

**UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE**

**PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA**

Studijní program: Geografie

Studijní obor: Geografie a kartografie



Daniel Čermák

**Změny v extremitě a výskytu povodní v povodí Zdobnice**

**Changes in extremity and seasonality of floods in the  
Zdobnice River basin**

Bakalářská práce

Vedoucí práce: prof. RNDr. Jakub Langhammer, Ph.D.

Praha, 2019

# **Zadání bakalářské práce**

## **Název práce**

Změny v extremitě a výskytu povodní v povodí Zdobnice

## **Cíle práce**

1. Přehled metod výzkumu a analýzy povodní
2. Přehled největších českých historických povodní
3. Vyhodnocení odtokového režimu v povodí horní Zdobnice po profil Slatina nad Zdobnicí
4. Analýza změn režimu odtoku a jeho komponentů v měřeném období
5. Analýza charakteristik a změny sezonality, frekvence a doby trvání extrémních vodních stavů v povodí Zdobnice

## **Použité pracovní metody, zájmové území, datové zdroje**

V rešeršní části jsou nastíněny metody pro výzkum historických povodní, na základě kterých je provedena analýza vybraných povodňových událostí v Čechách a na Zdobnici. V práci jsou dále použity statistické metody pro vyhodnocení sezonality a extremity.

Zájmové území se nachází v Orlických horách v povodí Zdobnice. Pro řešení práce je využita databáze dlouhodobých pozorování denních průtoků ze stanice Slatina nad Zdobnicí, spadající pod správu regionálního pracoviště ČHMÚ Hradec Králové – data byly dostupná na katedře fyzické geografie a geoekologie. Použity jsou také dostupné historické a literární prameny, GIS, IHA a Oriana software pro tvorbu map a analýzu dat.

Datum zadání:

Jméno studenta: Daniel Čermák

Podpis studenta: .....

Jméno vedoucího práce: prof. RNDr. Jakub Langhammer, Ph.D.

Podpis vedoucího práce: .....

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

V Praze dne 22. 7. 2019

Podpis: .....

### **Poděkování**

Velmi děkuji panu prof. RNDr. Jakobovi Langhammerovi, Ph.D. za čas vyhrazený pro konzultační hodiny, za cenné rady, připomínky a poskytnutí materiálu potřebných k dokončení této bakalářské práce. Dále děkuji mé rodině a přátelům za podporu a trpělivost v průběhu vypracovávání.

## Abstrakt

Náplní bakalářské práce je vyhodnocení změny extremity a výskytu povodňových událostí v horském povodí Zdobnice. V literární rešerši je nejprve komplexně představena problematika povodní a stručně jsou popsány největší historické povodně v Česku a v povodí Zdobnice. Součástí rešerše je i fyzickogeografická charakteristika zkoumaného povodí. V praktické části jsou vyhodnocena data denních průtoků získané od ČHMÚ. Na základě dat byla provedena analýza odtoku se zaměřením na extrémní průtoky. Pro porovnání změny je datová řada rozdělena na dvě období (1945-1969 a 1970-2014), jejichž bod změny určily Pettitův a Buishandův test homogenity. K analýze sezonality jsou použity grafy směrových statistik, polární grafy, křivky kumulativních četností a povodňový index. Výsledkem těchto metod je zjištění, že se ve druhém období přesunulo těžiště povodňové zátížení do dřívějších částí roku. Zároveň byl zjištěn nárůst povodňových událostí v červenci.

**Klíčová slova:** Povodně, průtok, hydrologické extrémy, historické povodně, sezonalita, Zdobnice

## Abstract

The object of the bachelor thesis is to analyze the change of extremity and seasonality of floods in the Zdobnice basin. The literary research comprehensively presents floods with description of the biggest historical floods in the Czechia and in the Zdobnice basin. The literary research also includes the physical-geographical characteristic of the studied area. The practical part is based on the daily flow data analysis, obtained from CHMI (Czech Hydrometeorological Institute). Runoff analysis is performed on the base of these data, with focus on extreme flows. To compare the seasonality change, data series is divided into two periods (1945-1969 and 1970-2014), which point of change was determined by Pettit's and Buishand's homogeneity test. Seasonality change is compared by directional statistics, polar graphs, curves of cumulative frequency and flood index. As a result of these methods, it is found that in the second period, the flood risk is greater in earlier parts of the year. It has been also found, that there are more flood events in July.

**Key words:** Floods, discharge, hydrological extremes, historical floods, seasonality, Zdobnice

# Obsah

<b>SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK .....</b>	<b>8</b>
Obrázky .....	8
Tabulky .....	9
<b>1. ÚVOD A CÍLE PRÁCE.....</b>	<b>10</b>
<b>2. MATERIÁL A METODY .....</b>	<b>11</b>
2.1 Výzkum historických povodní .....	11
2.1.1 Povodňové značky.....	11
2.1.2 Historické dokumenty .....	12
2.1.3 Paleoflood hydrology .....	13
2.2 Použité metody a nástroje .....	14
2.2.1 Režim a komponenty odtoku.....	14
2.2.2 Čáry překročení a M-denní průtoky .....	14
2.2.3 BFI.....	15
2.2.4 Detekce bodu změny .....	15
2.2.5 Prahové hodnoty vysokých a nízkých průtoků.....	15
2.3 Analýza extremity a sezonality povodní .....	16
2.3.1 Metoda směrových statistik.....	17
2.3.2 Metoda polárních grafů .....	18
2.3.3 Metoda čar kumulativních četností .....	19
2.4 Použité zdroje dat.....	19
<b>3. HYDROLOGICKÉ CHARAKTERISTIKY POVODNÍ .....</b>	<b>20</b>
3.1 Vymezení pojmu .....	20
3.2 Charakteristika povodňové vlny.....	20
3.3 Typy povodní .....	21
3.3.1 Letní či podzimní povodně způsobené déletrvajícimi regionálními srážkami .....	21
3.3.2 Letní povodně způsobené přívalovými srážkami .....	22
3.3.3 Zimní povodně způsobené táním sněhové pokrývky .....	22
3.3.4 Zimní a jarní typ ledových povodní .....	22
3.3.5 Specifické povodně .....	23
3.4 Faktory vzniku povodní .....	23
3.5 Vliv antropogenní činnosti na povodně .....	24
3.6 Historické povodně v Česku .....	25
<b>4. FYZICKOGEOGRAFICKÁ CHARAKTERISTIKA POVODÍ ZDOBNICE.....</b>	<b>30</b>
4.1 Geologické poměry .....	30
4.2 Geomorfologické poměry .....	31

4.3 Pedogeografické poměry.....	32
4.4 Biogeografické poměry.....	33
4.5 Klimatické poměry.....	34
4.6 Hydrologické poměry.....	35
4.7 Nejvýznamnější povodně v povodí Zdobnice.....	37
4.7.1 Povodeň v březnu 2000.....	37
4.7.2 Povodeň v únoru 2002.....	37
4.7.3 Povodeň v březnu 2006.....	38
<b>5. VÝSLEDKY.....</b>	<b>39</b>
5.1 Režim a komponenty odtoku.....	39
5.1.1 Čára překročení a M-denní průtoky.....	40
5.1.2 Roční průtoky.....	41
5.1.3 Baseflow index.....	42
5.1.4 Sezonalita odtoku.....	43
5.2 Vysoké průtoky.....	45
5.3 Nízké průtoky.....	47
5.4 Test homogenity a bod změny.....	48
5.5 Sezonalita extrémních průtoků.....	52
5.5.1 Ellederova klasifikace.....	52
5.5.2 Polární grafy a povodňový index.....	53
5.5.4 Směrová statistika.....	55
5.5.5 Křivka kumulativních četností.....	56
<b>6. DISKUZE A SHRUTÍ VÝSLEDKŮ.....</b>	<b>58</b>
<b>7. ZÁVĚR.....</b>	<b>63</b>
<b>8. ZDROJE:.....</b>	<b>64</b>
8.1 Literatura:.....	64
8.2 Online zdroje:.....	68
<b>9. PŘÍLOHY:.....</b>	<b>71</b>

# SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

## Obrázky

**Obrázek 1:** *Povodňové značky na řece Dunaji ve městech Pasov, Ybbs na Dunaji a Melk*

**Obrázek 2:** *Socha Bradáče na nábrežní zdi Křížovníků v Praze*

**Obrázek 3:** *Jednotková kružnice sloužící k určení MD*

**Obrázek 4:** *Průtoková vlna s jejími veličinami*

**Obrázek 5:** *Napřímení toku řeky Moravy v okolí staroměstského cukrovaru v 50. letech*

**Obrázek 6:** *Průtoková vlna v Praze 26. 2. – 1. 3. roku 1784*

**Obrázek 7:** *Povodí Zdobnice v Orlických horách v roce 2019*

**Obrázek 8:** *Typy hornin v povodí Zdobnice*

**Obrázek 9:** *Půdní typy v povodí Zdobnice*

**Obrázek 10:** *Bioregiony v povodí Zdobnice*

**Obrázek 11:** *Přítok Říčky do Zdobnice*

**Obrázek 12:** *Soutok Zdobnice s Říčkou*

**Obrázek 13:** *Zdobnice v obci Slatina nad Zdobnicí*

**Obrázek 14:** *Zdobnice pod obcí Slatina nad Zdobnicí*

**Obrázek 15:** *Zátopové území VN Pečín severně od obce Pečín*

**Obrázek 16:** *Křivka průměrných denních průtoků v období 1945-2014*

**Obrázek 17:** *Křivka průměrných měsíčních průtoků v období 1945-2014*

**Obrázek 18:** *Čára pravděpodobnosti překročení průtoků v období 1945-2014*

**Obrázek 19:** *Průměrné hodnoty ročních průtoků v období 1945-2014*

**Obrázek 20:** *Křivka baseflow indexu za období 1945-2014*

**Obrázek 21:** *Procentuální podíl průměrných průtoků ročních období*

**Obrázek 22:** *Procentuální podíl průměrných měsíčních průtoků*

**Obrázek 23:** *Podíl průměrných měsíčních průtoků v období 1945-2014*

**Obrázek 24:** *Vysoké průtoky v profilu Slatina nad Zdobnicí v období 1945-2014*

**Obrázek 25:** *Frekvence povodní v období 1945-2015*

**Obrázek 26:** *Doba trvání zvýšených průtoků v období 1945-2015*



**Obrázek 27:** *Nízké průtoky v profilu Slatina nad Zdobnicí v období 1945-2014*

**Obrázek 28:** *Počet dní s nízkými a extrémně nízkými průtoky v období 1945-2014*

**Obrázek 29:** *Křivka baseflow indexu rozdělena na dvě období (1945-1969 a 1970-2014)*

**Obrázek 30:** *Průměrné květnové průtoky v období 1945-2014*

**Obrázek 31:** *Průměrné březnové průtoky v období 1945-2014*

**Obrázek 32:** *Průměrné listopadové průtoky v období 1945-2014*

**Obrázek 33:** *Polární růžice měsíčních povodňových frekvencí v období 1945-1969*

**Obrázek 34:** *Polární růžice měsíčních povodňových frekvencí v období 1970-2014*

**Obrázek 35:** *Směrová statistika pro povodně v období 1945-1969*

**Obrázek 36:** *Směrová statistika pro povodně v období 1970-2014*

**Obrázek 37:** *Křivky kumulativních četností výskytu povodní v obdobích 1945-1969 a 1970-2014*

## **Tabulky**

**Tabulka 1:** *Hladiny analyzovaných povodní a příčiny vzniku*

**Tabulka 2:** *M-denní průtoky Zdobnice v profilu Slatina nad Zdobnicí*

**Tabulka 3:** *Pettitův a Buishandův test homogeneity*

**Tabulka 4:** *Rozdělení povodní podle kategorií navržených Ellederem*

**Tabulka 5:** *Povodňové indexy v obdobích 1945-1969 a 1970-2014*

**Tabulka 6:** *Hodnocení ročních vodních stavů v profilu Slatina nad Zdobnicí*

# 1. ÚVOD A CÍLE PRÁCE

Přírodní katastrofy ovlivňují životy lidí po celém světě. Ve střední Evropě a v Česku jsou nejnebezpečnějším a nejničivějším přírodním živlem povodně. Zejména po extrémních povodních v letech 1997 na Moravě a 2002 v Čechách se pro řadu vědců staly tyto události velmi atraktivním tématem a vzniklo na toto téma mnoho článků a studií. Součástí studií byla i otázka, jak ovlivňuje vývoj a průběh povodní antropogenní činnost a vývoj klimatu v posledních dekadách. V souvislosti s tím se řeší otázka změny sezonality a extremity povodní v čase (zejména tedy s odkazem na trend globálního oteplování).

Historické důkazy o působení těchto živlů jsou patrné již z dob paleolitu (odvozené z geologických analýz sedimentů). Jev povodní však zaujal lid především až ve středověku, kdy jim díky jejich ničivým účinkům začali kronikáři věnovat zvláštní pozornost a z jejich průběhu prováděli mnoho zápisů. Jelikož data průtoků a výšky hladin z období automatického měření nejsou mnohdy k vyhodnocení závěrů analýz dostačující, jsou tyto zápisy velmi důležité pro doplnění informací i ze starších událostí. Jedním z cílů této práce je tedy i stručně vyhodnotit největších historické povodně v Čechách a v povodí Zdobnice v Orlických horách. Součástí práce je i nastínění metodiky týkající se analýzy historických povodní.

V druhé části práce jsou analyzována data denních průtoků ze stanice Slatina nad Zdobnicí, která se nachází na řece Zdobnici. Cílem analýzy je vyhodnocení sezonality, extremity, frekvence a doby trvání extrémních hydrologických situací v tomto povodí a vyhodnocení změn těchto charakteristik v čase. Povodí Zdobnice bylo vybráno kvůli jeho přírodnímu charakteru. Většina území leží v CHKO Orlické hory, průběh toku tedy není výrazně antropogenně ovlivněn, a proto je toto povodí ideální pro podobné analýzy, jelikož výsledky mohou odrážet hlavně klimatickou změnu (převážně tedy růst teplot v posledních dekadách). Dalším důvodem výběru tohoto povodí je plánovaná výstavba vodní nádrže Pečín, která by z veliké části pozměnila charakter odtoku. Práce by tedy mohla být použita jako podklad pro studie, které by vyhodnocovaly změnu odtoku po výstavbě tohoto díla.

## **2. MATERIÁL A METODY**

### **2.1 Výzkum historických povodní**

„Povodně přitahovaly pozornost člověka zjevně ve všech dobách. Svědčí o tom častější zmínky o tomto druhu extrémů již ve starších literárních pramenech.“ (Elleder 2007, s. 51). V Česku a ve zbytku střední Evropy představují povodně jedno z největších ohrožení přírodního rázu. Příčinou tvorby záznamů z těchto katastrof byl podle Brázdila et al. (2005a) veliký vliv na život člověka, kdy docházelo a dochází k poškození majetku a ztrátám na životech.

Historické povodně lze studovat z veliké škály dokumentů, je ovšem nutné připomenout, že tyto dokumenty jsou většinou odvozené z novin, zápisu, obrazových dokumentací, či povodňových značek. Při analýzách je tedy nutno počítat s nepřesností těchto dat (Elleder 2007). Pokud jde o dobové záznamy, je vhodné zmínit, že většina z nich bývá poněkud chaotická a zahrnuje především zmínky o škodách nebo ztrátách na lidských životech. Pro informaci o průběhu a pro případnou rekonstrukci historické povodně je tak důležité vycházet ze syntézy co největšího počtu již zmíněných informačních zdrojů. Při použití většího množství datových pramenů navíc dochází k větší eliminaci nepřesností (Munzar a Ondráček 2012). Systematické měření na území Česka bylo započato až v 19. – 20. století. Takto dlouhá datová řada není vyhovující a mnohdy nemá dostačující výpovědní hodnotu o povodních v minulosti. Například v Praze na Vltavě se za dobu přístrojových měření až do roku 2001 nevyskytla ani jedna padesátiletá povodeň, určování statistických závěrů z těchto pozorování se tedy může setkat s nepřesnostmi. (Brázdil et al. 2005a).

#### **2.1.1 Povodňové značky**

Povodňové značky jsou velmi důležitým záznamem pro zjištění maximálních výšek hladin historických povodňových událostí. Značky jsou umísťovány na místa, které byly v zátopové oblasti v době povodně - ve výšce, kam sahala voda. Mohou tedy být znázorněny vytesáním do kamene a skal podél řeky, na mostech, domech, mlýnech, jezech a jiných stavbách, či objektech. Při analýze těchto značek je ovšem nutné zohlednit i stáří objektu, na kterém je značka zobrazena. Často bývaly tyto značky přenášeny z jiných míst, tudíž může docházet k nepřesnostem (Brázdil et al. 2005b).

Informace o výšce hladiny, které lze z těchto značek získat, je velmi důležitá. Povodňové značky bývají důležitým datovým vstupem pro výzkumy, které se zabývají

historickými povodněmi. Důležitým vstupem byly i pro Balese a Wagnera (2009), kteří s jejich pomocí sestrojili hydrologický model zátopových oblastí podél řeky Tar v Severní Karolíně. Další, kdo použil analýzu povodňových značek (Obr. 1), byla například Pekárová et al. (2013) ve svém výzkumu na řece Dunaji v Bratislavě.

V Čechách se nejvíce značek a záznamů dochovalo v povodí Labe a Vltavy. Nejznámějším vodočtem, který sloužil k porovnání kulminačních hladin povodňových vln, je zřejmě socha „Bradáč“ (Obr. 2). Bradáč je umístěn na budově Křížovnického kláštera, kde se zároveň nacházejí i nejstarší pražské povodňové značky. Socha měří na výšku přibližně 70 cm – zatopení k jeho nejnižší části je spojeno se zatopením pobřežní části Prahy a zatopení celé hlavy je spojeno se záplavou v nízké části Starého Města. (Elleder 2007). Brázdil et al. (2005b) zmiňuje, že úplně první zmínka o „Bradáci“ se vztahuje k 8. červnu 1481.



**Obr. 1:** Povodňové značky na řece Dunaji ve městech Pasov, Ybbs na Dunaji a Melk zdroj: Pekárová et al. (2013)

**Obr. 2:** Socha Bradáče na nábřežní zdi Křížovníků v Praze zdroj: Extraktory (2018)

Největší soubor značek se ovšem nachází na břehu řeky Labe v Děčíně. Značky jsou vytesány na pravém břehu do zámecké skály. Nejstarší povodeň vyznačená na této stěně je z roku 1118. Tato povodeň dosáhla zároveň i nejvyšší kulminační hladiny. Poslední značka zde byla vytesána po povodni roku 2002 (Brázdil et al. 2005b).

### 2.1.2 Historické dokumenty

Záznamy z kronik, tisku, osobních korespondencí, nebo také historické obrazy apod. jsou velmi důležitou (mnohdy i jedinou) součástí pro získání informací o klimatu a

hydrologické situaci při historických povodňových událostech. Mohou tedy být velmi cenným podkladem pro vědecké práce (López et al. 2015). Brázdil et al. (2005a) zpracoval ve své souhrnné práci o historických a současných povodních přehled všech historických zdrojů, které obsahují zmínky o těchto událostech. Zmiňuje také, že velikou výpovědnou hodnotu mají především soudobé novinové články, které poukazují na příčiny a průběhy povodní a často nabízejí také přehled způsobených škod. Doplňující informace z novin o škodách způsobených povodněmi v 19. a 20. století na řece Rambla de la Viuda použil ve svém článku například Machado et al. (2017). Díky obrazové dokumentaci, popisu události v širším kontextu, nastíněním dopadů nebo výčtu škod, které tyto články obsahují, mohou mít cennou informaci i v době existujících systematických pozorování (Brázdil et al. 2005a). Příkladem může být Escobar (2014), který ve svém článku vytvořil databázi vyhodnocující vybrané povodně ve Velké Británii mezi lety 2012 a 2014 pouze na základě novinových článků.

Naopak při zpracování zdrojů narativní povahy záleží na mnoha faktorech, které mohou ovlivnit kvalitu informace. Záznamy bývají velmi individuální, s různou úrovní podrobnosti a často mohou být ovlivňovány subjektivním vnímáním autora. Nezřídka dochází k přejímání informací (a to i nesprávných) od jiných autorů. Při analýzách je tedy nutné nahlížet na tyto zdroje s opatrností (Brázdil et al. 2005a).

Další, spíše doplňující informaci, mohou přinést obrazové dokumenty. Jedná se většinou o výplody autorovy představivosti a není výjimkou, že bývají mnohdy zkreslené a neodpovídají realitě. I tak mohou tyto dokumenty přinést dobrou představu o průběhu povodně (Brázdil et al. 2005a).

### **2.1.3 Paleoflood hydrology**

Pro získání dalších poznatků o povodních, které vznikly v dobách před zavedením systematického měření řek, byl založen v 80. letech 20. století obor, zabývající se rekonstrukcí a výskytem historických povodní. Tento obor se nazývá „Paleoflood hydrology (hydrologie paleopovodní)“ a mezi jeho hlavní úkoly patří: zjistit polohu maximální hladiny, datovat výskyt a následně vypočítat celkový průtok historických povodní (Benito a Thorndycraft 2005). K dosažení výsledků se používá převážně geologická analýza sedimentů. Od 80. let došlo v tomto oboru ke zlepšení metodických postupů a k dosažení lepších technologických možností, a to zapříčiňuje stále lepší i přesnější výsledky (Kämpf et al. 2018). I přesto je velmi obtížné určit přesný čas

působení a také průběh povodně. První důkazy o povodních jsou známy již z paleolitu, avšak z analýz říčních náplavů lze mnohdy zjistit pouze zvýšenou frekvenci výskytu povodní v delším časovém úseku (Brázdil et al. 2005b). I tak je důležitost tohoto oboru velká a analýzy historických povodní přináší informace, které jsou potřebné pro zlepšení odhadu povodňového rizika a pochopení vztahu mezi klimatem a vznikem extrémních hydrologických situací (Benito 2003).

## 2.2 Použité metody a nástroje

### 2.2.1 Režim a komponenty odtoku

V práci byla použita analýza denních průtoků. Na základě denních průtoků jsou za sledované období vypočteny průměrné denní, měsíční a roční průtoky. Pro tvorbu grafických výstupů byl použit program MS Excel. K průměrným ročním hodnotám bylo doplněno slovní ohodnocení vodnosti jednotlivých roků, které vychází z procentuálních hodnot pravděpodobnosti překročení vypočtené podle vztahu:

$$P \% = \frac{m-0,3}{n+0,4} * 100$$

kde *m* je pořadí průměrných ročních průtoků seřazených sestupně a *n* je počet členů řady. Slovní ohodnocení je poté odvozeno na základě procentuálních hodnot, které jsou uvedeny níže (Netopil 1984).

0 – 10 % mimořádně vodný rok

11 – 40 % vodný rok

41 – 60 % průměrně vodný rok

61 – 90 % málo vodný rok

91 – 100 % mimořádně málo vodný rok

### 2.2.2 Čáry překročení a M-denní průtoky

Křivka čáry překročení vyjadřuje, s jakou pravděpodobností může být překročena určitá hodnota průtoků. Graf lze sestavit jak pro celé období, tak pro jednotlivé roky. V práci je použita křivka překročení pro celé období, kde nejvyšší pravděpodobnost odpovídá nejmenšímu průtoků v období a nejmenší pravděpodobnost překročení největšímu průtoků v období. M-denní průtoky, jsou takové průtoky, které jsou dosaženy, nebo překročeny určitý počet dní v roce. Na rozdíl od čar překročení vyjadřují absolutní hodnoty.

### 2.2.3 BFI

Index základního odtoku, neboli baseflow index (BFI), znázorňuje podíl základního odtoku (dotovaný podzemní vodou) na odtoku celkovém. Jeho hodnota je pro každé povodí specifická, vyjadřuje totiž vliv geologického podloží na povodí. Změnu jeho hodnot ovšem může odrážet více proměnných. Index lze vypočítat mnoha způsoby. V práci je použit výpočet za pomoci softwaru IHA 7.1 (The Nature Conservancy 2009), který jej charakterizuje jako poměr 7denního minima klouzavého průměru a ročního průtoku. Analýzu indexu základního odtoku, s jeho detailním popisem, použil ve své práci například Longobardi a Villani (2008).

