, přičemž absolutního maxima měsíčního průměru je na této stanici dosaženo v srpnu (82,9 mm). Srážkově nejchudší je duben, s průměrným měsíčním úhrnem srážek 37,8 mm. Dlouhodobý měsíční průměr pro tuto stanici je 57,6 mm. Na stanici Neumětely je dlouhodobý měsíční průměr roven 45,3 mm, nejnižší průměrné úhrny srážek zde nastávají v dubnu (37,8 mm), zatímco nejvyšší v srpnu, kdy činí 82,9 mm.

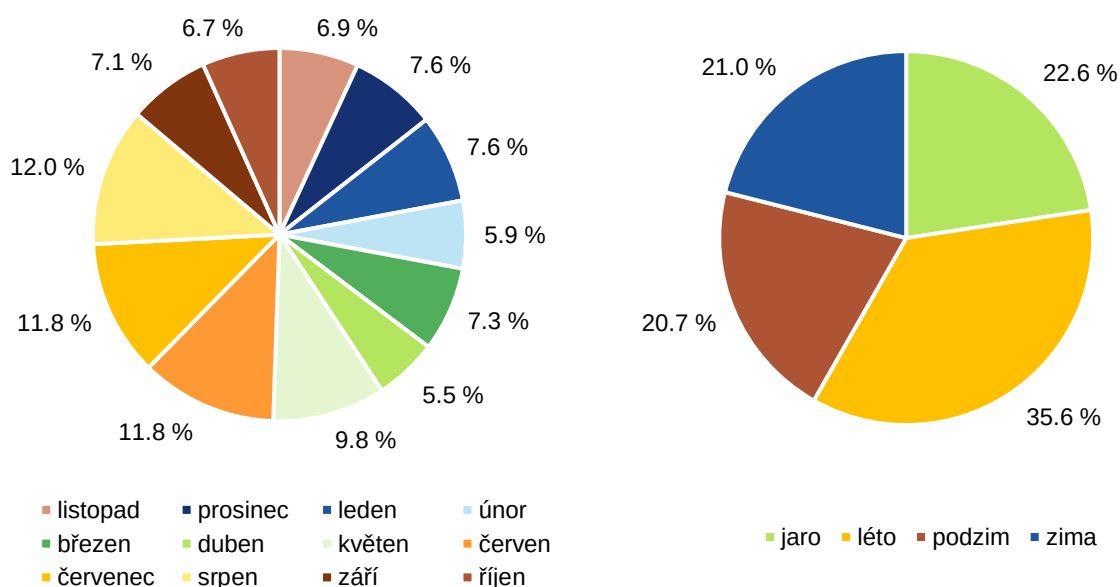


Obr. 40: Průměrné měsíční úhrny srážek – stanice Rožmitál pod Třemšínem, Neumětely (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování).

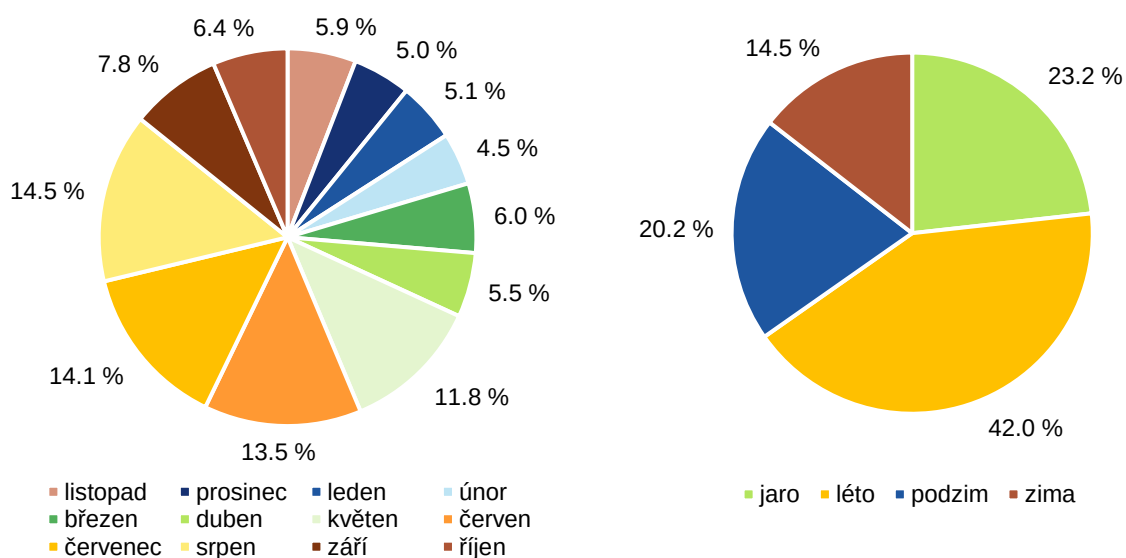
Obrázek 41 ilustruje **měsíční a sezónní rozložení srážek během roku**. Na stanici Rožmitál pod Třemšínem spadne nejvíce srážek v létě (v rámci ročních období je to 35,63 %), jeho podíl na celkovém úhrnu je mírně větší než u ostatních ročních období a je tak mírně nevyrovnaný. Z hlediska měsíců je srážkově nejbohatší srpen (12 % z ročního úhrnu). Nejmenší podíl na celkovém množství srážek za hydrologický rok má duben (5,9 %).

Stanice Neumětely vykazuje nejmenší sezónní podíl na množství srážek na podzim, kdy se jedná o 14,5 %. Obecně řečeno nejméně srážek zde spadne v zimních měsících – v prosinci se jedná o 4,97 %, v lednu o 5,07 % a v únoru o 4,48 %. Únor je tak z hlediska podílu srážek nejsušším měsícem. Oproti tomu v letním období jsou tyto hodnoty průměrně zhruba o 10 p. b. větší. Měsíc červen tvoří na celkovém podílu 13,5 %, červenec pak 14,07 % a největším podílem na úhrnu srážek z celého roku disponuje srpen – 14,53 %. Léto je opět období s největším podílem na úhrnu srážek, a jeho podíl je mírně nevyrovnaný.

Rožmitál pod Třemšínem (1982–2023)



Neumětely (1999–2023)

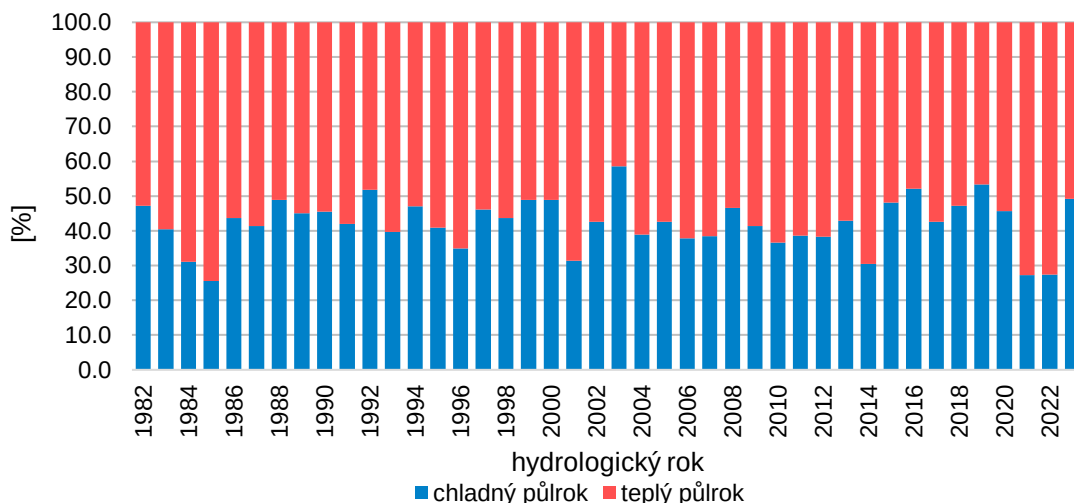


Obr. 41: Sezonality srážkových úhrnů – stanice Rožmitál pod Třemšínem (nahore), Neumětely (dole) (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování).

Dlouhodobý vývoj úhrnu srážek v chladném a teplém půlroce ukazují obrázky 42 a 43. Na stanici Rožmitál pod Třemšínem (obrázek 42) v rozložení srážek převládá téměř ve všech letech teplý půlrok. Výjimku tvoří roky 1992, 2003, 2016 a 2019, v nichž přes polovinu úhrnu srážek spadlo v chladném půlroce. Chladný půlrok byl srážkově nejvydatnější v roce 2003, kdy jeho podíl na celkovém ročním úhrnu srážek tvořil 58,6 %, druhý největší podíl nastal v roce 2019, kdy se chladný půlrok podílel na celkovém množství srážek z 53,4 %. Podíl srážkového úhrnu v teplém půlroce však dosahuje větších

maxim, než je tomu u půlroku chladného. Například v roce 1985 v rámci teplého půlroku spadlo 74,4 % veškerých srážkových úhrnů, podobné hodnoty nastávají v letech 2021 (72,7 %) a 2022 (72,6 %).

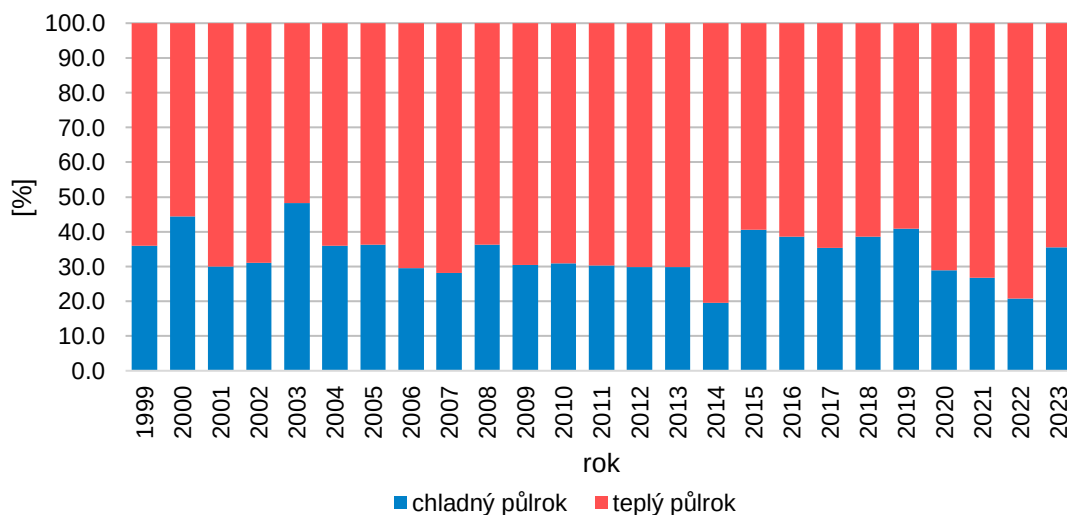
Rožmitál pod Třemšínem (1982–2023)



Obr. 42: Rozložení srážek v teplém a chladném půlroce – stanice Rožmitál pod Třemšínem (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování).

Na stanici Neumětely (obrázek 43) došlo k největšímu nepoměru mezi podílem chladného a teplého půlroku na úhrnu srážek v roce 2014. Tehdy podíl chladného půlroku činil 19,5 % ku 80,5 % půlroku teplého. Nejvyrovnanějším byl rok 2003, ve kterém v chladném půlroce spadlo 48,2 % srážkového úhrnu, v teplém pak 51,8 %. Neumětelská klimatologická stanice dlouhodobě zaznamenává převahující podíl teplého půlroku na úhrnu srážek, jen zřídkakdy se podíl chladného půlroku dostal nad 40 %.

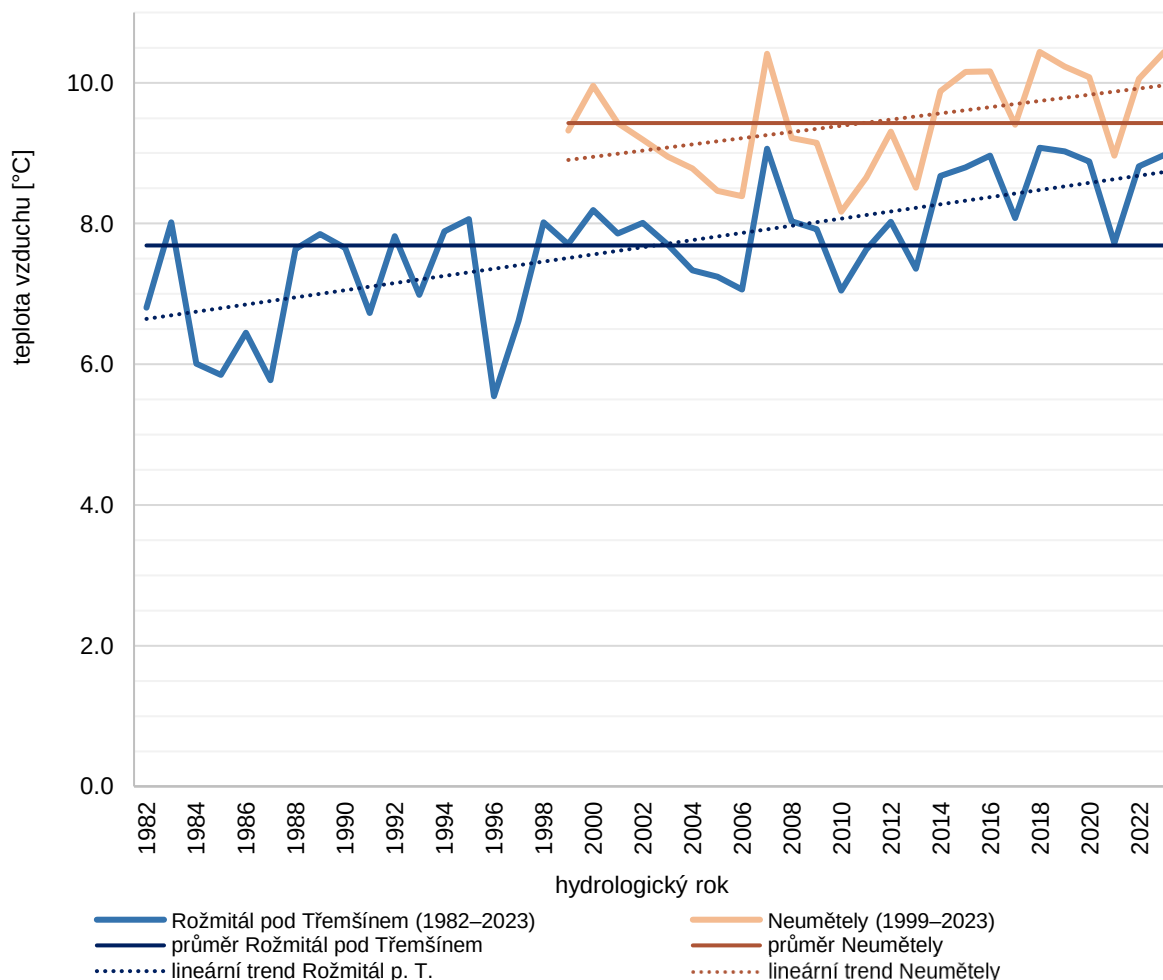
Neumětely (1999–2023)



Obr. 43: Rozložení srážek v teplém a chladném půlroce – stanice Neumětely (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování).

6.4.2 Teploty vzduchu

Obrázek 44 zobrazuje vývoj **průměrných ročních teplot vzduchu** (T_r) na zvolených klimatických stanicích. Křivky jsou proloženy lineární spojnicí trendu, která ilustruje vzestupnou tendenci teplot vzduchu na obou stanicích. Tato spojnice má však spíše ilustrační charakter, pro potvrzení či vyvrácení trendu je nutno využít statistické testy. Ty byly provedeny a u datových řad průměrných ročních teplot vzduchu zaznamenaly nehomogenitu datové řady a vzestupný trend byl potvrzen.

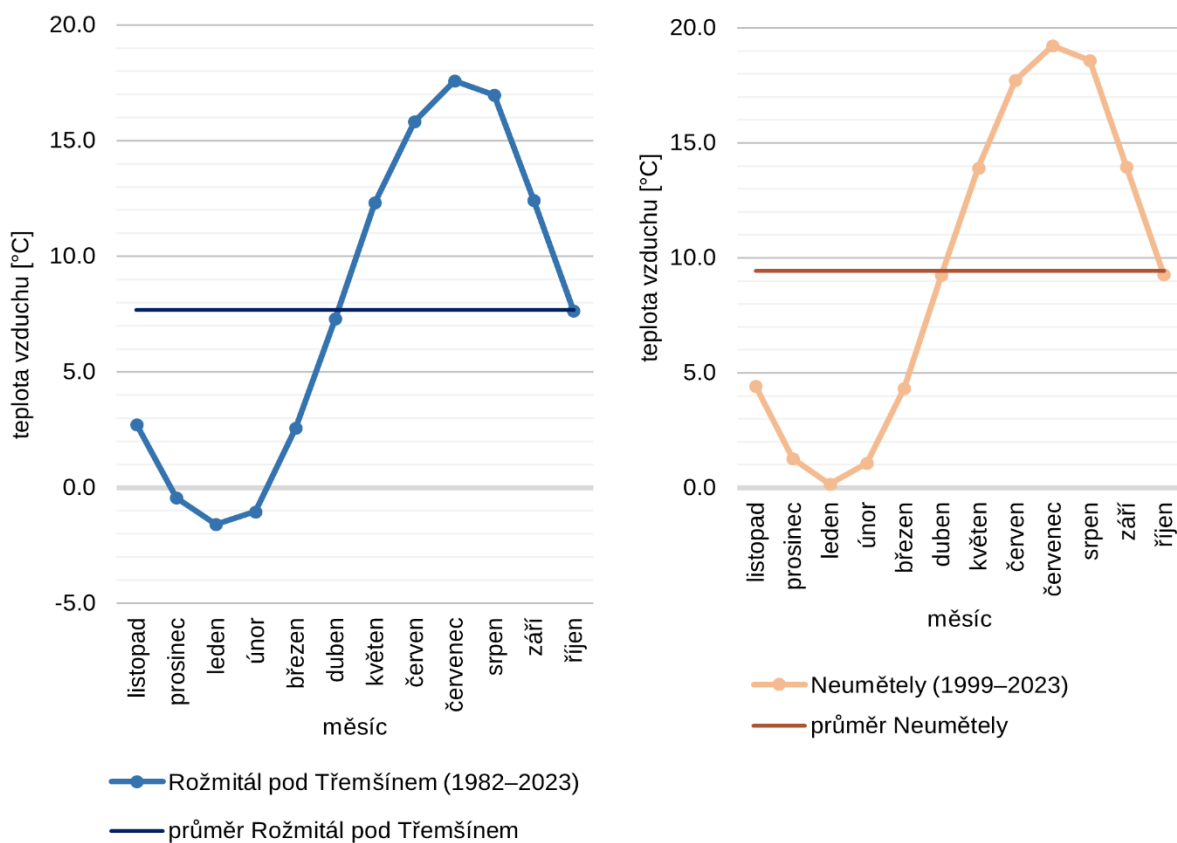


Obr. 44: Vývoj průměrné teploty – stanice Rožmitál pod Třemšínem, Neumětely (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování).

Průměrná teplota vzduchu stanice Rožmitál pod Třemšínem je 7,7 °C. Při pohledu na graf je patrné, že v první polovině doby měření se průměrné roční teploty často nacházely pod linií průměru. Zhruba od roku 2014 do konce sledovaného období se však vždy drží nad průměrem. Nejnižší průměrná roční teplota byla vypočítána pro rok 1996, kde hodnota byla 5,5 °C (2,2 °C pod průměrem). Naopak nejvyšší zaznamenanou průměrnou roční teplotou je hodnota 9,1 °C (shodně v letech 2007 a 2018), což je o 1,4 °C více než vypočítaný dlouhodobý průměr. Průměrná roční teplota pro stanici Neumětely byla stanovena na 9,4 °C. Maxima bylo dosaženo v roce 2018, kdy se jednalo o 10,4 °C. Celkově je na základě tohoto grafu, jehož údaje byly potvrzeny i statistickými testy, možné tvrdit, že u obou stanic dochází ke zvyšování průměrné roční teploty.

