

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE  
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA  
KATEDRA FYZICKÉ GEOGRAFIE A GEOEKOLOGIE



**ANALÝZA POVODŇOVÝCH SITUACÍ V PRAMENNÉ  
OBLASTI OPAVY**

**(Analysis of flood events in the Upper Opava river source area)**

Diplomová práce

Lucie LAUTNEROVÁ

Vedoucí diplomové práce: RNDr. Zdeněk KLIMENT, CSc.

Praha 2010

**Autorské prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem zadanou diplomovou práci vypracovala sama a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje a datové podklady.

Ostrava 1.8.2010

.....

podpis

### **Poděkování:**

Děkuji panu RNDr. Zdeňku Klimentovi, CSc., za odbornou pomoc, užitečné připomínky a trpělivost při zpracování mé diplomové práce. Dále děkuji pracovníkům ČHMÚ za jejich vstřícnost a pracovníkům Povodí Odry, s.p., za poskytnutí materiálů, ochotu a odborné připomínky při zpracování mé diplomové práce.

# OBSAH

<b>Abstract .....</b>	<b>6</b>
<b>1 Úvod .....</b>	<b>7</b>
1.1 Cíle práce.....	8
1.2 Struktura práce .....	8
<b>2. Základní metodika práce a vstupní data .....</b>	<b>10</b>
2.1 Vstupní data.....	10
2.2 Vymezení příčinného povětrnostního typu .....	12
<b>3 Obecná charakteristika povodňových událostí a jejich příčiny .....</b>	<b>15</b>
3.1 Stav poznatků o povodních v zájmové oblasti .....	15
3.2 Vymezení pojmu povodeň .....	16
3.3 Faktory ovlivňující vznik a vývoj povodně.....	18
3.4 Typy povodní .....	20
3.4.1 Druhy povodní v zájmovém území.....	20
3.5 Synoptické příčiny.....	22
3.5.1 Povětrnostní situace (jarní a letní období).....	23
3.5.2 Povětrnostní situace (zimní období).....	25
3.5.3 Shrnutí .....	26
<b>4 Základní fyzickogeografická charakteristika.....</b>	<b>27</b>
4.1 Vymezení zájmového území .....	27
4.2 Geologické poměry .....	28
4.3 Hydrogeologické poměry .....	30
4.4 Geomorfologické poměry.....	31
4.5 Morfometrické vlastnosti .....	33
4.6 Půdní poměry .....	37
4.7 Krajinný pokryv a biota.....	38
4.8 Klimatické poměry .....	41
4.8.1 Srážkové poměry.....	42
4.8.2 Teploty .....	44
4.8.3 Sněhová pokrývka.....	44
4.9 Hydrologická charakteristika území.....	45
4.10 Hydrografické charakteristiky .....	47
<b>5 Proces odtoku.....</b>	<b>50</b>

5.1 Režimy denních průtoků .....	51
5.2. Režimy měsíčních průtoků.....	52
5.3 Režimy ročních průtoků .....	56
<b>6 Analýza sezonality výskytu povodní.....</b>	<b>58</b>
6.1 Výskyt povodní v zájmovém území.....	58
6.2 Sezonalita výskytu.....	63
6.2.1 Metodický postup.....	64
6.2.2 Sezonalita .....	66
6.2.3 Období zvýšeného výskytu povodní .....	70
<b>7. Analýza povětrnostních příčin povodní .....</b>	<b>72</b>
7.1 Frekvenční analýza výskytu povětrnostních typů .....	73
7.2 Genetický kód synoptického vývoje povodní .....	77
7.3 Povodňový index .....	81
<b>8. Typy povodňového ohrožení v jednotlivých povodích.....</b>	<b>84</b>
8.1 Povodně v zimním hydrologickém půlroce .....	85
8.1.1 Povodeň 4/1996.....	86
8.2 Povodně v letním hydrologickém půlroce .....	88
8.2.1 Povodeň 9/1996.....	89
8.2.2 Povodeň 5/1996.....	90
8.2.3 Povodeň 7/1997.....	92
<b>9. Diskuse.....</b>	<b>95</b>
<b>10 Závěr.....</b>	<b>96</b>
<b>11 Použitá literatura a zdroje.....</b>	<b>99</b>
11.1 Literatura .....	99
11.2 Informační prameny .....	102
11.3 Mapové podklady .....	103
<b>12 Seznam obrázků a tabulek .....</b>	<b>104</b>
12.1 Seznam obrázků .....	104
12.2 Seznam tabulek .....	105
12.3 Seznam map .....	105
12.4 Seznam příloh.....	106
<b>13 Přílohy .....</b>	<b>108</b>

## **ABSTRACT**

Present days are characterized by raising awareness of natural hazards, especially the risk of flood events. Extreme floods are connected with large - scale material damage and also endanger human lives. That's why the issue of flood formation and its possibility of forecasting has become discussed topic these days. Research of passed floods provides principles of effective flood protection in specific area.

The main aim of this thesis is to analyse flood events that passed in the upper Opava river basin, concretely the source area containing the Černá, Střední and Bílá Opava river basins. This analysis refers about the flood frequency, different seasonal regime of floods occurrence and looks for the relationship between atmospheric conditions and origin of flood events in the period of 1963 to 1997. Part of this thesis also summarizes main types of floods raised in the source area and compares different flood threat of the Černá, Střední and Bílá Opava rivers. There is also mentioned some basic differences of drainage formation, natural conditions and rainfall distribution in specific catchment area.

# 1. Úvod

Dnešní společnost žije v prostředí, které je charakterizováno stálými, rychlými změnami, přičemž je život společnosti neovlivnitelně spjat se svým bezprostředním i širším okolím. Člověk neustále zasahuje a přetváří, ať už přímou či nepřímou cestou, do přírodního prostředí a je zpětně tímto prostředím ovlivňován. Stejně tak přírodní katastrofy jsou významným aspektem, který po celou dobu existence lidstva ovlivňuje život jednotlivce i celé společnosti. Rozvoj je proto úzce spjat se zkoumáním a pochopením zákonitostí nejrůznějších procesů, které život člověka bezprostředně ovlivňují a podmiňují. Je proto velmi důležité poznání procesů probíhajících v hydrosféře, které vytvářejí předpoklady pro racionální využívání vodních zdrojů a rozvoj společnosti bez krizových situací, neboť voda je podmínkou a zdrojem života, ale také jeho ohrožením. Jeden z krizových faktorů představují extrémní meteorologické a hydrologické jevy, projevující se ničivými povodněmi a naopak enormním suchem. Silným impulz pro prohloubení výzkumu na poli povodňových událostí představuje především ohrožování lidského majetku a snad to nejpodstatnější – ohrožení samotného lidského života.

Povodně se na území České republiky vyskytují pravidelně, a to jak v čase, tak i v prostoru, nastupují však s rozdílnou extremitou. Obecně platí, že povodně jsou součástí přirozených přírodních procesů, samy o sobě nepůsobí žádné škody, avšak problém nastává v okamžicích, kdy jsou zatápěny a povodněmi devastovány stavby vytvořené člověkem a vznikají škody na majetku a lidských životech. Škody z povodní, které zasáhly Českou republiku v posledních letech minulého století a na počátku 21.stol. přesáhly stovky milionů Kč, přičemž statisíce lidí bylo nutno evakuovat a ani tak nebylo zabráněno úmrtím. Povodně a povodňové stavy tak představují důležitý předmět studia a zkoumání pro celou řadu přírodních věd. Poskytují takto nástroj pro efektivní způsob ochrany, neboť je třeba znát průběh a účinky povodní - s pomocí studia a porovnávání událostí, které se v daném území vyskytly, a na tomto základě umět určit možnou pravděpodobnost výskytu a možný rozsah výskytu povodních dalších. V současné době je také velmi aktuální otázka změny klimatu a s ní spojené prostorové změny srážkoodtokového vztahu.

Jak již bylo řečeno, území České republiky je pravidelně postihováno povodněmi, přičemž se jedná o katastrofické události z let 1997, 2002 a 2007, ale stejně tak se jedná o řadu menších, regionálních povodní a desítky každoročních povodňových událostí unikajících pozornosti. Místem vzniku velkých povodňových událostí byly téměř vždy horské pramenné oblasti, zdrojnicové oblasti větších řek. Je proto důležitým úkolem analyzovat proběhlé

povodně, jejich režim a vlastnosti, rozsah a dopady na přilehlá území, poznat možnosti jejich ovlivnění a přispět tak k snížení škod a efektivní ochraně jak v pramenné a horské oblasti, tak níže položené krajině. Absolutní povodňová ochrana v daném území není možná, je ale důležité na základě získávaných poznatků o riziku a nebezpečí plynoucích z povodňového zatížení krajiny, zefektivňovat protipovodňovou ochranu zvolením vhodných technických prostředků vzhledem k přírodním procesům, zejména charakteru odtoku, místem vzniku nejčastějších povodní a povětrnostním a srážkovým poměrům spojených s výskytem povodňových událostí.