### 2.2.4 Detekce bodu změny

K detekci bodu změny jsou v práci použity testy homogenity. Tyto testy lze rozdělit na absolutní a relativní. Absolutní testy homogenity (např. Pettitův, Wilcoxonův dvouvýběrový, SNHT, Buishandův) určují, zda je datová řada homogenní na základě jedné datové řady. Relativní testy (např. Alexanderssonův, Wilcoxonův jednovýběrový) určují homogenitu řady na základě porovnání s referenční časovou řadou, která je před testem určena jako homogenní. Testy také slouží, kromě určení homogenity, i pro nalezení bodu změny v časové řadě (Štěpánek 2004).

K určení bodu změny byly použity Buishandův test a Pettitův test homogenity. Pettitův neparametrický test slouží pro určování homogenity na základě změny ve střední hodnotě časové řady. Nulová hypotéza testu říká, že datová řada je homogenní. Pokud je P-hodnota menší než 0,05 (hodnota signifikance je menší než 5 %), tak je nulová hypotéza zamítnuta a přijata hypotéza  $H_a$ . Datovou řadu lze tudíž považovat za nehomogenní. Buishandův test pracuje obdobně, ale hledá změny kumulativních odchylek. Výhodou obou testů je, že se dají použít na datové řady s neznámým bodem změny (Langhammer et al. 2015). Testy byly provedeny za pomoci makra XLSTAT stažitelného do programu Excel (Addinsoft 2019).

### 2.2.5 Prahové hodnoty vysokých a nízkých průtoků

Pro analýzu sezonality byly v práci použity kulminační průtoky větší nebo rovné průtokům vybraným metodou „Peaks Over Threshold“. Zjednodušeně jde o metodu, která podle daných pravidel vybírá průtoky nad určitou mezí (Chalušová et al. 2007). Pro účely analýzy byla prahová hodnota definována pomocí metody „největších ročních průtoků“, kterou ve svém výzkumu použil i Langhammer et al. (2015). V této metodě je z každého roku vybrán den s největší hodnotou průtoku a nejmenší hodnota tohoto

souboru určuje spodní hranici. Jelikož se ovšem ve vzniklém souboru nacházely i hodnoty velmi nízké (mimořádně málo vodné roky), tak byl odebrán první (spodní) kvartil hodnot. Nejmenší hodnota ze zbytku byla nastavena jako hranice pro metodu POT – 11,6 m<sup>3</sup>/s. Dalšími mezníky pro povodňové průtoky byly zvoleny N-leté průtoky (Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub>, a Q<sub>5</sub>).

Pro vyhodnocení nízkých stavů byly jako mezníky použity M-denní průtoky Q<sub>355</sub>, charakterizující velmi nízký vodní stav a Q<sub>365</sub>, charakterizující extrémně nízký vodní stav.

### 2.3 Analýza extremity a sezonality povodní

Analýza extremity a sezonality je velmi důležitá z hlediska odvození povodňového ohrožení (Villarini 2016). Podle Parajky et al. (2009) je vyhodnocení těchto dvou charakteristik a vyvození určitého povodňového zatížení důležité nejen pro vodohospodářství, hydrologické inženýrství a protipovodňovou ochranu, ale také pro vývoj a stabilitu ekosystému.

Na určení sezónálního výskytu povodní lze použít několik klasifikací s různou podrobností. Nejméně podrobnou zvolil Brázdil et al. (2005a), který rozdělil povodně pouze na letní a zimní (letní – od května do října, zimní – od listopadu do března; v dubnu se mohou vyskytovat oba typy). Naopak relativně podrobnou klasifikaci zvolil Elleder (2008) ve svém výzkumu na řece Sázavě (viz níže). Tato klasifikace byla použita i v této práci, avšak k vybraným obdobím byla přidána desátá kategorie, aby byl pokryt celý hydrologický rok (11. září. - 14. prosinec).

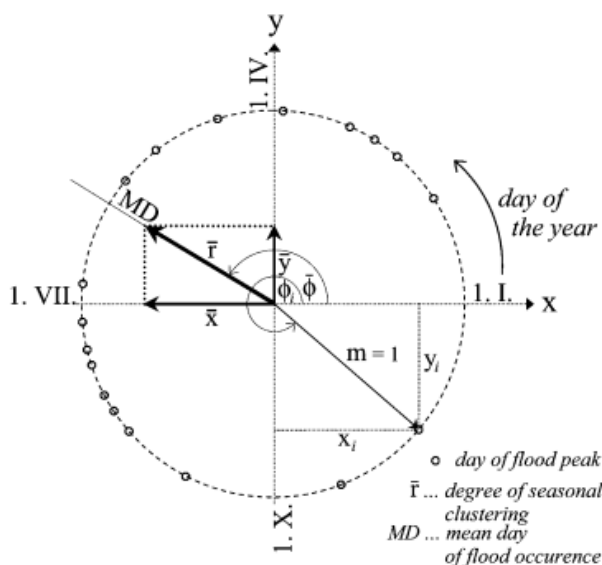
1. **W<sub>DE</sub>**: 15. prosinec – 10. leden
2. **W<sub>JF</sub>** : 11. leden – 9. únor
3. **W<sub>F2</sub>**: 10. únor – 9. březen
4. **W<sub>M2</sub>**: 10. březen – 5. duben
5. **W<sub>AP</sub>**: 6. duben – 25. duben
6. **S<sub>MA</sub>**: 26. duben – 9. červen
7. **S<sub>JU</sub>** : 10. červen – 10. červenec
8. **S<sub>JL</sub>**: 11. červenec – 5. srpen
9. **S<sub>AS</sub>**: 6. srpen – 10. září



Další typ rozdělení zvolila například Neri et al. (2019), která ve svém výzkumu o frekvenci povodní na středozápadě USA zvolila čtyři kategorie podle ročních období – jaro, léto, podzim, zima.

Pro analýzu sezonality povodní neexistuje pouze jedna správná metoda, ale ve většině studií se používá více rozdílných metod, které podle Chalušové et al. (2007) dopomůžou k lepší interpretaci a větší přesnosti výsledků. Ve vybraných metodách se pracovalo s průtoky vybranými pomocí metody POT.

### 2.3.1 Metoda směrových statistik



**Obr. 3:** Jednotková kružnice sloužící k určení MD, zdroj: Čekal a Hladný (2008)

Aplikace této metody se používá pro zjištění sezónních rozdílů ve výskytu povodní. Jedná se o velmi vhodnou metodu, která může být použita pro zhodnocení povodňového ohrožení v čase (Čekal a Hladný 2008).

V jednotkové kružnici (Obr. 3) je každému datu kulminace povodně přiřazeno místo na jednotkové kružnici, která odpovídá každému dni v roce. Datum 1. 1. se nachází na nejvýchoďnějším bodě kružnice a počet dnů přibývá proti směru hodinových ručiček. Jednotlivému datu poté odpovídá určitý úhel vypočtený podle rovnice (Black a Werritty 1997):

$$\varphi_i = Di \left( \frac{2\pi}{365} \right)$$

Kde:  $\varphi_i$  ( $0 < \varphi_i < 2\pi$ ) je úhel vypočtený pro určité datum povodně,  $Di$  je datum převedené na pořadový den v roce.

Dle Čekala a Hladného (2008) lze z převedených hodnot souboru  $n$  povodní určit v jednotkové kružnici souřadnice  $x$  a  $y$ , které určují hodnotu MD (Mean Day). Tato hodnota znázorňuje průměrné datum výskytu povodní.

$$x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \cos(\varphi_i)$$

$$y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sin(\varphi_i)$$

Následující vzorec slouží k převodu souřadnic na úhel v jednotkové kružnici, za pomoci kterého lze dopočítat pořadový den v roce.

$$\varphi^{MD} = \tan^{-1} \left( \frac{y}{x} \right)$$

Jako doplněk k hodnotě MD lze použít míru rozptylu  $r$  výskytu povodňových případů, která je vypočtena pomocí rovnice:

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

Podle hodnoty  $r$  ( $0 \leq r \leq 1$ ) lze určit rozložení sezónního výskytu povodní. Pokud se hodnota blíží 1 ( $r > 0,55$ ), tak to znamená, že se povodně vyskytují převážně v jednom období a jsou sezónně velmi nerovnoměrně rozloženy. Hodnoty blízké 0 ( $r < 0,35$ ) naopak udávají rovnoměrné rozložení povodní během roku (Black a Werritty 1997).

Jednotková kružnice, která v této práci sloužila pro vyhodnocení sezonality povodní, byla sestrojena za pomoci softwaru Oriana (Kovach Computing Services 2019)

### 2.3.2 Metoda polárních grafů

Chalušová et al. (2007) uvádí další metodu, která slouží ke grafickému porovnání sezonality povodní pomocí růžicového grafu. Graf je rozdělen do 12 úseků (po  $30^\circ$ ), kde každý úsek znázorňuje jeden měsíc v roce. Vynesemím četností povodní (dle měsíčního výskytu) a následným spojením vrcholů vzniká obrazec zobrazující sezónní výskyt povodní ve zkoumaném profilu. Pokud by četnost povodní byla

v každém měsíci stejná, jednalo by se o pravidelný dvanáctiúhelník. Většinou je ale měsíční četnost povodní během roku rozdílná a vykazuje extrémy s vysokou pravděpodobností a malou pravděpodobností výskytu povodní. Podle Chalušové et al. (2007) je výhodou této metody rychlá a snadná sestrojitelnost grafů, nevýhodou je nicméně malá přesnost v určení extremity jednotlivých povodní.

### **2.3.3 Metoda čar kumulativních četností**

Tato metoda je založena na znázornění průměrného počtu výskytu povodní  $L(t)$ , které v určitém čase  $t$  překročí hranici průtoku  $Q_b$  (Ouarda et al. 1993). Pro určitý profil může být zvoleno více linií, které znázorňují určité prahové hodnoty průtoků (např. hodnoty průtoků  $Q_1$ ,  $Q_5$ ,  $Q_{10}$  apod.). V grafu je na ose  $x$  veličina  $t$ , která svým intervalem odpovídá každému dni v roce. Proměnná  $L(t)$  leží na ose  $y$ .

Podle průběhu součtové čáry lze časové období rozdělit do tří kategorií:

1. období zvýšené pravděpodobnosti výskytu povodní
2. přechodné období
3. období klidu (minimální pravděpodobnosti výskytu povodní)

Začátek a konec úseků by měl u všech čar odpovídat přibližně stejnému dni. První kategorii odpovídá úsek, ve kterém je sklon čar strmý a tudíž je v tomto období průměrně nejvíce povodňových událostí. Naopak pokud je čára téměř vodorovná, hovoříme o povodňově klidném období. Třetí skupinou jsou přechodné období. Čáry mají v rámci jednotlivých úseků lineární průběh (Chalušová et al. 2007).

## **2.4 Použité zdroje dat**

Analýzy v této práci vycházejí z dat denních průtoků ze stanice v obci Slatina nad Zdobnicí. Data jsou dostupná od roku 1930 do roku 2014 – v datech se ovšem nachází mezera v období mezi lety 1931–1944. Aby nedocházelo k velikým odchylkám, tak jsou použita jen data z období po této datové mezeře. Zároveň byl vynechán první rok, jelikož neobsahuje data pro celé období hydrologického roku – analýza se tedy zaměřuje na období 1945–2014. Provozovatelem automatického sběru dat je RPP ČHMÚ Hradec Králové. Průměrný roční stav hladiny řeky Zdobnice je v této stanici 76 cm s průměrným ročním průtokem  $1,95 \text{ m}^3/\text{s}$  (ČHMÚ 2019a).

Pro tvorbu map je použit program ArcMap v. 10.6.1, vrstvy jsou použity z přístupných databází ArcČR 500 a DIBAVOD.

### 3. HYDROLOGICKÉ CHARAKTERISTIKY POVODNÍ

#### 3.1 Vymezení pojmu

Povodeň lze chápat jako extrémní hydrologický jev, který je součástí přírodních pochodů již od pradávna. Povodně jsou v současné době velmi diskutované téma. Napříč různou literaturou se lze setkat i s různými vymezeními, či definicemi tohoto jevu. Například ČHMÚ (2019c) definuje povodeň podle vodního zákona č. 254/2001 Sb. ve znění zákona 150/2011 jako: „*Přechodné výrazné zvýšení hladiny vodních toků nebo jiných povrchových vod, při kterém voda již zaplavuje území mimo koryto vodního toku a může způsobit škody.*“

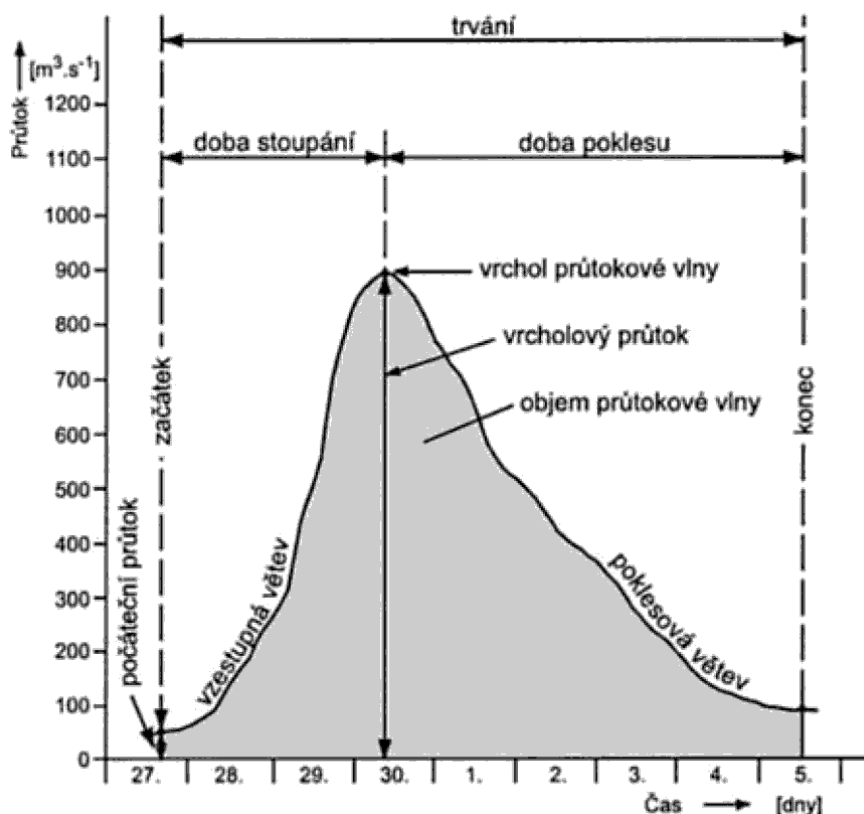
Je možné se ale setkat s jinými definicemi. V případě České pojišťovny (2014, s. 18) se tento jev definuje jako: „*Zaplavení větších či menších celků územních celků vodou, která se vylila z břehů vodních toků nebo z břehů nádrží nebo tyto břehy a hráze protrhla nebo byla způsobena náhlým a nečekaným zmenšením průtočného profilu toku.*“

Ze socioekonomického hlediska lze vymezit dva termíny. Prvním termínem je katastrofální povodeň, která způsobuje ztráty na lidských životech, mimořádné škody a vyznačuje se mimořádnou velikostí a dlouhou dobou opakování. Druhým je povodňová pohroma, kterou OSN charakterizovala jako událost s rozsáhlými lidskými a materiálními ztrátami a škodami na životním prostředí, které překračují možnosti postižené společnosti vypořádat se s nimi z vlastních zdrojů (Matějček a Hladný 1999).

#### 3.2 Charakteristika povodňové vlny

Průběh povodně je charakterizován průtokovou vlnou (Obr. 4), která je chápána jako přechodné zvýšení a následný pokles hladiny z důvodu přírodních faktorů, či antropogenních zásahů (Demek 1987). Průtoková vlna, která má charakter povodně, se nazývá povodňová vlna. Na obrázku 4 lze rozlišit dvě části vlny – tzn. vzestupnou větev, která má dobu trvání od počátku zvýšení průtoku až po kulminační průtok a poklesovou větev, která má dobu trvání od kulminačního průtoku až po dosažení standardní hodnoty průtoku. Součtem těchto dvou veličin je trvání průtokové vlny. Dalšími veličinami je objem průtoku a N-letý průtok. Objem průtoku vytyčuje plocha pod křivkou průtoku, která je na obrázku 4 znázorněna šedou barvou. N-letý průtok je kulminační hodnota vlny, která je dosažena v průměru jednou za N let. Jedná se pouze o statistickou veličinu, tudíž není pravidlem, že by se například  $Q_{100}$  (stoletý průtok)

nemohl vyskytnout více než jednou za 100 let (Demek 1987). Příkladem mohou být extrémní povodně v roce 1997 a 2002. Ty měly obě charakter několikasetletých průtoků. Podle Hladného et al. (2005) málokdo předpokládal, že dojde k zopakování podobné události jako v roce 1997 v tak krátkém odstupu.



**Obr. 4:** Průtoková vlna s jejími veličinami, zdroj: Báčová (2018)

### 3.3 Typy povodní

Podle Brázdila et al. (2005a) lze obecně rozdělit povodně do čtyř skupin. První skupinou jsou povodně dešťové, způsobené pouze dešťovými srážkami. Druhou skupinou jsou povodně sněhové, způsobené pouze táním sněhu a třetí skupinou jsou povodně smíšené, které vznikají kombinací tání sněhové pokrývky a deště. Ve čtvrtém případě se jedná o povodně ledové, které vznikají zmenšením průtočnosti koryta. I přes toto rozdělení lze typy povodní rozčlenit do více kategorií. V Česku se lze setkat s následujícími typy:

#### 3.3.1 Letní či podzimní povodně způsobené déletrvajícím regionálními srážkami

Tyto povodně jsou doprovázené zpravidla vícedenními srážkami bez výrazných přerušování. Příčinou těchto srážek většinou bývají cyklonální situace se specifickou drahou. Faktory, které ovlivňují intenzitu a trvání srážek z těchto cyklon jsou poloha,

rychlost, směr postupu cyklony (Brázdil et al. 2005a). Na území střední Evropy vznikají největší povodně tohoto typu při postupu cyklony pohybující se po dráze  $V_b$ . Tato cyklona mívá původ v západním středomoří a severní Itálii, pohybuje se severovýchodním směrem a přináší do střední Evropy teplý a vlhký vzduch (Kašpar 2003). Účinek těchto cyklon je do veliké míry umocňován orografickou činností. Katastrofické důsledky ovšem mohou nastat až na dolním toku řek. Příkladem jsou katastrofické srpnové povodně ve střední Evropě v roce 2002 a červencové povodně na Moravě a v Polsku v roce 1997 (POVIS 2018).

### **3.3.2 Letní povodně způsobené přívalovými srážkami**

Dešťové povodně z přívalových srážek vznikají při srážkových situacích s velkou intenzitou, avšak krátkou dobou trvání - jedná se řádově o několikahodinové situace. Pro tento druh povodní je typická krátká doba trvání povodňové vlny, kdy srážky s intenzitou až několika desítek milimetrů za hodinu (leckdy i přes 100 mm/h) zapříčiní rychlý vzestup povodňové vlny a následně její náhlý pokles (Brázdil et al. 2005a). Povodňová vlna postupuje velmi rychle a zejména v povodích s vějířovitým tvarem říční sítě mohou vzniknout velké materiální škody a oběti na životech. To je způsobeno mimo jiné i nedostatkem času na evakuaci obyvatelstva. Ve většině případů jsou ovšem zasaženy pouze menší regiony. V Česku se bleskové povodně objevily například na Novojičínsku v červenci roku 2009 (POVIS 2018).

### **3.3.3 Zimní povodně způsobené táním sněhové pokrývky**

K tání sněhové pokrývky dochází při teplotách, které se pohybují nad 0 °C, a to v zimních či jarních měsících (Brázdil et al. 2005a). Podmínkou pro vznik povodní tohoto typu ovšem není jen kladná teplota, ale především dostatečné zásoby vody ve sněhové pokrývce. Zásoba není závislá pouze na množství sněhu, ale také na jeho fyzikálním stavu. Matějček a Hladný (1999) uvádí, že v čerstvém prachovém sněhu je naakumulováno méně vody, než ve sněhu „zthutněném“, který vznikl přeměnou krystalické struktury. Povodně z tání mohou být extrémní za předpokladu, že jsou doprovázené kapalnými srážkami, které zásobují řeky vodou a zároveň napomáhají rychlejšímu tání. V Česku a zároveň celé střední Evropě se tento typ povodně objevil například v březnu roku 2006 (POVIS 2018).

### **3.3.4 Zimní a jarní typ ledových povodní**

Jedná se o specifický typ povodní způsobený dočasným zablokováním koryta řeky ledovou krou, která zapříčiní rozliv vody do nivy řeky. Vzniká převážně po dlouhých

mrazivých zimách s následným rychlým oteplením za doprovodu dešťů, které způsobí uvolnění a odchod ledu ze zamrzlých řek. Po odchodu těchto ledů dochází k ucpání koryta a zmenšení průtočnosti (Votruba a Patera 1983).

### **3.3.5 Specifické povodně**

Jedná se o typ povodní, které vyvolávají umělé vlivy. Příčinou může být náhlé vzduší hladiny, spojované s nečekaným přehrazením toku, jako například sesuv půdy nebo sněhové laviny (Bartošová 2016). Dalším důvodem vzniku povodně může být ucpání propustků nebo mostních otvorů a následná akumulace neseného materiálu v tomto prostoru, které také zapříčiní zdvih hladiny. Lze sem také zařadit povodně způsobené porušením hydrotechnických staveb – jezů, rybníků a přehrad. V Česku došlo k povodni této kategorie roku 1916 při protržení přehrady Bílá Desná (POVIS 2018).

## **3.4 Faktory vzniku povodní**

Vznik povodní je většinou spojen s meteorologickými, hydrologickými a fyzikogeografickými faktory. Největší podíl na vzniku povodně mívají faktory meteorologické. Rozlišujeme 2 typy meteorologických faktorů - předběžné a příčinné (Brázdil et al. 2005a).

Dle Brázdila et al. (2005a) působí předběžné faktory několik dnů až týdnů před vznikem povodně a patří mezi ně nasycenost povodí, množství sněhové pokrývky a její vodní hodnota. Faktory příčinné poté fungují jako spouštěč povodní a působí několik hodin před začátkem povodně. Mezi příčinné faktory se řadí například dešťové srážky nebo teplota vzduchu a rychlost větru, které napomáhají rychlejšímu tání sněhové pokrývky.

Matějček a Hladný (1999) uvádí, že dalšími neméně důležitými faktory pro vznik povodňových situací mohou být následující vlivy:

- a) Intercepce
- b) Detence
- c) Infiltrace
- d) Objem říční sítě

a) Intercepce, neboli schopnost vegetace zachytit srážky, je dána druhovou skladbou, hustotou či stavem vegetace a také intenzitou srážkového úhrnu. Větší

intercepce znamená zpomalování odtoku a prodlužování doby vsaku (Matějčíek a Hladný 1999)

b) Detence je podle Matějčíka a Hladného (1999) schopnost zpomalovat odtok ze spadlých srážek naplňováním depresí terénu, což může vést k dočasné akumulaci většího množství vody v rovinném terénu. S velikostí povodní ovšem klesá vliv těchto depresí na celkové zpomalení povodňové vlny.

c) Infiltrace, tj. vsak vody do půdních horizontů a zásobování podzemních vod závisí na typu a vlastnostech půdy. Kantor et al. (2003) ve své studii například uvádí důležitost lesních půd. Ty mají díky své retenční kapacitě vliv na rychlost a velikost odtoku a jsou rozhodující složkou lesního ekosystému v působení na srážko-odtokové procesy.

d) Objem říční sítě - množství vody, které se vejde do koryt toků, do podpovrchových částí břehové zóny a přilehlých zátopových oblastí toku.

Dalším ovlivňujícím faktorem je fyzickogeografická charakteristika území, která ovlivňuje i výše uvedené vlivy. Mezi tyto charakteristiky patří například některé z charakteristik povodí (hustota a tvar říční sítě, tvar povodí), jež mají veliký vliv na průběh povodňové vlny (Čermák 1968). Kupříkladu tvar říční sítě může rozhodovat o souběhu vrcholů průtokových vln (Brázdil et al. 2005a). Z hlediska povodní je nejnebezpečnější vějířovitý tvar říční sítě, kde dochází k soutoku několika toků v jednom uzlovém bodě a prudkému nárůstu vodnosti (Netopil 1984). Dalšími fyzickogeografickými faktory jsou sklonitost svahu, orientace svahu, nadmožská výška, orografie a další (Brázdil et al. 2005a).