U datové řady průměrných ročních teplot vzduchu na stanici Rožmitál pod Třemšínem byla při statistických testech zjištěna nehomogenita s bodem zlomu v roce 2006 a vzestupný trend (u stanice Neumětely sice byla potvrzena nehomogenita datové řady, ale trend nebyl v datech nalezen). Při rozdělení datové řady v bodě zlomu na dva úseky, tedy na období 1982–2005 a 2006–2023, lze mezi sebou porovnat průměr průměrných ročních teplot naměřených v těchto dvou obdobích. Ukazuje se, že před bodem zlomu byl na klimatologické stanici Rožmitál pod Třemšínem průměr teplot vzduchu 7,24 °C, po něm se jednalo o 8,29 °C. Mezi těmito dvěma obdobími tedy došlo k nárůstu o 1,05 °C. Ten samý postup byl aplikován i na data ze stanice Neumětely, ačkoliv zde nehomogenita nebyla zjištěna. Za bod zlomu byl zvolen rok 2013 a ukázalo se, že teplotní průměry dvou období rozdělených tímto rokem jsou 0,7 °C – pro období 1999–2012 se jedná o průměr 9,1 °C, období po bodu zlomu je charakterizováno průměrem 9,8 °C.

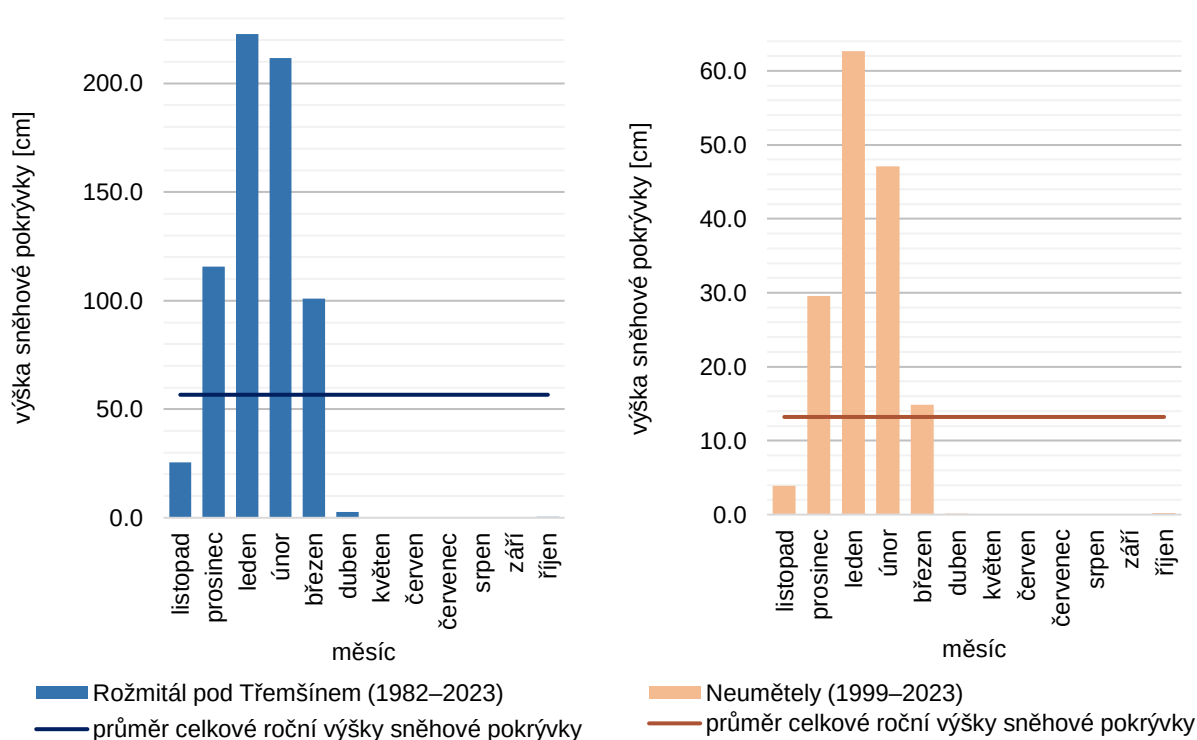
Průměrné měsíční teploty vzduchu (T_m) lze vidět na obrázku 45. Na stanici Rožmitál pod Třemšínem je nejvyšších hodnot dosahováno v červenci. Průměr pro tento měsíc je 17,6 °C. Nejnižší průměrná měsíční teplota nastává v lednu, kdy se nachází v záporných hodnotách a činí -1,6 °C. Záporné průměrné teploty nastávají dále v prosinci (-0,4 °C) a v únoru (-1,0 °C). V březnu je hodnota již opět nad bodem mrazu a pozvolna dochází k oteplování. Průměrné měsíční teploty klimatologické stanice Neumětely zanesené na grafu nám ukazují, že i zde je nejteplejším měsícem červenec (19,2 °C). V chladném období roku teplotní průměr nepadá pod 0 °C, ale drží se na hodnotě 0,2 °C, a to v měsíci lednu.



Obr. 45: Průměrná měsíční teplota vzduchu – stanice Rožmitál pod Třemšínem (vlevo), Neumětely (vpravo) (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování).

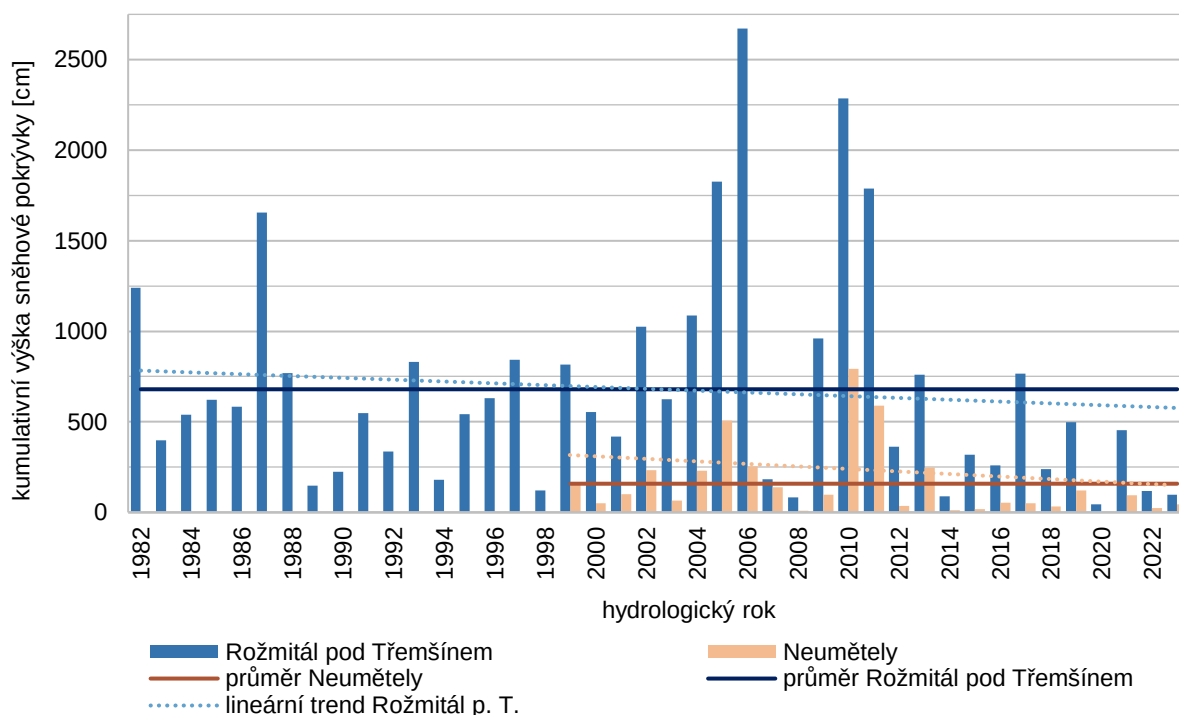
6.4.3 Sněhové poměry

Vzhledem k odtokovému režimu řeky Litavky je informace o množství sněhu důležitým faktorem. Brdy, kde Litavka pramení, sice zdaleka nejsou nejvyšším pohořím Česka, nicméně i zde se – jak dokládá obrázek 46 –, v zimních měsících snůh pravidelně nachází. Následující část práce pojednává o datech **celkové měsíční výšky sněhové pokrývky** (S_m). Stanice Rožmitál pod Třemšínem zaznamenává průměrně největší výšku sněhové pokrývky v lednu, kdy dosahuje až 223 cm. V následujících měsících začíná snůh odtávat, v dubnu je výška sněhové pokrývky průměrně 2,67 cm a měsíc květen je již zcela bez sněhu. V případě stanice Neumětely maximální výška sněhové pokrývky dosahuje 62,68 cm, a to v lednu. Nejnižší množství sněhu (mimo nulové hodnoty) není na obrázku viditelné, jelikož se jedná o pouhých 0,12 cm pro měsíc duben.



Obr. 46: Měsíční průměry kumulativní výšky sněhové pokrývky – stanice Rožmitál pod Třemšínem (vlevo), Neumětely (vpravo) (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování).

Obrázek 47 zobrazuje vývoj roční průměrné výšky sněhové pokrývky na obou klimatologických stanicích v průběhu doby měření. Průměrná hodnota dosažená za rok na rožmitálské stanici je 679,9 cm. Absolutní roční maximum bylo zaznamenáno v roce 2006 a jednalo se o 2672 cm. Zimní období tehdy bylo celkově velmi bohaté na sněhové srážky, v lednu činila výšky sněhu 616 cm, v únoru 775 cm a v březnu až 861 cm. Průměrná roční výška sněhové pokrývky na stanici Neumětely činí 158,5 cm. Nejvíce sněhu zde bylo zaznamenáno v roce 2010. V lednu napadlo 389 cm sněhu, v únoru 360 cm. Snůh na konci února velmi rychle odtál a v březnu pak činila zaznamenaná výška sněhové pokrývky už jen 8 cm. Celkem v hydrologickém roce 2010 napadlo 794 cm sněhu.



Obr. 47: Vývoj průměrné roční kumulativní výšky sněhové pokrývky v rámci sledovaného období (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování).

6.5 Extrémní hydrologické jevy

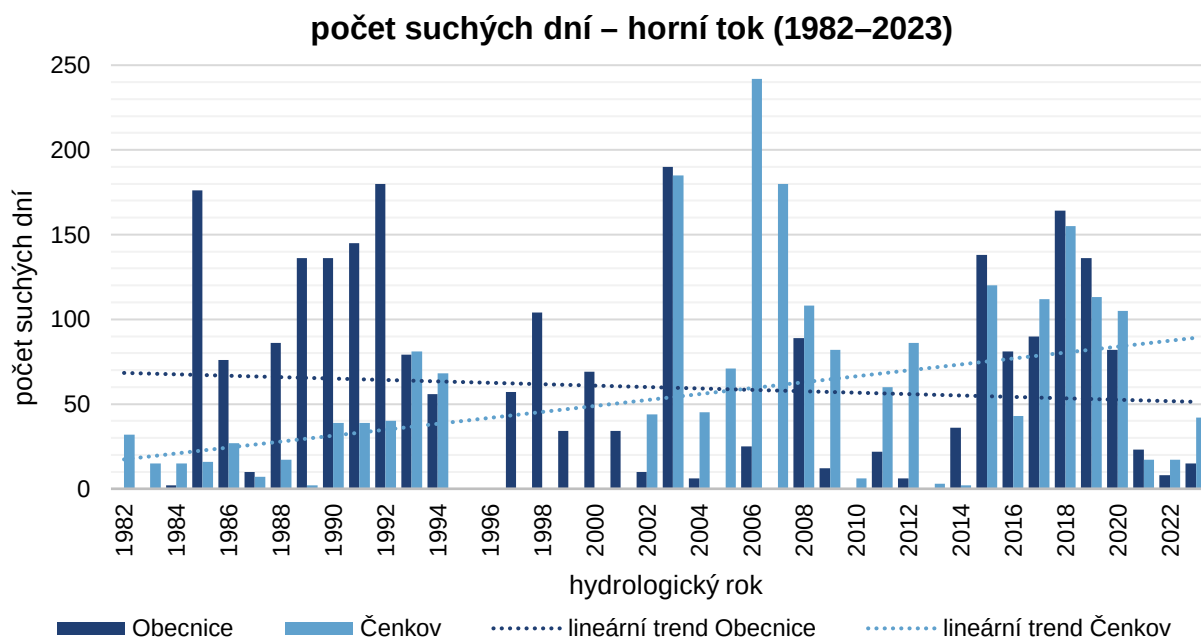
Tato kapitola prezentuje výsledky analýzy výskytu sucha a povodní v zájmovém území.

6.5.1 Nízké průtoky

První zvolenou metodou pro hodnocení nízkých průtoků byla **metoda prahové hodnoty**. V Česku běžně používanou prahovou hodnotou je Q_{355d} a stejného přístupu se držela i tato práce. Hodnoty Q_{355d} pro všechny profily již byly výše v textu uvedeny, nicméně pro lepší orientaci čtenáře jsou připomenuty i zde. Jsou to následující: Obecnice – $0,027 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, Čenkov – $0,283 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, Hořovice – $0,069 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, Beroun – $0,574 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Prahová hodnota pro profil Hořovice je menší než pro profil Čenkov z důvodu, že profil Hořovice se nachází na přítoku řeky Litavky Červeném potoce a ne přímo na hlavním toku, průtoky jsou zde tedy obecně menší, než by byly v podobné nadmořské výšce přímo na Litavce. I v tomto případě doplňuje grafické výstupy doplňuje tabulka s jednotlivými daty, je k nalezení v příloze 3. V ní je ukázán vývoj počtu suchých dní v rámci sledovaných období – kromě ročních hodnot jsou uvedeny i počty suchých dní v jednotlivých měsících.

Obrázek 48 ilustruje **počet suchých dní** na obou profilech horního toku. Pro stanici Obecnice (571 m n. m.) byla prahová hodnota Q_{355d} stanovena na $0,027 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Je patrné, že počet suchých dní na tomto profilu je již od začátku pozorování poměrně vysoký. Let bez suchých dní se vyskytuje ve

sledovaném období pouze sedm, což je velmi málo – jedná se o roky 1982, 1983, 1995, 1996, 2005, 2010, 2013.



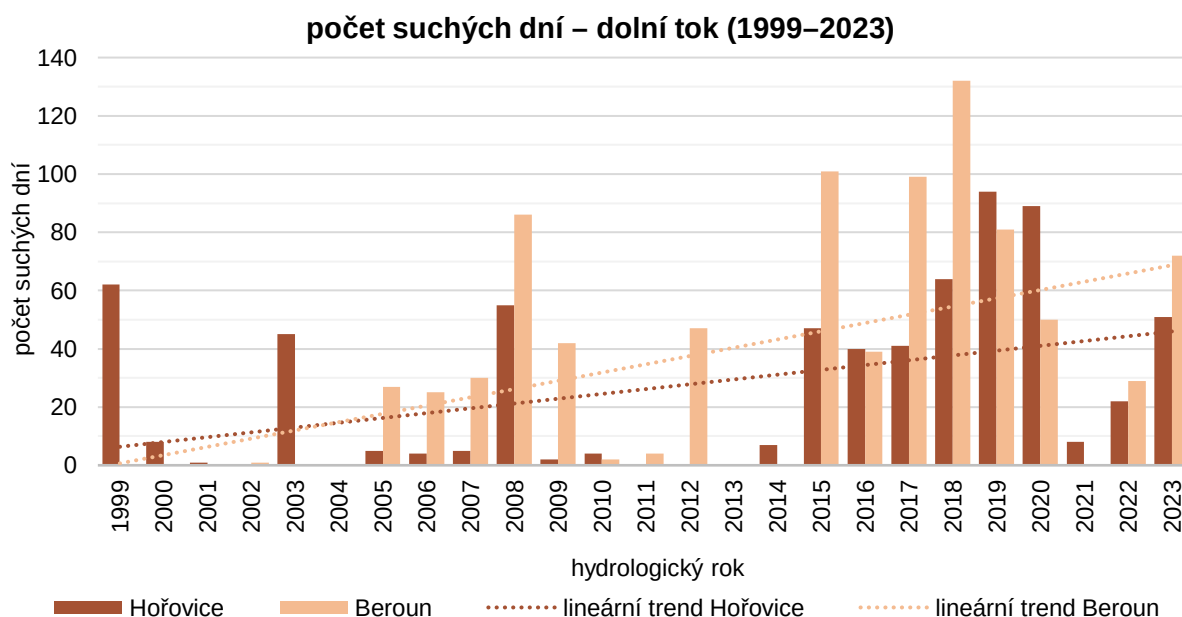
Obr. 48: Vývoj počtu suchých dní v rámci sledovaného období – horní tok (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování).

Celkem na tomto profilu v rámci sledovaného období nastalo 2513 suchých dní, sucho tedy bylo asi v 16 % ze všech 15340 dní. Výskyt suchých dnů je zde sdružený do pomyslných tří období častého výskytu, která jsou od sebe oddělena lety s nulovým počtem suchých dnů. První období můžeme zaznamenat na od poloviny 80. do poloviny 90. let 20. století. V roce 1985 nastalo celkem 176 suchých dní, což znamená, že zhruba v polovině tohoto hydrologického roku průtoky přesáhly prahovou hodnotu Q_{355} značící sucho. Vůbec nejsušším rokem v tomto období byl rok 1992, kdy nastalo 180 suchých dní. Dalším obdobím shluku suchých dnů je na profilu Obecnice doba mezi lety 1997 až 2004, přičemž nejvýraznější je zde rok 2003 se 190 suchými dny. V době posledních 10 let ze sledovaného období se nejvíce suchých dní vyskytlo v roce 2018 (164), 2015 (138) a 2019 (136). V rámci celkové doby je z hlediska počtu suchých dní nejvydatnějším měsícem září (příloha 3). U této stanice nebyl nalezen trend v počtu suchých dní, a to ani při proložení grafu spojnicí trendu ani v případě statistických testů. I přes vykreslení lineárního trendu v grafu dle statistických testů není v datové řadě počtu suchých dní potvrzen žádný významný trend.

Prahová hodnota Q_{355d} pro Čenkov (391 m n. m.) činí $0,283 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Na grafu si lze všimnout, že v případě tohoto profilu jsou počty suchých dní mnohem více rozkolísané. Vůbec nejintenzivnějším rokem byl rok 2006, kdy nastalo 242 suchých dní, byl tedy suchý ze 66 % svého trvání. Druhým nejsušším rokem byl rok 2003 (185 suchých dní). Nulový počet suchých dní se na tomto profilu stejně jako na profilu Obecnice objevuje sedmkrát, nicméně je zajímavé povšimnout si rozložení výskytu. Roky bez suchých dnů tvoří jednolitě období mezi lety 1995–2001. Nejmenší nenulová hodnota je viditelná v roce 2014, v němž činí 2 suché dny. Celkem nastalo za sledované období 2236 suchých dnů.

Nejvíce suchých dnů průměrně nastává v srpnu. Proložení grafu lineární spojnicí trendu naznačuje v počtu suchých dnů vzestupný trend. Tento předpoklad byl testován i staticky, a byl potvrzen – v této datové řadě je u čenkovského profilu přítomný vzestupný trend (kapitola 6.2.5, MK-S je 1,000).

Při pohledu na oba profily horního toku dohromady lze pozorovat, že až do roku 2014 jsou počty suchých dnů na stanicích poměrně odlišné (snad až jen na roky 1993, 1994 a 2003). Avšak po roce 2014 jsou počty téměř vždy poměrně vyrovnané a je mezi nimi patrná určitá korelace. V roce 2021 se počet suchých dnů mezi stanicemi lišily pouze o 5. S opatrností by se dalo usuzovat, že v dřívější části sledovaného období měly faktory způsobující sucho spíše lokální charakter, a na stanicích panovaly odlišné podmínky. S postupem času vzhledem ke stoupající průměrné teplotě vzduchu (jež byla potvrzena testy homogenity a trendu v datové řadě průměrných ročních teplot) by se dalo usuzovat, že se klimatické podmínky na těchto dvou stanicích stávají homogennějšími, a když nastane sucho na profilu Obecnice, tak se tak stane i o 180 výškových metrů níže na Čenkově.



Obr. 49: Vývoj počtu suchých dnů v rámci sledovaného období – dolní tok (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování).

Obrázek 49 ukazuje situaci na dolním toku mezi lety 1999–2023. V případě profilu Hořovice nastalo za sledované období 654 suchých dnů, což je 7 % z celkové doby 9130 dnů. Na grafu je možné si povšimnout, že nulový počet suchých dnů se vyskytuje za celé období pětkrát. V příloze 3 je vidno, že měsícem s nejvyšším počtem suchých dnů byl srpen, za celou sledovanou dobu v tomto měsíci nastalo 176 suchých dnů. Maximální hodnoty počtu suchých dnů nastávají na profilu Hořovice až v posledních několika letech, absolutní maximum je v roce 2019 (94), který je následován rokem 2020 s druhou nejvyšší hodnotou (89) suchých dnů. Trend vývoje datové řady nebyl statisticky nalezen.