Tato diplomová práce se soustřeďuje na pramennou oblast řeky Opavy, konkrétněji povodní Černé, Střední a Bílé Opavy, které po soutoku vytékají z Vrbna pod Pradědem jako již zmíněná řeka Opava. Jedná se proto o zdrojovou oblast, která se může stát ohniskem povodňového nebezpečí, popř. může zvyšovat extremitu jednotlivých povodňových vln v níže položených územích v oblasti horního či dolního toku řeky Opavy. Poznatky o charakteru jednotlivých proběhlých povodňových událostí rovněž přispívají k prohloubení ochrany v lokálním měřítku.

## **1.1 Cíle práce**

Tato diplomová práce si klade za cíl charakterizovat proběhlé povodňové události v zájmovém povodí, zhodnotit chod srážkoodtokového vztahu s cílem vytyčit typická období spojená s nárůstem vodnosti Černé, Střední a Bílé Opavy a zhodnotit jejich odlišnosti, vymežit sezónní režim povodní, příp. jeho změny, charakterizovat symptomy vzniku povodní a zhodnotit odtokovou odezvu na základě příčinných povětrnostních situací, fyzickogeografických podmínek v jednotlivých povodích, sezonality a rozložení srážek v předkulminačních fázích samotných povodňových vln.

## **1.2 Struktura práce**

Text diplomové práce je členěna do 7 hlavních kapitol. V úvodní části je definována důležitost poznatků o proběhlých povodňových událostech a jsou stanoveny cíle práce. Navazují na ně obecné poznatky o synoptických příčinách, různých příčinných faktorech a typech jednotlivých povodní. V další kapitole jsou zhodnoceny fyzickogeografické podmínky a charakter odtoku jednotlivých povodí s důrazem na podobnosti či odlišnosti v jednotlivých povodích, které ovlivňují podobný či naopak rozdílný proces vzniku a samotný průběh povodní. Jsou zde rovněž zpracovány informace o průtokovém režimu vycházející ze



zpracování řad průměrných denních průtoků v jednotlivých vodoměrných stanicích na zájmových tocích za referenční období 34 hydrologických let, tedy 1.11.1963 – 31.10.1997 (s určitými výjimkami zmíněnými dále v textu).

Následující část pak hodnotí proběhlé povodňové události z hlediska sezonality výskytu povodní a jejich změn v profilech Černá Opava – Mnichov, Střední Opava – Železná a Bílá Opava – Ludvíkov. S nimi je rovněž spojena synoptická analýza příčinných povětrnostních situací, jejich výskyt a změny v růstové fázi povodňové vlny, v souvislosti s časovým rozložením příčinných srážek. Analýza proběhla na základě souboru kulminačních průtoků a vodních stavů povodňových vln v jednotlivých profilech a hodnot průměrných denních srážek vybraných srážkoměrných stanic v zájmových povodích (stanice Bělá pod Pradědem, Praděd, Vidly, Heřmanovice, Rejvíz a Karlovice), jež poskytují představu o rozložení srážkového pole dílčích oblastí s důrazem na postihnutí vrcholových i níže položených území.

Konečná část práce je věnována shrnutí poznatků, závěrům a identifikaci rizik při analýze povodňových událostí s cílem objektivně zhodnotit dosažené výsledky.

## 2 Základní metodika práce a vstupní data

Pro hodnocení a analýzu povodňových událostí byla využívána data poskytnutá státním podnikem Povodí Odry s.p. (dále jen Povodí Odry, s.p.) a Českým hydrometeorologickým ústavem (v textu dále jen ČHMÚ). Následné zpracovávání dat proběhlo s využitím metod, jež jsou popsány přímo v oddílu textu nebo v následující kapitole. Diplomová práce se zabývá analýzou povodňových situací, především jejich sezonalitou a synoptickými příčinami, v zájmovém území vymezeném povodími Černé, Střední a Bílé Opavy, po jejich soutok ve Vrbně pod Pradědem.

### 2.1 Vstupní data

Pro hodnocení povodňových událostí byl využit soubor meteorologických dat popisující stav atmosféry v období před kulminací jednotlivých toků. Základní soubor prvotních naměřených dat byl poskytnut především ČHMÚ.

Z hydrologických dat byla poskytnuta řada průměrných denních průtoků z limnigrafických stanic v povodí jednotlivých toků, konkrétněji pak profily Mnichov (Černá Opava), Železná (Střední Opava) a Ludvíkov (Bílá Opava), pro referenční období hydrologických let 1963-1997 (1.11.1963 – 31.10.1997). Poslední hydrologický rok 1.11.1996 – 31.10.1997 je však nekompletní pro stanici Ludvíkov, která byla povodní v r. 1997 poškozena. Rovněž poskytnutá průtoková data obsahovala doplnění řady průměrných denních průtoků pro stanici Mnichov za období roku 1977. Doplnění dlouhodobé řady naměřených je spojeno s určitou mírou zkreslení dlouhodobého charakteru odtokového procesu, při zpracovávání průtokových charakteristik byla proto tato data záměrně vypuštěna.

Dále byl zpracováván soubor kulminačních průtoků z období let 1964 – 1997 pro jednotlivé profily (uvedeno výše), z nichž byly do analýz vybírány průtoky přesahující hodnotu  $Q \geq Q_1$ . K dispozici byly rovněž průtoková data pro tok Černá Opava, profil Mnichov do r.2005, v níž byly vymezeny povodňové epizody (ČHMÚ). Pro hodnocení extremity povodní byly kulminační průtoky porovnávány s danými prahovými průtoky.

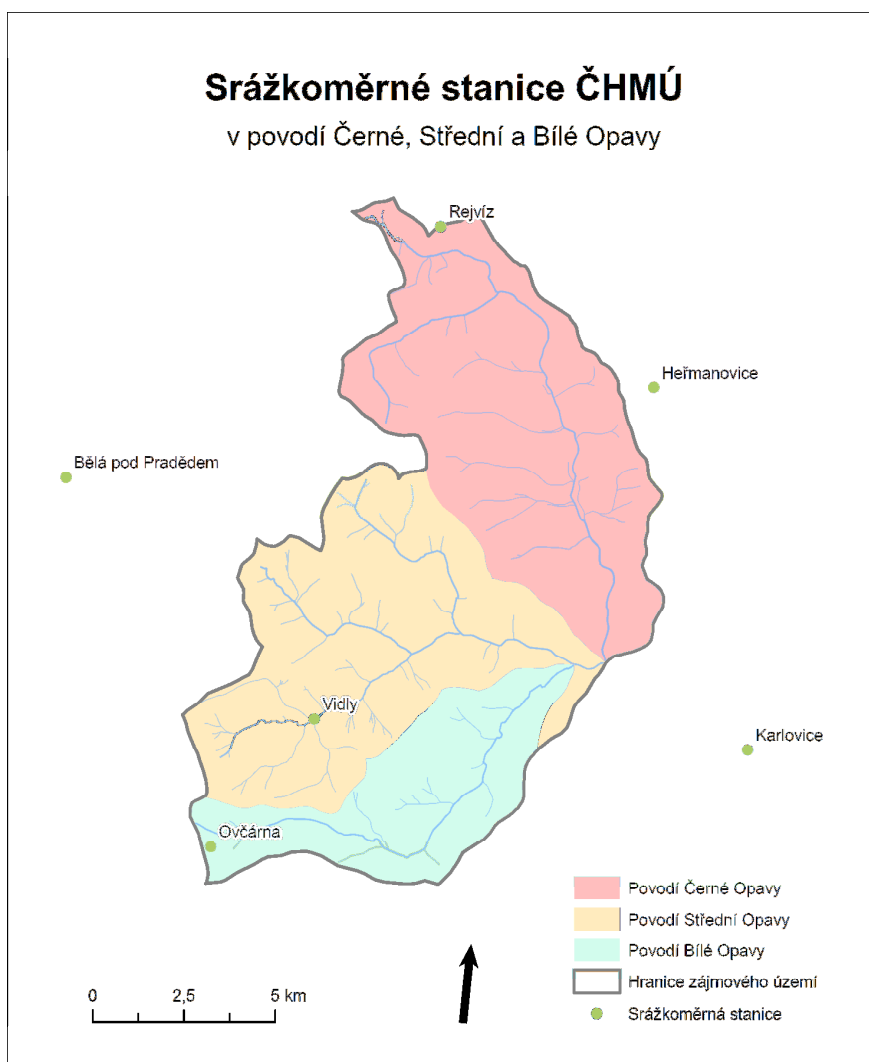
Tabulka č.2.1: Prahové průtoky pro zvolenou extremitu povodně v daných profilech

Vodní tok	Extremita povodně		
	$Q_1$ ( $m^3 s^{-1}$ )	$Q_2$ ( $m^3 s^{-1}$ )	$Q_5$ ( $m^3 s^{-1}$ )
Černá Opava	5,1	10,5	19,9
Střední Opava	5,7	10,7	19,9
Bílá Opava	3,22	5,95	11

Zdroj: Povodí Odry, s.p.