### **3.5 Vliv antropogenní činnosti na povodně**

Všechny zmíněné faktory bývaly v minulosti stále více ovlivňovány antropogenní činností. Brázdil et al. (2005a) uvádí, že kvůli činnostem člověka se na mnoha místech změnilo odtokové procesy, a to především kvůli zásahům do přírodních poměrů, jako je nadměrná spotřeba vody v průmyslu a zemědělství, výstavba velkých vodních děl, rušení přirozených zásobáren vody (mokřadů), rušení drobných vodních nádrží nebo změna land-use a land-cover. Dalším zásahem, který je velmi stěžejní v souvislosti s průběhem povodně, je úprava koryta řeky. Podle Langhammera (2007) probíhaly tyto úpravy na území Česka již od 18. století za účelem lepší splavnosti, pro efektivnější



využití v zemědělství a především pro protipovodňovou ochranu. Úpravy toků s sebou



**Obr. 5:** *Napřímení řeky Moravy v okolí staroměstského cukrovaru v 50. letech, zdroj: Hruban (2015)*

ovšem přináší hlavně negativní jevy. Například po napřímení toku (Obr. 5) dosahuje povodňová vlna větších rychlostí a tím pádem mívá ničivější účinek v korytě a nivě řeky. Vlivem větší rychlosti se také zkracuje doba postupu vlny, což je stěžejní zejména u bleskových povodní (zkrácení doby potřebné pro evakuaci obyvatelstva z rizikových zón). V současné době je 28,4 % délky toků antropogenně upraveno a 54 % útvarů povrchových vod je podle legislativy EU silně ovlivněno (Hladný, Němec et al. 2006). Intenzita upravenosti je velmi silná a promítá se do odtokového procesu a retenční schopnosti krajiny.

### **3.6 Historické povodně v Česku**

Nejvíce informací a záznamů o největších povodních v historii se dochovalo převážně z povodí Vltavy a povodí Labe, zejména tedy z Prahy a Děčína. Některé z povodní byly tak extrémní, že kvůli jejich přímým, či nepřímým následkům docházelo k mnohačetným ztrátám na životech a ničení domů, či důležitých objektů.

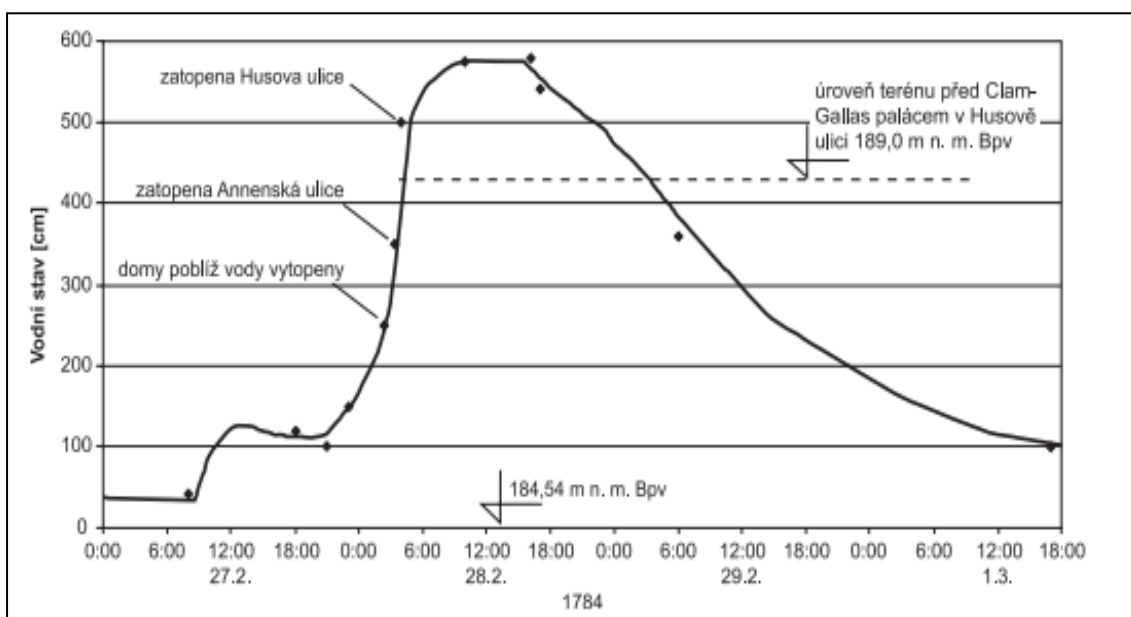
Jedna z největších povodní nastala na českém území v červenci roku **1432**. Podle Müllera a Kakose (2003) byla tato povodeň až do roku 2002 považována jako největší za posledních tisíc let. Příčinným faktorem byly srážky, které nastaly mezi 19. a 22. červencem (Brázdil, Kotyza a Dobrovolný 2006). V Praze nastal kulminační stav

21. července s výškou hladiny 600 cm. Důležitým mezníkem bylo zaplavení kostela Sv. Haštala, který leží na Haštalském náměstí. Hladina Vltavy k tomuto mezníku nikdy poté nedosáhla (Kotyza et al. 1995). Následky byly hrozivé, povodeň způsobila demolici mnoha domů a zapříčinila mnoho úmrtí. Sutiny přenášené řekou navíc ucpaly oblouky Karlova mostu a v důsledku toho byly protrženy čtyři jeho pilíře (Schanze, Zeman a Marsalek 2006). Největším problémem bylo zničení mlýnů podél řeky, což způsobilo, že se jídlo stalo dražším a díky tomu došlo v konečném důsledku koncem roku 1432 k hladomoru (Brázdil et al. 2005a)

V roce **1598** došlo hned ke dvěma extrémním povodním. První z nich nastala v březnu. Jednalo se o typicky zimní povodeň, které předcházela krutá zima s bohatou sněhovou pokrývkou. Rychlým oteplením, které způsobil příchod teplého nárazového větru z jižních oblastí, nastalo rychlé tání (Munzar 1998). Na většině území trvala tato povodeň dva dny a dvě noci. Nejvíce zasažená byla povodí Vltavy, Labe a Svatky. V Praze nastal kulminační průtok 12. března s dosaženou výškou hladiny 485 cm. V Litoměřicích na Labi se kulminace opozdila o jeden den (13. března) s dosaženým vodním stavem 880 cm (Elleder 2007).

Druhá povodeň nastala tentýž rok v srpnu. Zasažena byla převážně povodí Vltavy a Labe. Zdvih hladin nastal kvůli vytrvalým, dlouhotrvajícím deštům nejprve 17. srpna na jihu Čech. Situaci v Písku popisuje například Sedláček (1911, s. 95) takto: *„Krupobití bývá v Písku zřídka, ale přijde-li, je velmi kruté. Takové nebrzy vídané krupobití bylo dne 1. srpna 1598 a brzo potom (17. srpna) veliká povodeň, čímž sousedé vzali velikou škodu na polích, lukách, zahradách a domech“*. Do Prahy dorazila povodňová vlna 18. srpna. Výška hladiny dosahovala podobné hranice jako v březnu téhož roku (Munzar 1998). V povodí Labe byla postižena hlavně města Kutná Hora, Český Brod, Litoměřice a Kouřim (Brázdil et al. 2005a). Kulminační průtok v tomto povodí pravděpodobně dosahoval menších hodnot než na jaře, ovšem kvůli protržení některých rybníků bylo napácháno o mnoho více škod – protržení mostu, zničení domů, mlýnů a polí (Munzar 1998). Dalšími postiženými povodími byla například povodí Odry, Svatky na Moravě, ale také Innu a Salzachu v Německu a Kladské Nisy v Polsku. Povodeň v Kladské Nise se podle Elledera (2007) považuje za jednu z největších na tomto místě.

Další extrémní povodeň postihla území Čech a Moravy v únoru roku 1784. Jedná se o zimní povodeň, která nastala po druhé nejextrémnější zimě za posledních 500 let (Munzar a Elleder 2004). Extremitu této zimy pravděpodobně umocnila erupce sopky Laki na Islandu, která vypuštěním několika tun aerosolu do ovzduší přispěla ke globálnímu ochlazení. Toto ochlazení bylo patrné především v Evropě a mělo za následek zamrzání řek, promrznutí půd a vznik abnormální výšky sněhové pokrývky (Luterbacher et al. 2009). Povodně zasáhly téměř všechny státy střední Evropy, ale také Francii, Nizozemí a Belgie (Elleder 2010). Příčinou vzniku povodní byl průnik teplého vzduchu ze západu, který za doprovodu srážek způsobil rychlé tání sněhové pokrývky (Munzar a Elleder 2004). Rychlé oteplení a následné tání způsobilo abnormálně rychlý a veliký vzestup hladin. Podle Elledera (2010) vystoupila hladina v Praze o 4 metry za pouhých 12 hodin (Obr. 6). Kulminační průtoky nastaly 27. února v Českých Budějovicích, 28. února v Praze, 29. února v Litoměřicích a 1. března v Drážďanech.



**Obr. 6:** Povodňová vlna v Praze 26. 2. – 1. 3. roku 1784, zdroj: Brázdil et al. (2005a)

Na Labi bylo nejvíce škod napácháno v Mělníku, Litoměřicích a v Děčíně. V Litoměřicích, kde nastala kulminace povodně 29. února, bylo úplně rozbito 57 domů, zničena většina mlýnů a těžce byly poškozeny mosty. Ten samý den, pouze o pár hodin později, kulminovala povodeň i v Děčíně. Zde byl pravděpodobně dosažen průtok 4800 m<sup>3</sup>/s a výška hladiny dosahovala 26. stop nad nulou vodočtu – jedná se o 5. největší povodeň na tomto místě (Munzar a Elleder 2004). Jak již bylo zmíněno, tak ve stejném období zasáhly extrémní povodně velikou část regionů střední a západní Evropy.

Například ve městě Eibelstadt na Mohanu nebyl kulminační průtok této povodně nikdy v historii překonán (Schmidt 2000).

Zimní povodeň v roce **1845** se také řadí mezi jednu z největších na našem území. Povodeň opět vznikla rychlým táním sněhové pokrývky a za doprovodu vysokých srážkových úhrnů (Kakos a Kulasová 1995). Mrazivé počasí zimy na přelomu roků 1844 a 1845 trvalo téměř až do poloviny března a to způsobilo zamrzání některých řek až do hloubky 60 cm. K tvorbě nadměrné sněhové pokrývky přispěly vysoké srážkové úhrny, které trvaly od začátku února do začátku března (Brázdil et al. 2005a). Vznik povodně způsobil vpád teplého a vlhkého větru 26. března. Za doprovodu srážek a rychlého tání započal 28. března zdvih hladin. Kulminační výška hladiny dosahovala v Praze 513 cm (Novotný 1963). Nejvíce postiženou oblastí byla ovšem střední a spodní část Labe, kde bylo zatopeno několik vesnic. Brázdil et al. (2005a) například uvádí, že při soutoku Labe s Vltavou byly zcela pod vodou obce Beřkovice a Obříství. Labe v Děčíně dosáhlo výšky hladiny 10,39 m, jedná se tedy o největší povodeň na tomto místě. Na Moravě byly napáchány největší škody na středním a spodním toku Moravy. Nejvíce zasažena byla obec Mušov, kde byly téměř všechny domy pod vodou – následkem toho byla čtvrtina domů povodní zničena a mnoho dalších staveb muselo být strženo kvůli těžkému poškození (Kokešová 2007).

V září roku **1890** došlo k extrémní povodni, která byla způsobena dlouhotrvajícími srážkami. Tato povodeň je často srovnávána s povodní z roku 2002, která se na většině míst v Čechách považuje za úplně největší. Stejným rysem těchto povodní je například podobné rozmístění srážek a jejich extremita. Rozdílná je poté meteorologická situace, která srážky zapříčinila. Zatímco v roce 2002 byly srážky způsobeny pohybem cyklony po dráze Vb, tak v roce 1890 není podobný pohyb cyklony zcela jasný, či doložitelný (Müller a Kakos 2003). Stěžejní pro vznik povodně byla i velká nasycenost půdy. Jak zmiňuje Brázdil et al. (2005a), tak srpen téhož roku se považuje za pátý nejdeštivější a mnoho řek v tomto období překročilo i dvouleté průtoky. Augustin (1892) dále zmiňuje, že dalším faktorem nasycenosti území byly nízké teploty, které způsobily, že výpar z území byl v letních měsících menší. Zdvih hladin nastal kvůli prostorovému rozložení srážek nejprve v jižních Čechách. Dne 3. září se povodeň dostala do Prahy. Nejprve bylo zaplaveno několik pobřežních ulic, později byly zatopeny části města Karlín a Smíchov. V ranních hodinách byl kvůli

nánosu sutin zřícen Karlův most (Zlatá Praha 1890). V povodí Labe byla situace klidnější. Díky nízkým srážkovým úhrnům na severu Čech byl zdvih hladin způsoben hlavně příchodem povodňové vlny z Vltavy. V Mělníce, Litoměřicích a Děčíně došlo ke kulminaci 6. září. V Litoměřicích byla kulminační výška hladiny 670 cm a v Děčíně 840 cm (Elleder 2007).

Tabulka 1 poukazuje na srovnání těchto povodní, s příčinami jejich vzniku a kulminačními hodnotami Vltavy v Praze a Labe v Děčíně, kde povodně většinou napáchaly největší škody.

**Tabulka 1:** Hladiny analyzovaných povodní a příčiny vzniku

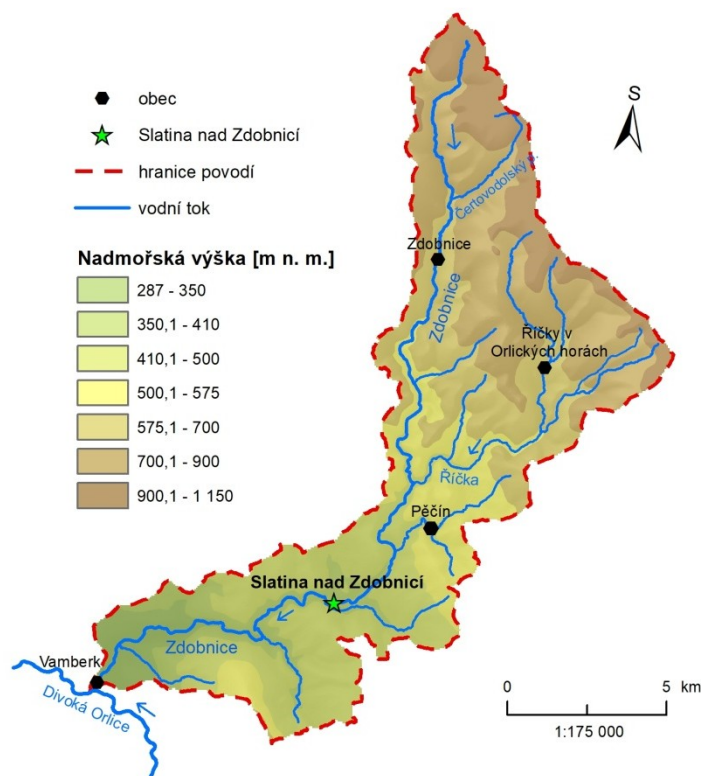
Rok	Den a měsíc	Příčina	Kulminace Vltavy v Praze	Kulminace Labe v Děčíně
1432	21. 6. (30.7.)	dlouhotrvající reg. Srážky	600 cm	939 cm
1598	12. 3.	tání sněhové pok., prudký vítr	485 cm	880 cm
1598	16. 8.	dlouhotrvající reg. srážky, API	485 cm	X
1784	27. 2.	tání sněhové pok., velké sráž. Úhrny	575 cm	893 cm
1845	28. 3.	tání sněhové pok., srážkové úhrny	513 cm	1039 cm
1890	2. 9.	dlouhotrvající reg. srážky, API	504 cm	840 cm

**Vysvětlivky:** Modře jsou označeny zimní povodně a černě letní povodně. Datum začátku povodně je vázáno ke zdvihu hladiny první řeky. V roce 1432 byl používán juliánský kalendář, číslo v závorce je převod do gregoriánského kalendáře. Značka API znamená vysokou nasycenost povodí před vznikem povodní.

Zdroj: Brázdil a kol. (2005a), Elleder (2007), vlastní zpracování.

## 4. FYZICKOGEOGRAFICKÁ CHARAKTERISTIKA POVODÍ ZDOBNICE

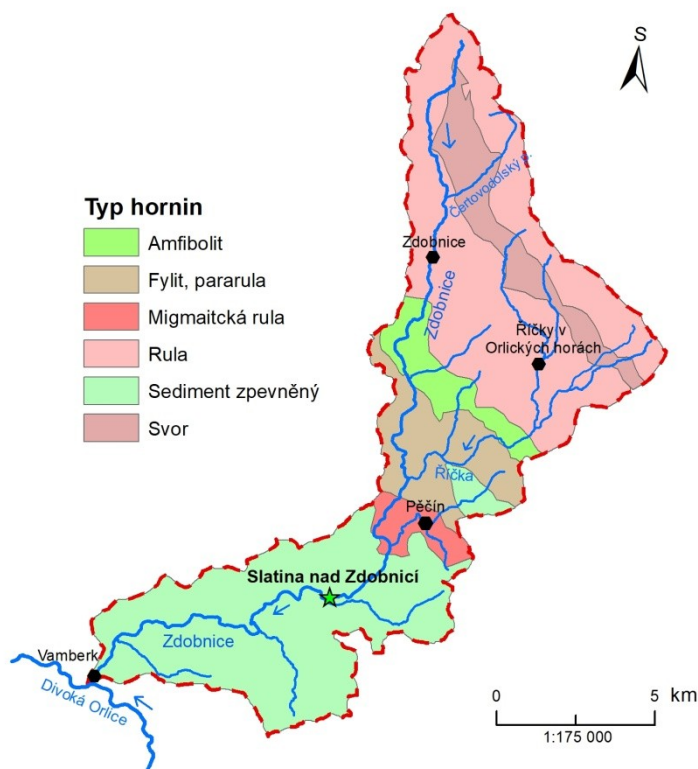
Pro analýzu změny sezonality a extremity povodňi bylo vybráno povodí Zdobnice (Obr. 7), které se nachází v Orlických horách. Řeka Zdobnice je dlouhá 33,9 km a plocha povodí měří 124,4 km<sup>2</sup> (ČHMÚ 2019b). Tok pramení ve výšce 1029 m n. m. na západních svazích Velké Deštné a ústí do Divoké Orlice ve výšce 285 m n. m.



**Obr. 7:** Povodí Zdobnice v Orlických horách v roce 2019, zdroj: DIBAVOD, ArcČR, vlastní zpracování

### 4.1 Geologické poměry

Oblast povodí Zdobnice spadá do Českého masivu. Horní část povodí (až po obec Pečín) patří do západosudetské oblasti – Lugikum. Jak je z obrázku 8 patrné, tak se v této oblasti nachází silné metamorfované horniny - v nejvyšších oblastech ruly a místy svory, v nižších polohách amfibolit, fylity a pararuly. V nejspodnější části Luganika se nachází migmatická rula. Spodní část povodí spadá do oblasti Bohemika (oblast české křídové tabule) – zde se nachází rozsáhlé sedimentární plochy, vzniklé při druhohorní, křídové sedimentaci (ČGS 2019).



**Obr. 8:** Typy hornin v povodí Zdobnice, zdroj: ČGS, ArcČR, DIBAVOD, vlastní zpracování

## 4.2 Geomorfologické poměry

Povodí Zdobnice leží v Orlické podsoustavě, patřící do Krkonošsko-Jesenické soustavy. Orlickou podsoustavu lze rozčlenit na několik celků, podcelků a okrsků. Na ploše povodí Zdobnice se nacházejí 2 celky – Orlické hory, Podorlická pahorkatina, které se dále člení na 3 podcelky – Žamberská pahorkatina, Náchodská vrchovina a Deštská hornatina (AOPK ČR 2019).

Deštská hornatina je nejvyšším a nejrozsáhlejším podcelkem Orlických hor a rozprostírá se téměř na celé vrchní polovině povodí (takřka až po soutok s Říčkou). Nachází se zde nejvyšší hory Orlických hor, včetně nejvyššího bodu tohoto pohoří - Velká Deštná (1115 m). Jedná se o plochou hornatinu položenou na horninách orlicko-kladské klenby (AOPK ČR 2012)

Náchodská vrchovina zasahuje do povodí velmi okrajově, a to jihozápadně od obce Zdobnice. Jedná se o podcelek Podorlické pahorkatiny a je charakteristická pro svůj rozčleněný erozně denudační reliéf. Reliéf ovlivnily především saxonské tektonické poruchy, opakující se během třetihor. Podobný reliéf lze nalézt

v Žamberecké pahorkatině, která spadá do stejného celku. Tato pahorkatina zaujímá spodní polovinu povodí a je charakteristická výskytem pleistocenních říčních teras (Balatka a Kalvoda 2006)

### **4.3 Pedogeografické poměry**

Půdní složení není v povodí Zdobnice nikterak pestré. Téměř 90 % plochy zabírají kambizemě – districké, melanické a kambizemě s rankery. Na nejvyšších místech v povodí lze také narazit na podzolové půdy, či kryptopodzoly. Nejméně zastoupeným typem jsou poté organozemě.

Pro podzoly je charakteristický vybělený horizont Ep, který vzniká prostřednictvím procesu podzolizace. Tento proces způsobuje pohyb minerálních látek z A a E horizontů do B horizontu spolu s huminovými kyselinami (Lundström et al. 2000). Půdotvorným substrátem jsou kyselé horniny, které jsou chudé na živiny. Vyskytují se ve vysokých horských pásmech a dnes jsou tyto půdy převážně zalesněny.

Kryptopodzoly mají rezivě zbarvený spodický horizont Bsv. Půda má nízkou objemovou hmotnost a vyznačuje se svou kyprostí. Je velmi kyselá a probíhá v ní podzolizací proces, který způsobuje vybílání horizontu Ah. Výskytem navazuje na kambizemě modální (směrem do vyšších poloh). Původním porostem na těchto půdách byly smíšené lesy, které byly později nahrazeny smrkovými porosty (Němeček et al., 2008).

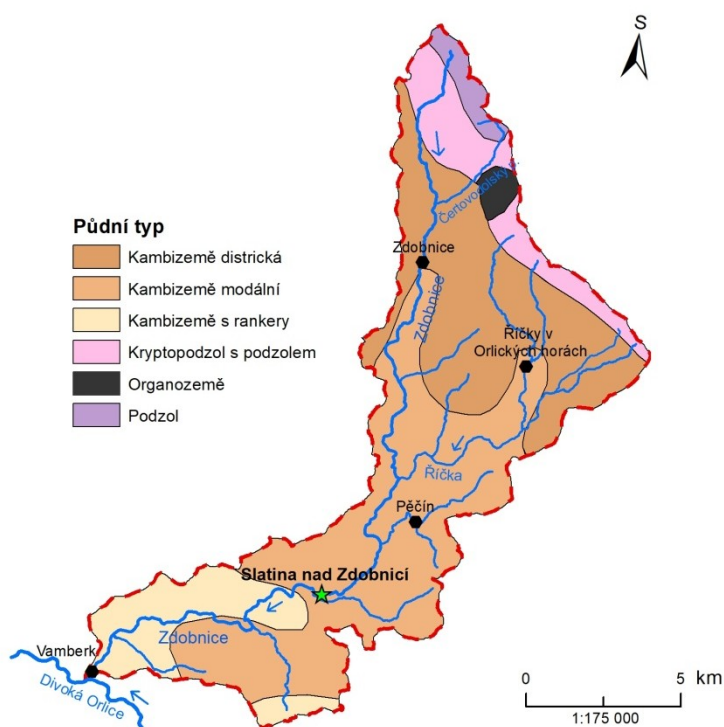
Kambizemě districké jsou charakteristické svou lokací pod pásmem kryptopodzolů, což je i patrné z obrázku 9. Ve vyšších polohách bývají horniny, tvořící půdotvorný substrát těchto půd, chudší na živiny. Pro tyto půdy je typické lesnaté prostředí (Kubík a Sářka 2010).