Profil Beroun (prahová hodnota stanovena na $0,574 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) byl nejbohatší na suché dny v letech 2018, kdy nastalo 132 suchých dnů. Z hlediska počtu suchých dnů zde byl druhým v pořadí rok 2015

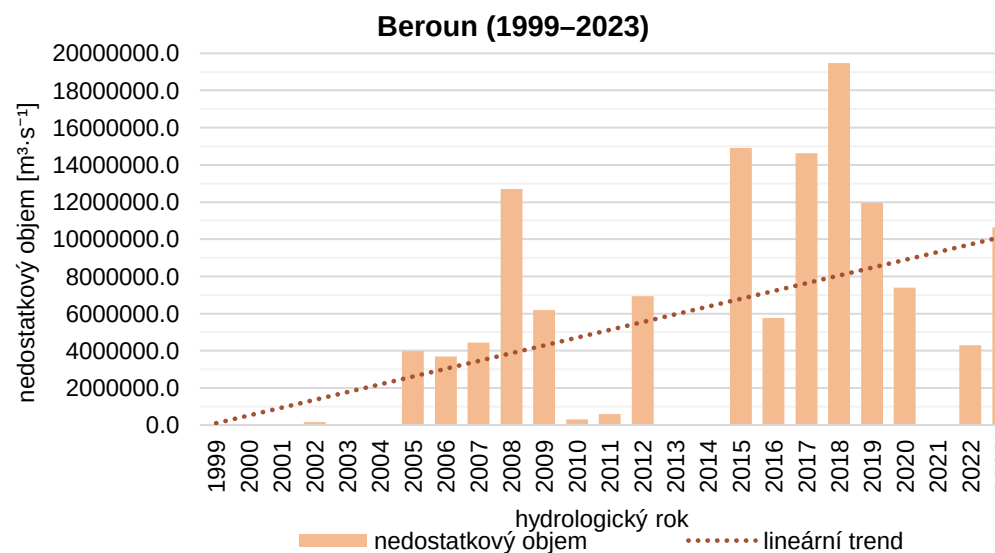
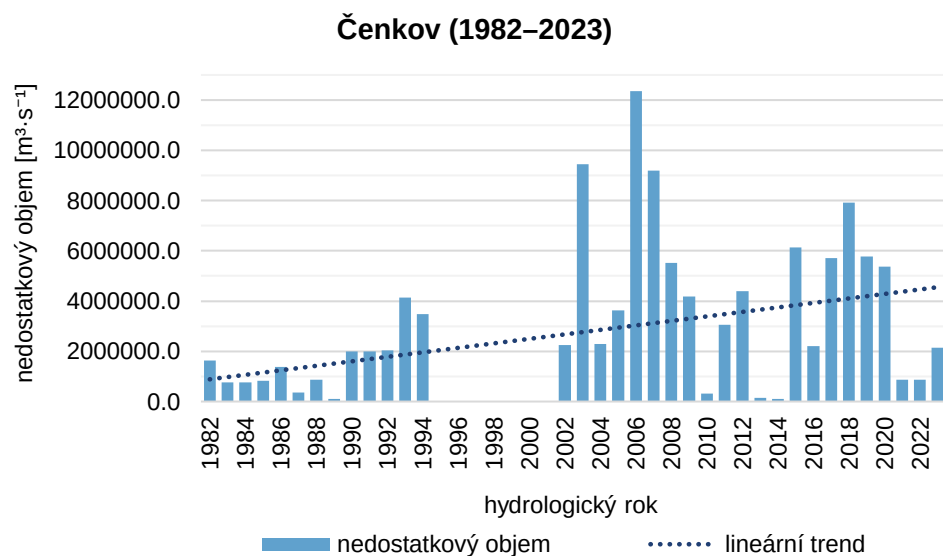
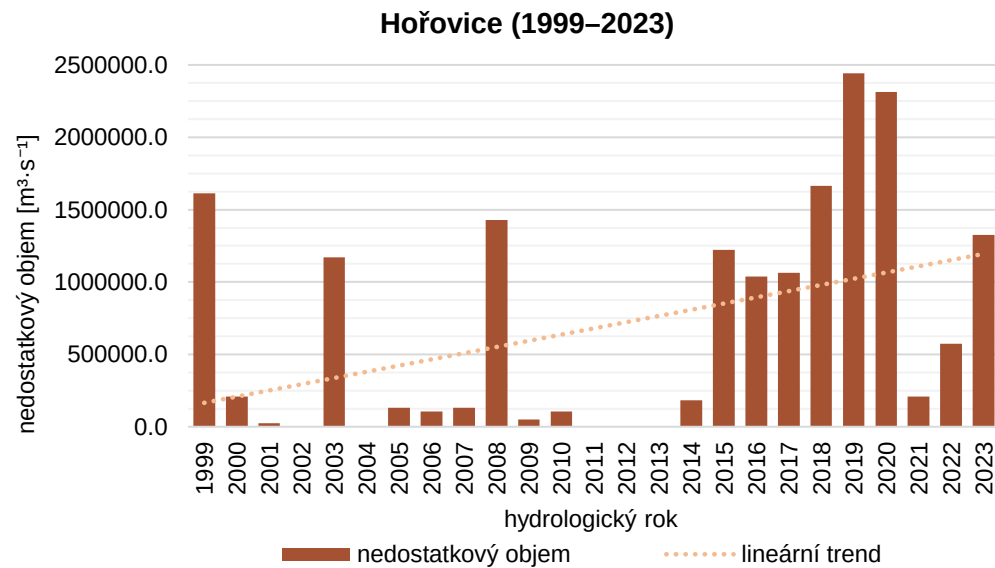
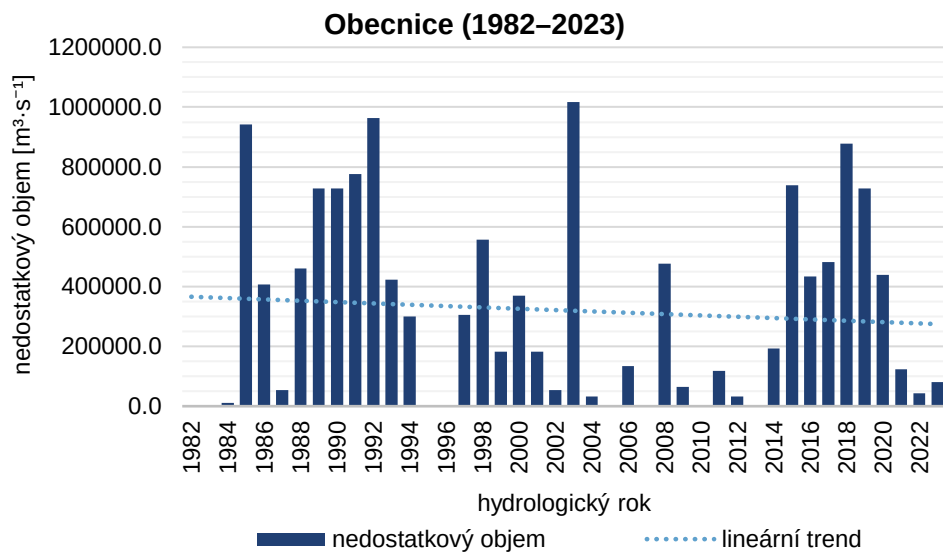
(101 suchých dní). V pozorovaném období bylo celkem 867 suchých dnů, sucho tedy bylo zaznamenáno v 9 % celkového času. Při proložení grafu lineární spojnicí trendu je pro Beroun patrný vzestupný trend, tento byl i Mann-Kendallovým testem vyhodnocen jako signifikantní ($MK-S$ 2,550) a byl potvrzen se vzestupnou tendencí.

Další použitou metodou pro hodnocení sucha bylo zhodnocení **nedostatkových objemů**. Jedná se o velikosti průtoku chybějícího do prahové hodnoty Q_{355d} , tedy jaký objem vody v daném období chybí k tomu, aby bylo dosaženo limitní hodnoty průtoku. Jednotkou nedostatkového objemu je m^3 .

Nedostatkové objemy jsou zobrazeny na různých částech obrázku 50, všechny grafy byly proloženy lineární spojnicí trendu. Profil Obecnice dosáhl nejvyššího nedostatkového objemu v roce 2003 (1 016 971 m^3), což souhlasí i s nejvyšší hodnotou počtu suchých dní za sledované období. Počet suchých dní na tomto profilu celkově koreluje s velikostí nedostatkového objemu, čím více suchých dní v daném hydrologickém roce je, tím je nedostatkový objem větší. Je vhodné podotknout, že pokud v hydrologickém roce nenastane žádný suchý den, hodnota nedostatkového objemu bude nulová. Při pohledu na spojnicí trendu můžeme usuzovat, že na tomto profilu dochází jen k velmi mírnému klesajícímu trendu. Při otestování datové řady Mann-Kendallovým testem však trend nebyl shledán.

Na profilu Čenkov chybělo do hladiny limitního průtoku nejvíce vody chybělo v roce 2006, kdy se nedostávalo asi 12 356 543 m^3 . Oproti profilu Obecnice je zde vidět markantní průběh trendu, který je výrazně vzestupný. Testování přítomnosti trendu hovoří stejně, trend byl v datové řadě nalezen, přičemž $MK-S$ se pohybuje ve velmi silně kladných hodnotách ($MK-S = 51 060$). To značí extrémně velkou signifikanci trendu a jeho vzestupnou tendenci.

Profil Hořovice z hlediska nedostatkových objemů zaznamenává maximum v roce 2019, což souhlasí s maximem počtu suchých dní. Nedostatkový objem pro tento rok dosahoval hodnoty 2 442 830 m^3 . Hodnota dvou milionů m^3 byla přesažena i v roce 2020 (2 312 892 m^3). I na hořovickém profilu v průběhu sledovaného období dochází k značnému růstu trendu. Při statistickém ověření této domněnky se ale ukázalo, že trend není v řadě přítomen. Na rozdíl od toho profil Beroun vykazuje statisticky signifikantní vzestupný trend. Nejvyšší nedostatkový objem byl na profilu Beroun zaznamenán v roce 2018, kdy hodnota činila 19 487 911 m^3 vody chybějící do limitního průtoku. Nulové nedostatkové objemy se vyskytly v letech 1999, 2000, 2001, 2003, 2004, 2013, 2014 a 2021.

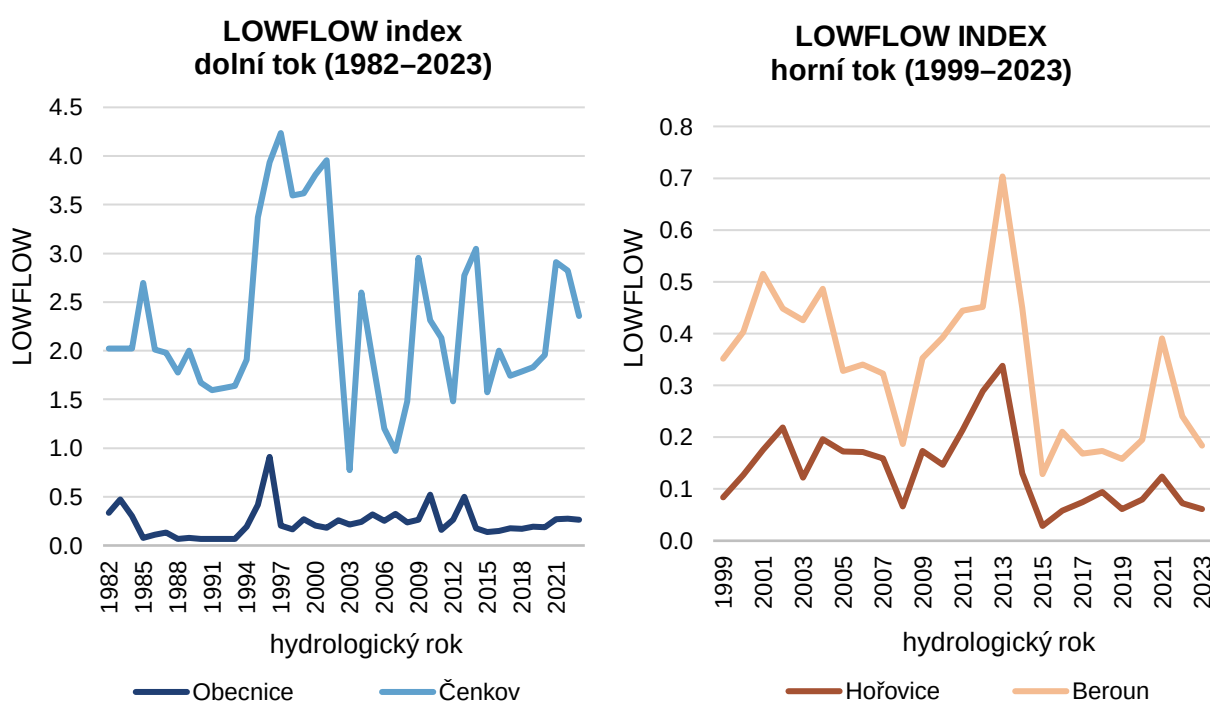


Obr. 50: Vývoj nedostatkových objemů za sledované období (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování)

Poslední metodou pro hodnocení sucha bylo hodnocení pomocí **indexů sucha**. Jejich číselné hodnoty jsou k nalezení v příloze 4. Nejprve byl pro každý hydrologický rok vypočítán LOWFLOW index (obrázek 51), který je podílem nejnižšího naměřeného průměrného denního průtoku daného hydrologického roku a průměrného denního průtoku za stanovenou dobu měření. Čím je vypočtená hodnota LOWFLOW indexu nižší, tím větší bude záporná odchylka od dlouhodobého průměru ve zkoumaném roce, tzn. čím nižší LOWFLOW index, tím větší sucho.

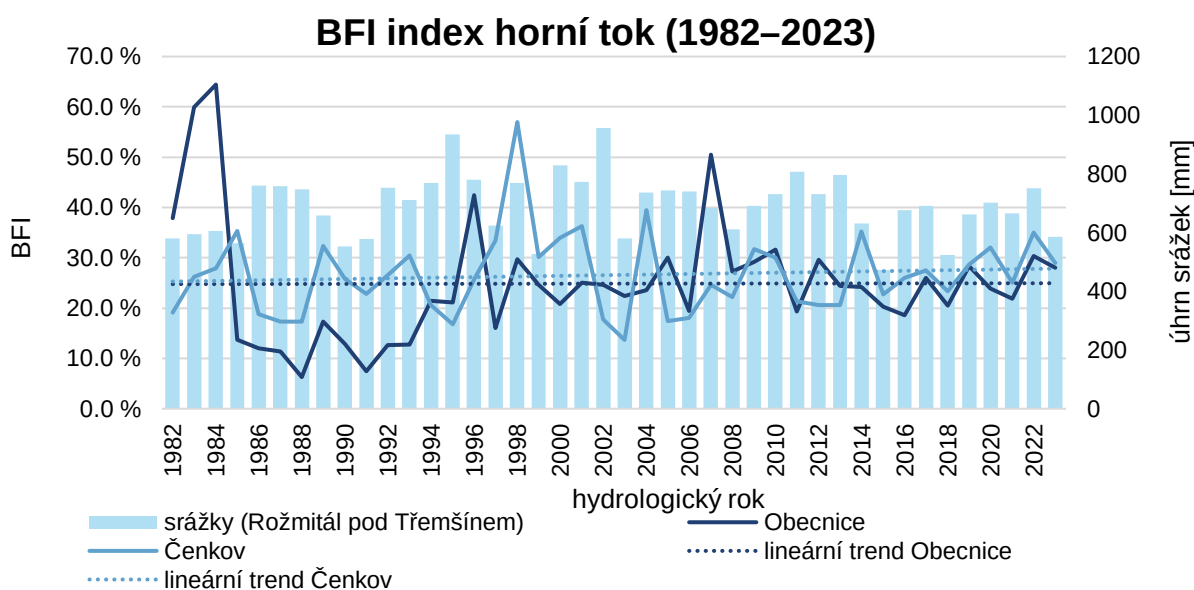
Hodnoty LOWFLOW poměrně dobře korelují s průměrnými ročními průtoky. V případě Obecnice dosahují hodnoty indexu od 0,067 do 0,910, nejnižší (tedy nejintenzivnější sucho) lze spatřit mezi lety 1985–1993, což navíc odpovídá nejvyšším hodnotám analýzy počtu suchých dní. Na profilu Čenkov je minimum pro LOWFLOW vypočteno pro rok 2003 (0,774), což opět koresponduje s maximální hodnotou počtu suchých dní.

Profily dolního toku jsou na tom obdobně, LOWFLOW pro profil Hořovice potvrdil výskyt nejintenzivnějšího sucha na konci sledovaného období od roku 2015 (hodnoty LOWFLOW se pohybují od 0,029 v roce 2015 po 0,124 v roce 2021). Index byl nízký i v roce 2008 (0,066) a na samém začátku sledované doby, v roce 1999 (0,084). Berounský profil vykazuje podobné chování, i zde jsou hodnoty LOWFLOW nejnižší od roku 2015 do roku 2023, přičemž absolutního minima bylo dosaženo v roce 2018 (0,080). U profilů Hořovice i Beroun byl v datové řadě potvrzen klesající trend. Hodnota LOWFLOW indexu tedy pro tyto profily v průběhu času klesá, z čehož lze s jistou mírou opatrnosti usuzovat (protože *MK-S* v tomto případě jsou pouze $-0,004$ pro Hořovice a $-0,007$ pro Beroun a trend tedy není signifikantní), že záporná odchylka od dlouhodobého průměru se zvyšuje, a tedy se sucho stává intenzivnějším.



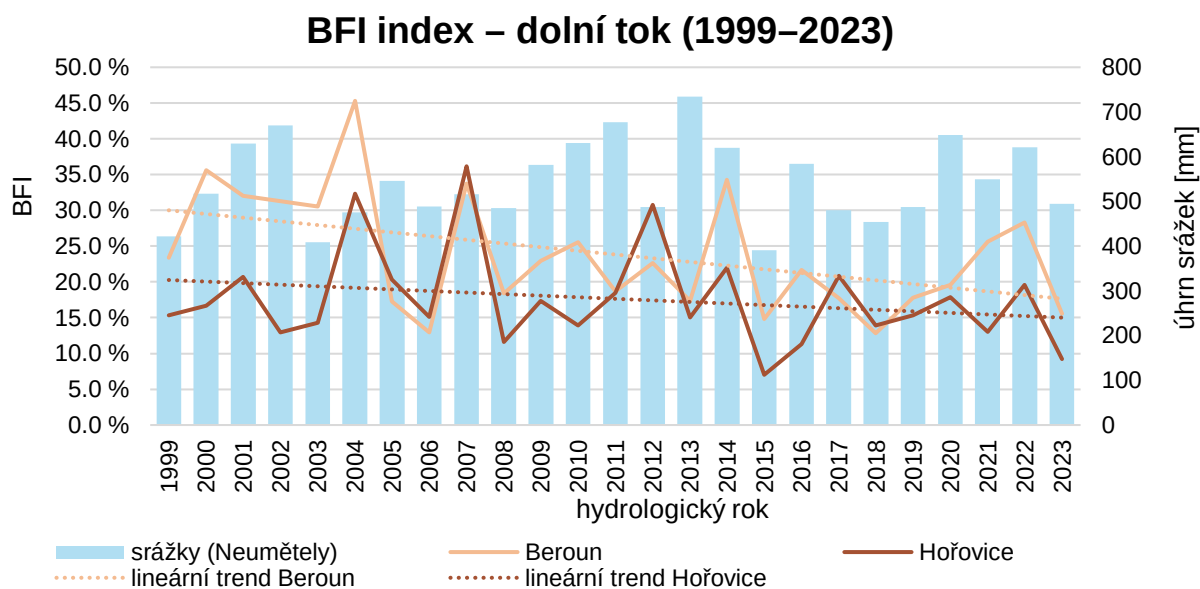
Obr. 51: Indexy sucha pro horní tok (vlevo) a dolní tok (vpravo) (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování).

V grafu profilů Obecnice a Čenkov znázorňujícím hodnoty BFI indexu ve sledovaném období 1982–2023 (obrázek 52) je patrné, že v první polovině docházelo na profilech k nestejnému vývoji. Zhruba od roku 2008 se však křivky začaly podobat jedna druhé a zároveň u obou došlo ke snížení rozkolísanosti. Teoreticky by mělo platit, že čím větší úhrn srážek, a tedy čím větší zásobení vodního toku vodou z jiného zdroje než ze základního odtoku, tím nižší *base flow index* bude. V případě profilu Čenkov se dá tvrdit, že toto tvrzení je na místě, a to pro první zhruba polovinu sledovaného období. U profilu Obecnice je stav obdobný. Hodnota *base flow indexu* se na profilu Obecnice pohybuje mezi 6,3 % (1988) a 64,4 % (1984), u profilu Čenkov mezi 57 % (1998) a 19,2 % (1982). Proložení grafu lineárními spojnicí trendu naznačuje, že v Čenkově dochází k mírně vzestupnému trendu. Trend však nebyl statisticky potvrzen, *p*-hodnota Mann-Kendallovu testu byla 0,278 a hypotéza H_0 tvrdící, že trend není přítomen, nebyla zamítnuta.