Hydrologická data byla doplněna o celkové denní srážkové úhrny pro vybrané epizody (denní úhrny srážek v předkulminační období jednotlivých povodňových situací), k zimním povodňovým situacím byla doplněna data o výšce sněhové pokrývky, vodní hodnotě sněhu a údajům o změnách teploty ze srážkových výkazů jednotlivých stanic pro vybrané epizody. Poskytnutá klimatická data byla naměřena v šesti srážkoměrných stanicích v povodích toků či v jejich okolí. (Srážkoměrné stanice: Karlovice, Bělá pod Pradědem, Vidly, Rejvíz, Praděd a Heřmanovice, v některých případech byla srážková data obohacena o srážková data stanic Zlaté Hory a Ramzová). V prostředí GIS pak byla jednotlivá bodová měření převedena pomocí interpolace na průměrné denní úhrny srážek vztažené k zájmovému povodí. Z omezenosti poskytovaných dat nebylo možné zahrnout data z více srážkoměrných stanic, proto vypočtené úhrny jsou jen hrubým odhadem. Stejným způsobem byl proveden výpočet průměrné výšky sněhové pokrývky na povodí.

Obrázek č.2.1: Poloha srážkoměrných stanic v zájmovém území



Zdroj: ČHMÚ

Pro charakterizaci průtokových vln byl k nahlédnutí poskytnut ČHMÚ hydrogram vybraných povodňových situací. Dále byla poskytnuta hodinová data k třem povodňovým vlnám r. 1996 pro jednotlivé profily na zájmových tocích (období 19.4.1996 – 25.4.1996, 11.5.1996 – 24.5.1996, 2.9.-7.9.1996)

*Tabulka.2.2: Výšková poloha srážkoměrných stanic*

<b>Stanice</b>	<b>Nadmořská výška (m n. m.)</b>
<b>Vidly</b>	781
<b>Bělá pod Pradědem</b>	670
<b>Karlovice</b>	490
<b>Heřmanovice</b>	652
<b>Praděd</b>	1320
<b>Rejvíz</b>	757

*Zdroj: ČHMÚ*

V prostředí GIS byla rovněž realizována tvorba přehledových map a vstupních podkladů pro vymezení morfometrických a hydrografických vlastností zájmového území a jeho obecnou základní fyzickogeografickou charakteristiku. Předpokladem k výpočtům byla tvorba digitálního modelu reliéfu – vrstevnicový digitální model reliéfu DMÚ 25 s vertikálním krokem 5m, poskytováno Vojenským geografickým a hydrometeorologickým úřadem v Dobrušce. (Pro potřeby výpočtu plošných charakteristik úhrnů srážek využíván shlazený digitální model reliéfu, velikost gridové buňky 1x1 km). Tvorba přehledových map pak proběhla na základě dostupných vektorových vrstev (DIBAVOD, VÚV TGM, databáze Arc ČR) a vrstev poskytnutých Povodím Odry, s.p., s využitím programu ArcGIS byly rovněž digitalizovány mapové podklady poskytnuté Povodím Odry, s.p. a základní vodohospodářská mapa v měřítku 1:50 000.

## **2.2 Vymezení příčinného povětrnostního typu**

Jednou z důležitých částí diplomové práce je hodnocení povětrnostních příčin povodňových situací, tzv. synoptická analýza, která přispívá k objasnění cirkulačních podmínek v atmosféře a popisu základních meteorologických podmínek, které vedou k výskytu povodní, tzn. snaží se identifikovat určité specifické podmínky v atmosféře spojené se zvýšenou pravděpodobností výskytu povodňové události v povodí. Tento popis byl realizován prostřednictvím vymezení určité příčinné povětrnostní situace a hodnocení rozložení a množství srážek.

K charakterizaci povětrnostních podmínek v proběhlých povodních v území byl využit Katalog povětrnostních situací uveřejněný na internetových stránkách ČHMÚ. Jedná se o subjektivní typizaci povětrnostních podmínek pro území Česka (Brádka et al., 1961) Typizovány jsou zde synoptické procesy na základě směru a cyklonality. Počet jednotlivých typických denně přiřazovaných situací byl rozšířen na celkových 28 povětrnostních typů, Katalog je rovněž pravidelně aktualizován. Výhodou je především snadná dostupnost dat pro celé referenční období a možná srovnatelnost a porovnatelnost výsledků, neboť tato typizace byla využita v řadě hydrosynoptických analýz. Umožňuje rovněž navázat na práci Šmídové (2009), která se zabírala povodňovými situacemi v povodí Opavy po profil Opava.

Nevýhodou této typizace je především snížená úroveň vztahů mezi synoptickým typem a počasím v daném, místě, dochází proto k určitým zjednodušením procesů probíhajících v atmosféře. Není zde možno také zvažovat detailnější charakteristiky tlakových polí, okamžité polohy front a dalších prvků vedoucích ke vzniku oblačnosti (Brázdil, Štekl, 1986).

Jelikož povodně vznikají spolupůsobením řady faktorů v čase, bylo nutné přiřadit příčinné typy nejen dny kulminace, ale rovněž dnům v poklesové větvi a především souboru dní v předkulminační období, neboť vytváří specifické podmínky v povodí. V souladu s řadou prací zabývajících se problematikou hodnocení povodňových událostí byl v diplomové práci rovněž využit obvyklý způsob značení dnů během povodňové události, a sice DD pro den kulminace povodně, D-1, D-2 pro období dnů předcházejících kulminaci, tzn. pro růstovou větev průtokové vlny, naopak D+1, D+2 atd. pro dny po kulminaci, tzn. poklesovou větev (Šmídová, 2009).

Každému dni výskytu kulminačního průtoku nad prahovou mez jednoleté vody byl přiřazen příčinný povětrnostní typ. Jednotlivě byl přiřazován synoptický typ (dle dostupného Katalogu) dnům v rozmezí D-9 až D+3, přičemž nejvýrazněji se na tvorbě povodňového průtoku podílí dny v rozmezí D-3 až DD (Brázdil et. al., 2005). Pouze některé povodňové situace se vyznačovaly stejným typem v předkulminační fázi, typická byla jejich postupná změna spojená s rozdílnými srážkovými úhrny, při určování proto byl zvažován vliv jednotlivých typů na tvorbu kulminačního průtoku v souvislosti s celkovým množstvím spadlých srážek a jejich možný vliv na nasycenost povodí. Příčinný povětrnostní typ byl stanoven na základě srážek vypadlých v jednotlivých dnech v předkulminační fázi D-9 až D+2, jako příčinný byl pak stanoven synoptický typ, ve kterém vypadlo nejvíce srážek, v případě vzájemného postupného vlivu dvou a více synoptických typů (vypadávání menšího

úhrnu srážek po předchozí epizodě do již nasycenějšího povodí) byl vybírán typ blíže dni kulminace.

Ostatní metody využívané pro analýzu povodňových situací a procesu odtoku jsou popsány v dílčích kapitolách textu diplomové práce.

### 3. Obecná charakteristika povodňových událostí a jejich příčiny

#### 3.1 Stav poznatků o povodních v zájmové oblasti

Zkoumání, analýza a vyhodnocování proběhlých povodňových situací v různých zájmových povodích byla předmětem řady prací, největší pozornosti se pak dostalo katastrofickým povodním proběhlým v letech 1997 a 2002, jež zasáhly rozsáhlá území České republiky. Hodnocení takovýchto extrémních povodní je zpravidla pojímáno v širším měřítku, s ohledem na projevy v přírodní i sociální sféře, multidisciplinární přístup je pak předpokladem zlepšování protipovodňové ochrany v dílčích zájmových územích. Rovněž se povodňovou problematikou zabývala řada diplomových prací vypracovaných na UK Přírodovědecké fakultě, Katedře fyzické geografie a geoekologie, např. Chalušová (2004) v povodí Labe, Čekal (2005) v povodí Ohře, Vlasák (2000,2007,2008) v povodí Otavy a Lužnice, Müller (2007) dešťové povodně na území celé ČR. Uvedené práce poskytují především metodickou základnu předkládané diplomové práce a umožňují srovnání s důrazem na odlišnosti přírodního prostředí a odlišnosti příčinných situací povodně vyvolávající. Tato diplomová práce navazuje na diplomovou práci Šmídové (2009), jež se zabývala mechanismem vzniku povodňových situací v povodí Opavy, a přispívá k detailnějšímu zkoumání vzniku a průběhu povodní v pramenné oblasti a jejich přínosu k celkovému povodňovému zatížení povodí Opavy. Rovněž v rámci Vědy a Výzkumu na PřF UK byl řešen projekt „Dlouhodobé změny poříčních ekosystémů v nivách toků postižených extrémními záplavami“ (Povodně a změny v krajině – Langhammer et. al., 2008) byla vypracována řada článků, sborníků a prací objasňující projevy a výskyt povodní v určitém fyzickogeografickém prostředí.