Kambizemě modální mají hnědý horizont Bv vyvinutý na svahových magmatických, metamorfovaných a zpevněných sedimentárních horninách. Tyto půdy se nachází v rozdílných klimatických podmínkách a díky tomu je proměnlivý také sorpční komplex. Typické jsou pro tyto půdy převážně listnaté a smíšené lesy (Němeček et al. 2008).

Kambizemě rankerové vznikly ze svahovin, které obsahují veliké množství skeletu (více než 50 %). Tyto půdy se vyskytují převážně na svazích, ojediněle i na



rovinách. Faktorem pro vznik je určitý stupeň rozpadu půdotvorného substrátu (Kubík a Sáška 2010).



**Obr. 9:** Půdní typy v povodí Zdobnice, zdroj: ČGS, ArcČR, DIBAVOD, vlastní zpracování

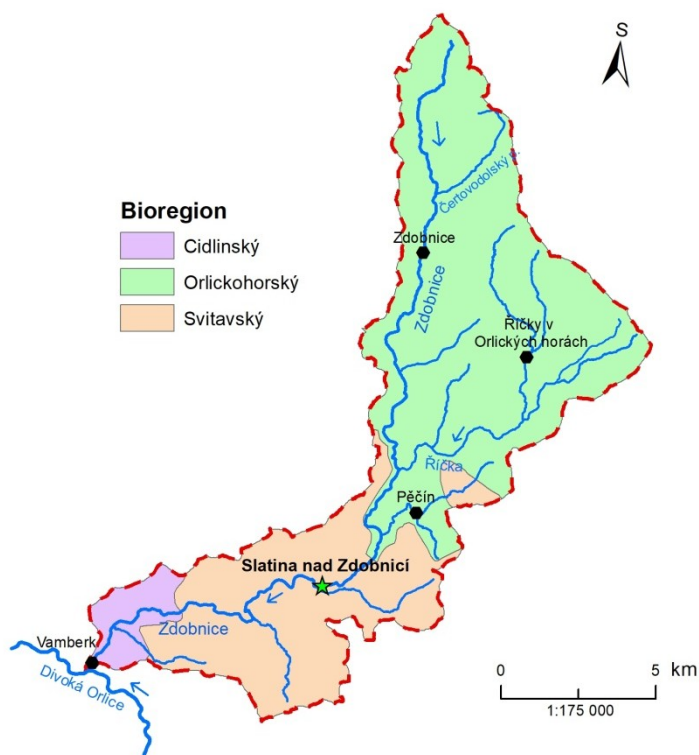
#### 4.4 Biogeografické poměry

Zdobnické povodí leží v území provincie středoevropských listnatých lesů, hercýnské podprovincii, která je na tomto území dále členěna na 3 bioregiony – orlickohorský, svitavský a cidlinský (Obr. 10).

Přirozenou vegetací pro orlicko-horský bioregion byly na většině plochy květnaté bučiny, bučiny podhorského a horského typu a místy i smrčiny. Podle toků byla zastoupena vegetace niv. Největší změna přirozené vegetace nastala v 16. století, kdy docházelo k intenzivnímu kácení původních lesů. K vysázení nových lesních porostů docházelo pouze za účelem místní spotřeby, a tak se na území nacházely rozsáhle bezlesé enklávy. K intenzivnímu vysazování lesů došlo na počátku 19. století, kdy byl vysazován převážně smrk ztepilý, nepůvodní smrk pichlavý a borovice kleč. V 80. letech 20. století došlo vlivem škůdců a imisí k rozpadu smrčin a vzniku holin. Současná plocha bioregionu je téměř ze 40 % zalesněna jehličnatými lesy a z 13 % listnatými lesy. Zbytek regionu zaujímají travní porosty 20 % a zemědělská půda 27 % (Culek et al. 2013).

Dalším regionem je Svitavský bioregion. Podle Culeka et al. (2013) tvoří tento region předěl mezi chladnějším pásmem Orlických hor a ostatními bioregiony teplejších poloh. Svou vegetací odpovídá 3. dubovo-bukovému, či 4. bukovému stupni. Na většině plochy tohoto regionu ovšem převažuje orná půda – 55 % území. Zalesněno je téměř 30 % plochy, z toho 25 % tvoří jehličnaté lesy (kulturní smrčiny a borovice).

Cidlinský region zasahuje do plochy povodí pouze okrajově. Jedná se o bioregion, který se rozléhá na české křídové tabuli. Nejvíce je zde zastoupena orná půda (až 72 %), místy se vyskytují lesy (14 %) - převážně kulturní smrčiny a duby a zastoupeny jsou hojněji i vodní plochy a vlhké louky (Culek et al. 2013).



**Obr. 10:** Bioregiony v povodí Zdobnice, zdroj: ArcČR, DIBAVOD, vlastní zpracování

#### 4.5 Klimatické poměry

Zkoumané povodí lze dle Köppenovy klasifikace zařadit do kategorií Dfc (subpolární podnebí) v pramenné oblasti, Dfb (vlhké kontinentální podnebí s teplým létem) v horní a střední části povodí a Cfb (mírné oceánské podnebí) ve spodní části povodí (Tolasz a Baštýřová 2007). Moravec a Votýpka (1998) charakterizují region jako chladný a vlhký, či mírně chladný a vlhký (v závislosti na nadmořské výšce). Průměrné teploty se v pramenné oblasti pohybují okolo 4 °C. Nejchladnějším měsícem je leden s průměrnou

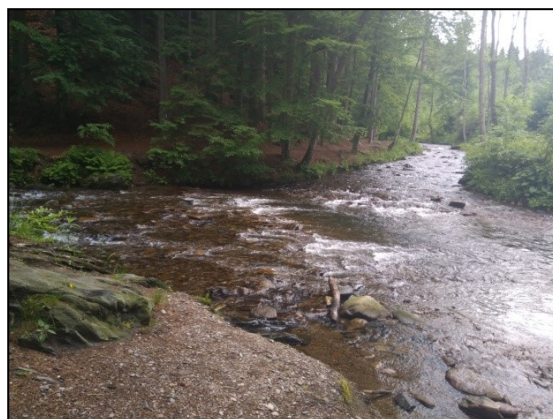
teplotou  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$  a nejteplejším červem s průměrem až  $13\text{ }^{\circ}\text{C}$ . S klesající nadmořskou výškou je teplota vyšší, ve střední části toku se roční průměr teplot pohybuje mezi  $7 - 9\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Srážky se v nižších polohách pohybují mezi  $700 - 800\text{ mm}$  ročně, ve vyšších polohách dosahují  $1000 - 1100\text{ mm}$ . Nejvyšší měsíční průměry srážek jsou v červenci a srpnu. Další měsíce bohaté na srážkové úhrny jsou listopad a prosinec – v těchto měsících je největší počet srážkových dní, jejich intenzita ovšem není tak veliká jako v letních měsících (CHKO Orlické hory 2019).

#### 4.6 Hydrologické poměry

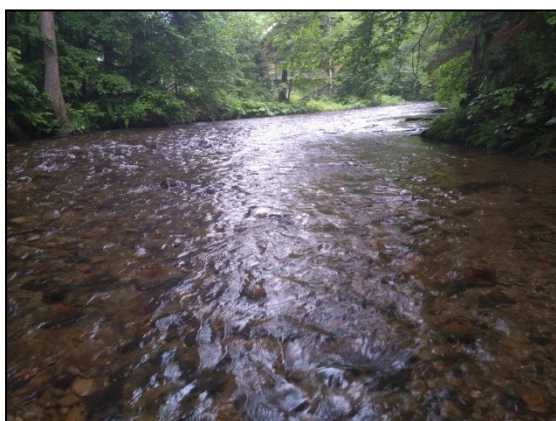
V průběhu toku se do Zdobnice vlévá několik, většinou levostranných, přítoků. Největšími přítoky je Čertovodský potok, nacházející se v horní části toku, a poté řeka Říčka (Obr. 11, Obr. 12), která se vlévá do střední části toku Zdobnice.



**Obr. 11:** Přítok Říčky do Zdobnice, zdroj: vlastní foto



**Obr. 12:** Soutok Zdobnice s Říčkou, zdroj: vlastní foto

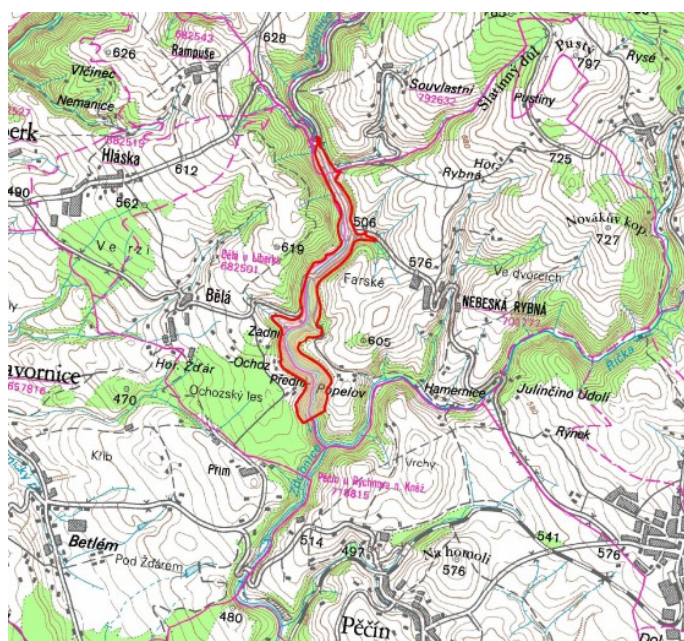


**Obr. 13:** Zdobnice v obci Slatina nad Zdobnicí, zdroj: vlastní foto



**Obr. 14:** Zdobnice pod obcí Slatina nad Zdobnicí, zdroj: vlastní foto

Dalšími významnými přítoky jsou například Rybénský, Slatinský, či Pečinský potok. Průběh toku je divoký a řeka v lesnatém prostředí vytváří hluboké koryto. Horní část (téměř až po soutok s Říčkou) patří do území CHKO Orlické hory a koryto řeky je antropogenně ovlivněno jen velmi málo (CHKO Orlické hory 2019). Od soutoku s Říčkou se lze setkat s menšími, avšak nikoliv výraznými antropogenními zásahy do koryta řeky (Obr. 13, Obr. 14). Úplně největší změna toku Zdobnice by mohla nastat při plánované výstavbě vodní nádrže Pečín. Místo výstavby je přibližně 450 m nad soutokem s řekou Říčkou, zde se plánuje zatopení údolí o velikosti 82 ha (Obr. 15). Tato výstavba je v pokročilém stádiu příprav, v současné době jsou ovšem tyto přípravy pozastaveny s odkazem pro nedostatečnou podporu tohoto projektu. Výstavba vzbuzuje střet zájmů s ochránci přírody. Na místě výstavby se nachází přírodně cenné ekosystémy, ve kterých se vyskytuje mnoho chráněných druhů. Dalším důvodem je



**Obr. 15:** Zátopové území VN Pečín severně od obce Pečín (zdroj: Ministerstvo zemědělství, MŽP 2011)

samotný přirozený tok Zdobnice, který je takřka antropogenně neovlivněn a výstavba nádrže by charakter toku velmi pozměnila a přispěla by také k transformaci povodňového odtoku. Na druhou stranu by se jednalo o důležitou zásobárnu pitné vody v královéhradeckém kraji a přispěla by v „boji“ proti extrémnímu suchu posledních let (Ministerstvo zemědělství, MŽP 2011).

## 4.7 Nejvýznamnější povodně v povodí Zdobnice

Informací o historických povodních na Zdobnici se z historie příliš nedochovalo. Velmi často je potřeba pracovat s informacemi získanými při měření průtoků v hlásném profilu Slatina nad Zdobnicí, ze zpravodajských portálů, či zápisů o těchto událostech v jednotlivých obcích. Největší vodní stavy jsou zaznamenány k začátku 20. století, protože zmínky o starších povodních nebyly na tomto místě dochovány.

V obci Slatina nad Zdobnicí byla naměřena největší kulminační hodnota 30. 5. 1941 s dosaženou výškou hladiny 240 cm. Záznam o průběhu a následcích této povodně se pravděpodobně kvůli světové válce nedochoval.

Další významná povodeň z hlediska dosažené výšky hladiny (200 cm) nastala 9. 2. 1946. Podle dosažených dat dosáhla hodnota průtoků minimálně 55,8 m<sup>3</sup>/s (jedná se o průměrnou denní hodnotu, kulminační stav byl pravděpodobně mnohem vyšší). Třetí největší povodeň nastala o 2 roky později (14. 8. 1948), tehdejší maximální výška hladiny byla jen o 4 cm níže, než v roce 1946.

### 4.7.1 Povodeň v březnu 2000

Podobně extrémní povodeň se vyskytla ve Slatině nad Zdobnicí až o 52 let později. Jedna z největších povodní zde proběhla 9. 3. 2000. Příčinou této povodně byly vydatné srážky a vysoké teploty, které zapříčinily rychlé tání sněhové pokrývky. V období mezi 6. 3. a 13. 3. bylo v okolí 10 km od vrcholu Deštného (tedy v pramenné oblasti Zdobnice) naměřeno od 102 do 152 mm srážek a v nižších polohách okolo 70 mm. Od 7. 3. do 9. 3. dosahovaly teploty v nejvyšších polohách povodí až 5 °C, níže až 7 °C. Od 10. 3. do 13. 3. teploty poklesly, na horách se pohybovaly kolem 0 °C a níže okolo 2 °C (ČHMU 2000).

Podle ČHMU (2000) způsobily vysoké srážkové úhrny, poměrně veliká zásoba vody ve sněhové pokrývce (roztání sněhu mělo ekvivalent 100-150 mm vodní hodnoty) a rychlý vítr kritickou odtokovou situaci, která v povodí Zdobnice trvala 2-3 dny. Kulminační stav nastal v povodí Zdobnice 9. 3. 2000, s průtokem až 78,2 m<sup>3</sup>/s, což je nad mezí dvacetiletého průtoků.

### 4.7.2 Povodeň v únoru 2002

Jedná se o zimní povodeň, která předčila svou výškou hladiny povodňovou situaci z roku 2000. Jedná se o čtvrtou největší povodeň na Zdobnici. Únorové povodni na

našem území předcházely frontální systémy, které přinesly teplý oceánský vzduch. Na většině území bylo zataženo, či oblačno se srážkami, které byly i v horských oblastech dešťové. Nejvyšší srážkové úhrny byly naměřeny 10. 2. – 12. 2. (Povodí Labe 2002).

Průměrné teploty se podle Povodí Labe (2002) pohybovaly kolem 6-10 °C, na horách kolem 5-6 °C. Takto neobvykle vysoká teplota opět způsobila extrémní rozvodnění řek. Vlivem rychlého tání sněhové pokrývky, která v Orlických horách přesahovala výšku 1 m a za pomoci srážek došlo 12. 2. ke kulminaci s výškou hladiny 187 cm.

Při povodních byly celkové škody dle Povodí Labe (2002) vyčísleny na 8,54 milionů korun – z toho Povodí Labe 3,48 milionů korun, Zemědělská vodohospodářská správa 2,93 milionů korun, Lesy ČR 1,06 milionů korun a okresy 1,06 milionů korun.

#### **4.7.3 Povodeň v březnu 2006**

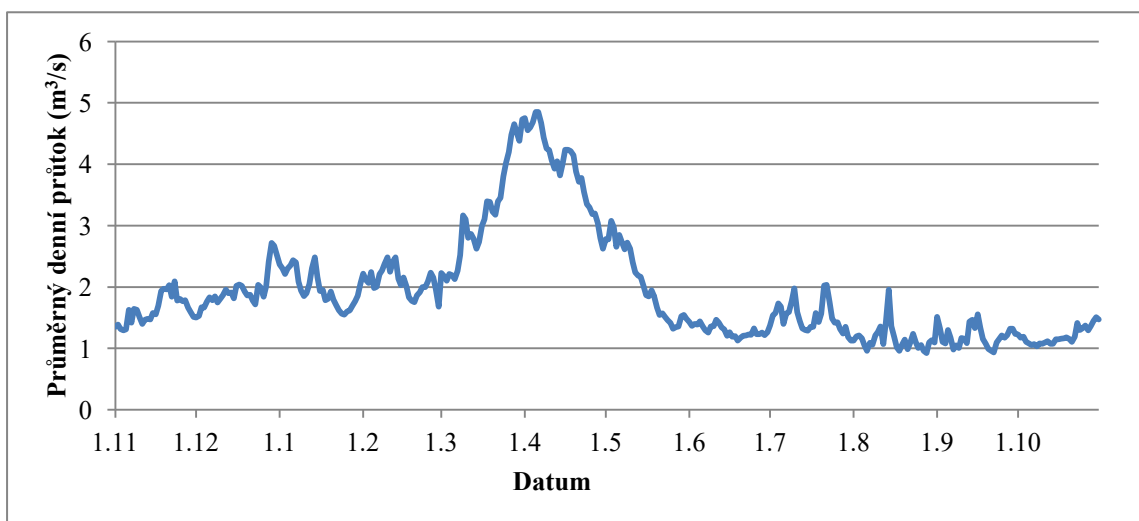
Jedná se o povodeň, která svým průběhem připomíná únorovou povodeň z roku 2002. Jednu z největších naměřených výšek hladiny na Zdobnici opět způsobilo tání sněhové pokrývky, které bylo doprovázeno kapalnými srážkami. Důležitým faktorem bylo množství sněhové pokrývky, které po vydatné zimě 2005/2006 tvořilo velikou zásobu vody v celém povodí (ČHMÚ 2006).

Dne 20. března započalo pozvolné tání sněhu, které způsobilo zvýšení průtoku řeky na úroveň 90denní vody. Vše se změnilo 25. března, kdy došlo k příchodu teplého a vlhkého vzduchu s přechodem front a za doprovodu kapalných srážek i v těch nejvyšších polohách. V období 25. 3. - 3. 4. spadlo v povodí Zdobnice mezi 60-80 mm srážek. Extrémní zvýšení průtoku nastalo 29. března a kulminační stav proběhl 31. března. Výška hladiny dosáhla až 148 cm (ČHMÚ 2006).

## 5. VÝSLEDKY

### 5.1 Režim a komponenty odtoku

Odtok z povodí Zdobnice lze charakterizovat jako niválně-pluviální (sněhovo-dešťový). Jelikož se lokalita nachází v horské oblasti, tak období maximálních průtoků nastává vlivem tající sněhové pokrývky na jaře.

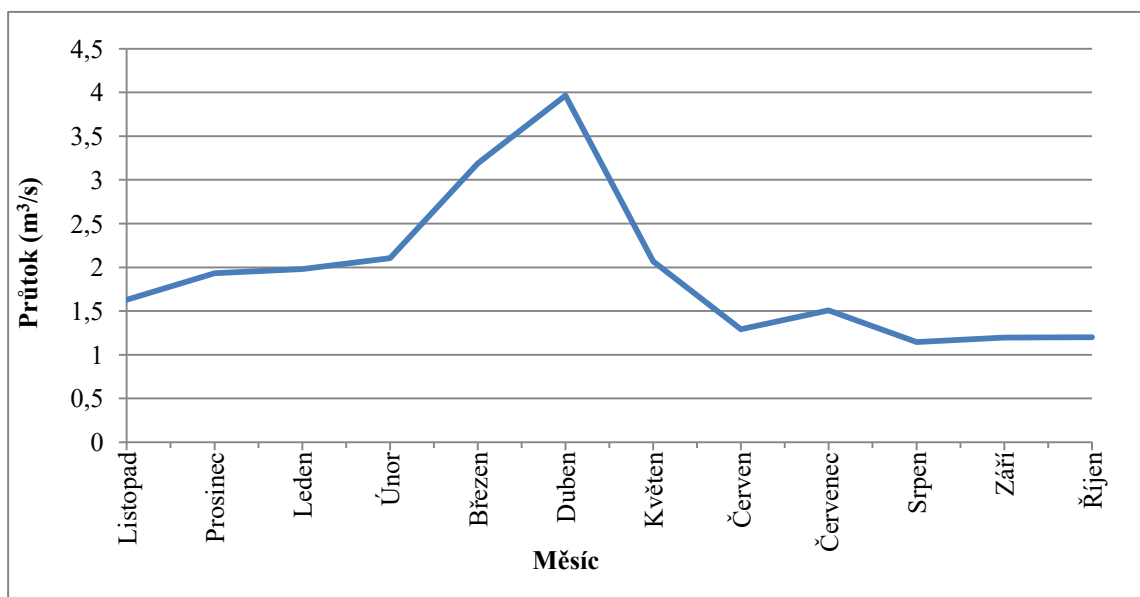


**Obr. 16:** Křivka průměrných denních průtoků v období 1945-2014, zdroj: vlastní zpracování

Největší průtoky na Zdobnici nastávají začátkem dubna (Obr. 16). Vlivem tající pokrývky se začínají průměrné průtoky zvyšovat již začátkem března. V první polovině dubna nastává vrchol průměrných denních průtoků s hodnotou  $4,85 \text{ m}^3/\text{s}$  a poté následuje pokles až do druhé poloviny května. Hodnoty průtoků jsou následně téměř vyrovnané, s menšími výkyvy. Nejmenší průměrná hodnota průtoků je dne 28. 8. s hodnotou  $0,92 \text{ m}^3/\text{s}$ . Začátkem září se začínají průměrné hodnoty průtoků opět zvyšovat.

Křivka měsíčních průtoků (Obr. 17) umožňuje interpretovat sezónní rozložení průtoků. Největší průtoky nastávají v jarních měsících, s vrcholem v dubnu a hodnotou průtoků  $3,96 \text{ m}^3/\text{s}$ . V únoru je průměrná hodnota průtoků  $2,10 \text{ m}^3/\text{s}$ , poté následuje až do dubna zvyšování průtoků a mezi dubnem a červnem snižování. V květnu je průměrná hodnota průtoků  $2,06 \text{ m}^3/\text{s}$ , což je blízké dlouhodobému průměru, který činí  $1,96 \text{ m}^3/\text{s}$ . Následná hodnota průtoků v červnu je  $1,29 \text{ m}^3/\text{s}$ , avšak nejmenší průměrný průtok nastává až v srpnu ( $1,14 \text{ m}^3/\text{s}$ ), do října poté hodnota nepatrně stoupá. Větší

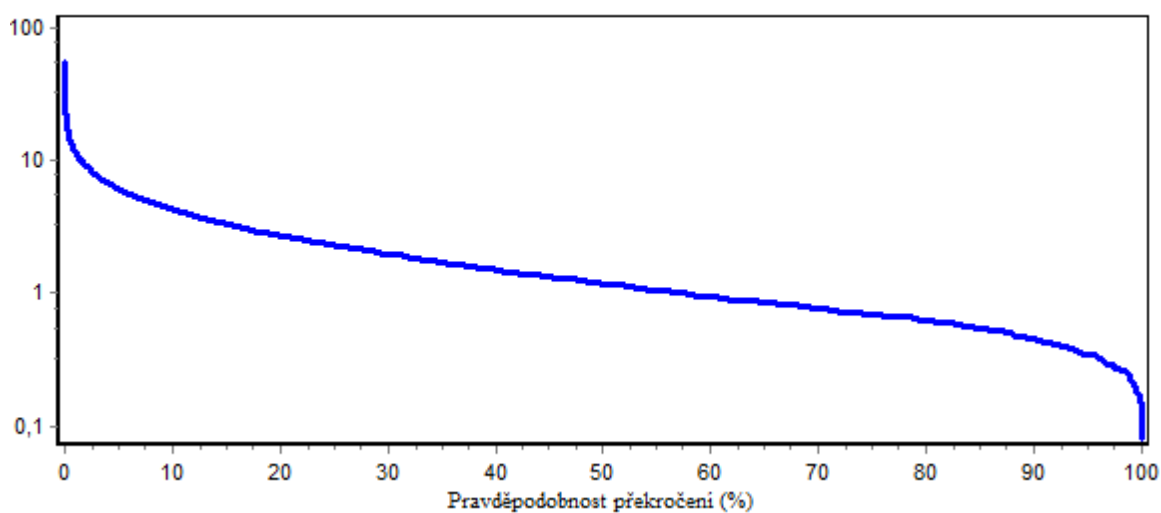
zvýšení hladin nastává od října do prosince, kdy se hodnota průtoku pohybuje blízko dlouhodobého průměru průtoku. Do února tato hodnota nadále nepatrně stoupá.