Obr. 52: Vývoj BFI indexu pro horní tok (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování).

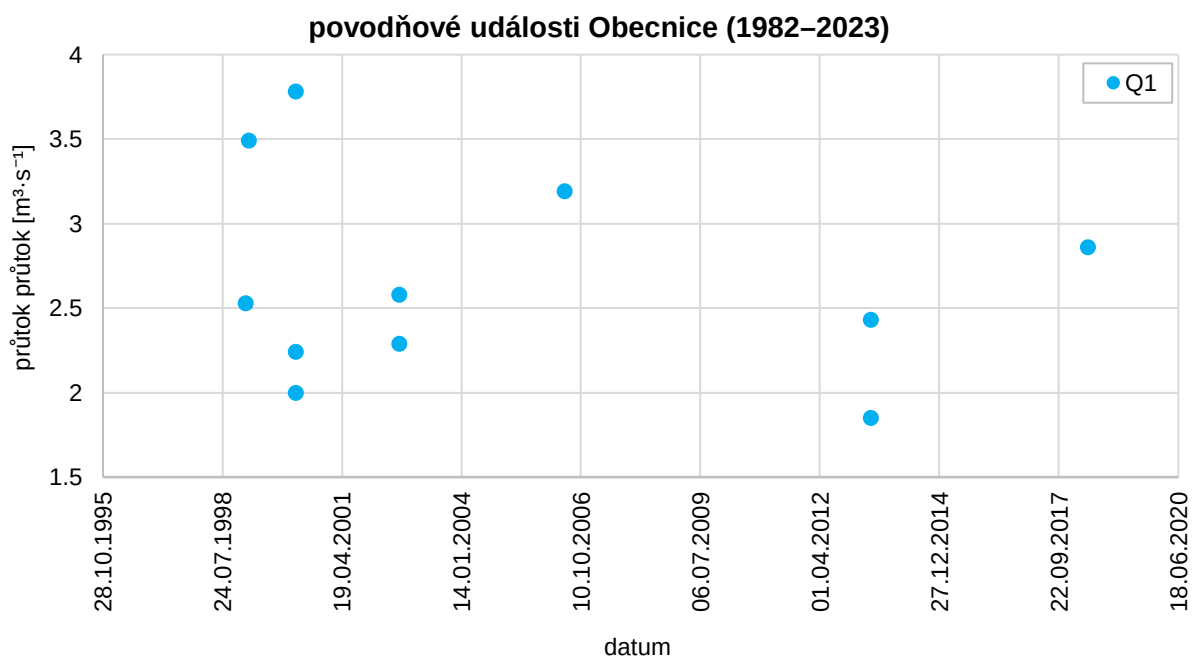
Na obou profilech dolního toku je podle obrázku 53 vidět v hodnotě BFI indexu klesající trend. Mann-Kendallovým testem byl opravdu potvrzen, nicméně pouze pro profil Beroun, pro Hořovice nikoliv. Pro hořovický profil byla nejnižší hodnota BFI zaznamenána v roce 2015 (7,02 %), kdy ale zároveň spadl nejmenší úhrn srážek za celé sledované období. Celkově se tak dá předpokládat, že suché období ovlivnilo i podzemní vodu. Nejvyšší podíl na odtoku má základní odtok na tomto profilu dle BFI v roce 2007 (36,16 %). Berounská stanice zaznamenala nejvyšší hodnotu BFI v roce 2004, kdy byla 45,30 %. Naopak minimum tohoto indexu nastává v roce 2006, kdy se jedná o 12,98 %. Na profilu Beroun je zřetelný značně klesající lineární trend. Při porovnání obou profilů je jasně vidět, že průměrně je hodnota BFI vyšší u profilu Beroun, a tento profil je tedy více dotován základním odtokem.



Obr. 53: Vývoj BFI indexu pro dolní tok (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování).

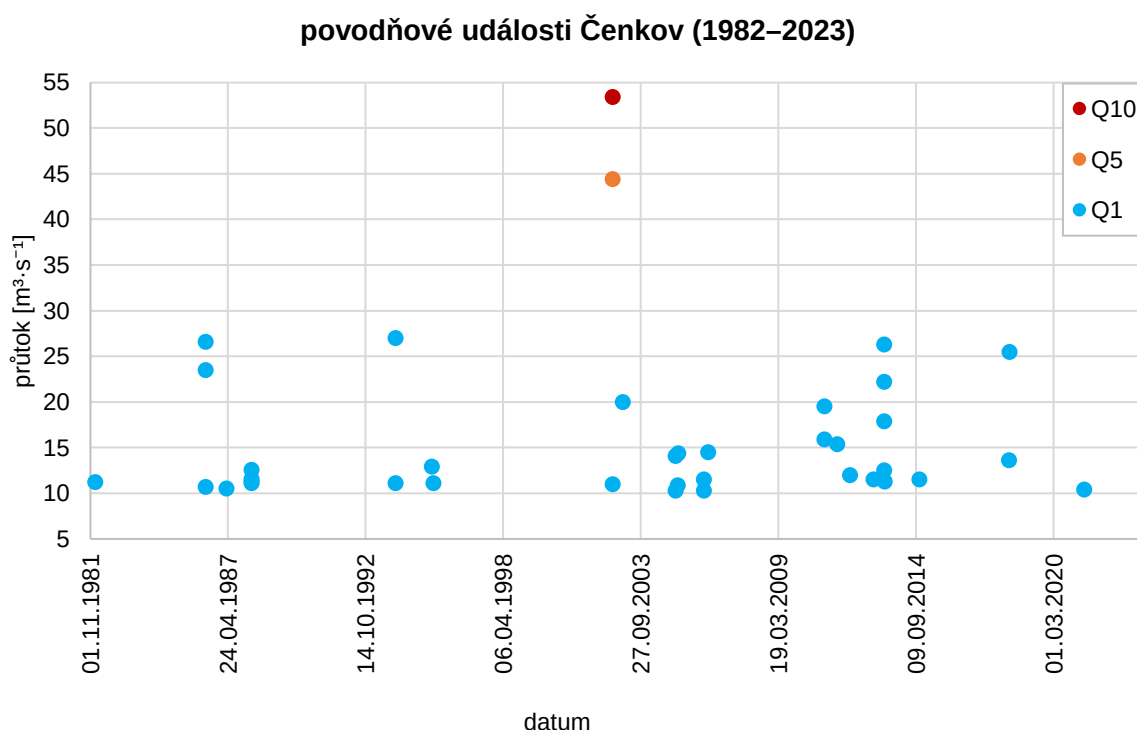
6.5.2 Vysoké průtoky

Kromě četných suchých událostí se ve sledovaném období v povodí Litavky vyskytly i povodňové události. Modré body v následujících grafech (54–57) značí povodňové průtoky, které přesáhly prahovou hodnotu jednoletých průtoků (tyto hodnoty jsou uvedeny v kapitole 3.2.3). Na všech profilech se alespoň jednou vyskytla jednoletá voda (Q1), tři ze čtyř profilů zaznamenaly pětiletou vodu (Q5) – byly to Čenkov, Hořovice a Beroun. V Čenkově se vyskytla dokonce i voda desetiletá (Q10).



Obr. 54: N-leté průtoky na profilu Obecnice (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování).

Obecnický profil (obr. 54) zaznamenal v rámci sledovaného období největší průtok ve dne 30. 3. 2000, kdy byla naměřena hodnota $3,78 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. To je oproti dlouhodobému průměru tohoto profilu asi $42\times$ více. Vzhledem k poloze profilu ve vysoké nadmořské výšce se dá usuzovat, že výskyt povodní je zde ovlivněn zejména intenzitou srážkových úhrnů, jelikož nedochází k přítoku vody z jiných větších toků. V případě tohoto konkrétního povodňového průtoku byla klimatická situace taková, že po celý týden předcházející zmíněnému datu se vyskytovaly srážky, na rožmitálské klimatologické stanici 26. 3. spadlo dokonce 27,2 mm, o tři dny později 16,1 mm. Celkově vzato za sledované období na profilu Obecnice průtok dosáhl prahové hodnoty celkem $11\times$.



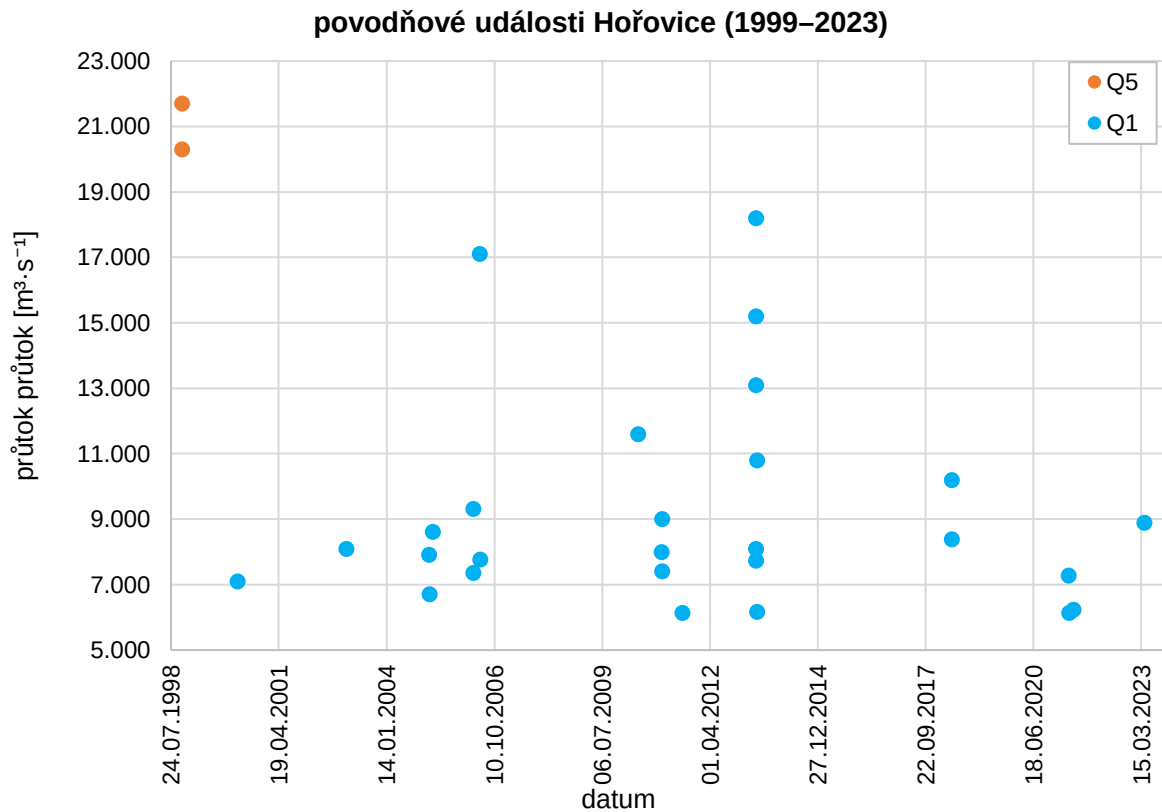
Obr. 55: N-leté průtoky na profilu Čenkov (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování).

Profil Čenkov (obr. 55) je oproti Obecnici na povodňové průtoky mnohem bohatší, k vysokým průtokům nad prahovou hodnotou došlo téměř $40\times$. Na tomto profilu jako na jediném došlo ke zvýšení průtoků nad hladinu desetileté vody. Jednalo se o hodnotu $53,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, což je asi šedesátinásobek dlouhodobého průměru. Jednoletých vod se zde vyskytlo 36, nejčastěji v roce 1986, 1988, 2005 a 2013.

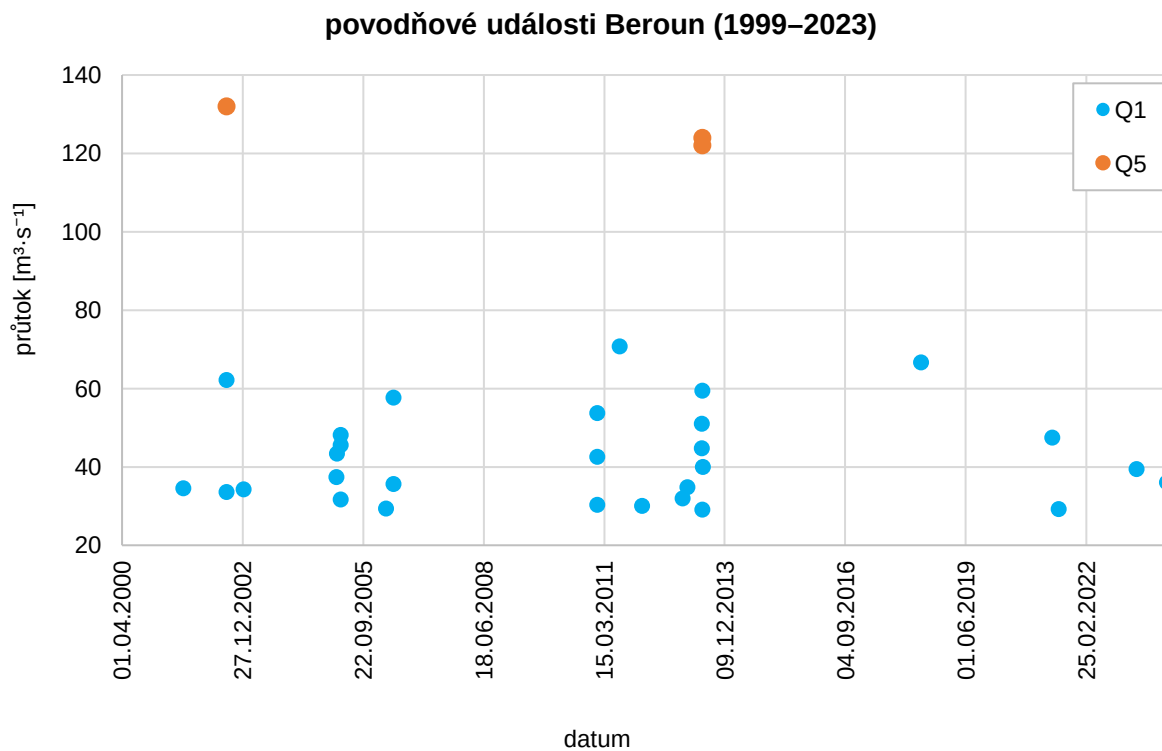
Při pohledu na situaci na dolním toku můžeme vidět, že profil Hořovice (obr. 56) překonal limity jednoleté ($2\times$) a pětileté ($27\times$) vody. Nejvyšší průtoky byly zaznamenány v „povodňovém roce“ 2002, šlo o $21,7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (12. 8.) a $20,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (13. 8.). K největšímu průtoku v rámci Q1 došlo 28. 5. 2006 ($17,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), kdy byla téměř atakována prahová hodnota Q5.

Profil Beroun (obr. 57) je veden ve všeobecné známosti jako náchylný na povodně. Překvapením při analýze dat však bylo, že na tomto profilu nebyla zaznamenána více než pětiletá voda. Nejvyšší průtok byl zaznamenán 13. 8. 2002 a jednalo se o hodnotu $132 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, které do překročení

hranice Q10 však chybělo „pouze“ o $10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Dalším významným rokem na výskyt povodní byl rok 2013 se dvěma průtoky přesahujícími Q5 (2. 6. – $122 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, 3. 6. – $124 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Nejpozdější N-letý průtok v rámci hydrologických let 1999–2023 nastal na jaře 2023, konkrétně 15. 4.

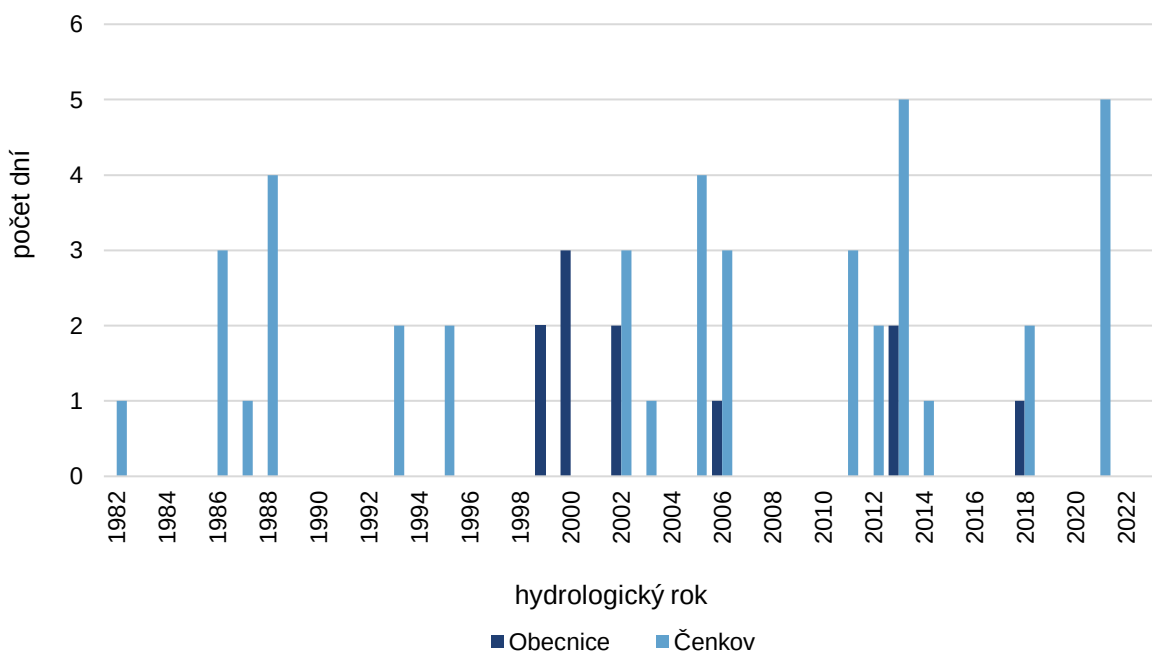


Obr. 57: N-leté průtoky na profilu Hořovice (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování).



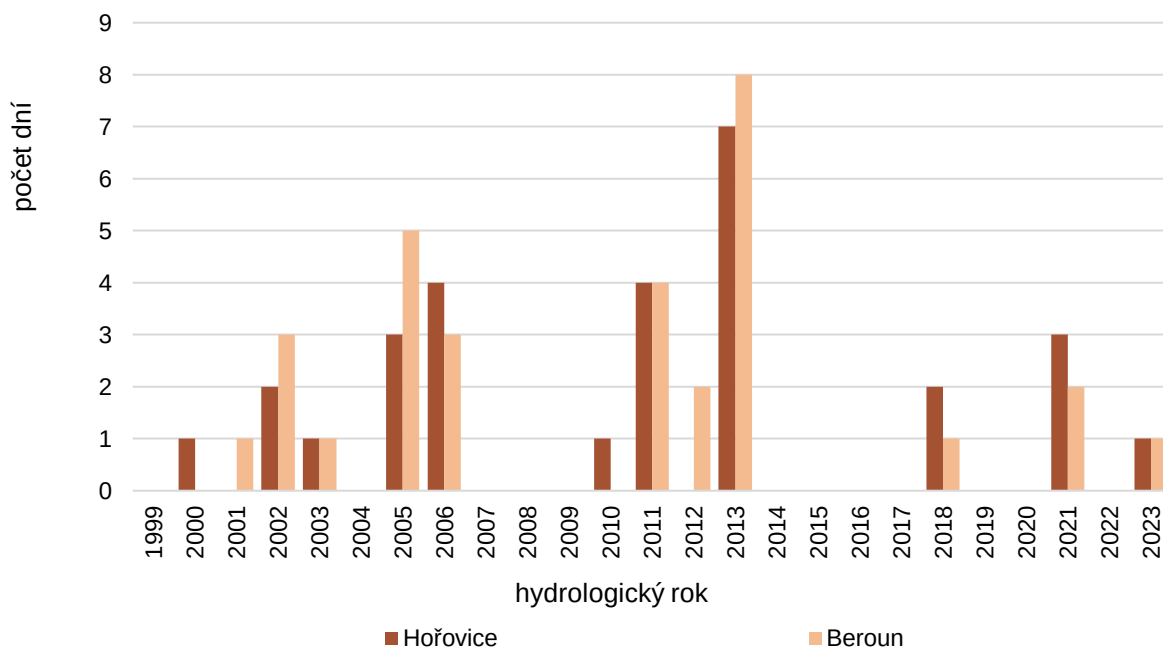
Obr. 56: N-leté průtoky na profilu Beroun (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování).