Průběhem povodňových událostí na bystřinných tocích a horských povodích se rovněž věnoval Bělský (2003), Křovák a Kovář (2003) či Kulhavý, Kovář (2000), souvislostmi v ekonomickém a institucionálním měřítku např. Čamarová, Jílková (2006). Použitelnost těchto zdrojů je však rovněž omezená na obecnější míru.

Analýze extrémních hydrologických jevů proběhlých v povodí Odry a Opavy, jež se přímo dotýkají rozebírá problematiky v uvedené diplomové práci, se rovněž v knižních publikacích věnují Brázdil et. al (2005), Brosch (2005), Brázdil, Kirchner et.al. (2007), průběhem, příčinami a opakováním povodní se rovněž zabýval Kříž et. al. (1964), Brádka (1967), Kakos (1974) a Řehánek (2005). Analýzou dalších historických povodní se v povodí

Odry zabývala řada dalších autorů, souhrnně jsou charakteristiky uvedeny v publikacích Povodí Odry, s.p.

V pramenné oblasti řeky Opavy, konkrétněji v zájmovém povodí Černé, Střední a Bílé Opavy byla pro potřeby vytyčování záplavových území vypracována studie Povodí Odry, s.p. Hodnocení katastrofy v r.1997 bylo rovněž pojata interdisciplinárně (Hladný et. al., 1998), konkrétněji se zdrojovou oblastí rovněž zabýval Řehánek (2002).

Z uvedených pramenů lze čerpat obecné představy o průběhu povodňových událostí v zájmovém území, jejich extremitě a příčinách, umožňují rovněž srovnání výsledků z pohledu regionálního a detailnějšího, lokálnějšího.

### 3.2 Vymezení pojmu povodeň

Pojem povodeň, povodňová událost, může být vykládán různým způsobem, existuje proto řada definic v závislosti na použitém a zdůrazněném hledisku. Dle „vodního“ zákona č.254/2001Sb. se povodní rozumí *„přechodné výrazné zvýšení hladiny vodního toku, při kterém voda již zaplavuje území mimo koryto vodního toku a může způsobit škody, přičemž povodní je i stav, kdy voda může způsobit škody tím, že z určitého území nemůže dočasně přirozeným způsobem odtékat nebo její odtok je nedostatečný, případně dochází k zaplavení území při soustředěném odtoku srážkových vod.“*

Dle ČSN (1975) povodní rozumíme *„přechodné výrazné zvýšení hladiny toku, způsobené náhlým zvětšením průtoků nebo dočasným zmenšením průtočnosti koryta a zpravidla působí na některých úsecích toku hospodářské škody podle stupně vybudované ochrany.“*

Norma ČSN (1983) pak povodeň specifikuje jako *„fázi hydrologického režimu vodního toku, která se může vícekrát opakovat v různých ročních obdobích. Tato fáze je spojena s náhlým, obvykle krátkodobým, zvětšením vodních stavů a průtoků.“* Katastrofální povodeň je pak chápána jako povodeň mimořádné velikosti a dlouhé doby opakování, obvykle způsobující oběti a hospodářské škody.

Povodní se dále může také rozumět přechodné stoupnutí hladiny toku nad úroveň břehů, zmenšením průtočnosti koryta nebo vytvořením výrazné průtokové vlny, která se pohybuje říčním korytem neustáleným způsobem (Dub, Němec, 1969).

Obecně je tedy povodňová událost extrémním hydrologickým jevem vyvolaným spolupůsobením řady faktorů, jež je spojena s dočasným zvyšováním vodních stavů v toku.



Ke vzduťí mŕže docházet vlivem přechodného, ale výrazného zvýšení průtoků, či vlivem např. zatarasení vodního toku a snížení průtočnosti koryta.

Jak již bylo řečeno povodně jsou přirozeným procesem v krajině, vyskytujícím se nerovnoměrně v prostoru i čase. Extrémní hydrologické jevy, jakožto i povodně, zpravidla vznikají jako důsledek působení specifického průběhu určitých přírodních procesů, které jsou ovlivněny geografickými podmínkami a činností člověka (Kříž, Kolečka, 1999). Odlišit tak jednotlivé povodňové události lze na základě příčin vzniku, působících faktorů na formování a průběh povodně, projevů v krajině, způsobených škod apod.

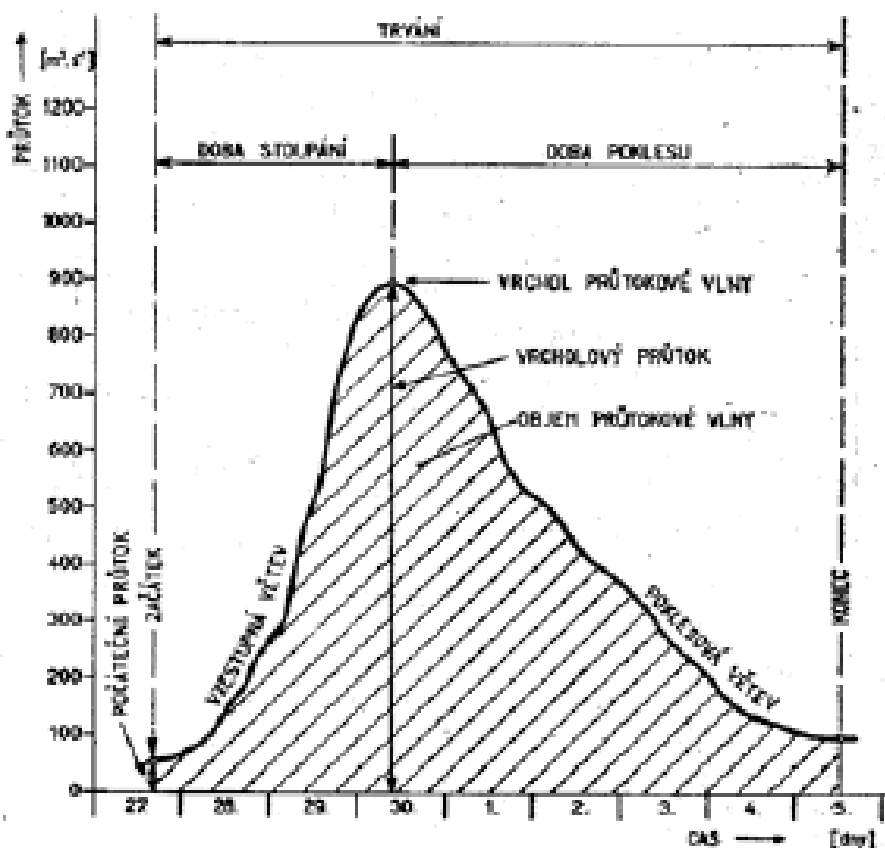
Přechodné zvětšení a následující pokles průtoků a vodních stavů je definován jako průtoková vlna. Jestliže dochází ke značnému vzrůstu průtoků a maximální hodnoty jsou mimořádné, dochází přitom k překračování kapacity koryta a zaplavování okolního území a reliéfu, má průtoková vlna charakter povodně a nazývá se povodňová vlna. Povodňová vlna je dle ČSN (1975) rovněž definována jako přechodné zvětšení a následný pokles průtoků a vodních stavů vyvolaných dešti, táním sněhu nebo umělým zásahem.

Každá průtoková (povodňová) vlna je dána počátkem, tedy patou povodně (tzn. okamžik, od něhož dochází k rychlému zvětšování průtoků/vodních stavů), koncem povodně (tzn. okamžik, kdy průtok poklesne na původní či jiný setrvalý průtok), dobou trvání, objemem průtokové vlny, vrcholem vlny (tzn. největší průtok v určité fázi hydrografu průtokové vlny) a celkovým tvarem vlny.