**Obr. 17:** Křivka průměrných měsíčních průtoků v období 1945-2014, zdroj: vlastní zpracování

### 5.1.1 Čára překročení a M-denní průtoky

Zásadním ukazatelem variability odtoku a statistického rozdělení jeho hodnot v rámci roku je čára překročení denních průtoků (Obr. 18).



**Obr. 18:** Čára pravděpodobnosti překročení průtoku v období 1945-2014, zdroj: vlastní zpracování



Z dat získaných v profilu Slatina nad Zdobnicí byla sestrojena čára překročení (Obr. 18). Pravděpodobnost je odvozena na základě dat denních průtoků. 100% pravděpodobnost překročení je určena pro hodnoty menší než je nejnižší naměřená hodnota průměrného denního průtoku – z použitých dat je to 0,08 m<sup>3</sup>/s (29. 9. 1999). Naopak nejmenší pravděpodobnost je u nejvyšší naměřené hodnoty - 55,8 m<sup>3</sup>/s (9. 2. 1946). 25% pravděpodobnost překročení je určena pro hodnotu průtoku 2,32 m<sup>3</sup>/s, 50% pravděpodobnost překročení pro hodnotu 1,18 m<sup>3</sup>/s a 75% pravděpodobnost pro hodnotu průtoku 0,69 m<sup>3</sup>/s.

Na základě distribuce hodnot pravděpodobnosti překročení jsou následně určeny tzv. M-denní průtoky (Tab. 2). Tento statistický ukazatel udává průměrný počet dní v roce, po který je dosažena nebo překročena určitá hodnota průtoku. Například průtok pro Q<sub>330</sub> je průměrně dosažen nebo překročen 330 dní v roce. M-denní průtoky pro Zdobnici v profilu Slatina nad Zdobnicí byly odvozeny ČHMÚ. Hodnota Q<sub>30</sub> odpovídá průtoku 4,72 m<sup>3</sup>/s, tato hodnota bývá překročena převážně v jarním období. Naopak za hranici pro velmi nízké průtoky lze považovat průtoky Q<sub>355</sub>, tedy hodnota průtoku 0,3 m<sup>3</sup>/s, která je průměrně překročena 355 dní v roce. Cokoliv pod touto hodnotou průtoku lze považovat za mimořádně nízký průtok. Tyto hodnoty většinou nastávají během léta a podzimu, zejména tedy v srpnu a v září.

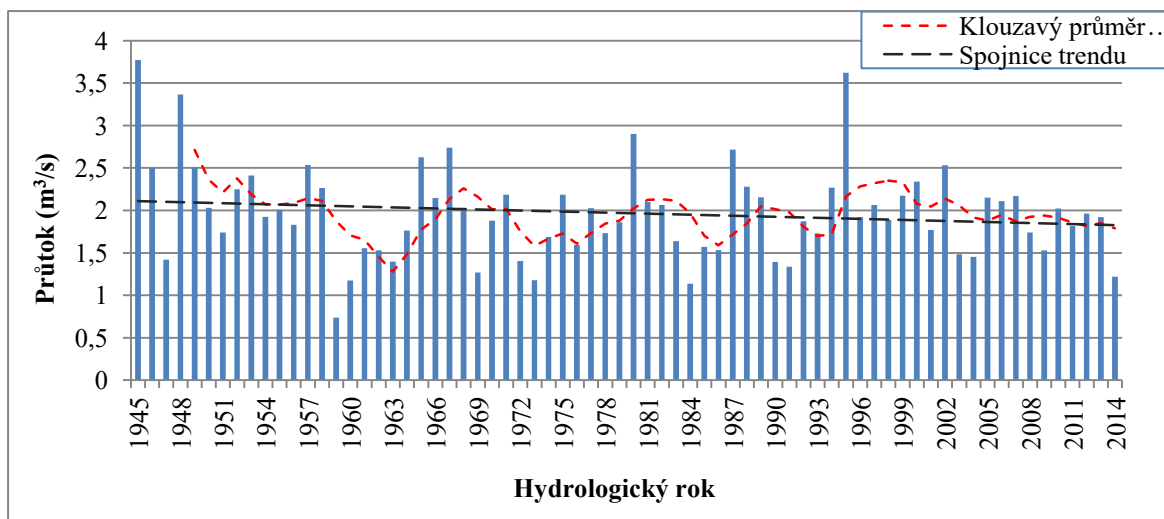
**Tabulka 2:** M-denní průtoky Zdobnice v profilu Slatina nad Zdobnicí

Q <sub>M</sub>	Q <sub>30</sub>	Q <sub>90</sub>	Q <sub>150</sub>	Q <sub>210</sub>	Q <sub>270</sub>	Q <sub>300</sub>	Q <sub>330</sub>	Q <sub>355</sub>	Q <sub>365</sub>
Průtok (m <sup>3</sup> /s)	4,72	2,39	1,48	1,02	0,72	0,59	0,45	0,3	0,17

*Zdroj: ČHMÚ*

### 5.1.2 Roční průtoky

Pro analýzu ročních průtoků byl sestrojen hydrogram (Obr. 19), zobrazující průměrné roční průtoky za sledované období. Graf ukazuje vodnost jednotlivých roků. Nejvíce vodným rokem byl rok 1945, kdy byla průměrná hodnota průtoku 3,77 m<sup>3</sup>/s. Další velice vodné byly roky 1948 s průměrem 3,36 m<sup>3</sup>/s a 1995 s průměrem 3,62 m<sup>3</sup>/s, zbylé roky již nepřesáhly hranici 3 m<sup>3</sup>/s. Naopak nejméně vodné byly roky 1984 (1,13 m<sup>3</sup>/s), 1973 (1,17 m<sup>3</sup>/s), 1960 (1,17 m<sup>3</sup>/s) a s extrémně nízkou hodnotou průměrného průtoku rok 1959 (0,73 m<sup>3</sup>/s) - jedná se jediný rok, kdy se průměrná hodnota průtoku dostala pod hranici 1 m<sup>3</sup>/s. Ke grafu byl přiřazen klouzavý průměr a křivka trendů, jež má klesající tendenci.

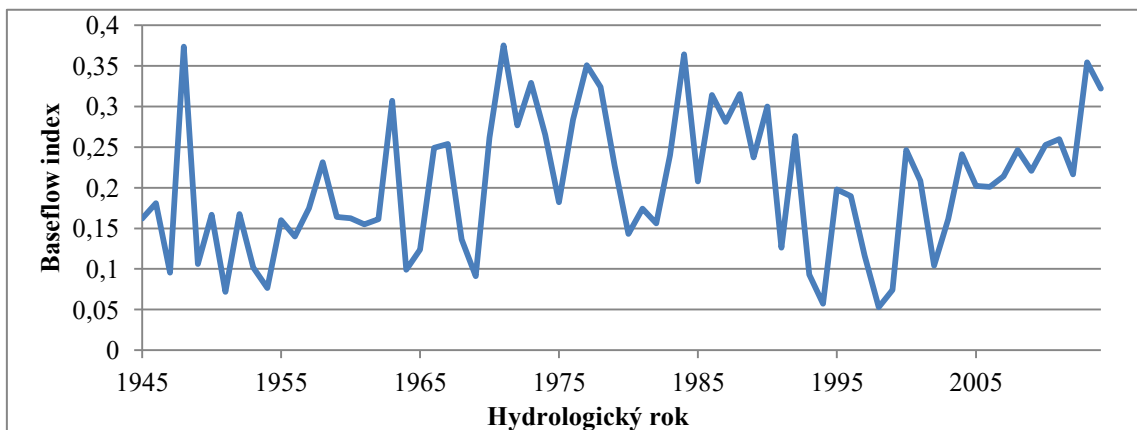


**Obr. 19:** Průměrné hodnoty ročních průtoků v období 1945-2014, zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 6 (viz příloha) obsahuje slovní ohodnocení vodního stavu pro každý rok ve sledovaném období. Ze 70 roků ve sledovaném období byl 7 roků přiřazen status „mimořádně vodný“, 21 roků „vodný“, 14 roků „průměrný“, 21 roků „málo vodný“ a 7 roků „mimořádně málo vodný“.

### 5.1.3 Baseflow index

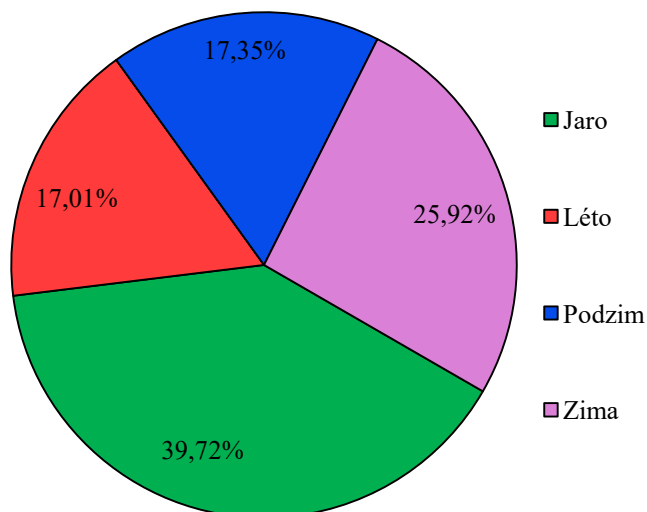
Křivka indexu základního odtoku (Obr. 20) se v průběhu sledovaného období velmi mění. Celé období lze rozdělit na tři části. V prvním období (od roku 1945 až do konce 60. let) se křivka pohybuje převážně mezi hodnotami 0,1 až 0,25. V druhém období (od 70. let do konce 80. let) je oproti prvnímu období patrný nárůst hodnot indexu. Křivka se pohybuje z veliké části mezi hodnotami 0,2 a 0,35. Třetí období je vymezeno výrazným poklesem křivky začátkem 90. let. Po velkém poklesu je od druhé poloviny 90. let naopak patrný postupný růst křivky.



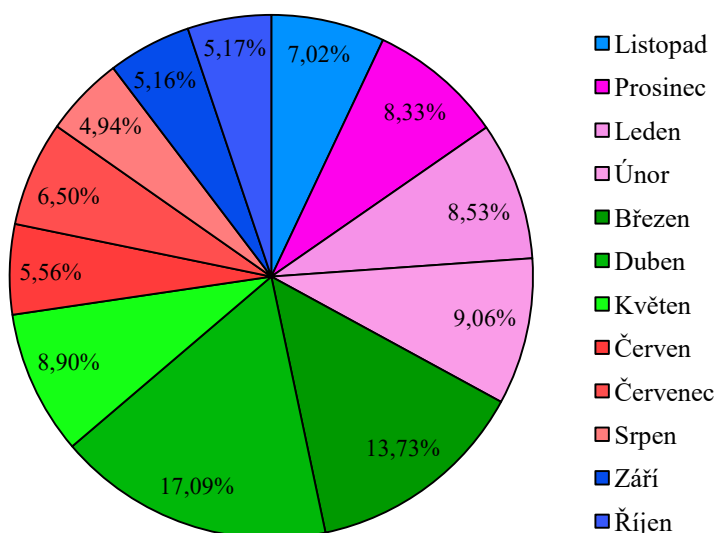
**Obr. 20:** Křivka baseflow indexu za období 1945-2014, zdroj: vlastní zpracování

### 5.1.4 Sezonalita odtoku

Pro lepší pochopení sezónního rozložení odtoku byly sestrojeny koláčové grafy. Jak již bylo zmíněno, tak největší odtoky nastávají v povodí Zdobnice na jaře (Obr. 21). V jarních měsících odteče průměrně 39,72 % ročního průtoku. Období s druhým největším procentuálním odtokem je zima (25,92 %). Léto a podzim mají podíl odtoku podobný (léto 17,01 %, podzim 17,35 %). Celkově tedy lze označit odtokový režim za mírně nevyrovnaný.



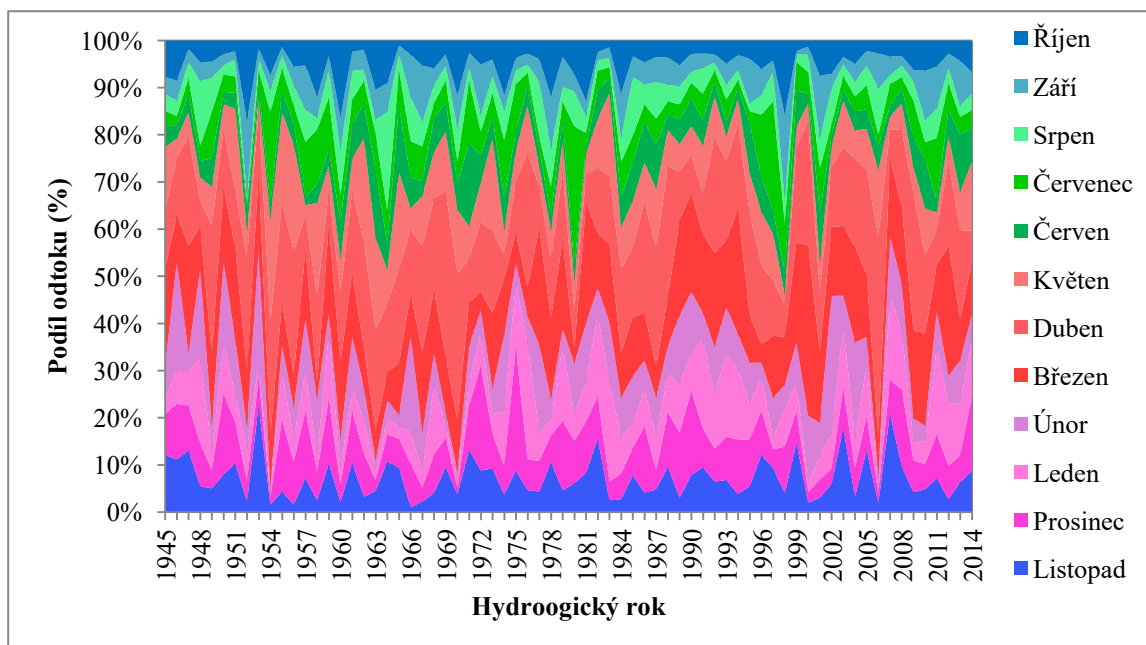
**Obr. 21:** Procentuální podíl průměrných průtoků ročních období zdroj: vlastní zpracování



**Obr. 22:** Procentuální podíl průměrných měsíčních průtoků, zdroj: vlastní zpracování

V jarním období mají největší podíly na průtoku duben (17,09 %) a březen (13,73 %). Tyto měsíce mají zároveň největší podíl na odtoku v celém roce (Obr. 22). Třetí největší podíl odtoku má květen (9,06 %). Nejmenší mají naopak měsíce srpen (4,94 %), září (5,16 %) a říjen (5,17 %).

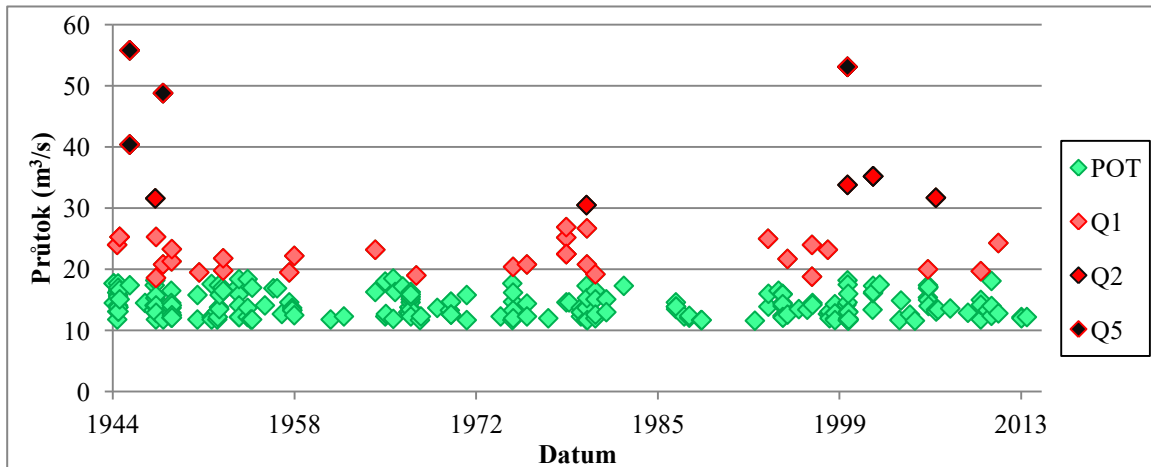
Procentuální podíl průměrných měsíčních průtoků se na celkovém odtoku mění každým rokem a závisí na mnoha faktorech, převážně na klimatických podmínkách. Obrázek 23 zobrazuje měsíční rozložení průtoků pro každý hydrologický rok ve sledovaném období. Graf je barevně rozdělen do 4 barev podle ročních období. U každé barvy jsou rozlišeny 3 odstíny pro jednotlivé měsíce. Lze si povšimnout relativně proměnlivých měsíčních podílů průtoků. V jarním období jsou ve Slatině nad Zdobnicí zaznamenány největší průtoky. Největší podíl měly na celkovém odtoku jarní měsíce v roce 2000 (66,2 %) a nejmenší podíl v roce 1980 (17,2 %). Léto má průměrný podíl odtoku 17,01 %, jeho hodnoty se ovšem ve sledovaném období také velmi měnily. Nejvíce se léto podílelo na odtoku v roce 1980 (40,3 %) a naopak nejméně roku 1994 (6,11 %). Na podzim je průměrný podíl odtoku také malý (17,35 %). Největší procento odtoku nastalo pro podzimní období v roce 1952 (35,32 %) a nejmenší v roce 2000 (4,96 %). Zima zaujímá po jaře druhý největší procentuální podíl odtoku (25,92 %) – ve sledovaném období největší v roce 1948 (46,08 %) a nejmenší 1954 (3,94 %).



**Obr. 23:** Podíl průměrných měsíčních průtoků v období 1945-2014 , zdroj: vlastní zpracování

## 5.2 Vysoké průtoky

V průběhu sledovaného období se ve Slatině nad Zdobnicí vyskytlo několik povodňových událostí a zároveň mnoho událostí, kdy byly průtoky vlivem sucha velmi nízké. Zelené body v následujícím grafu (Obr. 24) zastupují hodnoty, které přesáhly určenou prahovou hodnotu POT (11,6 m<sup>3</sup>/s), definovanou metodou největších průtoků (kap. 2.2.5). Růžové body zobrazují hodnotu jednoleté povodňové události, která je podle dat ČHMÚ rovna hodnotě průtoků 18,6 m<sup>3</sup>/s. Červené body ukazují dny s hodnotou průtoků dvouletých povodní (27 m<sup>3</sup>/s). Pětileté povodňové průtoky jsou zobrazeny červenou barvou – hodnota Q<sub>5</sub> je rovna 41,8 m<sup>3</sup>/s. Celkově se v grafu nachází 251 bodů, z toho 4 hodnoty přesahují hodnotu pětiletého průtoků. Lze si povšimnout, že 3 ze 4 se nachází na začátku sledovaného období. Dva body ovšem patří ke stejné povodňové události z února roku 1946. Další z těchto extrémních průtoků nastal v srpnu 1948 a poslední v březnu roku 2000. Za sledované období se dále vyskytlo 6 dnů, které přesáhly hodnotu dvouletých průtoků a zároveň nepřesáhly hranici pětiletých průtoků. Jednoletých průtoků nastalo 32 a průtoků, které přesáhly nastavenou prahovou hodnotou 11,6 m<sup>3</sup>/s nastalo 209.

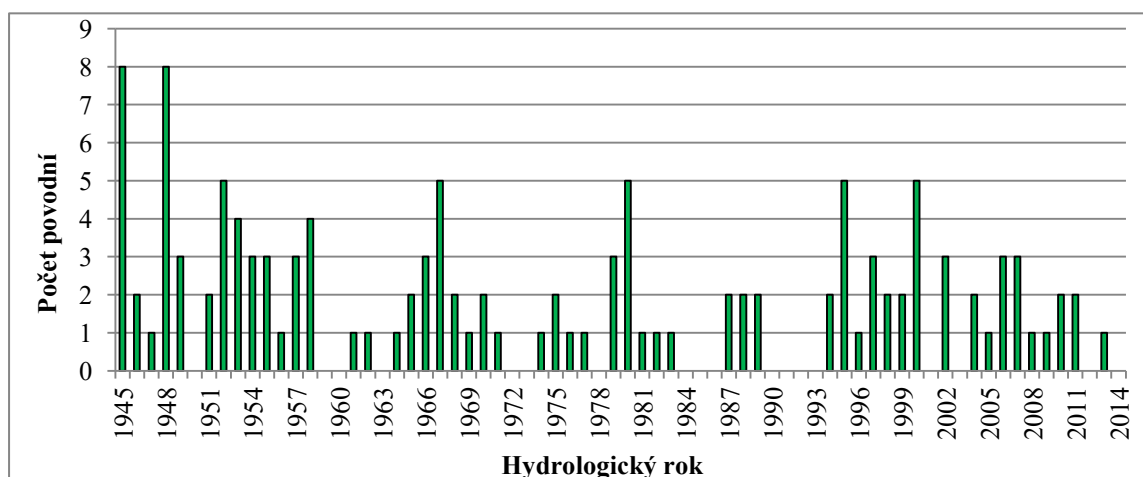


**Obr. 24:** Vysoké průtoky v profilu Slatina nad Zdobnicí v období 1945-2014, zdroj: vlastní zpracování

Z frekvence zvýšených průtoků, které přesáhly ve sledovaném období hranici 11,6 m<sup>3</sup>/s (Obr. 25), je patrné, že rozložení těchto událostí není v celém období stejné. Na začátku období si lze povšimnout, že dva roky (1945 a 1948) se dostávají na hranici 8 událostí za rok (1 povodeň je chápána, jako jedna povodňová vlna), což o mnoho převyšuje zbytek událostí z pozorovaného období. Druhou nejvyšší frekvencí výskytu je

pět zvýšených průtoků za rok, kterou dosáhly roky 1951, 1967, 1980, 1996 a 2000. Podle frekvence lze graf rozdělit do více období. Z grafu je patrné, že na začátku sledovaného období je výskyt těchto událostí větší než po zbytek období. Jen mezi lety 1945-1958 se vyskytlo 47 zvýšených průtoků, v období 1960-1989 se vyskytlo 45 těchto událostí a mezi roky 1994-2014 jich bylo zaznamenáno 39. Pokud by graf byl rozdělen pouze do dvou období 1945-1969 a 1970-2014 (viz kap. 5.4), tak by frekvence v prvním období byla 63 a ve druhém 64. Jelikož období nejsou stejně dlouhá, tak byl počet těchto událostí vztážen na roky. Výsledná hodnota pro první období jsou 3 pulzy zvýšených průtoků za rok a pro druhé období 2 za rok.

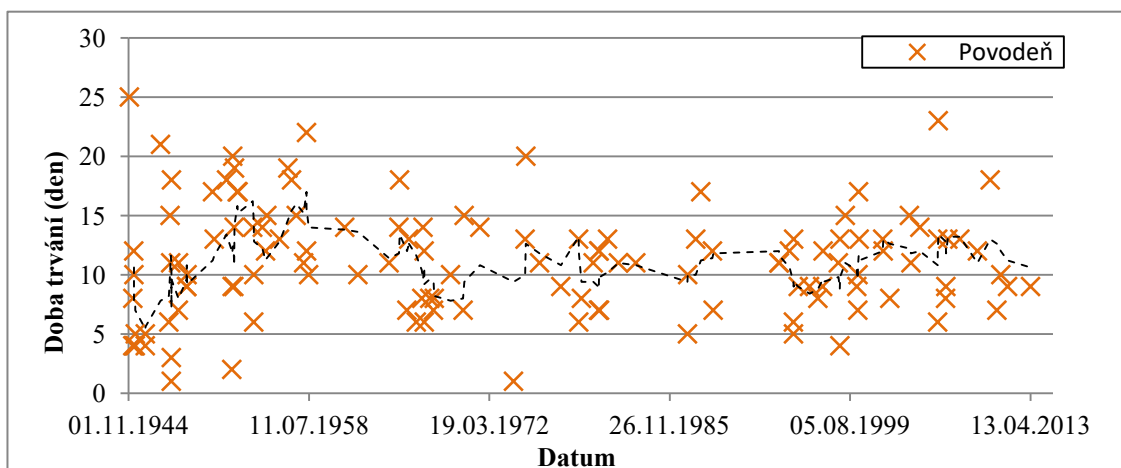
Opačným jevem jsou roky, ve kterých zvýšené průtoky, překračující uvedenou hranici, nebyly vůbec zaznamenány. Nejdélší doba, kdy průtok nepřesáhl prahovou hodnotu  $11,6 \text{ m}^3/\text{s}$ , bylo čtyřleté období v letech 1990-1993. Druhým nejdélším je tříleté období v letech 1984-1986. Ve zbytku monitorovaného období nastaly dvě dvouleté a šest jednoletých období bez povodní.