Co se frekvence výskytu N-letých průtoků týče, na obrázku 58 je vidět počet dní s průtokem větším než hranice jednoleté vody u profilů Obecnice a Čenkov. Jak už naznačil předchozí text, na profilu Obecnice dochází k překonání N-letých průtoků jen velmi zřídka, a to navíc až od začátku druhé poloviny sledované doby. Na profilu Čenkov se povodňové průtoky vyskytují od začátku sledovaného období. Z grafu lze též vypořozovat, jak dlouhá byla období bez povodňových průtoků. Nejdélší doba, kdy nebyl zaznamenán průtok Q1 vyšší než $1,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ na profilu Obecnice byla kromě již zmíněné první poloviny sledovaného období mezera mezi lety 2007 a 2012, tj. 6 let. Profil Čenkov zaznamenává nejdélší období bez povodňových průtoků Q1 v letech 1996–2001, stejně jako v předchozím případě se jedná o 6 let.



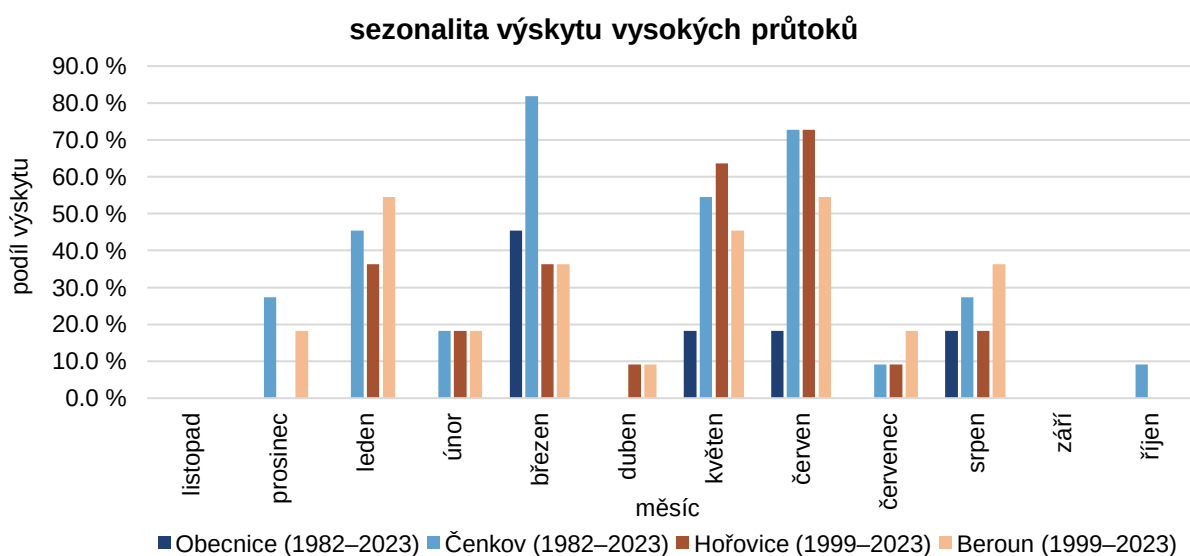
Obr. 58: Vývoj vysokých průtoků ve sledovaném období – horní tok (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování).

Vývoj povodňových průtoků na dolním toku lze vidět na [obrázku XY](#). Pro oba profily byl nejvýznamnějším rokem z hlediska počtu povodňových průtoků rok 2013, druhým nejvýznamnějším pro Beroun rok 2002 a pro Hořovice 2006 a 2011 kdy došlo shodně ke čtyřem dnům s průtoky většími než Q1. Nejdélší doba bez povodňových průtoků pro profil Hořovice jsou roky 2014–2017, pro berounský profil stejně tak.



Obr. 59: Vývoj vysokých průtoků ve sledovaném období – dolní tok (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování).

Vhled na změnu sezonality povodňových událostí poskytuje obrázek 60. Ten ukazuje, že na horním toku Litavky se povodně nejčastěji vyskytují v březnu. Je tomu tak zejména v případě profilu Obecnice. V místech s vyšší elevací, kde se profil Obecnice nachází, se průměrně více sněhové pokrývky. Tudíž lze předpokládat, že největší vliv na tvorbu povodní zde má především tajících snůh. Statistické testy však ukázaly, že množství sněhové pokrývky se snižuje, a snůh tak na tvorbu povodní nejspíš již nebude mít tak zásadní vliv. avšak při pohledu na profil Čenkov lze usoudit, že zde již hrají roli i další faktory než jen tající snůh.



Obr. 60: Sezonalita vysokých průtoků (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování).

7 DISKUZE

Hydrologické extrémny jsou z hlediska svého vlivu na člověka a společnost jedněmi z nejvýznamnějších přírodních jevů. V průběhu historie měly leckdy zásadní vliv na formování měst a infrastruktury a lidé museli projevy těchto jevů brát v potaz a respektovat je. S rozvojem a šířením technologií se lidská sídla začala rozvíjet a současně začalo být možné se před suchem a povodněmi chránit – ať už to bylo výstavbou zavlažovacích kanálů či zkrácením řeky v betonovém korytě. Tato opatření byla projektována tak, aby vyhovovala dříve pozorovanému rozsahu extrémních hydrologických jevů. Po dobu, kdy se tyto extrémny držely v určité empirické normě, byla opatření účinná. S přicházející klimatickou změnou se však projevy těchto extrémů začínají více stupňovat a člověk je na tento vývoj nucen reagovat. Monitorování frekvence výskytu a hodnocení intenzity hydrologických extrémů je tak prvním krokem, který lze učinit k opětovnému přizpůsobení se intenzivnějším projevům sucha a povodní.

Tato diplomová práce se zabývá analýzou hydrologického sucha a povodní, a také zkoumá srážkoodtokové poměry a trendy srážkoodtokových dat v povodí řeky Litavky. Navazuje tak na tradici průzkumu českých povodí na katedře Fyzické geografie a geoekologie na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy. Povodí Litavky bylo vybráno k analýze z důvodu jeho hydrologického potenciálu. Řeka Litavka na svém horním toku odvodňuje rozsáhlé území nejvyšších ryze českých kopců, jimiž jsou Brdy. Oblast Brd tvoří jakýsi horský ostrov uprostřed Čech, který je srážkově bohatší než jeho okolí (roční průměr se pohybuje ve vyšších nadmořských výškách kolem 700 mm). Jakmile tok opouští brdské lesy, jeho koryto je povětšinou zpevněno a narovnáno a téměř se zde nevyskytují místa, kde by řeka mohla přirozeně meandrovat. Litavka tak má silný potenciál pro povodňovou aktivitu. Na dolním toku řeky jsou srážky vlivem srážkového stínu Brd naopak lehce podprůměrné (550 mm), což tvoří i vzhledem k převážně zemědělskému využití krajiny riziko výskytu sucha. Povodí Litavky navíc nebylo z hlediska charakteristiky a trendů srážkoodtokových dat doposud zkoumáno. Bylo tak vhodným kandidátem pro předmět této práce.

7.1 Kvalita dostupných dat a zvolené metody

Základ analýzy srážkoodtokových poměrů tvořila data poskytnutá ČHMÚ. Vzhledem k velkému množství klimatologických i limnigrafických stanic v povodí nebylo o data nouze, nicméně ne každá stanice nabízela dostatečně dlouhou datovou řadu. Některé existující datové řady byly o mnoho kratší než jiné, a ve výsledku nebylo možné vybrat stanice tak, aby reprezentovaly celé povodí (které je fyzickogeograficky heterogenní, jak je ilustrováno v kapitole 3) a zároveň splňovaly požadavek stejně dlouhého časového období. Z hlediska odtokových dat byla práce limitována délkou datové řady profilu Beroun. Tento profil bylo vhodné v práci nevynechat, jelikož se jedná o poslední limnigrafickou stanicí před ústím Litavky do Berounky, do toku zde již nepřítéká žádná další řeka a profil tak dobře reprezentuje odtokový režim. V povodí byly nicméně stanice jejichž datová řada byla i o 17 let delší, což už je podstatné zejména pro vyhodnocení trendů odtoku. Aby sjednocením datové řady nedošlo ke

zbytečné ztrátě dat, bylo přistoupeno k rozdělení toku na dvě části. Profil Beroun byl stanoven jako součást oblasti „dolního toku“, která byla omezena 25letou datovou řadou. „Horní tok“ byl reprezentován 42letou datovou řadou, jež byla omezena dostupností dat z profilu Obecnice. Pro každou část povodí byly vybrány celkem dvě limnigrafické stanice a jedna klimatologická, přičemž aby se pokryla celá délka hydrologických dat na horním toku daty klimatickými, došlo k rozhodnutí využít data ze stanice Rožmitál pod Třemšínem, která sice leží mimo povodí, ale zároveň je lokalizována v Brdech a od hranic povodí je vzdálena jen několik kilometrů. Z klimatologických stanic Rožmitál pod Třemšínem a Neumětely byla využita data průměrných denní teplot, denní data úhrnu srážek a data denní kumulativní výšky sněhové pokrývky. K hodnocení odtokových poměrů byly využity průměrné denní průtoky ze stanic Obecnice, Čenkov, Hořovice a Beroun. Nejlepší by samozřejmě bylo, aby datové řady z horního i dolního toku byly stejně dlouhé – to by umožnilo komplexní porovnání různých částí toku mezi sebou.

Pro hodnocení povodňových situací by se mělo využívat maximálních (kulminačních) denních průtoků. Ty nejsou ale veřejně dostupné, jejich poskytnutí bylo od ČHMÚ vyžádáno, avšak nebylo úspěšné. Data maximálních denních průtoků nebyla k dispozici, pročež k vyhodnocení povodňových situací muselo být využito průměrných denních průtoků. I když tento přístup není ideální a povodňové průtoky nejsou průměrnými denními daty tak dobře reprezentovány, rozhodnutí využít průměrná denní data padlo na základě stejného postupu dalších autorů, namátkou např. Cermanové (2022) nebo Čermáka (2019). Analýza povodňových situací tak má zcela jistě rezervy, na které by však šlo navázat při dalším výzkumu. Při zpětném celkovém pohledu lze říct, že pro analýzu odtokových dat z různých částí toku mohlo být využito pouze tří nebo dvou limnigrafických stanic, aby práce působila přehledněji.

Zvolené metodické postupy by se daly považovat za standardní a široce využívané v dalších pracích z KFGG PŘF UK (např. Vítková (2021), Vlach (2016), Ledvinka (2008) a další). Různí autoři k testům homogenity a testování trendu volí různé softwary, nicméně nejčastější je využití programu Microsoft Excel s doplňkem XLSTAT, IHA7.1 či programu AnClim, starší práce pak v SPSS. K testování homogenity datových řad byly využity tři testy, a to Pettitův (neboli Mann-Whitney Pettitův), Buishandův a SNHT. Ostatní práce nejčastěji využívají pouze dvou statistických testů, většinou se jedná o Buishandův a Pettitův (Langhammer, Su, Bernsteinová 2015), nebo jenom Pettitův (Cermanová 2022). Ke zvolení tří různých testů v této práci došlo kvůli jejich odlišným vlastnostem a z toho vycházející potenciálnímu doplnění se. Výsledky statistického testování byly v rámci této práce též poměrně standardní, jediným otazníkem zůstává výsledek testování kumulativní výšky sněhové pokrývky Mann-Kendallovým testem, kdy některé z testovaných datových řad vykazaly přítomnost trendu, ale MK statistika (*MK-S*) byla absolutně nulová. *MK-S* je testová charakteristika, která určuje směr trendu, když je její hodnota záporná, trend je klesající, pokud je hodnota kladná, trend je rostoucí. Pokud je přítomen trend, datová řada se má nějaký směrem vyvíjet, takže je zajímavé, že v tomto případě byl směr vyhodnocen jako neexistující. Jelikož se jedná o data sněhové pokrývky, roli ve výsledky

výpočtu mohly hrát např. často se opakující nulové hodnoty v datové řadě, nicméně se jedná pouze o domněnku, jejíž ověření není předmětem této diplomové práce.

Vzhledem k povaze dat a jejich velkému množství (k jedné limnigrafické stanici se pro sledované období jednalo např. až o 15 000 údajů), které bylo zpracovááno, je samozřejmě možné že došlo k drobným chybám typu záměny čísel při jejich vyhodnocování, nicméně vzhledem k poměrně velké automatizaci práce v Excelu (kontingenční tabulky, automatické vzorce) i v softwaru IHA7 (získání 7denních minim pro výpočet BFI) by se tak mělo stát pouze výjimečně.

7.2 Výsledky v kontextu dalších studií

Jak již bylo v práci uvedeno, změnou srážkoodtokových poměrů se zabývalo značné množství dalších studií. Jen v rámci KFGG Přf UK byla z hydrologického hlediska zkoumána povodí Lužnice Musil (2015), Junková (2019) či Svoboda (2011). Litavce blízko Klabavou, která odvodňuje západní část Brd, se věnoval Kadeřábek (2018). Významný vhled na vývoj hydrologického sucha v povodí Bouřlivce a Loučenského potoka nabídla ve své práci Vítková (2021). Co se týče přímo povodí Litavky, to zkoumala Benčoková (2007) a Taufmannová (2007). Mimo domácí práce lze zmínit výzkum Zscheischlera a kol. (2020), Krysanovové a kol. (2008), Warda a kol. (2020), Brunnera (2023) či Kreibicha a kol. (2019), jejichž poznatky již byly prezentovány v rešerší části této práce.

8 ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce byla analýza hydrologických extrémů a trendů srážkoodtokových dat v povodí Litavky. Jedná se o říční tok dlouhý asi 52 km, který pramení v Brdech směrem na jihozápad od Prahy. Vzhledem k dlouhodobému využívání této oblasti pro vojenské účely byla část povodí po dlouhou dobu obyčejnému člověku nepřístupná, a je zde tak možné najít téměř netknutou přírodu. Díky tomuto je tato oblast vedena jako chráněná oblast akumulace vod a zdejší pitnou vodou jsou zásobována velká města jako je například Příbram. Nejenom Brdy, ale i další část povodí Litavky, jsou významné z hlediska přírodního bohatství. Najdeme zde i CHKO Křivoklátsko nebo CHKO Český kras, přičemž celé povodí je specifické velkou měrou celkového zalesnění. Této oblasti jako celku se z hydrologického hlediska doposud nevěnovala v takto komplexním pojetí žádná práce, proto bylo toto povodí zvoleno k analýze.

Práce je členěna do 9 kapitol. V kapitolách 2 a 3 jsou přestaveny data a metody použité při hodnocení srážkoodtokových dat, testech homogenity a trendů. Značný důraz je kladen na fyzickogeografickou charakteristiku oblasti v kapitole 4, která je doplněna množstvím přehledových map, jež čtenáři pomohou s orientací v zájmovém území. Po této následuje podrobná rešerše (kapitola 5) hydrologických extrémů nabízející vzhled mimo jiné i do aktuálních témat výzkumu, kterými jsou například sdružené hydrometeorologické jevy. Empirická část, tedy kapitola 6, se zabývá samotnou analýzou dat. Nejprve jsou prezentovány výsledky testování homogenity, přičemž z výsledků jednoznačně vyčnívají datové řady průměrných teplot vzduchu, které celkově zaznamenaly největší množství nehomogenit. Dále jsou testovány trendy, a opět se zde do popředí dostávají datové řady teploty vzduchu, jež ve valné většině případů vykazují vzestupný trend. Bylo zjištěno, že úhrny srážek v povodí zůstávají víceméně konstantní, a že průtoky zaznamenávají jen malé množství změn. Tyto změny nastávají zejména z hlediska sezonality, kdy se původně výrazná zimní maxima z měsíce března postupem času snižují a křivka průměrných měsíčních průtoků vykazuje vyrovnávací tendenci. Tyto výsledky jsou prezentovány formou přehledových tabulek. Práce dále obsahuje velké množství grafů ilustrujících srážkoodtoková data. Kapitola 7 shrnuje postup při tvorbě výstupů a diskutuje rezervy, taktéž prezentuje další výzkumy na podobná témata.

V rámci prezentované diplomové práce došlo k charakteristice fyzickogeografických podmínek zájmového území a též byly pomocí rešerše domácí i zahraniční literatury představeny hydrologické extrémní jevy. V praktické části byla provedena analýza srážkoodtokových dat, trendů v datových řadách i hodnocení hydrologického sucha pomocí metody prahových hodnot, nedostatkových objemů a dvou indexů sucha (LOWFLOW, BFI). Nad rámec cílů bylo provedeno i hodnocení výskytu povodní. Vytyčené cíle z úvodní části práce se tak dají považovat za splněné.

Tato práce nabídla základní vzhled na výskyt hydrologických extrémních jevů v povodí Litavky. Na výsledky práce by bylo dále vhodné navázat podrobnějším výzkumem, který by analyzoval vzájemnou provázanost sucha a povodní v tomto povodí.

9 ZDROJE

9.1 Datové zdroje

AOPK ČR: Přírodní poměry. Dostupné z:

<https://aopkcr.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=ee190990a1be4ac685d5f7c69c637ae4> (cit. 31. 7. 2024).

ArcČR 500 – digitální geografická databáze, verze 3.3. ArcData Praha. Dostupné z:

<https://www.arcdata.cz/produkty/geograficka-data/arccr-500> (cit. 31. 7. 2024).

ČHMÚ (2023a): Povodí III. Řádu. Dostupné z:

https://isvs.chmi.cz/ords/f?p=11002:15:1537014292981::NO:15:P15_SEQ:79645 (cit. 15. 3. 2023)

ČHMÚ (2023b): Měsíční a roční data dle zákona 123/1998 Sb.: Úhrn srážek ve Středočeském kraji. Dostupné z:

<https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mesicni-data/mesicni-data-dle-z.-123-1998-Sb#> (cit. 31. 7. 2024).

ČHMÚ (2023c): Měsíční a roční data dle zákona 123/1998 Sb.: Průměrná teplota vzduchu ve Středočeském kraji. Dostupné z:

<https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mesicni-data/mesicni-data-dle-z.-123-1998-Sb#> (cit. 31. 7. 2024).

CORINE Land Cover. Dostupné z: <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover> (cit. 31. 7. 2024).

DIBAVOD: Struktura DIBAVOD. Dostupné z: <http://www.dibavod.cz/index.php?id=27> (cit. 31. 7. 2024).

Geovědní mapy 1 : 50 000. Dostupné z:

<https://mapy.geology.cz/arcgis/services/Geologie/geocr50/MapServer/WMServer> (cit. 15. 6. 2023).

9.2 Litaratura

AGHAKOUCHAK, A., FELDMAN, D., HOERLING, M., HUXMAN, T., LUND, J. (2015): Water and climate: Recognize anthropogenic drought. *Nature*, 7566, 524, 409–411.

AGHAKOUCHAK, A., CHIANG, F., HUNING, L. S., LOVE, C. A., MALLAKPOUR, I., MAZDIYASNI, O., MOFTAKHARI, H., PAPALEXIOU, S. M., RAGNO, E., SADEGH, M. (2020): Climate Extremes and Compound Hazards in a Warming World. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 1, 48, 519–548.

AGUILAR, E., BRUNET, M., PETERSON, T. C., WIERINGA, J. (2003): Guidelines on climate metadata and homogenization. WMO-TD No. 1186. World Meteorological Organization, Ženeva, Švýcarsko.

ALEXANDERSSON, H. (1986): A homogeneity test applied to precipitation data. *Journal of Climatology*, 6, 664–675.

ALILA, Y., MTIRAOU, A. (2002): Implications of heterogeneous flood-frequency distributions on traditional stream-discharge prediction techniques. *Hydrological Processes*, 5, 16, 1065–1084.

ALLEN, C. D., BRESHEARS, D. D., MCDOWELL, N. G. (2015): On underestimation of global vulnerability to tree mortality and forest die-off from hotter drought in the Anthropocene. *Ecosphere*, 8, 6, 1–55.

ALTEMUS CULLEN, K. (2023): A review of applications of remote sensing for drought studies in the Andes region. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 49, 13.

AOPK (2023): Reliéf – Brdy – AOPK ČR.

AOPK ČR (2015): Plán péče o CHKO Brdy na období 2016–2025. Agenura ochrany přírody a krajiny České republiky.

AOPK ČR (2023a): Charakteristika oblasti – Český kras – AOPK ČR, <https://ceskykras.nature.cz/charakteristika-oblasti>.

AOPK ČR (2023b): Charakteristika oblasti – Křivoklátsko – AOPK ČR, <https://krivoklatsko.nature.cz/web/chko-krivoklatsko/charakteristika-oblasti>.