Charakter povodňové vlny je rovněž určen kalendářním výskytem nejčastějších povodní, typickým časovým průběhem, dobou vzestupu a poklesu. Průtoková vlna je znázorněna na obrázku č.3.1.

Největším vrcholovým průtokem u dané průtokové vlny rozumíme kulminační průtok. Ze souboru kulminačních průtoků jednotlivých průtokových vln odpovídajícím jednotlivým povodňovým epizodám určíme  $N$  – letý průtok, tedy kulminační průtok, který je v uvažovaném profilu dosažen nebo překročen průměrně jednou za  $N$ -let.

Obrázek č.3.1: Průtoková vlna



Zdroj: ČSN (1983)

### 3.3 Faktory ovlivňující vznik a vývoj povodně

Mezi hlavní příčiny povodní v povodích obvykle patří výskyt specifických meteorologických situací a s nimi spojených jevů, ať už se jedná o přívalové deště či odtávání sněhové pokrývky. Na vzniku a celkovém charakteru povodňových vln se však podílí rovněž fyzickogeografické podmínky jednotlivých povodí (jejich rozboru je věnována samostatná kapitola), především pak geologické a hydrogeologické poměry, půdní kryt, charakter klimatu, krajinný pokryv, hydrogeografické poměry, popř. krajinný pokryv území společně s typem břehové vegetace. V zájmové oblasti je důležitý tvar říční sítě, který ovlivňuje souběh povodňových vln, vlastnosti terénu (sklon, nadmořská výška apod.). Vliv těchto faktorů se obvykle v krátkých časových intervalech nemění, určitou variabilitu může zaznamenat vegetační kryt.

Vlivy geografických podmínek na povodňové jevy může být uvažován v globální, regionální i místní rovině. Za globální považujeme např. působení Slunce na všeobecnou cirkulaci atmosféry.

- **Globální vlivy** jsou v dnešní době diskutovanou otázkou v souvislosti se změnou klimatu a změnou distribuce srážek v prostoru a čase.
- **Regionálními vlivy** ovlivňují hydrologický režim krajiny v největší míře, neboť probíhající atmosférické procesy – atmosférická cirkulace, sluneční záření a další jevy souvisí se vznikem specifických povětrnostních situací s určitým souborem meteorologických prvků. Extrémní povětrnostní situace mají často za následek také vznik extrémního povrchového odtoku vody. V prostředí zájmového území jsou hlavním zdrojem vodnosti toků atmosférické srážky, příčinou povodní proto často bývají vydatné dešťové srážky a voda z tající sněhové pokrývky. Z dalších meteorologických prvků uveďme např. výpar, jež se projevuje jako úbytek vody spadlé ve srážkách a může tak do určité míry zmírnit negativní účinek letních dešťů, teplotu a vlhkost vzduchu. Mezi regionální faktory řadíme také geologické, hydrogeologické a geomorfologické vlastnosti území.
- Vliv **místních faktorů** je spjat s konfigurací terénu a aktuálním stavem retenční schopnosti území. Uplatňují se především půdní poměry a jednotlivé složky krajinného pokryvu. Negativní projevem místních faktorů je především zahrazování koryta, vznik bariér z unášených plavenin v určitých úzkých průtočných profilech (např. mosty, propustě apod.), vedou takto k rozšiřování zaplavovaného území a vzniku nárazových vln s místními škodlivými účinky.

Samotná povodňová událost bývá vyvolána nejrůznějšími příčinnými faktory, průběh povodňové vlny, její objem a účinek v území jsou dále spjaty s faktory předběžnými a ovlivňujícími.

**Předběžné faktory** ovlivňují vlastnosti povodí několik dní až měsíců před nástupem povodně a jejich výsledkem je určitý vstupní stav povodí, ovlivňují proto především retenční a infiltrační schopnost území, před vlastní příčinou vzniku povodně. V rámci zájmového území se jedná především o celkovou míru nasycení povodí, naplnění objemů koryt toků v území, celkovou výšku sněhové pokrývky a vodní hodnotu sněhu vázaného na ploše povodí.

**Příčinné faktory** se uplatňují v řádu hodin až několika dní před vznikem povodně a obsahují tedy samotné příčiny vzniku povodní. Z hlediska zájmového území jsou to

především celkové úhrny příčinných srážek, jejich prostorová a časová distribuce a intenzita, teplota a vlhkost vzduchu ovlivňující tání sněhové pokrývky či tvorba ledových jevů na toku.

*Ovlivňující faktory* pak představují souhrn všech vlivů jež se podílí na celkovém průběhu povodně a ovlivňují tak účinky povodní s jejich následky v území. Jedná se především o přímé či nepřímé zásahy člověka do prostředí, ať už v podobě změn ve využívání krajiny či nejrůznější technická opatření protipovodňové ochrany (Langhammer, 2004). V rámci zájmového území jde pak o místní úpravy koryt vodních toků a zvyšování kapacity koryt, především v zástavbě a podél komunikací, úpravy umělých stupňů, budování šterkových přepážek, změny v lesním hospodářství a holosečné těžba dřeva, ke změnám ve využívání území příliš nedochází.

### 3.4 Typy povodní

Zájmové území je vymezeno povodími Černé, Střední a Bílé Opavy, jedná se o bystřinné toky pramenné oblasti řeky Opavy, na kterých nejsou budovány vodní nádrže. Zvažujeme-li proto povodňové události, jedná se především o povodně přirozené, tzn., povodeň způsobená přírodními jevy, zvláštní typ povodně představuje situace, kdy dochází k dočasnému snížení průtočnosti koryta.

Dle ČSN (1975,1983) jsou povodně dle příčiny vzniku vymezena na dešťové, sněhové a smíšené. Nejtypičtější pro horní povodí Opavy jsou povodně dešťové a smíšené. Výskyt povodní je různý v prostoru i čase. Dešťové povodně jsou vyvolávány výhradně dešťovými srážkami, jež jsou vázány především na letní půlrok, jsou proto nejcharakterističtější formou letního půlroku od května do počátku října. Mají odlišnou odtokovou odezvu, jedná-li se o přívalové deště nebo krajinné, regionální deště. Sněhové povodně jsou vyvolávány výhradně táním sněhové pokrývky a pro zájmovou oblast nejsou typické. Smíšené povodně jsou vyvolávány kombinací dešťových srážek a tání sněhové pokrývky – nejtypičtější období výskytu v zájmové oblasti je měsíc duben.

#### **3.4.1 Druhy povodní v zájmové oblasti**

##### *o Dešťové povodně vyvolávané trvalými srážkami*

Obecně se jedná o povodně vyvolávané kapalnými srážkami o trvání v délce 6 hodin až několika dní, jež vypadávají souvisle či v několika delších epizodách. Vznik a vypadávání srážek je spjato s tvorbou mohutné srážkové vrstevnaté oblačnosti, která se vyvíjí v rámci oblačnosti cyklon středních šířek i tropických cyklon. Vznik oblačnosti je charakterizován

pomalým výstupným prouděním vzduchu, často jsou srážkami postiženy značně rozsáhlé oblasti, bývá proto často postihována celá zájmová oblast společně s přítoky. Nebezpečí této situace spočívá v tom, že dochází k časově stejné odtokové odezvě a souběhu povodňových vln v místě soutoku. V horské oblasti zájmového území je tato srážková činnost dále orograficky zesilována vynuceným vzestupným pohybem proudícího vzduchu.

- ***Dešťové povodně vyvolávané přívalovými srážkami***

Přívalové deště jsou jedním z projevů konvekčních procesů a jevů, které probíhají při vývoji mohutných srážkových, konvekčních oblaků druhu Kumulonimbus (Cb). Jsou spjaty s výstupným konvekčním prouděním a následným kompenzačním sestupným prouděním s vypadáváním srážek. Charakteristické jsou vysoké úhrny srážek, velké intenzity deště – jež jsou důsledkem fyzikální a dynamické organizace konvekčního systému, především s vývojem vertikálních gradientů tlaku - a poměrně krátká doba trvání srážkových epizod. Přívalové srážky jsou také plošně omezenější, srážková činnost je vázaná na podstatně menší území než výskyt celého oblačného systému. Vývoj konvekční oblačnosti je krátký, rozpadem konvekční oblačnosti někdy může vznikat oblačnost vrstevnatého charakteru. Povodňová vlna proto může zaznamenávat více vrcholů, přičemž se může měnit příčinný faktor. Nejvydatnější srážkové úhrny jsou spjaty s pomalu postupujícími či kvazistacionárními bouřemi s opětovným tvořením bouřkových cel, neboť se prodlužuje doba trvání srážek (Řezáčová, 2007). Není proto výjimkou přechod jednotlivých typů dešťových povodní a vzájemná provázanost. Charakteristická je pro tento typ rychlá odtoková odezva na spadlou příčinnou srážku s prudkým nárůstem průtoků a vodních stavů a poměrně krátkým trváním. Škodlivý účinek takovýchto povodní se rovněž projevuje erozní činností v důsledku velké kinetické energie tekoucí vody (Brázdil et. al., 2005).