**Obr. 25:** Frekvence povodní v období 1945-2015, zdroj: vlastní zpracování

U povodňových událostí je důležitý zisk informace nejen o frekvencích výskytu, ale především o jejich délce trvání (trvání povodňových vln je počítáno od začátku zdvihu hladiny po návratu k normálu). Pro tyto účely byl sestaven graf, na kterém vynesené body znázorňují jednotlivé události vysokých průtoků, přesahující prahovou hodnotu průtoků  $11,6 \text{ m}^3/\text{s}$ . Graf je také proložen křivkou trendů, která je charakterizována jako pětiletý klouzavý průměr. Nejdélší události nastaly v listopadu 1944 s délkou 25 a v dubnu 2006 s délkou 23 dní (Obr. 26). Poté se naopak vyskytlo několik bleskových pulzů vysokých průtoků s délkou trvání 1-3 dny. Velmi důležitá je

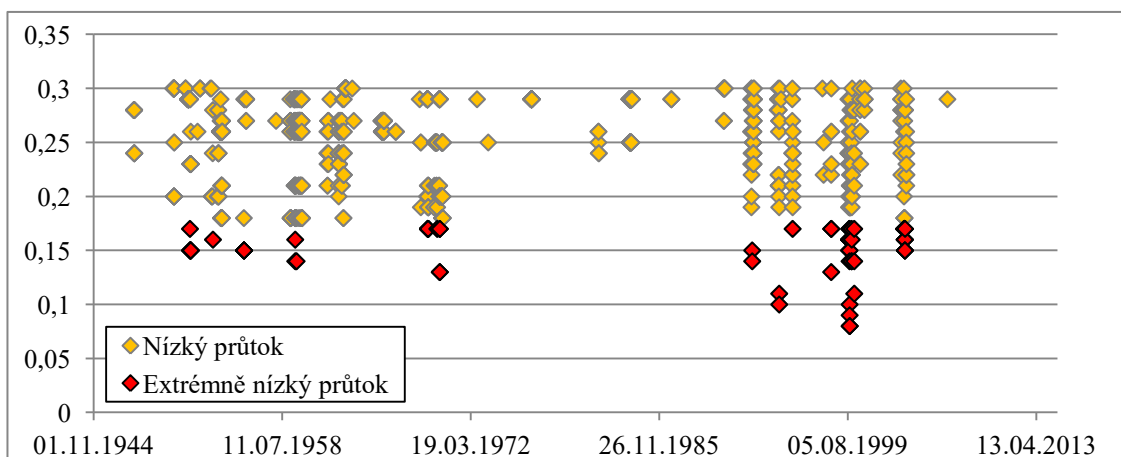
ovšem křivka trendu. Při rozdělení na dvě části (1945-1969 a 1970-2014) lze zpozorovat mírně odlišný vývoj v těchto obdobích. Na začátku prvního období měly zvýšené průtoky menší dobu trvání. Až do konce 50. let se doba trvání vln vysokých průtoků mírně zvyšovala (nejvyšší hodnotou je 17 dní). Od 60. let se až do konce prvního období začala doba trvání naopak snižovat. V druhém období má křivka oproti prvnímu stálejší vývoj a příliš se nemění. Doba trvání v druhém období se pohybuje okolo 11 dní.



**Obr. 26:** Doba trvání zvýšených průtoků v období 1945-2015, zdroj: vlastní zpracování

### 5.3 Nízké průtoky

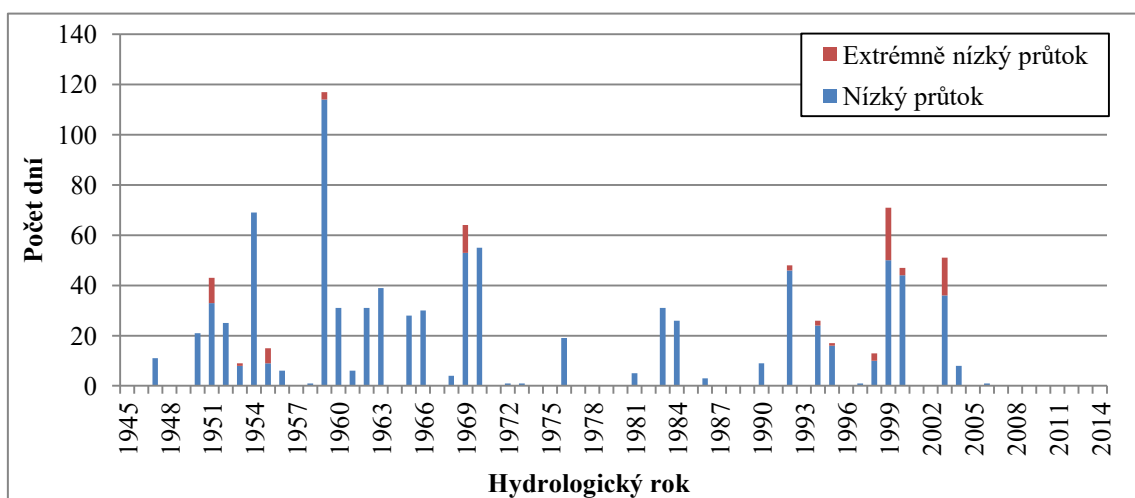
V povodí Zdobnice se vyskytuje řada období nízkých průtoků (Obr. 27). Jako prahové hodnoty pro nízké průtoky byly uvažovány hodnoty, které se nachází pod hranicí M-denních průtoků  $Q_{355}$  ( $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$ ) a pro extrémně nízké průtoky pak  $Q_{365}$  ( $0,17 \text{ m}^3/\text{s}$ ).



**Obr. 27:** Nízké průtoky v profilu Slatina nad Zdobnicí v období 1945-2014, zdroj: vlastní zpracování

Celkově se ve zkoumaném období vyskytlo 78 dní s extrémně nízkými průtoky (menší nebo rovné  $0,17 \text{ m}^3/\text{s}$ ) a 825 dní s nízkými průtoky (menší nebo rovné  $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$  – zároveň větší než  $0,17 \text{ m}^3/\text{s}$ ). V obdobích mezi lety 1950-1970 a 1990-2003 nastalo několik období nízkých průtoků. Mezi lety 1970-1990 naopak těchto událostí nebylo příliš. Poslední den s hodnotou průtoku menší než  $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$  je 4. 11. 2006, od té doby se až do konce sledovaného období nedostala hodnota průtoku pod tuto mez.

Nejdelší období nízkých průtoků bylo mezi lety 1950 a 1970 (Obr. 28). V tomto období nastalo 563 dní s nízkým průtokem ( $Q < 0,3 \text{ m}^3/\text{s}$ ) a 31 s extrémně nízkým průtokem ( $Q < 0,17 \text{ m}^3/\text{s}$ ). V druhém zmíněném období (1990-2003) nastalo 236 dní s nízkým průtokem a 47 s extrémně nízkým průtokem. Po rozdělení grafu na dvě období (viz kap. 5.4) je zřejmé, že počet dní s nízkými průtoky je v prvním období o mnoho větší než ve druhém. Zároveň se zde nízké průtoky vyskytují téměř v každém roce. Ve druhém období je nízkých průtoků méně, lze ovšem zaznamenat více extrémně nízkých průtoků. Od roku 2003 se v povodí nízké průtoky téměř nevyskytly.



**Obr. 28:** Počet dní s nízkými a extrémně nízkými průtoky v období 1945-2014, zdroj: vlastní zpracování

#### 5.4 Test homogenity a bod změny

K určení bodu změny odtoku byly použity dva statistické testy, které slouží k ověření homogenity dat a nalezení bodu (roku) změny. Pro tyto účely posloužily Pettitův test a Buishandův test (Tab. 3), které byly otestovány na datech průměrných měsíčních průtoků, podílu a průměrných průtoků ročních období a baseflow indexu.



Tabulka 3: Pettitův a Buishandův test homogenity

Období	Buishandův test			Pettitův test		
	P hodnota	Výsledek	Rok změny	P hodnota	Výsledek	Rok změny
Leden	0,070	H <sub>0</sub>	1973	0,905	H <sub>0</sub>	1973
Únor	0,159	H <sub>0</sub>	1953	0,824	H <sub>0</sub>	1953
Březen	0,220	H <sub>0</sub>	1988	<b>0,020</b>	<b>Ha</b>	<b>1988</b>
Duben	0,795	H <sub>0</sub>	1970	0,902	H <sub>0</sub>	1970
Květen	<b>0,027</b>	<b>Ha</b>	<b>1970</b>	0,324	H <sub>0</sub>	1997
Červen	0,699	H <sub>0</sub>	1960	0,643	H <sub>0</sub>	1959
Červenec	0,601	H <sub>0</sub>	1980	0,502	H <sub>0</sub>	1975
Srpen	0,464	H <sub>0</sub>	1987	0,382	H <sub>0</sub>	1989
Září	0,922	H <sub>0</sub>	1994	0,929	H <sub>0</sub>	2009
Říjen	0,220	H <sub>0</sub>	1981	0,587	H <sub>0</sub>	1981
Listopad	0,181	H <sub>0</sub>	1953	<b>0,004</b>	<b>Ha</b>	<b>1953</b>
Prosinec	0,418	H <sub>0</sub>	1996	0,392	H <sub>0</sub>	1996
Jaro (průtok)	0,814	H <sub>0</sub>	1986	0,764	H <sub>0</sub>	1958
Léto (průtok)	0,539	H <sub>0</sub>	1980	0,409	H <sub>0</sub>	1986
Podzim (průtok)	0,611	H <sub>0</sub>	1953	0,226	H <sub>0</sub>	1971
Zima (průtok)	0,504	H <sub>0</sub>	1953	0,547	H <sub>0</sub>	1980
Jaro (podíl)	0,801	H <sub>0</sub>	1970	0,650	H <sub>0</sub>	1970
Léto (podíl)	0,438	H <sub>0</sub>	1994	0,907	H <sub>0</sub>	1970
Podzim (podíl)	0,985	H <sub>0</sub>	1971	0,053	H <sub>0</sub>	1980
Zima (podíl)	0,312	H <sub>0</sub>	1973	0,583	H <sub>0</sub>	1994
Baseflow index	<b>0,029</b>	<b>Ha</b>	<b>1969</b>	<b>0,027</b>	<b>Ha</b>	<b>1969</b>

Zdroj: vlastní zpracování

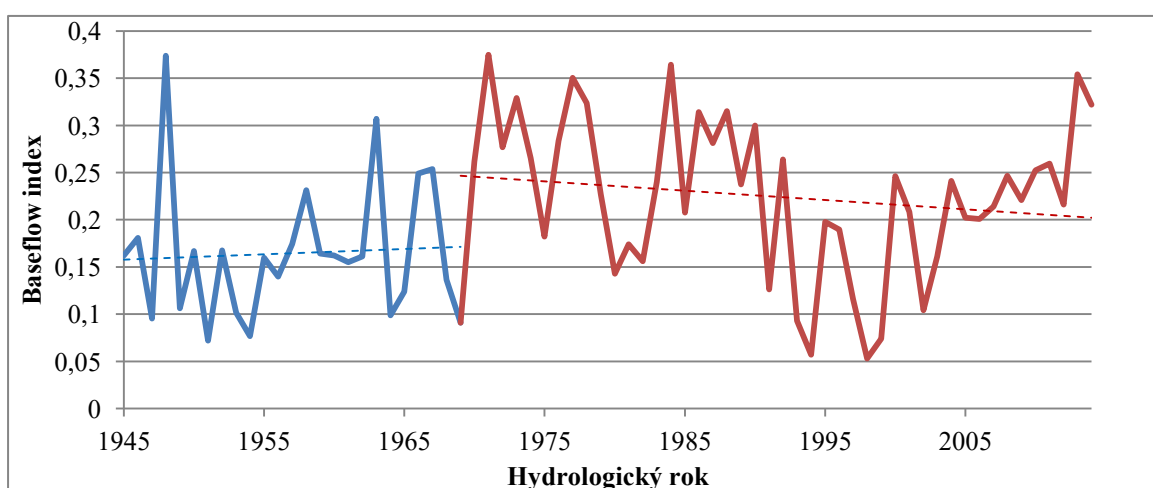
Celkem bylo provedeno 52 testů na 95 % hladině intervalu spolehlivosti. U testů byla ověřována hypotéza H<sub>0</sub>, která tvrdí, že data jsou homogenní. P-hodnota uvádí pravděpodobnost, s kterou lze přijmout hypotézu H<sub>0</sub>. Pokud je P-hodnota menší než 0,05, tak lze odmítnout hypotézu H<sub>0</sub> a přijmout hypotézu Ha (datová řada je nehomogenní).

Buishandův test odhalil nehomogenitu měsíčních průtoků pouze v jednom případě (v květnu), s P-hodnotou 0,027, tudíž lze zamítnout H<sub>0</sub> hypotézu. Chyba odmítnutí H<sub>0</sub> hypotézy může nastat s pravděpodobností 2,7 %. Datum změny byl určen pro rok 1970.

Pettitův test odhalil dva měsíce s nehomogenním průběhem – březen a listopad. P-hodnota pro březen je 0,02 (chyba může nastat s pravděpodobností 2 %) a rok změny

1988. V listopadu je P-hodnota 0,004 (chyba může nastat s pravděpodobností 0,4 %) a datum změny v roce 1953.

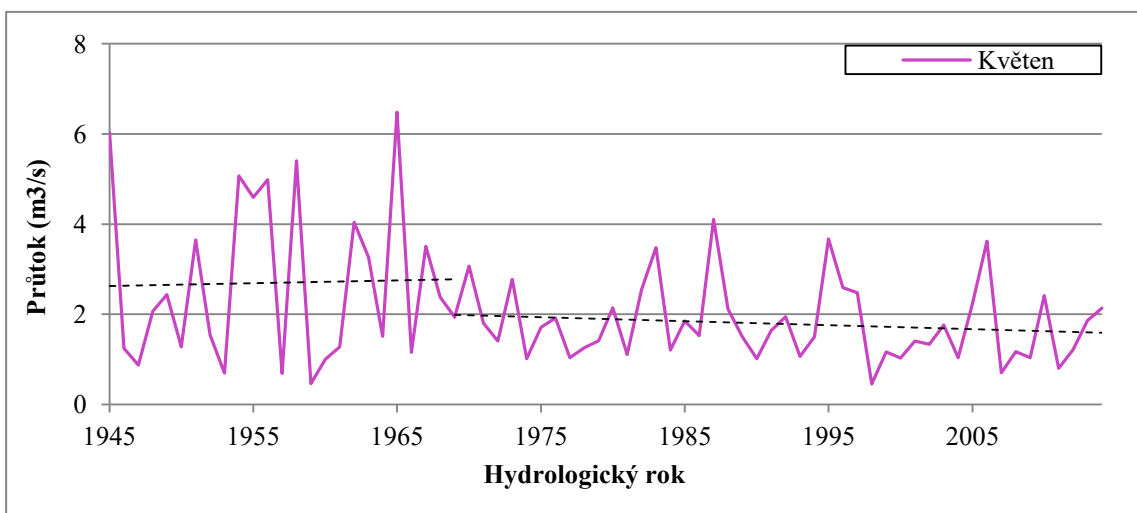
Pro roční období neodhalily testy nehomogenitu ani v případě průměrných průtoků, ani v procentuálních podílech na odtoku. Oba testy ovšem zároveň poukázaly na nehomogenitu datové řady pro baseflow index, u kterého vyšel dokonce stejný rok změny (1969). Obrázek 29 poukazuje rozdělenou křivku baseflow indexu do dvou období podle bodu změny, určeného pomocí výše uvedených testů na rok 1969. Pro obě období je určena čára lineární regrese. Bod změny, detekovaný testy homogenity, neseparuje období výrazného nárůstu hodnot BFI patrný koncem 90. let (viz kap. 5.1.3), ale odráží spíše dlouhodobou úroveň hodnot baseflow indexu.



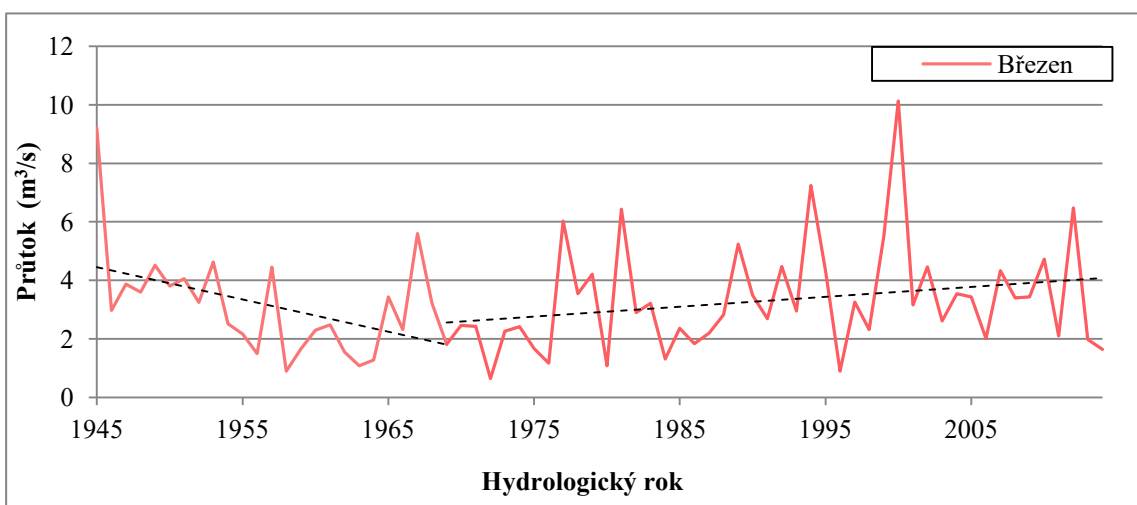
**Obr. 29:** Křivka baseflow indexu rozdělena na dvě období (1945-1969 a 1970-2014), zdroj: vlastní zpracování

Vypočtený bod změny je v práci dále použit na porovnání charakteristik odtoku předcházející a následující změně. S ohledem na výsledky testů byla datová řada rozdělena na období 1945-1969 a 1970-2014. Rozhodnutí nastalo převážně díky vyhodnocení homogenity dat baseflow indexu, u kterého oba testy zamítly hypotézu  $H_0$ , přijaly hypotézu  $H_a$  a určily stejný bod změny pro rok 1969. Zároveň bylo přihlédnuto k výsledkům testů měsíčních průtoků.

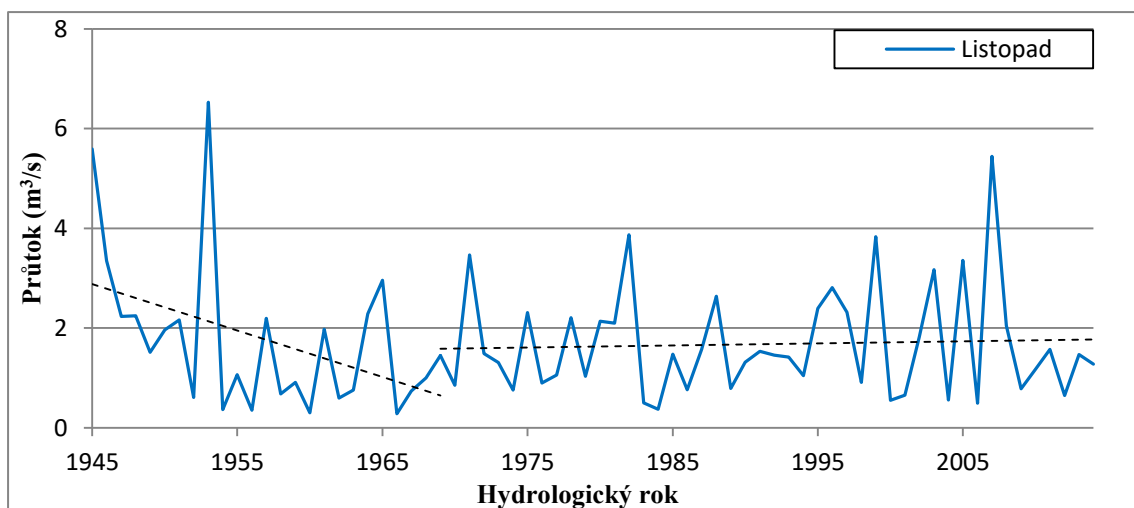
Z grafů lze vypožorovat, že se pro všechny tři měsíce v rozdělených období mění vývoj křivky spojnice trendů. V květnu (Obr. 30) má tato křivka v prvním období rostoucí tendenci a ve druhém období klesající tendenci. V březnu (Obr. 31) je patrný opačný trend, kdy v prvním období křivka klesá a v druhém období stoupá. V listopadu (Obr. 32) křivka nejprve prudce klesá a následně mírně stoupá. Prudký sklon křivky trendu prvního období listopadu je nejspíše zapříčiněn nadměrnými průtoky mezi lety 1945-1953, ve kterých se také čteně vyskytovaly povodně (proto byla pravděpodobně určena hodnota změny Pettitovým testem právě pro rok 1953). S ohledem na ostatní výsledky bylo přihlédnuto k určení bodu změny pro rok 1969.



**Obr. 30:** Průměrné květnové průtoky v období 1945-2014, zdroj: vlastní zpracování



**Obr. 31:** Průměrné březnové průtoky v období 1945-2014, zdroj: vlastní zpracování



**Obr. 32:** Průměrné listopadové průtoky v období 1945-2014, zdroj: vlastní zpracování

## 5.5 Sezonalita extrémních průtoků

Změna sezonality byla analyzována na základě rozdělení řady na dvě období - 1945–1969 a 1970–2014 (viz kap. 5.4). Celkem 248 dnů přesáhlo hranici průtoku 11,6 m<sup>3</sup>/s (kap. 2.2.5), z níž některé patří stejným povodňovým událostem. V případě, že bylo nalezeno více dní, patřících stejným povodňovým událostem, tak byla vybrána pouze kulminační hodnota těchto událostí. Po protřídění bylo nalezeno 127 hodnot, které byly použity pro analýzu změny sezonality.

### 5.5.1 Ellederova klasifikace

**Tabulka 4:** Rozdělení povodní podle kategorií navržených Ellederem

Kategorie	1945 - 1969	1970 – 2014
1. W <sub>DE</sub>	4	6
2. W <sub>JF</sub>	9	7
3. W <sub>F2</sub>	5	4
4. W <sub>M2</sub>	10	14
5. W <sub>AP</sub>	9	9
6. S <sub>MA</sub>	10	2
7. S <sub>JU</sub>	1	5
8. S <sub>JL</sub>	1	4
9. S <sub>AS</sub>	5	3
10. W <sub>ND</sub>	9	10

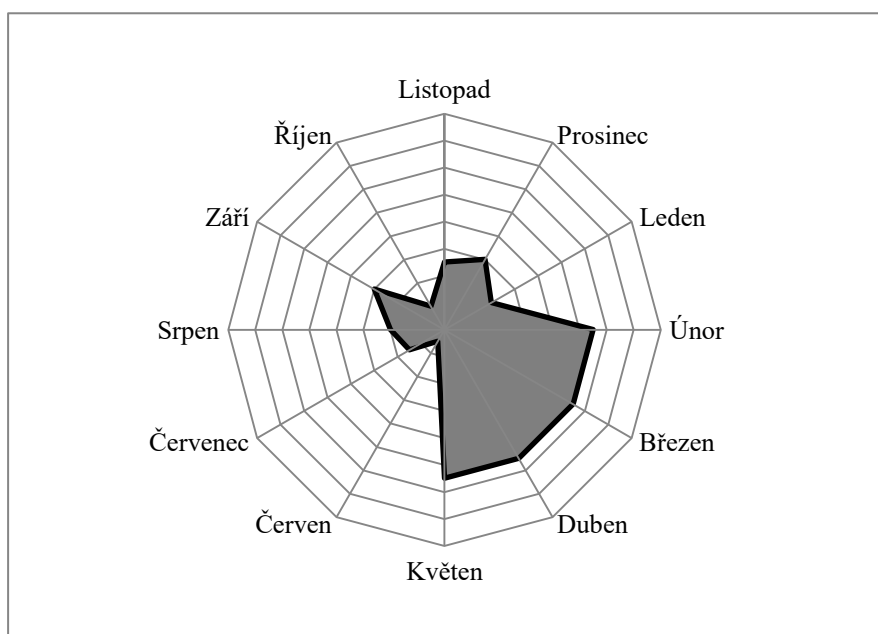
Zdroj: vlastní zpracování

V prvním období se vyskytlo celkem 63 událostí zvýšených průtoků (Tab. 4). Největší počet (29) byl mezi kategoriemi  $W_{M2}$  a  $W_{AP}$  (10. Březen – 6. červen), dále v období  $W_{JF}$  s 9 událostmi a nad očekávání v kategorii  $W_{ND}$  (9 událostí), která byla vytvořena ke klasifikaci od Elledera jako doplňující. Naopak úplně nejméně povodní (2) bylo v obdobích  $S_{JU}$  a  $S_{JL}$ , které odpovídají nejsušším částem roku.