BACHMAIR, S., STAHL, K., COLLINS, K., HANNAFORD, J., ACREMAN, M., SVOBODA, M., KNUTSON, C., SMITH, K. H., WALL, N., FUCHS, B., CROSSMAN, N. D., OVERTON, I. C. (2016): Drought indicators revisited: the need for a wider consideration of environment and society. *WIREs Water*, 4, 3, 516–536.

BAI, X., ZHAO, C., TANG, Y., ZHANG, Z., YANG, B., WANG, Z. (2023): Identification, physical mechanisms and impacts of drought–flood abrupt alternation: a review. *Frontiers in Earth Science*, 11, 1203603.

BAKER, D. B., RICAHRDS, R. P., LOFTUS, T. T., KRAMER, J. W. (2004): A New Flashiness Index: Characteristics and Applications to Midwestern Rivers and Streams. *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*, 2, 40, 503–522.

BARNETT, T. P., ADAM, J. C., LETTENMAIER, D. P. (2005): Potential impacts of a warming climate on water availability in snow-dominated regions. *Nature*, 7066, 438, 303–309.

BEAULIEU, C., SEIDOU, O., OUARDA, T. B. M. J., ZHANG, X. (2009): Intercomparison of homogenization techniques for precipitation data continued: Comparison of two recent Bayesian change point models. *Water Resources Research*, 8, 45, 1–15.

BEAULIEU, C., SEIDOU, O., OUARDA, T. B. M. J., ZHANG, X., BOULET, G., YAGOUTI, A. (2008): Intercomparison of homogenization techniques for precipitation data. *Water Resources Research*, 2, 44, 20.

BENČOKOVÁ, A. (2007): Vliv sezónních a dlouhodobých klimatických výkyvů na odtokové poměry v lesním a aplínském prostředí. diplomová práce. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, katedra ekologie. Vedoucí práce: RNDr. Zuzana Hořická, Ph.D., Praha.

BI, W., WENG, B., YUAN, Z., YANG, Y., XU, T., YAN, D., MA, J. (2019): Evolution of Drought–Flood Abrupt Alternation and Its Impacts on Surface Water Quality from 2020 to 2050 in the Luanhe River Basin. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 5, 16, 691.

BLAHUŠIAKOVÁ, A., MATOUŠKOVÁ, M. (2015): Rainfall and runoff regime trends in mountain catchments (Case study area: the upper Hron River basin, Slovakia). *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 3, 63, 183–192.

BLAHUŠIAKOVÁ, A., MATOUŠKOVÁ, M. (2016): Evaluation of the hydroclimatic extremes in the upper Hron River basin, Slovakia. *AUC GEOGRAPHICA*, 2, 51, 189–204.

BLAHUŠIAKOVÁ, A., MATOUŠKOVÁ, M., JENICEK, M., LEDVINKA, O., KLIMENT, Z., PODOLINSKÁ, J., SNOVKOVÁ, Z. (2020): Snow and climate trends and their impact on seasonal

runoff and hydrological drought types in selected mountain catchments in Central Europe. *Hydrological Sciences Journal*, 12, 65, 2083–2096.

BLAUHUT, V., STOELZLE, M., AHOPELTO, L., BRUNNER, M. I., TEUTSCHBEIN, C., WENDT, D. E., AKSTINAS, V., BAKKE, S. J., BARKER, L. J., BARTOŠOVÁ, L., BRIEDE, A., CAMMALLERI, C., KALIN, K. C., DE STEFANO, L., FENDEKOVÁ, M., FINGER, D. C., HUYSMANS, M., IVANOV, M., JAAGUS, J., JAKUBÍNSKÝ, J., KRAKOVSKA, S., LAAHA, G., LAKATOS, M., MANEVSKI, K., NEUMANN ANDERSEN, M., NIKOLOVA, N., OSUCH, M., VAN OEL, P., RADEVA, K., ROMANOWICZ, R. J., TOTH, E., TRNKA, M., UROŠEV, M., URQUIJO REGUERA, J., SAUQUET, E., STEVKOV, A., TALLAKSEN, L. M., TROFIMOVA, I., VAN LOON, A. F., VAN VLIET, M. T. H., VIDAL, J.-P., WANDERS, N., WERNER, M., WILLEMS, P., ŽIVKOVIĆ, N. (2022): Lessons from the 2018–2019 European droughts: a collective need for unifying drought risk management. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 6, 22, 2201–2217.

BLINKA, P. (2002): Metody hodnocení sucha. In: XIV. Česko-slovenská bioklimatologická konference. 32–34.

BLÖSCHL, G., BIERKENS, M. F. P., CHAMBEL, A., CUDENNEC, C., DESTOUNI, G., FIORI, A., KIRCHNER, J. W., MCDONNELL, J. J., SAVENIJE, H. H. G., SIVAPALAN, M., STUMPP, C., TOTH, E., VOLPI, E., CARR, G., LUPTON, C., SALINAS, J., SZÉLES, B., VIGLIONE, A., AKSOY, H., ALLEN, S. T., AMIN, A., ANDRÉASSIAN, V., ARHEIMER, B., ARYAL, S. K., BAKER, V., BARDSLEY, E., BARENDRECHT, M. H., BARTOSOVA, A., BATELAAN, O., BERGHUIJS, W. R., BEVEN, K., BLUME, T., BOGAARD, T., BORGES DE AMORIM, P., BÖTTCHER, M. E., BOULET, G., BREINL, K., BRILLY, M., BROCCA, L., BUYTAERT, W., CASTELLARIN, A., CASTELLETTI, A., CHEN, X., CHEN, Y., CHEN, Y., CHIFFLARD, P., CLAPS, P., CLARK, M. P., COLLINS, A. L., CROKE, B., DATHE, A., DAVID, P. C., DE BARROS, F. P. J., DE ROOIJ, G., DI BALDASSARRE, G., DRISCOLL, J. M., DUETHMANN, D., DWIVEDI, R., ERIS, E., FARMER, W. H., FEICCABRINO, J., FERGUSON, G., FERRARI, E., FERRARIS, S., FERSCH, B., FINGER, D., FOGLIA, L., FOWLER, K., GARTSMAN, B., GASCOIN, S., GAUME, E., GELFAN, A., GERIS, J., GHARARI, S., GLEESON, T., GLENDELL, M., GONZALEZ BEVACQUA, A., GONZÁLEZ-DUGO, M. P., GRIMALDI, S., GUPTA, A. B., GUSE, B., HAN, D., HANNAH, D., HARPOLD, A., HAUN, S., HEAL, K., HELFRICHT, K., HERRNEGGER, M., HIPSEY, M., HLAVÁČIKOVÁ, H., HOHMANN, C., HOLKO, L., HOPKINSON, C., HRACHOWITZ, M., ILLANGASEKARE, T. H., INAM, A., INNOCENTE, C., ISTANBULLUOGLU, E., JARIHANI, B., KALANTARI, Z., KALVANS, A., KHANAL, S., KHATAMI, S., KIESEL, J., KIRKBY, M., KNOBEN, W., KOCHANEK, K., KOHNOVÁ, S., KOLECHKINA, A., KRAUSE, S., KREAMER, D., KREIBICH, H., KUNSTMANN, H., LANGE, H., LIBERATO, M. L. R., LINDQUIST, E., LINK, T., LIU, J., LOUCKS, D. P., LUCE, C., MAHÉ, G., MAKARIEVA, O., MALARD, J., MASHTAYEVA, S., MASKEY, S., MAS-PLA, J., MAVROVA-GUIRGUINOVA, M., MAZZOLENI, M., MERNILD, S., MISSTEAR, B. D., MONTANARI, A., MÜLLER-THOMY, H., NABIZADEH, A., NARDI, F., NEALE, C., NESTEROVA, N., NURTAEV, B., ODONGO, V. O., PANDA, S., PANDE, S., PANG, Z., PAPACHARALAMPOUS, G., PERRIN, C., PFISTER, L., PIMENTEL, R., POLO, M. J., POST, D., PRIETO SIERRA, C., RAMOS, M.-H., RENNER, M., REYNOLDS, J. E., RIDOLFI, E., RIGON, R., RIVA, M., ROBERTSON, D. E., ROSSO, R., ROY, T., SÁ, J. H. M., SALVADORI, G., SANDELLS, M., SCHAEFLI, B., SCHUMANN, A., SCOLOBIG, A., SEIBERT, J., SERVAT, E., SHAFIEI, M., SHARMA, A., SIDIBE, M., SIDLE, R. C., SKAUGEN, T., SMITH, H., SPIESSL, S. M., STEIN, L., STEINSLAND, I., STRASSER, U., SU, B., SZOLGAY, J., TARBOTON, D., TAURO, F., THIREL, G., TIAN, F., TONG, R., TUSSUPOVA, K., TYRALIS, H., UIJLENHOET, R., VAN BEEK, R., VAN DER ENT, R. J., VAN DER PLOEG, M., VAN LOON, A. F., VAN MEERVELD, I., VAN NOOIJEN, R., VAN OEL, P. R., VIDAL, J.-P., VON FREYBERG, J., VOROGUSHYN, S., WACHNIEW, P., WADE, A. J., WARD, P., WESTERBERG, I. K., WHITE, C., WOOD, E. F., WOODS, R., XU, Z., YILMAZ, K. K., ZHANG, Y. (2019): Twenty-three unsolved problems in hydrology (UPH) – a community perspective. *Hydrological Sciences Journal*, 10, 64, 1141–1158.

- BRÁZDIL, R. (2002): Meteorologické extrémy a povodně v České republice – přirozený trend nebo následek globálního oteplování? *Geografie – sborník České geografické společnosti*, 4, 107, 349–370.
- BRÁZDIL, R., A KOL. (2005): Historické a současné povodně v České republice. Masarkova univerzita v Brně, Český hydrometeorologický ústav v Praze, Brno – Praha.
- BRÁZDIL, R., KIRCHNER, K., A KOL. (2007): vybrané přírodní extrémy a jejich dopady na Moravě a ve Slezku. Masarykova univerzita v Brně ve spolupráci s Českým hydrometeorologickým ústavem v Praze a Ústavem geoniky Akademie věd České republiky, v.v.i. v Ostravě, Brno – Praha – Ostrava.
- 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.
- BRÁZDIL, R., TRNKA, M., DOBROVOLNÝ, P., CHROMÁ, K., HLAVINKA, P., ŽALUD, Z. (2009): Variability of droughts in the Czech Republic, 1881–2006. *Theoretical and Applied Climatology*, 3–4, 97, 297–315.
- BRUNNER, M. I. (2023): Floods and droughts: a multivariate perspective. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13, 27, 2479–2497.
- BRUNNER, M. I., SLATER, L., TALLAKSEN, L. M., CLARK, M. (2021): Challenges in modeling and predicting floods and droughts: A review. *WIREs Water*, 3, 8, 32.
- BRUNNER, M. I., VAN LOON, A. F., STAHL, K. (2022): Moderate and Severe Hydrological Droughts in Europe Differ in Their Hydrometeorological Drivers. *Water Resources Research*, 10, 58, 1–14.
- BUSHAND, T. A. (1982): Some methods for testing the homogeneity of rainfall records. *Journal of Hydrology*, 58, 11–27.
- BÜNTGEN, U., URBAN, O., KRUSIC, P. J., RYBNÍČEK, M., KOLÁŘ, T., KYNCL, T., AČ, A., KOŇASOVÁ, E., ČÁSLAVSKÝ, J., ESPER, J., WAGNER, S., SAURER, M., TEGEL, W., DOBROVOLNÝ, P., CHERUBINI, P., REINIG, F., TRNKA, M. (2021): Recent European drought extremes beyond Common Era background variability. *Nature Geoscience*, 4, 14, 190–196.
- BURIAN, A. (2021): Hydrologické sucho v kontextu změny klimatu: případová studie v povodí Blšanky a Loděnice. Diplomová práce. Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy, Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užitá geofyziky. Vedoucí práce: prof. RNDr. Bohumír Janský, CSc. Konzultanti práce: Mgr. Ondřej Ledvinka, Ph.D., Ing. Adam Vizina, Ph.D., Praha.
- BURN, D. H., CUNDERLIK, J. M., PIETRONIRO, A. (2004): Hydrological trends and variability in the Liard River basin / Tendances hydrologiques et variabilité dans le bassin de la rivière Liard. *Hydrological Sciences Journal*, 1, 49, 53–67.
- CAMUFFO, D., DELLA VALLE, A., BECHERINI, F. (2020): A critical analysis of the definitions of climate and hydrological extreme events. *Quaternary International*, 538, 5–13.
- CERMANOVÁ, E. (2022): Výskyt extrémních hydrologických jevů v povodí horní Ostravice. bakalářská práce. Univerzita Karlova. Přírodovědecká fakulta, katedra fyzické geografie a geoekologie. Vedoucí práce: prof. RNDr. Jakub Langhammer, Ph.D., Praha.
- CÍLEK, V., MUDRA, P., SŮVOVÁ, Z., A KOL. (2015): Střední Brdy, hory uprostřed Čech. Dokořán, s. r. o., Praha.
- CÍLEK, V., SŮVOVÁ, Z., TUREK, J. (2020): Krajem Joachima Barranda, cesta do pravěku země české. Dokořán s. r. o., Praha.

COLOMBO, N., GUYENNON, N., VALT, M., SALERNO, F., GODONE, D., CIANFARRA, P., FREPPAZ, M., MAUGERI, M., MANARA, V., ACQUAOTTA, F., PETRANGELI, A. B., ROMANO, E. (2023): Unprecedented snow-drought conditions in the Italian Alps during the early 2020s. *Environmental Research Letters*, 7, 18, 074014.

COSTA, A. C., SOARES, A. (2009): Homogenization of Climate Data: Review and New Perspectives Using Geostatistics. *Mathematical Geosciences*, 3, 41, 291–305.

CRAUSBAY, S. D., RAMIREZ, A. R., CARTER, S. L., CROSS, M. S., HALL, K. R., BATHKE, D. J., BETANCOURT, J. L., COLT, S., CRAVENS, A. E., DALTON, M. S., DUNHAM, J. B., HAY, L. E., HAYES, M. J., MCEVOY, J., MCNUTT, C. A., MORITZ, M. A., NISLOW, K. H., RAHEEM, N., SANFORD, T. (2017): Defining Ecological Drought for the Twenty-First Century. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 12, 98, 2543–2550.

CULEK, M., A KOL. (2013): Biogeografické regiony České republiky. Masarykova univerzita, Brno.

ČAMROVÁ, L. (2006): Povodně v území: Instituce, ekonomie a politika. In: *Povodně v území: institucionální a ekonomické souvislosti*. Nakladatelství Eurolex Bohemia a. s., Praha, 7–23.

ČEKAL, R., HLADNÝ, J. (2008): Analysis of flood occurrence seasonality on the Czech Republic territory with directional characteristics method. *Acta Universitatis Carolinae*, 1–2, Geographica, 3–14.

ČERMÁK, D. (2019): Změny v extremitě a výskytu povodní v povodí Zdobnice. Univerzita Karlova. Přírodovědecká fakulta, katedra fyzické geografie a geoekologie. Vedoucí práce: prof. RNDr. Jakub Langhammer, PhD., Praha.

ČERMÁK, D. (2022): Vliv klimatické změny na nízké průtoky v horských povodích. Diplomová práce. Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy, Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užití geofyziky. Vedoucí práce: prof. RNDr. Jakub Langhammer, Ph.D., Praha.

ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA (2023): Geovědní mapy 1 : 50 000.

ČHMI (nedatováno): SIVS – Povodňové jevy, <https://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/om/sivs/povodne.html> (15. 11. 2023).

ČHMÚ (2022): Počasí, voda a ovzduší 2022. Český hydrometeorologický ústav.

ČHMÚ (2023a): Hlásná a předpovědní povodňová služba, Hlásná a předpovědní povodňová služba, Dostupné z: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/pruvodce/verejnost_povodnova_ochrana.html. (30. 11. 2023).

ČHMÚ (2023b): Portál ČHMÚ: Historická data, Portál ČHMÚ : Historická data : Počasí : Denní data : Denní data dle z. 123/1998 Sb., <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/denni-data/Denni-data-dle-z.-123-1998-Sb> (5. 12. 2023).

ČSN (1983): ČSN 73 6530.

ČURDA, J., JANSKÝ, B., KOCUM, J. (2011): Vliv fyzickogeografických faktorů na extremitu povodní v povodí Vydry. *Geografie*, 3, 116, 335–353.

ČÚZK (2023): Souhrnné přehledy o půdním fondu z údajů katastru nemovitostí České republiky. Český úřad zeměměřický a katastrální, Praha.

DAI, A. (2013): Increasing drought under global warming in observations and models. *Nature Climate Change*, 1, 3, 52–58.

DAÑHELKA, J., KUBÁT, J., ŠERCL, P., (ED.) (2019): Sucho na území České republiky v roce 2018. Český hydrometeorologický ústav, Praha.

DATABÁZE PLADIAS (2023): Pladias – databáze české flóry a vegetace, www.pladias.cz.

DE LUCA, P., MESSORI, G., WILBY, R. L., MAZZOLENI, M., DI BALDASSARRE, G. (2020): Concurrent wet and dry hydrological extremes at the global scale. *Earth System Dynamics*, 1, 11, 251–266.

DEMEK, J., MACKOVČIN, P., A KOL. (2006): Hory a nížiny: zeměpisný lexikon ČR. AOPK ČR, Brno.

DI BALDASSARRE, G., MARTINEZ, F., KALANTARI, Z., VIGLIONE, A. (2017): Drought and flood in the Anthropocene: feedback mechanisms in reservoir operation. *Earth System Dynamics*, 1, 8, 225–233.

DIAZ, V., CORZO, G., PÉREZ, J. R. (2019): Large-Scale Exploratory Analysis of the Spatiotemporal Distribution of Climate Projections. In: *Spatiotemporal Analysis of Extreme Hydrological Events*. Elsevier, 59–76.

DOLEŽELOVÁ, L. (2006): Územní plánování a povodně: české zahraniční perspektivy. In: *Povodně v území: institucionální a ekonomické souvislosti*. Nakladatelství Eurolex Bohemia a. s., Praha, 105–123.

DRACUP, J. A., LEE, K. S., PAULSON JR., E. G. (1980): On the Definition of Droughts. *Water Resources Research*, 2, 16, 297–302.

DUCRÉ-ROBITAILLE, J., VINCENT, L. A., BOULET, G. (2003): Comparison of techniques for detection of discontinuities in temperature series. *International Journal of Climatology*, 9, 23, 1087–1101.

EMERTON, R. E., STEPHENS, E. M., CLOKE, H. L. (2019): What is the most useful approach for forecasting hydrological extremes during El Niño? *Environmental Research Communications*, 3, 1, 1–12.

ERDEM, F., ATUN, R., YIGIT AVDAN, Z., ATILA, I., AVDAN, U. (2021): Drought analysis of Van Lake Basin with remote sensing and GIS technologies. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 3, 24, 1093–1102.

FIALA, O. (2012): Změny odtokového režimu v oblasti Šumavy. bakalářská práce. Univerzita Karlova. Přírodovědecká fakulta, katedra fyzické geografie a geoekologie. Vedoucí práce: RNDr. Zdeněk Kliment, CSc., Praha.

FISCHER, E. M., KNUTTI, R. (2015): Anthropogenic contribution to global occurrence of heavy-precipitation and high-temperature extremes. *Nature Climate Change*, 6, 5, 560–564.

FRATICELLI, C. M. (2006): Climate Forcing in a Wave-Dominated Delta: The Effects of Drought-Flood Cycles on Delta Progradation. *Journal of Sedimentary Research*, 9, 76, 1067–1076.

FSIN (2023): Global Report on Food Crises – mid-year update – in brief 2023. Food Security Information Network.

GAJA, P. (2013): Analýza půdní vlhkosti a charakteristik sucha prostředky DPZ. diplomová práce. Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita, Geografický ústav. Vedoucí práce: doc. RNDr. Petr Dobrovolný, CSc., Brno.