- ***Smíšené povodně***

Smíšené povodně vznikají za spoluúčasti dešťových srážek a postupného odtávání sněhové pokrývky, přičemž tání sněhu může být kapalnými srážkami urychlováno. Typické jsou pro zájmové území každoroční zvyšování průtoků v jarním období, v závislosti na celkovém množství odtávajícího sněhu a dešťových srážek, a postihují obvykle všechny tři zdrojnice. Povodí Střední a Bílé Opavy jsou charakteristické delším trváním sněhové pokrývky a jejím postupným odtáváním, proto se průtoky vyznačují spíše postupným nárůstem a určitým zpožděním kulminace vůči Černé Opavě, jedná se spíše o pravidelné mírnější rozvodňování toků s delším trváním vyšších průtoků. Výskyt takovýchto povodní je výhradně vázán na jarní období se zvýšením teplot. Vznik takovýchto povodní je spjat

s různými synoptickými příčinami, především pak se západní cyklonální situací, kdy jsou srážkové úhrny zesilovány vlivem orografického efektu.

- *Sněhové povodně*

Tyto povodňové situace nejsou v daném území častým jevem, téměř každá proběhlé povodňová situace (především toky Černá a Bílá Opava) probíhající v zimním období (zimní měsíce) byly doprovázena minimálními úhrny dešťových srážek, mají proto rovněž spíše pouze lokální charakter. Jak již bylo řečeno, sněhové povodně vznikající táním sněhové pokrývky nejsou pro zájmovou oblast typické, při postupném odtávání sněhové pokrývky nedochází k tvorbě významnějších povodňových průtoků. Přechodná oteplení v zimním období spjatá s táním sněhu v zájmové oblasti bez příčinných srážek (vychází se z databáze kulminačních a průměrných denních průtoků) nevyvolává významnější povodňové situace, dochází k překračování pouze jednoleté vody.

- *Zvláštní povodně*

Zvláštním typem povodňových situací představují v zájmovém území epizody, při kterých dochází ke snižování průtočnosti koryta a přehrazování toků unášeným materiálem. V zájmovém území se spíše nejedná o samostatný typ povodní, ale o doprovodný jev zmíněných situací, jako příklad uveďme povodeň v roce 1997, kdy byla řeka Opava v soutoku ve Vrbně pod Pradědem částečně blokována unášeným materiálem z místní pily (Povodí Odry, s.p.).

### **3.5 Synoptické příčiny povodní**

Analýza povětrnostních příčin předcházejících povodním, jež má za úkol nalézt vztahy mezi cirkulací atmosféry a její odtokovou odezvou, je důležitou součástí rozboru jednotlivých povodňových událostí v daném povodí a vede k poznání určitých symptomů a příčinných situací, které mohou vést ke vzniku povodní. Důležitý je rozbor cirkulačních procesů, které vedou k extrémním srážkovým úhrnům, neboť srážky jsou hlavním zdrojem vodnosti našich řek. Povětrnostní situace odpovídající jednotlivým epizodám by měly být vystiženy takovými ukazateli, aby byla možná jejich vzájemná porovnatelnost. Situace před povodněmi jsou nejvíce reprezentativní pro tři až jeden den před kulminací povodňové vlny (Brázdil et. al., 2005).

Typické jsou pro zájmovou oblast povodně v jarním období spojené s oblohou, postupným odtáváním sněhové pokrývky a přísunem dešťových srážek stejně jako letní dešťové povodně.

Obecně je vznik srážek v atmosféře vázán na výstupné pohyby během termické konvekce při orografických návětrných efektech, v oblastech cyklon a brázd nízkého tlaku vzduchu následkem dynamicky podmíněných výstupů v nižších hladinách atmosféry a výkluznými pohyby vzduchu v oblasti atmosférických front (Povodí Odry, s.p.).

### **3.5.1 povětrnostní situace (typické pro jarní a letní období)**

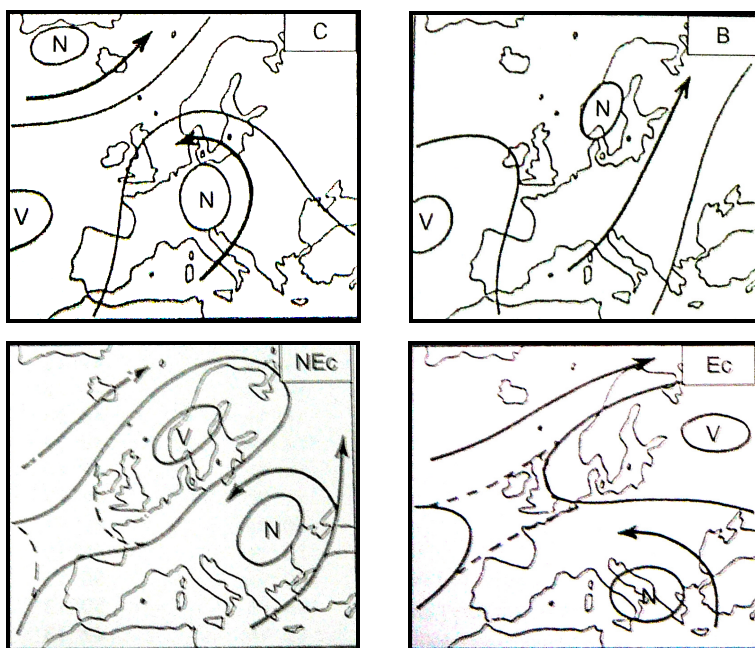
Povodně v zájmovém území vznikají nejčastěji v důsledku severovýchodní cyklonální situace, v případě situace brázdy nízkého tlaku vzduchu nad Evropou, při stacionární cykloně nad střední Evropou či při východní cyklonální situaci.

V letním půlroce jsou z hlediska srážkové činnosti nejnebezpečnější výskyty brázdy nízkého tlaku vzduchu nad střední Evropou, ve které se udržuje zvlněné frontální rozhraní, oddělující teplý vzduch na východě a studený na západě. Pro letní období je typičtější užší brázda s ostřeji vyjádřenou zvlněnou studenou frontou, jejíž srážkové pásmo může nad územím setrávat i delší dobu (Křivancová, Vavruška, 1997). Frontální srážky jsou díky orografickému efektu dále zesilovány, jsou proto v horských oblastech dosahovány maximální úhrny srážek. S přechodem čela studené fronty jsou spojeny bouřkové srážky. Dráha frontálních vln probíhá nejčastěji z Itálie přes Moravu a Polsko (Křivancová, Vavruška, 1997). Z hlediska subjektivní typizace se jedná o typ B (Katalog povětrnostních situací, ČHMÚ, 2010).

V některých případech jsou srážky vázány na studené, resp. zvlněné studené fronty, postupující v mělkých brázdách mezi jednotlivými jádry vyššího tlaku vzduchu, charakter těchto srážek je konvektivní.

Extrémní srážkové úhrny jsou rovněž spojovány se „srážkotvornými“ cyklonami. Jedná se o vliv cyklon nad západní části střední Evropy, popř. vliv tlakových níží východně od území České republiky nebo cyklony nad jižní a jihovýchodní Evropou. V důsledku přízemní konvergence proudění dochází k uspořádaným výstupným pohybům nad rozsáhlejšími územími (Štekl et. al., 2001). Z hlediska subjektivní typizace se jedná o povětrnostní typy C, NEc a Ec. Frontální systémy s přízemními cyklónami postupují ze středomořské oblasti nad východní část střední Evropy a zde se retrográdněji stáčí k západu, území je pak zasaženo srážkovými frontálními pásy, nikoliv však teplými sektory (Křivancová, Vavruška, 1997).

Obrázek č.3.2: Schéma vybraných synoptických typů (letní období) dle typizace HMÚ



Zdroj: Brázdil, Kirchner et al.(2007)

Vznik extrémních srážek je spojen s termicky asymetrickými cyklony, ležícími převážně severovýchodně od území České republiky (Brázdil et.al., 2005), kdy kolem tlakové níže nad jižní Evropou pronikají do střední Evropy frontální systémy od východu nebo tlaková níže východně od České republiky přivádí studený vzduch od severu až severovýchodu. (Křivancová, Vavruška, 1997). Pro vznik srážek v týlové části cyklóny je nutný zhuštěný tlakový gradient při zemi (Brázdil, Štekl, 1986), tento gradient je spjat s výraznou přízemní konvergencí vzduchu (Štekl et. al., 2001). V jarním a letním období se uplatňuje vliv okluzní fronty za studenou frontou, teplý vzduch proniká nad východní Polsko. Na vzniku přeháněk se uplatňují výstupné pohyby dynamického původu a konvekční výstupy (Brázdil, Štekl, 1986).