Druhé období pokrývá celkem 64 vybraných povodní. Oproti prvnímu období si lze povšimnout několika zásadních změn. V kategorii  $W_{M2}$  se zvýšil počet povodní o 4 (na 14 událostí) a v  $S_{MA}$  (26. 5. – 9. 6.) se naopak snížil počet povodní o 8 (na 2 události). Další razantní rozdíly nastaly v letních obdobích (kategorie  $S_{JU}$  a  $S_{JL}$ ), ve kterých se zvýšil počet povodňových událostí z 2 na 9. Tyto povodně byly způsobeny především přívalovými srážkami. Ostatní období zaznamenala změnu 1–2 povodní, nebo se nezměnila.

### 5.5.2 Polární grafy a povodňový index

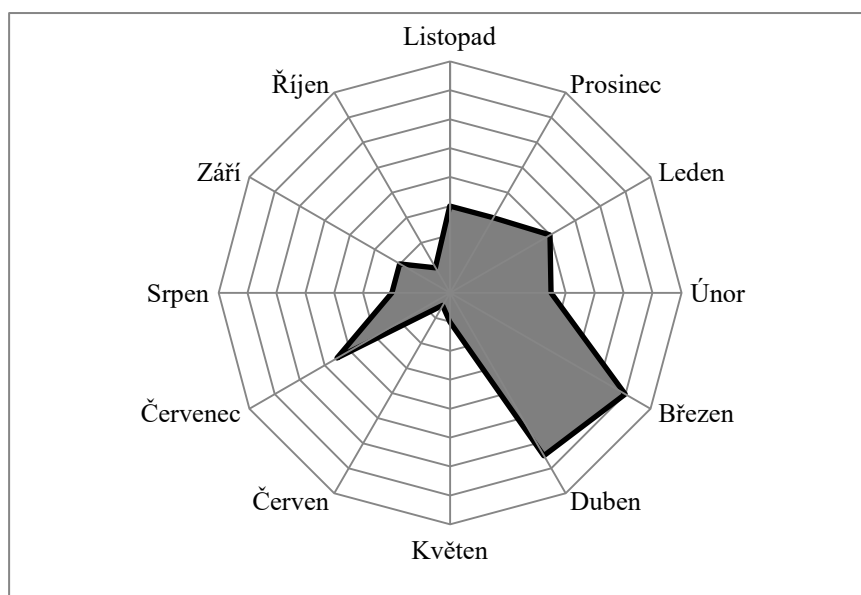
Polární grafy (Obr. 33, Obr. 34) slouží ještě k podrobnější klasifikaci a interpretují měsíční rozložení povodní v průběhu roku.



**Obr. 33:** Polární ruzice měsíčních povodňových frekvencí v období 1945-1969, zdroj: vlastní zpracování

V prvním období se nejvíce povodní vyskytlo v rozmezí únor-květen, kdy se v každém měsíci objevilo 10 povodní. Poté následuje prudký pokles frekvence,

v červnu se nevyskytla žádná povodeň a v červenci pouze dvě. Zvýšení výskytu povodní je nadále v září (5 povodní) a v prosinci (5 povodní).



**Obr. 34:** Polární růžice měsíčních povodňových frekvencí v období 1970-2014, zdroj: vlastní zpracování

Polární graf druhého období má dosti odlišný tvar. U nejfrekventovanějších měsíců z minulého období (únor-květen) došlo k zásadním změnám. V květnu klesl počet povodní z 10 na 1 a v únoru z 10 na 6, naopak v březnu se objevilo o 3 a v dubnu o 2 povodně více. Z toho může být patrné, že za pokles povodní v kategorii  $S_{MA}$  podle Elledera může převážně květen, který je v tomto období zahrnut celý. Další velká změna nastala v červenci, zde se jich oproti 2 povodním z prvního období vyskytlo 8. Patrná je i změna v lednu, kdy se zvýšil počet povodní z 3 na 7. Frekvence povodní u ostatních měsíců zůstala takřka nepozměněna.

**Tabulka 5:** Povodňové indexy v obdobích 1945-1969 a 1970-2014

Měsíc	Povodňový index 1945-1969	Povodňový index 1970-2014
Listopad	5,11	9,57
Prosinec	5,58	7,07
Leden	5,11	9,54
Únor	24,40	12,68
Březen	12,07	35,80
Duben	13,96	17,97
Květen	14,98	1,00
Červen	0,00	0,00
Červenec	2,54	12,12
Srpen	5,24	3,82

<b>Září</b>	6,48	3,36
<b>Říjen</b>	1,00	1,00

*Zdroj: vlastní zpracování*

Změna byla patrná i u indexu povodňového zatížení (Tab. 5), který nebere v úvahu pouze frekvenci, ale také extremitu jednotlivých povodní. Ačkoliv mají v prvním období měsíce únor-květen stejnou (zároveň z období největší) frekvenci výskytu povodní, tak je jejich povodňový index odlišný. Nejvyšší hodnotu má únor (24,40), poté květen (14,98), duben (13,96) a nakonec březen (12,07). Z toho lze usoudit, že největší extremita povodní nastávala v únoru a naopak nejmenší v březnu. V druhém období je změna indexu parná stejně jako změna frekvence povodňového výskytu. Od listopadu do ledna se hodnota indexu nepatrně zvýšila. V únoru naopak zaznamenala hodnota indexu snížení (12,68), díky menšímu výskytu povodní. Extrémní změna indexu nastala v březnu (z 12,07 na 35,80), způsobená byla nejen zvýšením frekvence výskytu povodní, ale především jejich extremitou. Takto vysoké zvýšení indexu způsobila pravděpodobně březnová povodeň v roce 2000 s extrémní hodnotou kulminačního průtoku (53,1 m<sup>3</sup>/s). Další zvýšení povodňového indexu nastalo v červenci (z 2,54 na 12,12) a naopak veliké snížení nastalo v květnu (14,98 na 1). V srpnu a září se index nepatrně snížil.

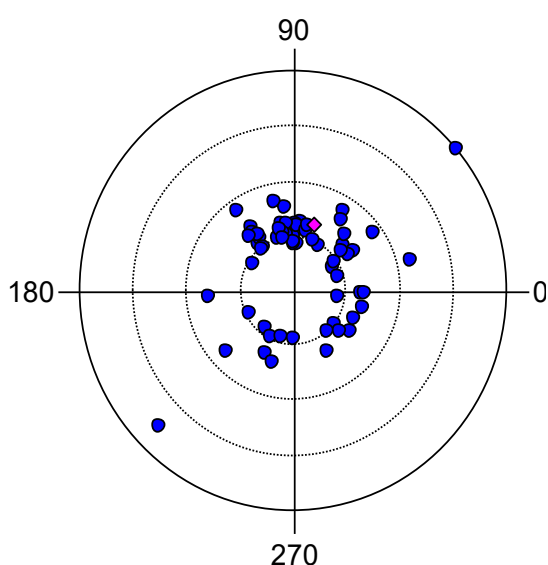
#### **5.5.4 Směrová statistika**

Směrová statistika (Obr. 35, Obr. 36) dobře ilustruje rozložení a extremitu povodní v roce s přesností určenou na dny. Modré body znázorňují jednotlivé povodně ve sledovaném období, růžový bod poté značí tzv. „mean day“ – průměrný den výskytu povodně s průměrnou kulminační hodnotou průtoku. Lze si povšimnout, že nejvíce frekventovaný úsek výskytu povodní je na začátku druhého kvartilu mezi dny 18. března až 9. května. Celkem se mezi těmito dny vyskytlo 27 povodní z celkových 63. V druhé polovině druhého kvartilu se povodně téměř nevyskytnuly. Po zbytek roku se povodně vyskytovaly takřka rovnoměrně.

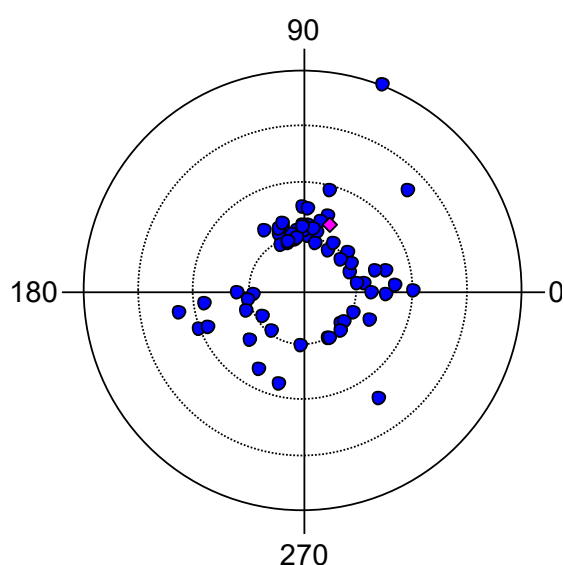
Ve druhém období byla také zaznamenána část roku se zvýšeným výskytem povodní (mezi 9. březnem a 3. květnem), ve kterém se z 64 povodní vyskytlo 26. Stejně tak, jako v prvním grafu, tak se ke konci druhého kvartilu povodně téměř neobjevují. Na začátku třetího kvartilu (mezi 2. červencem a 22. červencem) se ovšem oproti prvnímu období výskyt povodňových událostí dosti zvětšil. Zvýšená frekvence byla

zaznamenána i koncem prosince a začátkem ledna (mezi 7. prosincem – 20. lednem). Po zbytek roku není patrná výrazná změna frekvence.

Stěžejní pro tuto metodu je hodnota „mean day“ a míra rozptylu pro obě období. V prvním období byla hodnota MD určena na 74. pořadový den v roce, tedy 14. března. Ve druhém období byl průměrný den výskytu určen na 68. pořadový den (9. března). Míra rozptylu určuje rozptyl povodní během roku. V prvním období vyšla tato hodnota 0,38, ve druhém 0,32. Z hodnot vychází, že v prvním období byl výskyt povodní během roku rovnoměrnější než ve druhém období. Celkově lze ovšem označit výskyt povodní za spíše rovnoměrný.



**Obr. 35:** Směrová statistika pro povodně v období 1945-1969, zdroj: vlastní zpracování



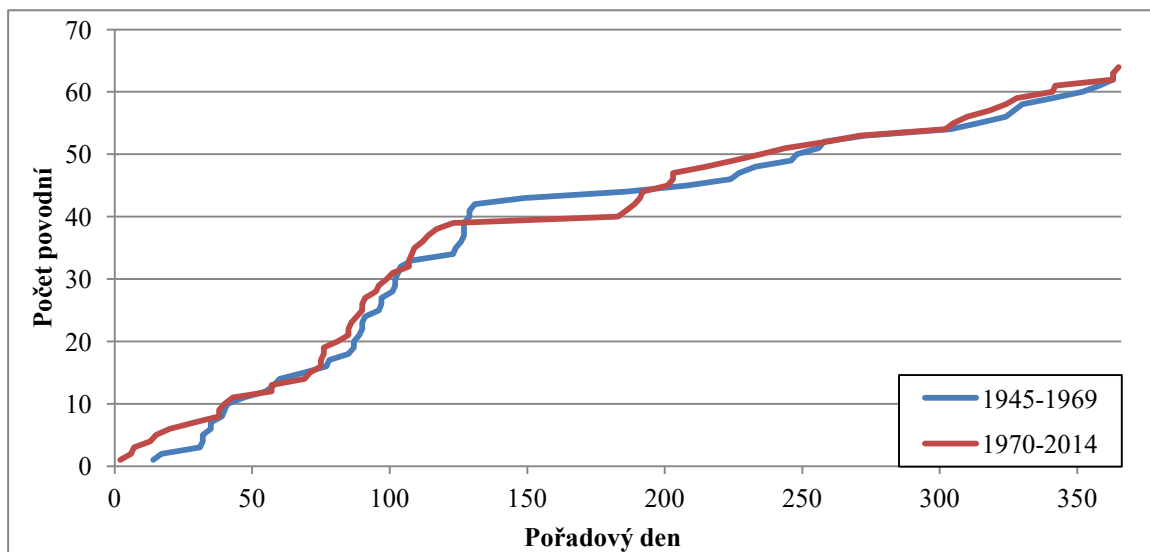
**Obr. 36:** Směrová statistika pro povodně v období 1970-2014 zdroj: vlastní zpracování

### 5.5.5 Křivka kumulativních četností

Pro první období byla sestrojena modrá křivka a pro druhé období červená křivka. První rozdíl v grafu (Obr. 37) je patrný hned na začátku roku, kde křivka dokazuje zvýšený výskyt povodní oproti období prvnímu. Další rozdíl nastává v jarním období se zvýšeným výskytem povodní, které nastává dříve v druhém období. Následné období sníženého výskytu povodní začíná 131. pořadový den (11. května) v prvním období a v druhém období 123. pořadový den (3. května). Toto povodňově klidné období trvá v prvním období déle, v druhém období lze totiž zaznamenat zvýšený výskyt povodní mezi pořadovými dny 183. (2. července) – 203. (21. července). Až do pořadového dne



305. (1. listopadu) je naopak více povodní zaznamenáno v prvním období, poté mají křivky až do konce roku podobný průběh.



**Obr. 37:** Křivky kumulativních četností výskytu povodní v obdobích 1945-1969 a 1970-2014, zdroj: vlastní zpracování

## 6. DISKUZE A SHRNU TÍ VÝSLEDKŮ

Povodně a jejich dopad jsou velmi atraktivní a důležité témata pro společnost. Lidé se s povodněmi setkávají od pradávna a zejména v Česku se jedná o jeden z nejnebezpečnějších přírodních živlů, který může postihnout naši krajinu. Se změnou klimatu se nabízí i mnoho otázek o změnách průběhu těchto událostí, popřípadě celkového odtoku. Například Langhammer et al. (2015) hodnotil změnu odtoku v závislosti na změně klimatu a disturbanci lesa na našem území v povodí Vydry. Podobný výzkum provedl Didovets et. al (2019), který hodnotil dopad klimatické změny na regionální povodně v Karpatech.

V první části byl formou literární rešerše charakterizován pojem povodně, dále typy vzniku, faktory vzniku a ovlivňující činitele povodní.

V další části byla provedena stručná analýza historických povodní v Česku a poté na Zdobnici. Byly vybrány největší povodně z historie našeho území, u kterých bylo dostatečné množství informačních materiálů. Analýza se zaměřovala převážně na povodí Labe a Vltavy. Historické povodně zkoumal například Elleder (2007), zabývající se taktéž převážně povodím Vltavy a Labe, z kterých byly dostupné informace o povodních již z roku 1118. O povodních na Zdobnici byl zisk informací poněkud těžší, jelikož se skoro žádné historické dokumenty nezachovaly. Proto byla analýza provedena hlavně na základě souhrnných zpráv o povodních.

V empirické části byla provedena analýza denních průtoků z období 1. 11. 1945 – 31. 10. 2014 (v profilu Slatina nad Zdobnicí), což je z hlediska dostupnosti relativně dlouhá datová řada. Nejprve byla zpracována charakteristika odtoku, která byla stěžejní pro další analýzy. Jelikož se povodí Zdobnice nachází v Orlických horách, tak je odtok nejvíce ovlivněn při tání sněhu na jaře, zejména v dubnu. Režim Zdobnice je tedy niválně-pluviální, což je typické pro většinu horských povodí v Česku. Dlouhodobý průměrný průtok je v měrném profilu  $1,96 \text{ m}^3/\text{s}$ , tento průměr má sice kolísavý průběh, ale z dlouhodobého hlediska klesá. Obdobný jev popisuje ve svém článku Gardner (2009), který uvádí, že může být způsoben zvyšující se teplotou, a tedy větším výparem. Jak již bylo zmíněno, tak největší průtoky jsou v povodí Zdobnice zaznamenány v jarních měsících (39,72 % odtoku) a dále v zimě (25,92 %). Z hlediska měsíců je nejvyšší odtok v dubnu (17,09 %) a březnu (13,73 %). Slovním ohodnocením se jedná o mírně nevyrovnaný režim.

Podstatnou součástí práce bylo rozdělení datové řady do dvou období, na základě kterých byly vyhodnoceny určité změny. V takovém případě bylo nutné najít bod změny, který slouží jako mezník mezi těmito obdobími. K analýze homogenity dat a určení roku změny byly použity Pettitův test a Buishandův test, které byly prováděny na měsíčních průtocích, průtoku ročních období a baseflow indexu. Výsledkem bylo rozdělení datové řady do období 1945-1969 a 1970-2014. Stejně testy použil Langhammer et al. (2015), který ale ve svém článku analyzoval kromě denních průtoků také srážkové úhrny, výšku sněhové pokrývky a teplotu. Oba testy s detailním popisem byly použity i v článku od Traoreho et al. (2014).

Zajímavé bylo určení bodu změny pro index základního odtoku na rok 1969. Z vývoje křivky jsou viditelné tři odlišné období. První období by souhlasilo s bodem změny koncem 60. let, avšak podobně razantní přechod je viditelný i začátkem 90. let, který je spojený s výrazným poklesem a následným růstem hodnot indexu. Je možné, že pokud by byla dostupná kratší časová řada (např. od 60. let), tak by byl bod změny posunut na začátek 90. let a výsledek práce by byl trochu jiný. Rozdělením baseflow indexu na dvě období (s bodem změny v roce 1969) je ale také patrný určitý rozdíl. Obě období byla proložena křivkami trendů. V prvním období si lze povšimnout stoupající tendence křivky trendu, to znamená, že základní odtok měl rostoucí podíl na celkovém odtoku z povodí. V druhém období má naopak křivka trendů klesající tendenci, tudíž se v tomto období snižuje podíl základního odtoku na celkovém odtoku.

Dalším ukazatelem je sezonalita odtoku v jarním období, ukazující na bod změny od konce 80. let, což odpovídá období nárůstu teploty vzduchu, pozorovanému v horských povodích ČR (Langhammer et al. 2015). Ovšem při rozdělení březnových a květnových průměrných průtoků na dvě období (s bodem změny 1969) je patrné snížení hodnot průtoků v květnu ve druhém období a naopak nárůst hodnot průtoků v březnu. Tyto změny jsou pravděpodobně způsobeny nárůstem teplot a dřívějším táním sněhové pokrývky v povodí.

K další charakteristice odtoku byla použita analýza vysokých a nízkých průtoků. Vysoké průtoky byly rozřazeny do kategorií POT, jednoleté průtoky ( $Q_1$ ), dvouleté průtoky ( $Q_2$ ) a větší než pětileté průtoky ( $Q_5$ ). Mezní hodnota kategorie POT byla vybrána metodou „největších ročních povodní“, kterou použil ve svém článku také Langhammer et al. (2015). Byly tedy vybrány největší denní průtoky z každého roku

sledovaného období a nejmenší hodnota byla určena jako mezní prahová hodnota. Oproti Langammerovi et al. (2015) byla tato metoda upravena. Z hodnot byl odebrán spodní kvartil a výsledná hodnota prahu byla tedy nastavena na 11,6 m<sup>3</sup>/s. Největší povodně (větší než Q<sub>5</sub>) se vyskytovaly především na začátku sledovaného období, naopak dvouleté povodně se vyskytovaly především ke konci a na přelomu tisíciletí. Jednoletých průtoků bylo celkově 42 a ve sledovaném období se vyskytovaly místy se zvýšenými frekvencemi. První zvýšená frekvence těchto povodní nastala na začátku datové řady (konec 40. a začátek 50. let), poté na přelomu 70. a 80. let a následně ke konci 90. let. Mezi lety 1981-1994 se povodně nevyskytnuly ani v jednom případě. Z hlediska frekvencí se povodně a zvýšené průtoky vyskytovaly v prvním období (1945-1969) s průměrem 3 povodní za rok. Oproti tomu v druhém období se v průměru vyskytovaly pouze 2 povodně za rok. Tento jev potvrdil Hladný (2007), který ve svém článku vyhodnotil, že ve druhé polovině 20. století byl výskyt povodní menší než v předchozím období (zejména například v 19. století). Zároveň uvedl, že se zvyšující se extremitou klimatu, způsobenou globálním oteplováním, může dojít naopak ke zvýšení frekvencí a extremity povodní. Také bylo zmíněno, že je zatím hodnocen pouze krátký časový úsek, tudíž je nutné brát tuto hypotézu s opatrností.

Délka vysokých průtoků se v období příliš neměnila. Pouze k začátku období, kde byla zároveň prokázána i větší frekvence, byly tyto události kratší než po zbytek sledovaného období. Pětiletý klouzavý průměr se v prvním období zvyšoval ke konci 50. let a poté se snižoval až do konce prvního období. Ve druhém období se křivka příliš nemění. Celkově se doba trvání zvýšených průtoků pohybovala okolo 11 dnů.

Nízké průtoky byly rozřazeny do dvou kategorií podle M-denních průtoků - Q<sub>355</sub> (nízký průtok) a Q<sub>365</sub> (extrémně nízký průtok). Počet dní s těmito podprůměrnými průtoky byl opět nejvyšší na začátku období mezi lety 1950 a 1970, kdy se vyskytlo 563 dní s nízkým průtokem a 31 dní s extrémně nízkým průtokem. Ve druhém období se zvýšenou frekvencí (1990-2003) byl naopak počet dnů s nízkým průtokem menší (263), ale přibýlo více extrémně nízkých průtoků (47). Frekvence výskytu se tedy v porovnání snížila, ale prohloubila se jejich extremita. Práce bohužel neobsahuje data po roce 2014, od kterého se Česko potýká s extrémním a přetrvávajícím suchem.

V poslední části byla provedena analýza změny sezonality extrémních průtoků. Původním záměrem bylo použít Q<sub>1</sub> průtoky, avšak pro jejich nedostatečný počet ve

sledovaném období byly nakonec použity průtoky, které přesáhly určenou prahovou hodnotu ( $11,6 \text{ m}^3/\text{s}$ ). K provedení této analýzy byla pomocí metod povodňového indexu, polárního grafu, směrové statistiky a křivky kumulativních četností porovnávána dvě období (1945-1969 a 1970-2014).

Povodňový index ukázal snížení povodňového zatížení v květnu (z 14,98 na 1) a naopak nárůst v březnu (z 12,07 na 35,8) a dubnu (z 13,96 na 17,97), což je pravděpodobně dáno růstem teplot a dřívějším táním sněhové pokrývky. Zjištěný trend posunu odtoku z tání do časnějších období je v souladu s výsledky analýz v horských oblastech ČR (Langhammer et al. 2015, Bernsteinová et al. 2015). Nárůst povodňového zatížení byl patrný i v červenci (z 2,54 na 12,12), což může být zapříčiněno opět zvyšováním teploty způsobující větší evaporaci a zvýšení vlhkosti vzduchu nad oceány. To má za důsledek zvyšující extremitu přívalových srážek, které mohou přes rok způsobovat povodňové situace (Trenberth 2011). Polární grafy zobrazují frekvenci výskytu povodní během roku. Obdobně jako index povodňového zatížení zaznamenaly největší změnu měsíce únor (z 10 na 6), březen (z 10 na 13), duben (z 10 na 12), květen (z 10 na 1), červenec (z 2 na 8), ale také leden (z 3 na 7). Počet povodní tedy v zimních měsících mírně klesl (i s ohledem na nestejnost délky období) a v letním naopak stoupl. K opačným výsledkům došel například Sassi et. al (2019), který prováděl simulaci zvýšení teploty a v souvislosti s tím změnu frekvence a magnitudy povodní. Došel k závěru, že v zimních měsících by se při zvýšení teplot frekvence povodní zvyšovala a v letních měsících naopak snižovala.