- GLANTZ, M., H., KATZ, R. W. (1977): When is a drought a drought? *Nature*, 267, 192–193.
- HAO, Z., SINGH, V. P. (2015): Drought characterization from a multivariate perspective: A review. *Journal of Hydrology*, 527, 668–678.
- HAYES, M., SVOBODA, M., WALL, N., WIDHALM, M. (2011): The Lincoln Declaration on Drought Indices: Universal Meteorological Drought Index Recommended. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 4, 92, 485–488.
- HE, X., PAN, M., WEI, Z., WOOD, E. F., SHEFFIELD, J. (2020): A Global Drought and Flood Catalogue from 1950 to 2016. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 5, 101, E508–E535.
- HISDAL, H., STAHL, K., TALLAKSEN, L. M., DEMUTH, S. (2001): Have streamflow droughts in Europe become more severe or frequent? *International Journal of Climatology*, 3, 21, 317–333.
- HISDAL, H., TALAKSEN, L. M. eds. (2000): Technical Report No. 6 – Drought Event Definition. Department of Geophysics, University of Oslo, Oslo.
- HLADNÝ, J. (2007): Fakta a mýty o povodních. In: *Povodně a změn v krajině*. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, katedra fyzické geografie a geoekologie, Praha, 41–50.
- HLADNÝ, J. (2009): Hydrologické extrémy a změna klimatu. In: *Vodstvo a podnebí v České republice*. Consult Praha, Praha, 62–90.
- HRDINKA, T., NOVICKÝ, O., HANSLÍK, E., RIEDER, M. (2012): Possible impacts of floods and droughts on water quality. *Journal of Hydro-environment Research*, 2, 6, 145–150.
- HŮLA, P. (2009): Chráněná krajinná oblast Křivoklátsko. *Ochrana přírody*, 1, 2009, 2–5.
- HUNING, L. S., AGHAKOUCHAK, A. (2020): Global snow drought hot spots and characteristics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 33, 117, 19753–19759.
- HURRELL, J. W. (1995): Decadal Trends in the North Atlantic Oscillation: Regional Temperatures and Precipitation. *Science*, 5224, 269, 676–679.
- CHLUPÁČ, I. (1994): Brdy a geologické vědy. *Vesmír*, 2, 73.
- CHLUPÁČ, I., A KOL. (2011): *Geologická minulost České republiky*. Academia, Praha.
- IONITA, M., DIMA, M., NAGAVCIUC, V., SCHOLZ, P., LOHMANN, G. (2021): Past megadroughts in central Europe were longer, more severe and less warm than modern droughts. *Communications Earth & Environment*, 1, 2, 61.
- JAMALI, M., ESLAMIAN, S. (2023): Parametric and nonparametric methods for analyzing the trend of extreme events. In: *Handbook of Hydroinformatics*. Elsevier, 223–237.
- JANSKÝ, B. (2003): Water Retention in River Basin. *Acta Universitatis Carolinae*, 2, 2003, 173–183.
- JANSKÝ, B. (2019): Sucho ve světě a v Česku. *Geografické rozhledy*, 2, 29, 4–7.
- JELÍNKOVÁ, K. (2019): Analýza povodně na Sázavě v únoru 1909. diplomová práce. Univerzita Karlova. Přírodovědecká fakulta, katedra fyzické geografie a geoekologie. Vedoucí práce: RNDr. Miroslav Šobr, PhD., Praha.

- JENÍČEK, M. (2009): Modelování průběhu extrémních povodní v kontextu krajinných změn a integrované protipovodňové ochrany. Disertační práce. Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy, katedra fyzické geografie a geoekologie. Vedoucí práce: prof. RNDr. Jakub Langhammer, Ph.D., Praha.
- JIANG, X., RAUSCHER, S. A., RINGLER, T. D., LAWRENCE, D. M., WILLIAMS, A. P., ALLEN, C. D., STEINER, A. L., CAI, D. M., MCDOWELL, N. G. (2013): Projected Future Changes in Vegetation in Western North America in the Twenty-First Century. *Journal of Climate*, 11, 26, 3671–3686.
- JUNKOVÁ, A. (2019): Hydrologické sucho na Lužnici v roce 2018. bakalářská práce. Univerzita Karlova. Přírodovědecká fakulta, katedra fyzické geografie a geoekologie. Vedoucí práce: RNDr. Miroslav Šobr, Ph.D., Praha.
- KADERÁBEK, M. (2018): Srážko-odtokové vztahy v povodí Klabavy. diplomová práce. Univerzita Karlova. Přírodovědecká fakulta, katedra fyzické geografie a geoekologie. Vedoucí práce: RNDr. Miroslav Šobr, Ph.D., Praha.
- KAHYA, E., KALAYCI, S. (2004): Trend analysis of streamflow in Turkey. *Journal of Hydrology*, 1–4, 289, 128–144.
- KACHLÍK, V. (2003): Geologický vývoj území České republiky. SÚRAO, Praha.
- KALVODA, J., BALATKA, B. (2006): Geomorfologické členění reliéfu Čech. Kartografie Praha, Praha.
- KATES, R. W. (1985): The Interaction of Climate and Society. *Climate Impact Assessment: Studies of the Interaction of Climate and Society*, 3, 3–36.
- KEYANTASH, J., DRACUP, J. A. (2002): The Quantification of Drought: An Evaluation of Drought Indices. Keyantash, J., & Dracup, J. A. (2002). The quantification of drought: an evaluation of drought indices. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 8, 83, 1167–1180.
- KLIMENT, Z., MATOUŠKOVÁ, M. (2009): Runoff Changes in the Šumava Mountains (Black Forest) and the Foothill Regions: Extent of Influence by Human Impact and Climate Change. *Water Resources Management*, 9, 23, 1813–1834.
- KLIMEŠOVÁ, J. (2022): Těla rostlin: jak nám tvar rostlin pomáhá v poznání jejich životní strategie. Academia, Praha.
- KOLBEK, J. (2011): Květena a vegetace Chráněné krajinné oblasti a Biosférické rezervace Křivoklátsko – současný stav poznání botanického výzkumu. Agentura ochrany příroda a krajiny ČR, Praha, 31, 147–182.
- Královské lesy (2016): Praha.
- KREIBICH, H., BLAUHUT, V., AERTS, J. C. J. H., BOUWER, L. M., VAN LANEN, H. A. J., MEJIA, A., MENS, M., VAN LOON, A. F. (2019): How to improve attribution of changes in drought and flood impacts. *Hydrological Sciences Journal*, 1, 64, 1–18.
- KREJČÍ, V., TISKOVÉ ODDĚLENÍ MŽP (2024): Ministr Hladík podepsal memorandum o ochraně Žďánického lesa, zavítal na školní statek a zúčastnil se slavnostního otevření povodňového parku v Židlochovicích.
- KRYSANOVA, V., A KOL. (2008): Practices and Lessons Learned in Coping with Climatic Hazards at the River-Basin Scale: Floods and Droughts. *Ecology and Society*, 2, 23, 32.

KŘÍŽEK, M., UXA, T., PETER, M. (2016): Praktikum morfolmetrických analýz reliéfu. Nakladatelství Karolinum, Praha.

KUBÍKOVÁ, J., SPILKA, J., ŠPRYŇAR, P. (2016): Perly středošeské přírody: Novinky v síti zvláště chráněných území ve Středočeském kraji. Ivan Ulrych – Nakladatelství VEGA-L, Nymburk.

KUNDZEWICZ, Z. W., MATCZAK, P. (2015): Extreme hydrological events and security. Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences, 369, 181–187.

KUNDZEWICZ, Z. W., ROBSON, A. J. (2004): Change detection in hydrological records—a review of the methodology / Revue méthodologique de la détection de changements dans les chroniques hydrologiques. Hydrological Sciences Journal, 1, 49, 7–15.

LAKE, P. S. (2008): Drought, the „creeping disaster“: effects on aquatic ecosystems. Land & Water Australia, Canberra, A.C.T.

LANG, M., OUARDA, T., BOBÉE, B. (1999): Towards operational guidelines for over-threshold modeling. Journal of Hydrology, 225, 1999, 103–117.

LANGHAMMER, J., (ED.) (2007): Povodně a změny v krajině. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, katedra fyzické geografie a geoekologie, Praha.

LANGHAMMER, J., SU, Y., BERNSTEINOVÁ, J. (2015): Runoff Response to Climate Warming and Forest Disturbance in a Mid-Mountain Basin. Water, 7, 7, 3320–3342.

LEDVINKA, O. (2008): Trendy srážkoodtokového režimu v povodí Rolavy. diplomová práce. Univerzita Karlova. Přírodovědecká fakulta, katedra fyzické geografie a geoekologie. Vedoucí práce: RNDr. Milada Matoušková, Ph.D., Praha.

LEE, H., CALVIN, K., DASGUPTA, D., KRINNER, G., MUKHERJI, A., THORNE, P. W., TRISOS, C., ROMERO, J., ALDUNCE, P., BARRETT, K., BLANCO, G., CHEUNG, W. W. L., CONNORS, S., DENTON, F., DIONGUE-NIANG, A., DODMAN, D., GARSCHAGEN, M., GEDEN, O., HAYWARD, B., JONES, C., JOTZO, F., KRUG, T., LASCO, R., LEE, Y.-Y., MASSON-DELMOTTE, V., MEINSHAUSEN, M., MINTENBECK, K., MOKSSIT, A., OTTO, F. E. L., PATHAK, M., PIRANI, A., POLOCZANSKA, E., PÖRTNER, H.-O., REVI, A., ROBERTS, D. C., ROY, J., RUANE, A. C., SKEA, J., SHUKLA, P. R., SLADE, R., SLANGEN, A., SOKONA, Y., SÖRENSON, A. A., TIGNOR, M., VAN VUUREN, D., WEI, Y.-M., WINKLER, H., ZHAI, P., ZOMMERS, Z., HOURCADE, J.-C., JOHNSON, F. X., PACHAURI, S., SIMPSON, N. P., SINGH, C., THOMAS, A., TOTIN, E., ARIAS, P., BUSTAMANTE, M., ELGIZOULI, I., FLATO, G., HOWDEN, M., MÉNDEZ-VALLEJO, C., PEREIRA, J. J., PICHS-MADRUGA, R., ROSE, S. K., SAHEB, Y., SÁNCHEZ RODRÍGUEZ, R., ÜRGE-VORSATZ, D., XIAO, C., YASSAA, N., ALEGRÍA, A., ARMOUR, K., BEDNAR-FRIEDL, B., BLOK, K., CISSÉ, G., DENTENER, F., ERIKSEN, S., FISCHER, E., GARNER, G., GUIVARCH, C., HAASNOOT, M., HANSEN, G., HAUSER, M., HAWKINS, E., HERMANS, T., KOPP, R., LEPRINCE-RINGUET, N., LEWIS, J., LEY, D., LUDDEN, C., NIAMIR, L., NICHOLLS, Z., SOME, S., SZOPA, S., TREWIN, B., VAN DER WIJST, K.-I., WINTER, G., WITTING, M., BIRT, A., HA, M., ROMERO, J., KIM, J., HAITES, E. F., JUNG, Y., STAVINS, R., BIRT, A., HA, M., ORENDAIN, D. J. A., IGNON, L., PARK, S., PARK, Y., REISINGER, A., CAMMARAMO, D., FISCHLIN, A., FUGLESTVEDT, J. S., HANSEN, G., LUDDEN, C., MASSON-DELMOTTE, V., MATTHEWS, J. B. R., MINTENBECK, K., PIRANI, A., POLOCZANSKA, E., LEPRINCE-RINGUET, N., PÉAN, C. (2023): IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Geneva, Switzerland.

- LEONARD, M., WESTRA, S., PHATAK, A., LAMBERT, M., VAN DEN HURK, B., MCINNES, K., RISBEY, J., SCHUSTER, S., JAKOB, D., STAFFORD-SMITH, M. (2014): A compound event framework for understanding extreme impacts. *WIREs Climate Change*, 1, 5, 113–128.
- LINDERSSON, S., BRANDIMARTE, L., MÅRD, J., DI BALDASSARRE, G. (2020): A review of freely accessible global datasets for the study of floods, droughts and their interactions with human societies. *WIREs Water*, 3, 7, 20.
- LIU, X., LI, Z., ATTAROD, P. (2021): Editorial: Understanding Hydrological Extremes and Their Impact in a Changing Climate: Observations, Modeling and Attribution. *Frontiers in Earth Science*, 8, 2.
- LLOYD-HUGHES, B. (2014): The impracticality of a universal drought definition. *Theoretical and Applied Climatology*, 3–4, 117, 607–611.
- LLOYD-HUGHES, B., SAUNDERS, M. A. (2002): A drought climatology for Europe. *International Journal of Climatology*, 13, 22, 1571–1592.
- LONGOBARDI, A., VILLANI, P. (2008): Baseflow index regionalization analysis in a mediterranean area and data scarcity context: Role of the catchment permeability index. *Journal of Hydrology*, 1–4, 355, 63–75.
- LÖRINC, M. (2018): Dopady klimatických změn na odtokový režim horských povodí střední Evropy. Diplomová práce. Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy, katedra fyzické geografie a geoekologie. Vedoucí práce: prof. RNDr. Jakub Langhammer, Ph.D., Praha.
- LOŽEK, V., CÍLEK, V., KUBÍKOVÁ, J., A KOL. (2003): Střední Čechy: příroda, člověk, krajina. Středočeský kraj, Praha.
- MAREK, M., A KOL. (2022): Klimatická změna | Příčiny, dopady a adaptace. Academia, Praha.
- MATĚJÍČEK, J., HLADNÝ, J. (1999): Povodňová katastrofa 20. století na území České republiky. Ministerstvo životního prostředí, Praha.
- MATUŠKOVÁ, A. (2018): Změny ve využití krajiny Brd po transformaci vojenského újezdu Brdy na chráněnou krajinnou oblast Brdy. *Geografické informácie*, 1, 22, 288–299.
- MCKEE, T. B., DOESKEN, N. J., KLEIST, J. (1993): The relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. In: *Eight Conference on Applied Climatology*. Anaheim, California.
- MEHRAN, A., MAZDIYASNI, O., AGHAKOUCHAK, A. (2015): A hybrid framework for assessing socioeconomic drought: Linking climate variability, local resilience, and demand. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 15, 120, 7520–7533.
- MERZ, R., BLÖSCHL, G. (2003): A process typology of regional floods. *Water Resources Research*, 12, 39, 1–20.
- MILLY, P. C. D., BETANCOURT, J., FALKENMARK, M., HIRSCH, R. M., KUNDZEWICZ, Z. W., LETTENMAIER, D. P., STOUFFER, R. J. (2008): Stationarity Is Dead: Whither Water Management? *Science*, 5863, 319, 573–574.
- MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ (2023): Koncepce ochrany před následky sucha pro území České republiky na období 2023–2027. Praha.
- MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ ČR (2000): Strategie ochrany před povodněmi pro území České republiky. Agrospoj, Těšnov, Praha.

- MISHRA, A. K., SINGH, V. P. (2010): A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 1–2, 391, 202–216.
- MORAVEC, V., MARKONIS, Y., RAKOVEC, O., SVOBODA, M., TRNKA, M., KUMAR, R., HANEL, M. (2021): Europe under multi-year droughts: how severe was the 2014–2018 drought period? *Environmental Research Letters*, 3, 16, 1–13.
- MRKVIČKOVÁ, M. (2012): Navrhování adaptačních opatření pro snižování dopadů klimatické změny na hydrologickou bilanci v ČR. Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka, Praha.
- MÜLLER, M. (2007): Hydrometeorologické podmínky vzniku významných dešťových povodní na území ČR. Disertační práce. Univerzita Karlova. Přírodovědecká fakulta, katedra fyzické geografie a geoekologie, Praha.
- MÜLLER, M., KAKOS, V. (2004): Extrémní konvekční bouře v Čechách 25. – 26. května 1872. *Meteorologické zprávy*, 57, 69–77.
- MUNOZ, S. E., GRULEY, K. E., MASSIE, A., FIKE, D. A., SCHROEDER, S., WILLIAMS, J. W. (2015): Cahokia's emergence and decline coincided with shifts of flood frequency on the Mississippi River. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 20, 112.
- MUSIL, J. (2015): Extremita odtoku v povodí horní Lužnice. diplomová práce. Univerzita Karlova. Přírodovědecká fakulta, katedra fyzické geografie a geoekologie. Vedoucí práce: prof. RNDR. Bohumír Janský, Csc., Praha.
- NALBANTIS, I., TSAKIRIS, G. (2009): Assessment of Hydrological Drought Revisited. *Water Resources Management*, 5, 23, 881–897.
- NĚMEC, J. (1998): Příroda Brd a perspektivy její ochrany. EnviTypo Praha, Příbram.
- NĚMEČEK, J., A KOL. (2008): Taxonomický klasifikační systém půd České republiky. Česká zemědělská univerzita, Praha.
- NIED, M., PARDOWITZ, T., NISSEN, K., ULBRICH, U., HUNDECHA, Y., MERZ, B. (2014): On the relationship between hydro-meteorological patterns and flood types. *Journal of Hydrology*, 519, 3249–3262.
- NIEMEYER, S. (2008): New drought indices. *Options Méditerranéennes*, 80, 267–274.
- NOTT, J. (2006): Extreme events: A physical Reconstruction and Risk Assessment. Cambridge University Press, Cambridge.
- NOVICKÝ, O. (2010): Časová a plošná variabilita hydrologického sucha na území České republiky. Závěrečná zpráva. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., Praha.
- OLDEN, J. D., POFF, N. L. (2003): Redundancy and the choice of hydrologic indices for characterizing streamflow regimes. *River Research and Applications*, 2, 19, 101–121.
- PEJŠEK, J. (2013): Vláda schválila změny ve vojenských újezdech a další novely branných zákonů | Ministerstvo obrany České republiky, <https://mocr.army.cz/informacni-servis/zpravodajstvi/vlada-schvalila-zmeny-ve-vojenskych-ujezdech-a-dalsi-novely-brannych-zakonu-91947/>.
- PETERSON, T. C., EASTERLING, D. R., KARL, T. R., GROISMAN, P., NICHOLLS, N., PLUMMER, N., TOROK, S., AUER, I., BOEHM, R., GULLETT, D., VINCENT, L., HEINO, R., TUOMENVIRTA, H., MESTRE, O., SZENTIMREY, T., SALINGER, J., FØRLAND, E. J., HANSEN-BAUER, I., ALEXANDERSSON, H., JONES, P., PARKER, D. (1998): Homogeneity

adjustments of in situ atmospheric climate data: a review. *International Journal of Climatology*, 13, 18, 1493–1517.

PETROW, T., MERZ, B. (2009): Trends in flood magnitude, frequency and seasonality in Germany in the period 1951–2002. *Journal of Hydrology*, 1–4, 371, 129–141.

PETTITT, A. N. (1979): A Non-Parametric Approach to the Change-Point Problem. *Applied Statistics*, 2, 28, 126.

PODHRÁZSKÁ, J., TOMAN, F. (2022): Vliv hospodaření v povodí nazměny odtokových poměrů. In: XIV. Česko-slovenská bioklimatologická konference. Lednice na Moravě, 352–356.

RAŠKA, P., DOSTÁL, P., SIWEK, T., A KOL. (2018): Zmírňování povodňových rizik jako společenská praxe. Wolters Kluwer, Praha.

ROBSON, A. J. (2002): Evidence for trends in UK flooding. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 1796, 360, 1327–1343.

ROMANO, E., PETRANGELI, A. B., SALERNO, F., GUYENNON, N. (2022): Do recent meteorological drought events in central Italy result from long-term trend or increasing variability? *International Journal of Climatology*, 7, 42, 4111–4128.

ROŽNOVSKÝ, J. (2014): Sucho na území České republiky. *Živa*, 1, 2014, 2–3.

SAMANIEGO, L., THOBER, S., KUMAR, R., WANDERS, N., RAKOVEC, O., PAN, M., ZINK, M., SHEFFIELD, J., WOOD, E. F., MARX, A. (2018): Anthropogenic warming exacerbates European soil moisture droughts. *Nature Climate Change*, 5, 8, 421–426.

SENF, C., BURAS, A., ZANG, C. S., RAMMIG, A., SEIDL, R. (2020): Excess forest mortality is consistently linked to drought across Europe. *Nature Communications*, 1, 11, 6200.

SHAH, J., HARI, V., RAKOVEC, O., MARKONIS, Y., SAMANIEGO, L., MISHRA, V., HANEL, M., HINZ, C., KUMAR, R. (2022): Increasing footprint of climate warming on flash droughts occurrence in Europe. *Environmental Research Letters*, 6, 17, 064017.

SHEFFIELD, J., WOOD, E. f. (2011): *Drought – past problems and future scenarios*. Taylor&francis, New York.

SHUKLA, S., WOOD, A. W. (2008): Use of a standardized runoff index for characterizing hydrologic drought. *Geophysical Research Letters*, 2, 35, 2007GL032487.

SKOŘEPA, H., TŮMA, A. (2016): CHKO Moravský kras šedesátiletá. *Živa*, 6, 2016, 323–327.

SOUKALOVÁ, E., MUZIKÁŘ, R. (2015): Hydrologické sucho v podzemních vodách. *VTEI*, 4–5, 2015, 34–41.

SPINONI, J., NAUMANN, G., VOGT, J. V., BARBOSA, P. (2015): The biggest drought events in Europe from 1950 to 2012. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 3, 509–524.

STAHL, K. (2001): *Hydrological Drought: A Study across Europe*. Rigorózní práce. Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg.