Ve výšce se občas uplatňuje advekce teplého vzduchu retrográdně přetočeného přes Ukrajinu nebo teplá advekce od jihovýchodu (Křivancová, Vavruška, 1997). Současně se uplatňují orografické vlivy na návětrných stranách Hrubého Jeseníku.

Jak již bylo zmíněno, cirkulační podmínky atmosféry spojené s výskytem povodní v letním půlroce jsou často představovány systémem atmosférických poruch, tzn. cyklon, pohybujících se obvykle po trajektorii nazvané dle van Bebbera (Brázdil, Štekl, 1986) jako dráha V. Střední cyklon u tohoto typu směřují z Biskajského zálivu do oblasti Janovského zálivu ( dráha Va). V prostoru západního Středozeří se pak v některých případech vyvine uzavřená cyklona, jež pak postupuje nad severní Jadran, kde se postup dále rozvíjí



v závislosti na poloze řídicí anticyklony nad Evropou do tří směrů (Vb, Vc a Vd) (viz obr. č.3.3).

Obrázek č.3.3: Hlavní trajektorie cyklon



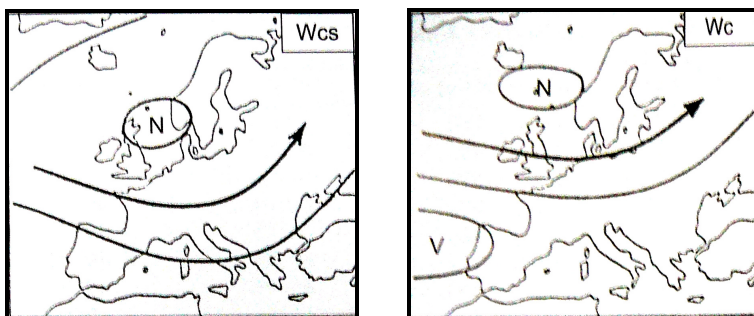
Zdroj dat: Souhrnná zpráva Povodí Odry s.p.

Z hlediska trajektorie cyklon jsou nejnebezpečnější situace při postupu teplotně asymetrické cyklony po tzv. „klasické“ dráze Vb, vedené z Benátského zálivu do prostoru jižního Polska (povodí Odry s.p.), kdy se do střední Evropy dostává teplý, vlhký vzduch ze Středozeří. Obecně jsou z hlediska srážkových úhrnů nejnebezpečnější systémy postupující z jižního kvadrantu do severního kvadrantu, území postižené srážkami se většinou nachází v týlové části srážkotvorné cyklony (Brázdil et. al., 2005).

### **3.5.2 Povětrnostní situace (zimní období)**

Srážky a povodně v zimním období jsou většinou spojeny s jihozápadním až západním prouděním od Atlantiku (Brádka et al., 1961) a povětrnostními typy Wc a SEc. Jedná se o západní a jihovýchodní až jižní cyklonální situace, kdy frontální zóna probíhá z Atlantiku přes Britské ostrovy k východu či od Středomoří přes Balkán do Střední Evropy, fronty přitom území zasahují aktivně, občas jsou okluzního charakteru. Na území se střídají teplé a studené vzduchové hmoty nebo území převážně zůstává v chladném sektoru. Uplatňují se rovněž orografické vlivy (Křivancová, Vavruška, 1997). Povodně v zimních měsících nejsou pro dané území příliš typické, charakteristický je výskyt jarních smíšených povodní s vyššími srážkovými úhrny, jež přináší situace Wc.

Obrázek č. 3.4: Schéma vybraných synoptických typů (zimní období) dle typizace HMÚ



Zdroj: Zdroj: Brázdil, Kirchner et al. (2007)

### **3.5.3 Shrnutí**

Z hlediska subjektivní povětrnostní typizace jsou vyšší srážkové úhrny a odpovídající průtoková odezva spojeny s typy B, C, NEc a Ec, jež se projevují v letním období a bývají často orograficky zesilovány. V zimním a jarním období převládají západní a jižní cyklonální situace spojené a prouděním teplého vzduchu od Atlantiku a vyššími srážkovými úhrny.

Z hlediska vzniku extrémních srážek je nejvíce nebezpečná postupující teplotně asymetrické cyklony s málo pohyblivými frontálními rozhraněními ze středomoří po dráze Vb, za předpokladu existence dostatečně vlhkého vzduchu. Silné srážky obvykle vznikají ve spojitosti s výraznými studenými frontami a opakovaným přechodem frontálních vln přes dané území.

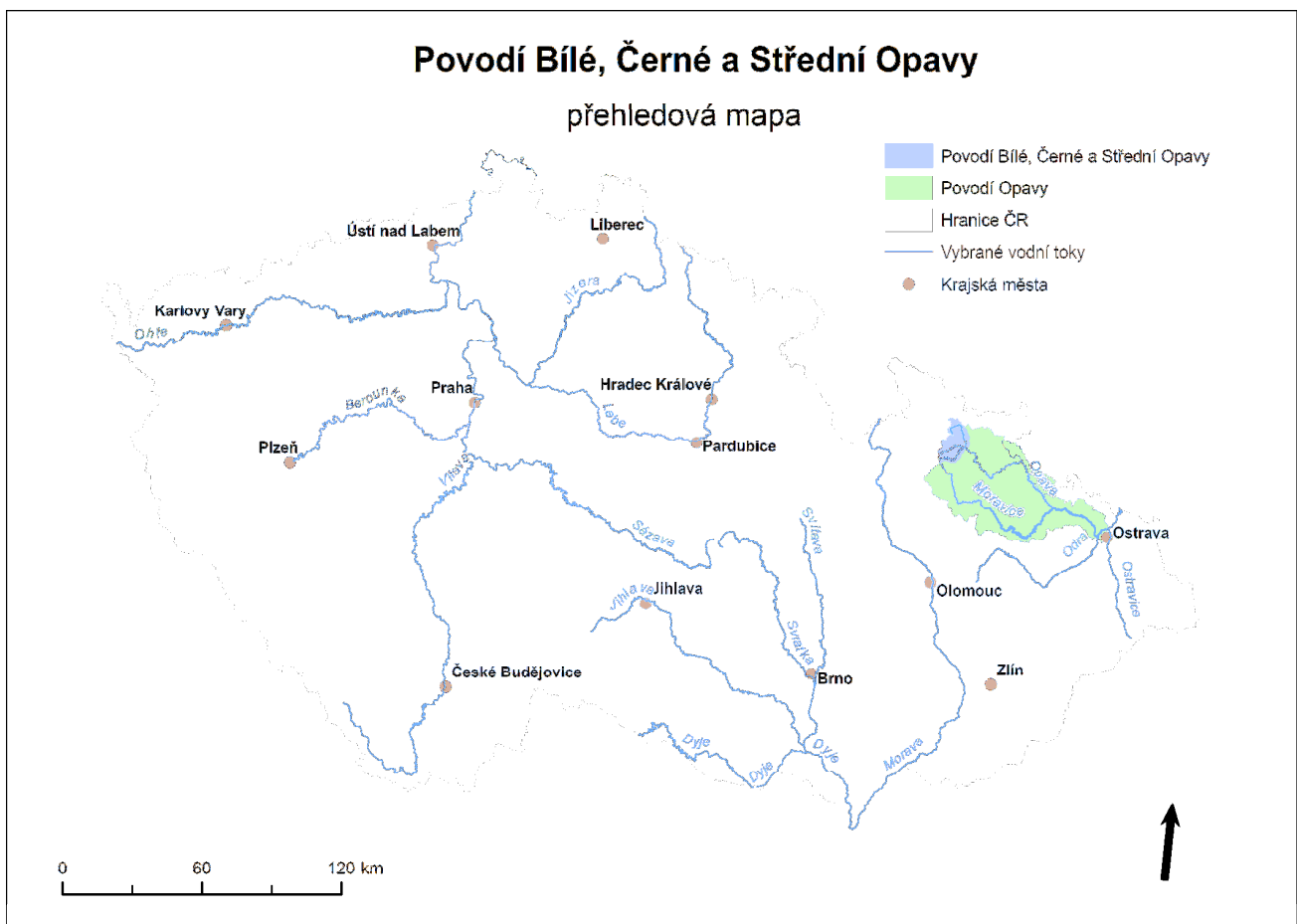
## 4. Základní fyzickogeografická charakteristika zájmového území

V následující části diplomové práce jsou shrnuty základní fyzicko-geografické vlastnosti zájmové oblasti, přičemž největší pozornost je věnována charakteristikám, které ovlivňují srážkoodtokový proces v daném území a podílí se na tvorbě povodňových situací a extrémních průtoků.