U metody směrové statistiky bylo podstatné zjištění MD, tedy průměrného dne výskytu povodní. V prvním období se vyskytlo 63 povodní, z toho většina proběhla v jarním období. Ve druhém období je počet povodní analogický (64, z toho 26 na jaře), přičemž druhý časový úsek je výrazně delší. Hodnota MD pro první období je určena na 74. den v roce, tudíž 14. března. Ve druhém období se hodnota MD posunula na 68. pořadový den, tedy 9. března. Míra rozptylu vyšla větší v prvním období (0,38) než ve druhém (0,32). Výskyt povodní byl tedy v prvním období o trochu rovnoměrnější. Posun sezonality povodňové aktivity do dřívější části roku dobře ilustruje také křivka kumulativních četností. V prvním období se největší povodňové ohrožení nacházelo v období 18. března až 9. května. Ve druhém období se toto období posunulo na 9. března až 3. května.

Obdobnou analýzu prováděli Čekal a Hladný (2008), kteří určovali sezonalitu povodní pro 183 vodoměrných stanic na území Česka. Ve své práci určovali povodňové zatížení jednotlivých měsíců v průběhu roku a zjišťovali dlouhodobé změny v sezonalitě povodní. Součástí byla také shluková a korelační analýza fyzicko-geografických faktorů, která byla provedena pro zjištění vlivu fyzickogeografických faktorů na změnu MD (mean day). Výsledek analýzy tvrdí, že fyzicko-geografické faktory mají pouze podpůrnou roli pro změnu sezonality povodní.

Tyto závěry podporují i výsledky analýz v této práci. V povodí Zdobnice nedošlo v hodnoceném období od roku 1945 k zásadním zásahům do přírodního prostředí v podobě velkoplošných změn land-use, budování vodních děl, rozsáhlých plošných drenáží povodí nebo zásadním úpravám vodních toků. Pozorované změny v režimu odtoku a změny ve výskytu extrémních jevů – konkrétně posun povodňového zatížení k začátku roku i nárůst povodní v letním období, tak odrážejí spíše dopady změn klimatu na horské prostředí.

## 7. ZÁVĚR

Práce se zabývá vyhodnocením odtokového režimu, charakteristikou odtoku a změnou extremity a sezonality povodňových průtoků na řece Zdobnici, která leží v Orlických horách. V povodí Zdobnice lze nalézt krásnou, převážně lesnatou krajinu, která je velice málo antropogenně ovlivněna. Analýza změny průběhu, či výskytu povodní je velmi důležitá pro pochopení celého procesu a zároveň pro určení míst, nebo období s větším povodňovým zatížením. Výběr lokality je také zajímavý z hlediska plánované výstavby VN Pečín, která by odtok, zejména průběh extrémních průtoků, dosti pozměnila.

V první části je nastíněna problematika povodní, jejich průběh, typologie, faktory vzniku a charakteristika povodňové vlny. Zároveň byly v několika podkapitolách shrnuty fyzickogeografické podmínky v povodí Zdobnice, doplněné o vlastní fotografie a mapové výstupy. Dále bylo stručně vyhodnoceno několik povodní z této oblasti v posledních letech.

Druhá část se zabývá analýzou datových řad denních průtoků z profilu Slatina nad Zdobnicí. V práci byl vyhodnocen odtokový režim a jednotlivé komponenty odtoku pro povodí s výstižnými grafy a tabulkami. Stěžejní částí je vyhodnocení změny sezonality a extremity. Pomocí statistických metod, polárních grafů, povodňového indexu, směrových statistik a křivek kumulativních četností byl zjištěn posun povodňového zatížení a rizika směrem k začátku roku. Největší nárůst zatížení zaznamenal březen a naopak největší úbytek květen. Patrný byl i nárůst povodní v letním období, zejména v červenci.

V navazující práci by bylo vhodné vytvořit analýzu meteorologických prvků, zejména srážkových úhrnů, teplot a podrobně analyzovat příčiny změn vývoje indexu základního odtoku.

## 8. ZDROJE:

### 8.1 Literatura:

AUGUSTIN, F. (1892): O příčinách a průběhu zářijové povodně v Čechách r. 1890. Časopis pro pěstování matematiky a fyziky, 21, 1, 11-31.

BALATKA, B., KALVODA, J. (2006): Geomorfologické členění reliéfu Čech: Geomorphological regionalization of the relief of Bohemia. Praha: Kartografie Praha, 79.

BALES, J. D., WAGNER, C. R. (2009): Sources of uncertainty in flood inundation maps. Journal of Flood Risk Management, 2, 2, 137-147.

BENITO, G. (2003): Palaeoflood hydrology in Europe. In: THORNDYCRAFT, V. R., BENITO, G., BARRIENDOS, M., LLASAT, M. C., eds.: Palaeofloods, Historical Floods and Climatic Variability: Applications in Flood Risk Assessment. CSIC, Madrid, 19–24.

BENITO, G., THORNDYCRAFT, V. R. (2005): Palaeoflood hydrology and its role in applied hydrological sciences. Journal of Hydrology, 1–2, 313, 3–15.

BLACK, A. R., WERRITTY, A. (1997): Seasonality of flooding: a case study of North Britain. Journal of Hydrology, 195, 1-4, 1-25.

BRÁZDIL, R. a kol. (2005a): Historické a současné povodně v České republice. Masarykova univerzita/Český hydrometeorologický ústav, Brno/Praha, 370.

BRÁZDIL, R., DOBROVOLNÝ, P., ELLEDER, L., KAKOS, V., KOTYZA, O., MACKOVÁ, J., VALÁŠEK, H. (2005b): Studium historických povodní v České republice jako příspěvek k historické hydrologii. In: Hydrologické dni 2005. Bratislava, Slovenský výbor pro hydrologii a Český výbor pro hydrologii, 311-329.

BRÁZDIL, R., KOTYZA, O., DOBROVOLNÝ, P. (2006): July 1432 and August 2002 - Two millennial floods in Bohemia? Hydrological Sciences Journal, 5, 51, 848–863.

CULEK, M., GRULICH, V., LAŠTŮVKA, Z., DIVÍŠEK, J. (2013): Biogeografické regiony České republiky. Masarykova univerzita, Brno, 448.

ČEKAL, R., HLADNÝ, J. (2008): Analysis of flood occurrence seasonality on the Czech Republic territory with directional characteristics method. Acta Universitatis Carolinae Geographica, 43, 1-2, 3-14.

ČERMÁK, M. (1968): Základní činitelé ovlivňující odtok velkých vod. Sborník prací ČHMÚ ČSR 12, Praha, 59–76

DEMEK, J. (1987): Obecná geomorfologie. Academia, Praha, 480.



DIDOVETS, I., KRYSANOVA, V., BÜRGER, G., SNIZHKO, S., BALABUKH, V., BRONSTERT, A. (2019): Climate change impact on regional floods in the Carpathian region. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 22, 100590.

ELLEDER, L. (2007): Historické extrémní případy povodní v povodí Labe a Vltavy. In: LANGHAMMER, J. (ed.): *Povodně a změny v krajině*. Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta a Ministerstvo životního prostředí ČR, Praha, 355 - 367.

ELLEDER, L. (2008): Flood Frequency and Seasonality in the Sazava River Catchment based on Historical Cases. *Acta Universitatis Carolinae Geographica*, 43, 1-2, 15 – 28.

ELLEDER, L. (2010): Reconstruction of the 1784 flood hydrograph for the Vltava River in Prague, Czech Republic. *Global and Planetary Change*, 1–4, 70, 117–124.

ESCOBAR, M. P. (2014): Using newspapers as a source of data to assess flood impacts : methodology note. Department of Geograpfy, King's College London, London, 1-19.

GARDNER, L. R. (2009): Assessing the effect of climate change on mean annual runoff. *Journal of Hydrology*, 379, 3-4, 351-359.

NĚMEC, J., HLADNÝ, J., BLAŽEK, V. (2006): *Voda v České republice*. Consult, Praha, 253.

HLADNÝ, J. (2007): Fakta a mýty o povodních. In: LANGHAMMER, J. (ed.): *Povodně a změny v krajině*. Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta a Ministerstvo životního prostředí ČR, Praha, 41-51.

CHALUŠOVÁ, J., HLADNÝ, J., ČEKAL, R. (2007): Regionalizace povodí Labe na základě sezónní analýzy výskytu povodní. In: LANGHAMMER, J. (ed.): *Povodně a změny v krajině*. Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta a Ministerstvo životního prostředí ČR, Praha, 271 - 295.

KÄMPF, L., STØREN, E., CORELLA AZNAR, J. P., SWIERCZYNSKI, T., TOONEN, W., BALLESTEROS CANOVAS, J. A., STOFFEL, M., WILHELM, B. (2018): Recent advances in paleoflood hydrology: From new archives to data compilation and analysis. *Water Security*, 3, 1–8.

KAKOS, V., KULASOVÁ, B. (1995): Povodeň v březnu 1845 v povodí českého Labe. In: *Sborník odborného semináře Povodňová ochrana na Labi*. Český hydrometeorologický ústav, Ministerstvo životního prostředí a Povodí Labe, Ústí nad Labem, 24–55.

KANTOR, P., KREČMER, V., ŠACH, F., ŠVIHLA, V., ČERNOHOUS, V. (2003): *Lesy a povodně*. Souhrnná studie. Ministerstvo životního prostředí, Praha, 48.

- KAŠPAR, M. (2003): Porovnání extrémnosti synoptických podmínek během povodní v České republice v srpnu 2002 a v červenci 1997. *Meteorologické zprávy*, 56, 6, 166–177
- KOKEŠOVÁ, J. (2007): Komplexní hydrometeorologická analýza největších povodní na Moravě a ve Slezsku v 19. a 20. století. Diplomová práce. Přírodovědecká fakulta na Masarykově univerzitě, Brno, 114.
- KOTYZA, O., CVRK, F., PAŽOUREK, V. (1995): Historické povodně na dolním Labi a Vltavě. Okresní muzeum v Děčíně, Děčín, 169.
- KUBÍK, L., SÁŇKA, M. (2010): Reprezentativní půdní typy a jejich charakteristika pro území jižních a západních Čech–výsledky projektu Rizikové látky v půdě ve vztahu k životnímu prostředí–přeshraniční základy ochrany půdy (Bavorsko–Česká republika). ÚKZÚZ, Brno, 94.
- LANGHAMMER, S. (2007): Úpravy toků a údolní nivy jako faktor ovlivňující průběh povodní. In: LANGHAMMER, J. (ed.): *Povodně a změny v krajině*. Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta a Ministerstvo životního prostředí ČR, Praha, s. 271 - 295.
- 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.
- 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*, 355, 1-4, 63-75.
- LÓPEZ, J., BOTERO, B. A., DÍEZ-HERRERO, A., BENITO, G., FRANCÉS, F., MACHADO, M. J. (2015): Flood frequency analysis of historical flood data under stationary and non-stationary modelling. *Hydrology and Earth System Sciences*, 6, 19, 2561–2576.
- LUNDSTRÖM, U. S., VAN BREEMEN, N., BAIN, D. (2000): The podzolization process. A review. *Geoderma*, 94, 2-4, 91-107.
- LUTERBACHER, J., MACDONALD, N., DEMARÉE, G. R., ROHR, C., DEUTSCH, M., KOLÁŘ, P., CHROMÁ, K., BRÁZDIL, R., KISS, A., GARNIER, E., DOBROVOLNÝ, P. (2009): European floods during the winter 1783/1784: scenarios of an extreme event during the ‘Little Ice Age’. *Theoretical and Applied Climatology*, 1–2, 100, 163–189.
- MACHADO, M. J., MEDIALDEA, A., CALLE, M., RICO, M. T., SÁNCHEZ-MOYA, Y., SOPEÑA, A., BENITO, G. (2017): Historical palaeohydrology and landscape resilience of a Mediterranean rambla (Castellón, NE Spain): Floods and people. *Quaternary Science Reviews*, 171, 182–198.

- MATĚJÍČEK, J., HLADNÝ, J. (1999): Povodňová katastrofa 20. století na území České republiky. Ministerstvo životního prostředí, Praha, 60.
- MORAVEC, D., VOTÝPKA, J. (1998): Klimatická regionalizace České republiky. Karolinum-nakladatelství Univerzity Karlovy, 107.
- MÜLLER, M., KAKOS, V. (2003): Hydrometeorologické srovnání povodní v srpnu 2002 s vybranými historickými případy dešťových povodní na Vltavě v Praze. Meteorologické zprávy, 5, 56, 129–136.
- MUNZAR, J. (1998): Historické povodně v Čechách a na Moravě na příkladu roku 1598. Meteorologické zprávy, 51, 169.
- MUNZAR, J., ELLEDER, L. (2004): Extrémní povodeň na Vltavě a Labi v Únoru 1784 jako následek mimořádných hydrometeorologických podmínek. Meteorologické zprávy, 5, 57, 125–135.
- MUNZAR, J., ONDRÁČEK, S. (2012): Historické povodně a jejich dokumentace. Geografické rozhledy, 21, 5, 30–32.
- NĚMEČEK, J., ROHOŠKOVÁ, M., MACKŮ, J., VOKOUN, J., VAVŘÍČEK, D., NOVÁK, P. (2008): Taxonomický klasifikační systém půd České republiky. Praha, 95.
- NETOPIL, R. (1984): Fyzická geografie, 1. vydání. SPN, Praha, 272.
- NERI, A., VILLARINI, G., SLATER, L. J., NAPOLITANO, F. (2019): On the statistical attribution of the frequency of flood events across the US Midwest. *Advances in Water Resources*, 127, 225-236.
- NOVOTNÝ, J. (1963): Dvě stoleté hydrologické řady průtokové na českých řekách. Sborník prací Hydrometeorologického ústavu Československé socialistické republiky 2, Praha, 116.
- OUARDA, T. B., ASHKAR, F., EL-JABI, N. (1993): Peaks over threshold model for seasonal flood variations. *Engineering Hydrology*, July 25-30, 341-346.
- PARAJKA, J., KOHNOVÁ, S., MERZ, R., SZOLGAY, J., HLAVČOVÁ, K., BLÖSCHL, G. (2009): Comparative analysis of the seasonality of hydrological characteristics in Slovakia and Austria/Analyse comparative de la saisonnalité de caractéristiques hydrologiques en Slovaquie et en Autriche. *Hydrological Sciences Journal*, 54, 3, 456-473.
- PEKÁROVÁ, P., HALMOVÁ, D., MITKOVÁ, V. B., MIKLÁNEK, P., PEKÁR, J., SASSI, M., NICOTINA, L., PALL, P., STONE, D., HILBERTS, A., WEHNER, M., JEWSON, S. (2019): Impact of climate change on European winter and summer flood losses. *Advances in Water Resources*, 129, 165-177

SEDLÁČEK, A. (1911): Dějiny královského krajského města Písku nad Otavou - Díl I. od nejstarší doby až do zřízení královského úřadu. Nákladem obce písecké za přispění občanské záložny, Písek, 466.

SCHANZE, J., ZEMAN, E., MARSALEK, J. (2006): Flood Risk Management: Hazards, Vulnerability and Mitigation Measures. NATO science series, Dordrecht, 319.

SCHMIDT, M. (2000): Hochwasser und Hochwasserschutz in Deutschland vor 1850. Eine Auswertung alter Quellen und Karten. Kommissionsverlag Oldenbourg Industrieverlag, München, 330.

ŠKODA, P. (2013): Historic flood marks and flood frequency analysis of the Danube River at Bratislava, Slovakia. Journal of hydrology and hydromechanics, 61, 326–333.

ŠTĚPÁNEK, P. (2004): Homogenizace teploty vzduchu na území České republiky v období přístrojových pozorování. Práce a studie. Sešit 32. ČHMÚ, Praha, 58.

TOLASZ, R., BAŠTÝŘOVÁ H. (2007): Atlas podnebí Česka. Český hydrometeorologický ústav, Praha; Univerzita Palackého v Olomouci, 255.

TRAORE, V. B., SOUSSOU, S., CISSE, M. T., SENI, T., SIDY, F., DIAW, A. T., MALANDA, E. N. (2014): Trends and shifts in time series of rainfall and runoff in the Gambia River watershed. International Journal of Environmental Protection and Policy, 2, 4, 138-146.

TRENBERTH, K. E. (2011): Changes in precipitation with climate change. Climate Research, 47, 1-2, 123-138.

VILLARINI, G. (2016). On the seasonality of flooding across the continental United States. Advances in Water Resources, 87, 80-91.

VOTRUBA, L., PATERA, A. (1983): Teplotní a ledový režim toků. Academia, Praha, 552.

ZLATÁ PRAHA (1980): Povodeň v Čechách, zvláště v Praze, v měsíci září 1890. 7, 43, 511-516.

## **8.2 Online zdroje:**

ADDINSOFT, S. A. R. L. (2019): XLSTAT software, version 1.3. Addinsoft, Paris, France. Dostupné z: <https://www.xlstat.com/en/> (cit. 29. 6. 2019)

AOPK ČR (2012): Rozbory Chráněné krajinné oblasti Orlické hory. Rychnov nad Kněžnou, 175.

AOPK ČR (2019): Geomorfologické členění - soustava, podsoustava, celek, podcelek, okrsek – WMS služba. Dostupné z: <https://gis.nature.cz> (cit. 4. 5. 2019)

ARCDATA PRAHA (2019): ArcČR® 500 ver. 3.3.

Dostupné z: <https://www.arcdata.cz> (cit. 4. 5. 2019)

BÁČOVÁ, R. (2018): Základní charakteristika říční povodně. Dostupné z: <http://www.velkawoda.unas.cz/charakteristika.htm> (cit. 25. 2. 2019)

ČGS - Česká geologická služba (2019): Geologická mapa 1 : 50 000. Dostupné z: <https://mapy.geology.cz/geocr50/> (cit. 4. 5. 2019)

ČESKÁ POJIŠŤOVNA (2014): Všeobecné pojistné podmínky pro pojištění majetku a odpovědnosti. Dostupné z: <https://www.ceskapojistovna.cz/documents> (cit. 26. 2. 2019)

CHKO Orlické hory (2019): Hydrologie a klimatické poměry v CHKO Orlické hory. Dostupné z: <http://orlickehory.ochranaprirody.cz> (cit. 3. 5. 2019)

ČHMÚ (2000): Povodeň v severovýchodních Čechách. Hradec králové, 23.

POVODÍ LABE (2002): Souhrnná zpráva o povodni leden-březen 2002 v uceleném povodí Labe. Vodohospodářský dispečink Povodí Labe s. p., Hradec Králové, 24.

ČHMÚ (2006): Vyhodnocení jarní povodně 2006 na území České republiky. Praha, 164.

ČHMÚ (2019a): Evidenční list hlásného profilu Slatina nad Zdobnicí. Hlásná a předpovědní povodňová služba Hradec Králové. Dostupné z: [http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps\\_prfbk\\_detail.php?seq=307273](http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_prfbk_detail.php?seq=307273) (cit. 3. 5. 2019)

ČHMÚ (2019b): Hydrologický seznam podrobného členění povodí vodních toků ČR. Dostupné z: [http://voda.chmi.cz/opv/doc/hydrologicky\\_seznam\\_povodi.pdf](http://voda.chmi.cz/opv/doc/hydrologicky_seznam_povodi.pdf) (cit. 3. 5. 2019)

ČHMÚ (2019c): Průvodce informace hlásné a povodňové služby. Dostupné z: [http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/pruvodce/verejnost\\_povoden\\_definice.html](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/pruvodce/verejnost_povoden_definice.html) (cit. 26. 2. 2019)

DIBAVOD, Výzkumný Ústav Vodohospodářský T. G. M. (2019): Dostupné z: <http://www.dibavod.cz/27/struktura-dibavod.html> (cit. 4. 5. 2019)

EXTRASTORY (2018): Tajemný muž s bradkou nad Vltavou. Kde se vzal a komu patřil? Dostupné z: <http://extrastory.cz/kamenny-strazce-hladiny-vltavy-kde-se-vzal-a-komu-patril.html> (cit. 24. 4. 2019)

HRUBAN, R. (2015): Regulace řeky Moravy. Dostupné z: <http://moravskekarpaty.cz/prirodni-pomery/hydrografie/regulace-reky-moravy/> (cit. 24. 4. 2019)

KOVACH COMPUTING SERVICES (2019): Oriana software. Version 4.0. Dostupné z: <https://www.kovcomp.co.uk/oriana/oripubs.html> (cit. 29. 6. 2019)

MZ - Ministerstvo zemědělství, MŽP - Ministerstvo životního prostředí (2011): Generel území chráněných pro akumulaci povrchových vod a základní zásady využití těchto území. Dostupné z: [http://eagri.cz/public/web/file/133229/Generel\\_LAPVvcprotokolu.-pdf](http://eagri.cz/public/web/file/133229/Generel_LAPVvcprotokolu.-pdf) (cit. 3. 5. 2019)

POVIS (2019): Vyhodnocení povodní. Dostupné z: <http://www.povis.cz/Hum1/index.html/download-povodne.htm> (cit. 26. 2. 2019)

THE NATURE CONSERVANCY (2009): Indicators of Hydrologic Alteration, version 7.1. Dostupné z: <https://www.conservationgateway.org> (cit. 29. 6. 2019)

## 9. PŘÍLOHY:

Tabulka 6: Hodnocení ročních vodních stavů v profilu Slatina nad Zdobnicí

Rok	Qr	p %	Vodnost	Rok	Qr	p %	Vodnost
1945	3,77	0,99	MV	1980	2,90	5,26	MV
1946	2,50	15,20	V	1981	2,10	36,51	V
1947	1,42	84,80	S	1982	2,06	37,93	V
1948	3,36	3,84	MV	1983	1,64	72,02	S
1949	2,50	13,78	V	1984	1,14	97,59	MS
1950	2,03	40,77	P	1985	1,57	74,86	S
1951	1,74	66,34	S	1986	1,53	77,70	S
1952	2,25	23,72	V	1987	2,72	8,10	MV
1953	2,41	16,62	V	1988	2,28	19,46	V
1954	1,92	49,29	P	1989	2,15	30,82	V
1955	2,01	46,45	P	1990	1,39	89,06	S
1956	1,83	59,23	P	1991	1,34	90,48	MS
1957	2,53	10,94	V	1992	1,87	56,39	P
1958	2,26	22,30	V	1993	1,73	69,18	S
1959	0,74	99,01	MS	1994	2,27	20,88	V
1960	1,17	96,16	MS	1995	3,62	2,41	MV
1961	1,56	76,28	S	1996	1,92	52,13	P
1962	1,53	80,54	S	1997	2,06	39,35	V
1963	1,40	87,64	S	1998	1,89	53,55	P
1964	1,76	63,49	S	1999	2,17	27,98	V
1965	2,63	9,52	MV	2000	2,34	18,04	V
1966	2,15	33,66	V	2001	1,77	62,07	S
1967	2,74	6,68	MV	2002	2,53	12,36	V
1968	2,03	42,19	P	2003	1,48	81,96	S
1969	1,27	91,90	MS	2004	1,45	83,38	S
1970	1,88	54,97	P	2005	2,15	32,24	V
1971	2,18	25,14	V	2006	2,11	35,09	V
1972	1,41	86,22	S	2007	2,17	29,40	V
1973	1,18	94,74	MS	2008	1,74	64,91	S
1974	1,69	70,60	S	2009	1,53	79,12	S
1975	2,18	26,56	V	2010	2,02	45,03	P
1976	1,59	73,44	S	2011	1,82	60,65	S

<b>1977</b>	2,03	43,61	P	<b>2012</b>	1,96	47,87	P
<b>1978</b>	1,73	67,76	S	<b>2013</b>	1,92	50,71	P
<b>1979</b>	1,86	57,81	P	<b>2014</b>	1,22	93,32	MS

**Vysvětlivky:** *MV* – mimořádně vodný rok, *V* – vodný rok, *P* – průměrně vodný rok, *S* – málo vodný rok, *MS* – mimořádně málo vodný rok

*Zdroj: vlastní zpracování*