STAHL, K., KOHN, I., BLAUHUT, V., URQUIJO, J., DE STEFANO, L., ACÁCIO, V., DIAS, S., STAGGE, J. H., TALLAKSEN, L. M., KAMPRAGOU, E., VAN LOON, A. F., BARKER, L. J., MELSEN, L. A., BIFULCO, C., MUSOLINO, D., DE CARLI, A., MASSARUTTO, A., ASSIMACOPOULOS, D., VAN LANEN, H. A. J. (2016): Impacts of European drought events:

insights from an international database of text-based reports. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 3, 16, 801–819.

STAHL, K., VIDAL, J.-P., HANNAFORD, J., TIJDEMAN, E., LAAHA, G., GAUSTER, T., TALLAKSEN, L. M. (2020): The challenges of hydrological drought definition, quantification and communication: an interdisciplinary perspective. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 383, 291–295.

STÁTNÍKOVÁ, P. (2012): *Zmizelá Praha: Povodně a záplavy*. Paseka, Praha.

SVOBODA, M. D., FUCHS, B. A. (2016): *Handbook of drought indicators and indices*. World Meteorological Organization, Geneva.

SVOBODA, P. (2011): *Hydrologický režim horní Lužnice*. diplomová práce. Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy, Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užité geofyziky. Vedoucí práce: prof. RNDr. Bohumír Janský, CSc., Praha.

ŠOBR, M. (2014): Česko na střeše Evropy. *Geografické rozhledy*, 1, 24, 6–7.

ŠOBR, M., JENÍČEK, M., VOČADLOVÁ, K. (2008): Dam breach reconstruction of the Blažňov pond caused by extreme hydrological event. *AUC GEOGRAPHICA*, 1, 43, 105–114.

TALLAKSEN, L. M., VAN LANEN, H. A. J. eds. (2023): *Hydrological Drought: Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater*. Elsevier Science.

TANNEHILL, I. R. (1947): *Drought, its causes and effects*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.

TAUFMANNOVÁ, A. (2007): *Vliv hospodaření v krajině na průběh a následky povodní na příkladu povodí horní Litavky*. bakalářská práce. Univerzita Karlova. Přírodovědecká fakulta, katedra fyzické geografie a geoekologie. Vedoucí práce: prof. RNDr. Jakub Langhammer, PhD., Praha.

TEEGAVARAPU, R. (2012): *Floods in Changing Climate: Extreme Precipitation*. Cambridge University Press, Cambridge.

THORNTHWAITE, C. W. (1947): Climate and Moisture Conservation. *Annals of the Association of American Geographers*, 2, 37, 87–100.

TOLASZ, R., BAŠTÝŘOVÁ, Z. (2007): *Atlas podnebí Česka*. Český hydrometeorologický ústav, Praha.

TOMÁŠEK, M. (2007): *Půdy České republiky*. Česká geologická služba, Praha.

TREML, P. (2011): Největší sucha na území České republiky v období let 1875–2010. *Meteorologické zprávy*, 6, 64, 168–176.

TREML, P. (2012): Největší hydrologická sucha 20. století. In: *Workshop Adolfa Patery – Extrémní hydrologické jevy v povodích*.

TRENBERTH, K. E., DAI, A., VAN DER SCHRIER, G., JONES, P. D., BARICHIVICH, J., BRIFFA, K. R., SHEFFIELD, J. (2014): Global warming and changes in drought. *Nature Climate Change*, 1, 4, 17–22.

TRENBERTH, K., E., JONES, P. D., A KOL. (2007): Observations: Surface and Atmospheric Climate Change. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the

Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press., Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 237–336.

TRIPATHY, K. P., MISHRA, A. K. (2023): How Unusual Is the 2022 European Compound Drought and Heatwave Event? *Geophysical Research Letters*, 15, 50, 1–12.

TURKINGTON, T., BREINL, K., ETTEMA, J., ALKEMA, D., JETTEN, V. (2016): A new flood type classification method for use in climate change impact studies. *Weather and Climate Extremes*, 14, 1–16.

UNITED NATIONS (1992): United Nation Framework Convention of Climate Change.

VAHEDIFARD, F., AGHAKOUCHAK, A., RAGNO, E., SHAHROKHABADI, S., MALLAKPOUR, I. (2017): Lessons from the Oroville dam. *Science*, 6330, 355, 1139–1140.

VAN LOON, A. F. (2015): Hydrological drought explained. *WIREs Water*, 4, 2, 359–392.

VAN LOON, A. F., A KOL. (2016a): Drought in the Anthropocene. *Nature Geoscience*, 9, 89–91.

VAN LOON, A. F., GLEESON, T., CLARK, J., VAN DIJK, A. I. J. M., STAHL, K., HANNAFORD, J., DI BALDASSARRE, G., TEULING, A. J., TALLAKSEN, L. M., UIJLENHOET, R., HANNAH, D. M., SHEFFIELD, J., SVOBODA, M., VERBEIREN, B., WAGENER, T., RANGE-CROFT, S., WANDERS, N., VAN LANEN, H. A. J. (2016b): Drought in a human-modified world: reframing drought definitions, understanding and analysis approaches. preprint. *Global hydrology/Theory development*.

VAN LOON, A. F., PLOUM, S. W., PARAJKA, J., FLEIG, A. K., GARNIER, E., LAAHA, G., VAN LANEN, H. A. J. (2014): Hydrological drought typology: temperature-related drought types and associated societal impacts. preprint. *Water Resources Management/Theory development*.

VAN LOON, A. F., VAN LANEN, H. A. J. (2012): A process-based typology of hydrological drought. preprint. *Catchment hydrology/Theory development*.

VELKOLOM ČERTOVY SCHODY (2015): Historie těžby, Velkolom, <http://www.velkolom.cz/dobyvani/historie-tezby>.

VICENTE-SERRANO, S. M., BEGUERÍA, S., LÓPEZ-MORENO, J. I. (2010): A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *Journal of Climate*, 7, 23, 1696–1718.

VILÍMEK, V. (2007): Přírodní ohrožení a rizika. In: *Povodně a změny v krajině*. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, katedra fyzické geografie a geoekologie, Praha, 33–40.

VÍTKOVÁ, P. (2021): Analýza hydrologického sucha a trendy srážkoodtokových dat v povodí Boužlivce a Loučenského potoka. diplomová práce. Univerzita Karlova. Přírodovědecká fakulta, katedra fyzické geografie a geoekologie. Vedoucí práce: RNDr. Miroslav Šobr, Ph.D., Praha.

VLACH, V. (2016): Extrémní hydrologické jevy v povodí Rolavy. bakalářská práce. Univerzita Karlova. Přírodovědecká fakulta, katedra fyzické geografie a geoekologie. Vedoucí práce: RNDr. Milada Matoušková, Ph.D., Praha.

VLACH, V. (2019): Hydrologické sucho v pramených oblastech Krušných hor. diplomová práce. Univerzita Karlova. Přírodovědecká fakulta, katedra fyzické geografie a geoekologie. Vedoucí práce: RNDr. Milada Matoušková, Ph.D., Praha.

- VLASÁK, T. (2008): Návrh databanky povodní Otavy a její využití v protipovodňové ochraně. Disertační práce. Univerzita Karlova. Přírodovědecká fakulta, katedra fyzické geografie a geoekologie, Praha.
- VÚV TGM (2018): Katalog přírodě blízkých opatření pro zadržení vody v krajině. Zadavatel: Ministerstvo životního prostředí., Praha.
- WANDERS, N., VAN LANEN, H. A. J., VAN LOON, A. F. (2010): Indicators for drought characterization on a global scale. Wageningen Universiteit.
- WARD, P. J., DE RUITER, M. C., MÁRD, J., SCHRÖTER, K., VAN LOON, A., VELDKAMP, T., VON UEXKULL, N., WANDERS, N., AGHAKOUCHAK, A., ARNBJERG-NIELSEN, K., CAPEWELL, L., CARMEN LLASAT, M., DAY, R., DEWALS, B., DI BALDASSARRE, G., HUNING, L. S., KREIBICH, H., MAZZOLENI, M., SAVELLI, E., TEUTSCHBEIN, C., VAN DEN BERG, H., VAN DER HEIJDEN, A., VINCKEN, J. M. R., WATERLOO, M. J., WENS, M. (2020): The need to integrate flood and drought disaster risk reduction strategies. *Water Security*, 11, 100070.
- WIJNGAARD, J. B., KLEIN TANK, A. M. G., KÖNNEN, G. P. (2003): Homogeneity of 20th century European daily temperature and precipitation series. *International Journal of Climatology*, 6, 23, 679–692.
- WILHELM, B., BALLESTEROS CANOVAS, J. A., CORELLA AZNAR, J. P., KÄMPF, L., SWIERCZYNSKI, T., STOFFEL, M., STØREN, E., TOONEN, W. (2018): Recent advances in paleoflood hydrology: From new archives to data compilation and analysis. *Water Security*, 3, 1–8.
- WILHITE, D. A. (1993): The Enigma of Drought. In: *Drought Assessment, Management, and Planning: Theory and Case Studies*. Kluwer Academic Publishers, Boston, 3–15.
- WILHITE, D. A., GLANTZ, M., H. (1985): Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. *Water International*, 3, 10, 111–120.
- WILHITE, D. A., VANYARKO, O. (2000): Drought: Pervasive Impacts of a Creeping Phenomenon. In: *Drought: A Global Assessment, Vol. I*. Routledge, London, 245–255.
- YANG, D., YANG, Y., XIA, J. (2021): Hydrological cycle and water resources in a changing world: A review. *Geography and Sustainability*, 2, 2, 115–122.
- ZAHRÁDKOVÁ, S. (2015): Hodnocení rizika vysychání drobných vodních toků v České republice. *VTEI*, 6, 2015, 4–16.
- ZHANG, B., CHEN, Y., CHEN, X., GAO, L., LIU, M. (2024): Spatial-Temporal Variations of Drought-Flood Abrupt Alternation Events in Southeast China. *Water*, 3, 16, 498.
- ZSCHEISCHLER, J., MARTIUS, O., WESTRA, S., BEVACQUA, E., RAYMOND, C., HORTON, R. M., VAN DEN HURK, B., AGHAKOUCHAK, A., JÉZÉQUEL, A., MAHECHA, M. D., MARAUN, D., RAMOS, A. M., RIDDER, N. N., THIERY, W., VIGNOTTO, E. (2020): A typology of compound weather and climate events. *Nature Reviews Earth & Environment*, 7, 1, 333–347.
- ŽÁK, K., MAJER, M., HŮLA, P., CÍLEK, V. (2016): Křivoklátsko, příběh královského hvozdu. Dokořán s. r. o., Praha.
- ŽALUD, Z., TRNKA, M., KAPLER, P., SEMERÁDOVÁ, D., DUBROVSKÝ MARTIN (2006): Sucho – problém současnosti i budoucnosti. *Kvasný průmysl*, 7–8, 52, 230–234.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Umístění hydrologických a klimatologických stanic zájmového území povodí Litavky (zdroj dat: ArcČR 500, DIBAVOD, ČHMÚ).	10
Obr. 2: Limnigrafická stanice Obecnice (zdroj: vlastní fotografie).....	12
Obr. 3: Metadata z limnigrafické stanice Obecnice (zdroj: ČHMÚ).....	14
Obr. 4: Povodí Litavky v rámci Česka (zdroj dat: ArcČR500, DIBAVOD, AOPK ČR; vlastní zpracování).....	20
Obr. 5: Geologické poměry v povodí Litavky (zdroje dat: ArcČR500, DIBAVOD, Česká geologická služba 2023; vlastní zpracování).	22
Obr. 6: Geomorfologické jednotky zasahující do povodí Litavky (zdroje dat: ArcČR500, AOPK ČR, DIBAVOD; vlastní zpracování).	24
Obr. 7: Jindřichova skála – nejvyšší mrazový srub ve Středních Brdech a kamenné moře (vlastní fotografie, pořízeno 15. 5. 2023).	26
Obr. 8: Mapa výškové členitosti povodí Litavky (zdroje dat – ArcČR500, DIBAVOD; vlastní zpracování).	27
Obr. 9: Sklonitostní mapa povodí Litavky (zdroje dat: ArcČR500, DIBAVOD; vlastní zpracování).....	27
Obr. 10: Orientace svahů v povodí Litavky (zdroje dat: ArcČR500, DIBAVOD; vlastní zpracování).	28
Obr. 11: Pedologické poměry v povodí Litavky (zdroje dat: ArcČR500, ČGS, DIBAVOD; vlastní zpracování).	30
Obr. 12: Klimatické poměry podle Quittovi klasifikace v povodí Litavky (zdroje dat: AOPK ČR, ArcČR500, DIBAVOD; vlastní zpracování).	31
Obr. 13: Klimadiagram města Příbram (zdroj dat: ČHMÚb, ČHMÚc; vlastní zpracování).	32
Obr. 14: Klimadiagram obce Neumětely (zdroj dat: ČHMÚb, ČHMÚc; vlastní zpracování).	32
Obr. 15: Pramen Litavky pod Malým Tokem (vlastní fotografie, pořízeno 27. 9. 2021).....	33
Obr. 16: Říční soustava zájmového území (zdroje dat: ArcČR500, DIBAVOD; vlastní zpracování).....	34
Obr. 17: Hustota říční sítě povodí Litavky (zdroje dat – ArcČR500, DIBAVOD; vlastní výpočet i zpracování).	36
Obr. 18: Podélný profil Litavky a jejích přítoků (zdroj dat: Mapy.cz, vlastní zpracování).....	37
Obr. 19: Lesy Křivoklátska (zdroj: vlastní fotografie, pořízeno 29. 10. 2022).....	38
Obr. 20: Biogeografické regiony a fyto geografické oblasti v povodí Litavky (zdroje dat – AOPK ČR, ArcČR500; vlastní zpracování).	38
Obr. 21: Vstavač kukačka (<i>Anacamptis morio</i>), lokalita PP Na horách (vlastní fotografie, pořízeno 6. 5. 2023)	40
Obr. 22: Koniklec luční český (<i>Pulsatilla pratensis</i> subsp. <i>Bohemika</i>), lokalita PP Na horách (vlastní fotografie, pořízeno 6. 5. 2023).	40
Obr. 23: Rosnatka okrouhlostá (<i>Drosera rotundifolia</i>), lokalita CHKO Brdy (vlastní fotografie, pořízeno)	40
Obr. 24: Listonoh jarní (<i>Lepidurus apus</i>), lokalita CHKO Brdy (vlastní fotografie, pořízeno 22. 6. 2021).	40
Obr. 25: Změny krajinného pokryvu v zájmové lokalitě mezi lety 1990 (vlevo) a 2018 (vpravo) (zdroje dat: ArcČR500, CORINE Land Cover; vlastní zpracování).....	44
Obr. 26: Hodnota Palmerova indexu intenzity sucha (PDSI) vyjadřující anomálii půdní vlhkosti na základě průměrné řady teplot a srážek pro území ČR a období 1803 až duben 2020 (zdroj: https://www.silvarium.cz/lesnictvi/sucho-jako-fenomen-nasi-doby).	52
Obr. 27: Metoda určování nízkých a vysokých průtoků pomocí metody prahové hodnoty (zdroj: Tallaksen, van Lanen 2021, upraveno a přeloženo).....	57

Obr. 28: Hydrogram průtokové vlny a její prvky (upraveno podle ČSN, 1975, 1983) (zdroj: Brázdil a kol. (2005)).	61
Obr. 29: Protipovodňový park Svratka nad Židlochovicemi na Brněnsku. Autor: CTK/Patrik Uhlíř (2024).	69
Obr. 30: Průměrné denní průtoky – profil Obecnice a Čenkov (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování).	81
Obr. 31: Průměrné denní průtoky – profil Hořovice a Beroun (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování).	82
Obr. 32: Křivka m-denních průtoků – profil Obecnice, Čenkov (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování).	83
Obr. 33: Křivka m-denních průtoků – profil Hořovice, Čenkov (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování).	84
Obr. 34: Průměrné měsíční průtoky – profil Obecnice, Čenkov (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování).	84
Obr. 35: Průměrné měsíční průtoky – profil Hořovice, Beroun (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování).	85
Obr. 36: Sezonalita průtoků před a po bodu změny v datové řadě – profily Čenkov, Beroun (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování).	85
Obr. 37: Průměrné roční průtoky za sledované období – profily Obecnice, Čenkov (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování).	87
Obr. 38: Průměrné roční průtoky za sledované období – profily Hořovice, Beroun (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování).	87
Obr. 39: Průměrný roční úhrn srážek – stanice Rožmitál pod Třemšínem, Neumětely (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování).	88
Obr. 40: Průměrné měsíční úhrny srážek – stanice Rožmitál pod Třemšínem, Neumětely (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování).	89
Obr. 41: Sezonalita srážkových úhrnů – stanice Rožmitál pod Třemšínem (nahore), Neumětely (dole) (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování).	90
Obr. 42: Rozložení srážek v teplém a chladném půlroce – stanice Rožmitál pod Třemšínem (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování).	91
Obr. 43: Rozložení srážek v teplém a chladném půlroce – stanice Neumětely (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování).	91
Obr. 44: Vývoj průměrné teploty – stanice Rožmitál pod Třemšínem, Neumětely (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování).	92
Obr. 45: Průměrná měsíční teplota vzduchu – stanice Rožmitál pod Třemšínem (vlevo), Neumětely (vpravo) (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování).	93
Obr. 46: Měsíční průměry kumulativní výšky sněhové pokrývky – stanice Rožmitál pod Třemšínem (vlevo), Neumětely (vpravo) (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování).	94
Obr. 47: Vývoj průměrné roční kumulativní výšky sněhové pokrývky v rámci sledovaného období (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování).	95
Obr. 48: Vývoj počtu suchých dní v rámci sledovaného období – horní tok (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování).	96
Obr. 49: Vývoj počtu suchých dní v rámci sledovaného období – dolní tok (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování).	97
Obr. 50: Vývoj nedostatkových objemů za sledované období (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování)	99
Obr. 51: Indexy sucha pro horní tok (vlevo) a dolní tok (vpravo) (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování).	100
Obr. 52: Vývoj BFI indexu pro horní tok (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování).	101

Obr. 53: Vývoj BFI indexu pro dolní tok (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování).	102
Obr. 54: N-leté průtoky na profilu Obecnice (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování).	102
Obr. 55: N-leté průtoky na profilu Čenkov (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování).	103
Obr. 56: N-leté průtoky na profilu Beroun (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování).	104
Obr. 57: N-leté průtoky na profilu Hořovice (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování).	104
Obr. 58: Vývoj vysokých průtoků ve sledovaném období – horní tok (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování).	105
Obr. 59: Vývoj vysokých průtoků ve sledovaném období – dolní tok (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování).	106
Obr. 60: Sezonalita vysokých průtoků (zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování).	106

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Měřicí stanice využité v této práci	11
Tab. 2: Prahové hodnoty sucha pro zvolené měřicí stanice	19
Tab. 3: Hodnoty N-letých průtoků.....	19
Tab. 4: Geomorfologické jednotky zasahující do povodí Litavky	25
Tab. 5: Vybrané morfometrické charakteristiky povodí Litavky	35
Tab. 6: Hydrografické charakteristiky zájmového území.....	35
Tab. 7: Absolutní a relativní podíly typů krajinného pokryvu zájmové lokality	43
Tab. 8: Výsledky Pettitova, Buishandova a SNHT testu homogenity – průtoky na horním toku.....	71
Tab. 9: Výsledky Pettitova, Buishandova a SNHT testu homogenity – průtoky na dolním toku.....	72
Tab. 10: Výsledky Pettitova, Buishandova a SNHT testu homogenity – úhrn srážek na horním (vlevo) a dolním toku (vpravo)	73
Tab. 11: Výsledky Pettitova, Buishandova a SNHT testu homogenity – teploty vzduchu na horním (vlevo) a dolním toku (vlevo).	74
Tab. 12: Výsledky Pettitova, Buishandova a SNHT testu homogenity – kumulativní výška sněhové pokrývky na horním (vlevo) a dolním toku (vpravo).....	75
Tab. 13: Výsledky Pettitova, Buishandova a SNHT testu homogenity – ukazatele sucha.....	75
Tab. 14: Výsledky Mann-Kendallova testu – průtoky, horní tok.....	77
Tab. 15: Výsledky Mann-Kendallova testu – průtoky, dolní tok	77
Tab. 16: Výsledky Mann-Kendallova testu – úhrn srážek	78
Tab. 17: Výsledky Mann-Kendallova testu – teplota vzduchu	79
Tab. 18: Výsledky Mann-Kendallova testu – kumulativní výška sněhové pokrývky	79
Tab. 19: Výsledky Mann-Kendallova testu – ukazatele sucha.....	80
Tab. 20: Hodnoty m-denních průtoků.....	83
Tab. 21: Procentuální, slovní a číselné hodnocení vodnosti.	86