### 4.1 Vymezení zájmového území

Zájmová oblast je vymezena povodími Černé, Střední a Bílé Opavy, situovanými v severovýchodní části České republiky. Představují pramennou oblastí řeky Opavy a náleží proto k povodí Odry a úmoří Baltského moře. Celkově představují pouze 0,0001 % z celkové plochy povodí Odry a pouze necelého 0,5% povodí Opavy, přesto však představují vodohospodářsky významné toky, neboť významně ovlivňují život ve svém okolí.

Mapa č.1:Přehledová mapka zájmového území



Zdroj: Povodí Odry, s.p.

Toky pramení na úpatích vrcholů Hrubého Jeseníku v nadmořských výškách 1000 – 1300 m n. m. a protékají zaříznutými údolními a zástavbou menších sídel. Soutokem těchto

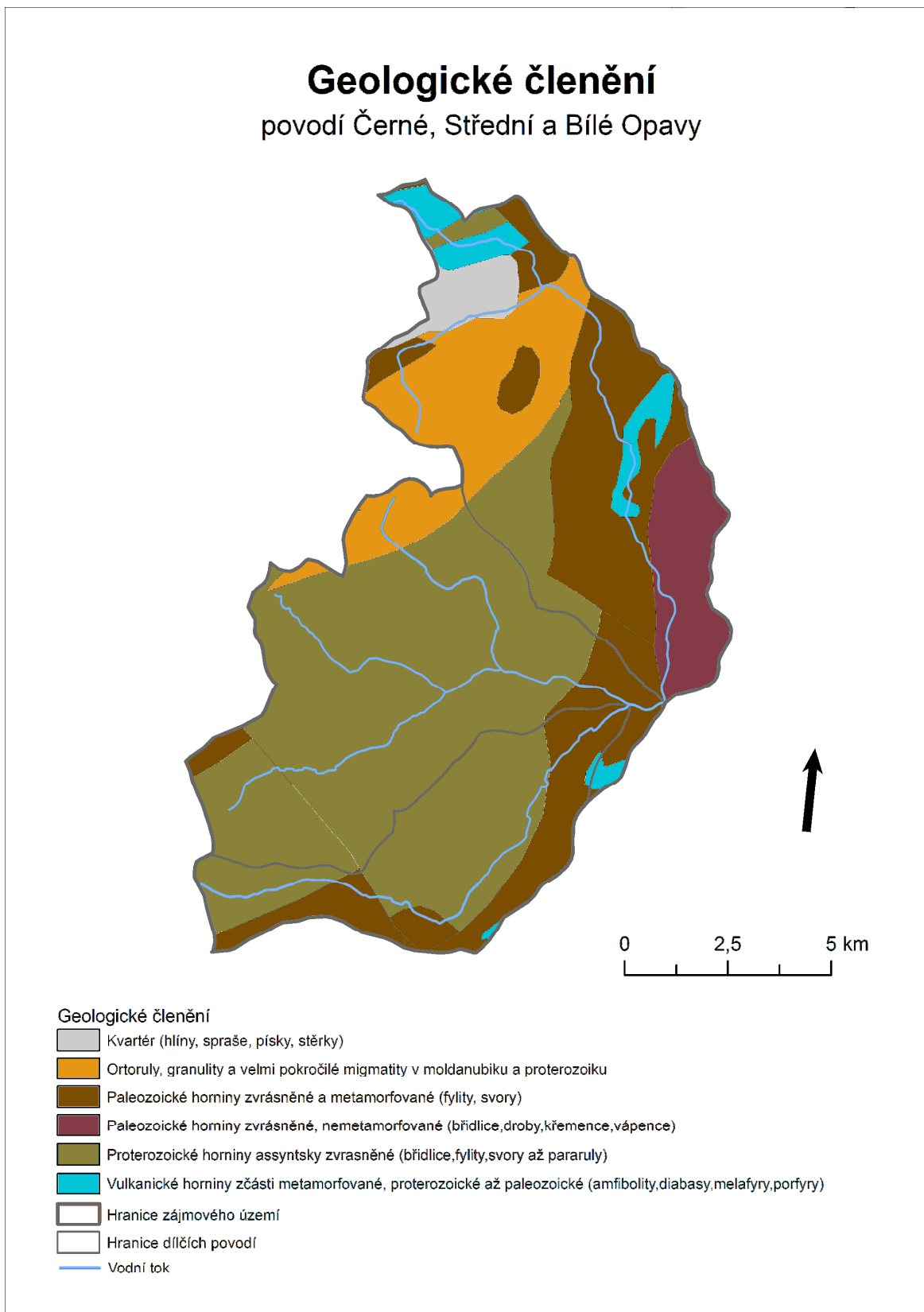
zdrojnic ve Vrbně pod Pradědem vzniká řeka Opava, která dále protéká řadou sídel a v Ostravě se vlévá do řeky Odry. Povodí jsou vymezena rozvodnicemi probíhajícími převážně po hřbetech a sedlech Hrubého Jeseníku (např. Vysoká hole - 1464 m, Orlík – 1204 m, Jelení loučky - 1205 m), pouze část rozvodnice Černé Opavy probíhá vrcholy Zlatohorské vrchoviny. (např. Jedlová – 870 m, Jelení vrch – 874 m). Nejvyšší vrchol oblasti Praděd (1491 m) leží na rozvodnici Střední a Bílé Opavy v Hrubém Jeseníku, nejvyšší vrchol povodí Černé Opavy Medvědí vrch (1206 m) pak na rozvodnici Střední a Bílé Opavy.

## 4.2. Geologické poměry

Povodí Černé, Střední i Bílé Opavy náleží z geologického hlediska k moravskoslezské zóně, severovýchodní části Českého masivu, (část geologické jednotky hercynské mezevropy), jež je konsolidovaným zbytkem variského horstva. Z regionálně – geologického hlediska se pak jedná o Silezikum. Části, především východní hranice povodí Černé Opavy na rozvodí s řekou Opavicí, pak zasahuje do vrstev jesenického spodního karbonu.

Jádro Silezika je tvořeno Desenskou a Keprnickou klenbou s metamorfovanými komplexy, jejíž centrální části jsou budovány prekambričným krystalinikem a tvoří podklad variskému patru oblasti Tzv. „desenskou skupinu“ tvoří metamorfované krystalické břidlice, jež vystupují na povrch ve vrcholových oblastech. Desenská klenba je rozdělena bělským zlomem na slezskou kru Orlíku a moravskou kru Pradědu. Základními horninami jsou především muskovit – biotické metamorfované břidlice, místy s granátem, mylonity a blastomylonity. Časté jsou vložky kvarcitů, svorů a metabazitů.

Obalové vrstvy desenské skupiny tvoří horniny tzv. „vrbenské skupiny“ - především okolí Vrbna pod Pradědem, Ludvíkova v povodí Bílé Opavy a Mnichova v povodí Černé Opavy. Tato skupina představuje devonské metamorfované (regionální metamorfóza proběhla během variské orogeneze) horniny, především fylity a kvarcity. V kvarcitových vrstvách na desenských rulách v oblasti Ludvíkova, Karlovy Studánky a Vysoké hole obsahují stlačenou a deformovanou faunu (mlži, trilobiti, červi), vyskytují se zde také projevy iniciálního vulkanismu. Oblast rozvodí Černé a Střední Opavy je budována sériemi „skupiny červenohorského sedla“. Jedná se tektonickou linií hlubinného dosahu tvořenou sérií paralelních zlomů SV – JZ směru. Vyskytují se zde metamorfované horniny Desenské i Keprnické klenby společně s devonem a polohami svorů.



Zdroj: CENIA, geologická mapa ČR

Horniny vrbenské skupiny a moravskoslezské paleozoikum tvoří variské patro zájmové oblasti (Demek 1992, Weissmannová 2004).

Převážná část povodí Střední Opavy je tvořena mylonity a metagranitoidy s výskytem metaprachovce a kvartérními nezpevněnými sedimenty v okolí vodních toků a poklesů, v pramenném úseku se pak nachází metaarkózy. Geologické podloží povodí Bílé Opavy je v horním úseku budováno rulami a proteozoickými metamorfovanými horninami, především fylity a svory, v dolním úseku pak metagranitoidy a mylonity.

Povodí Černé Opavy je budováno především fylity, svory s výskytem kvarcitů, v pramenné oblasti pak mylonity a v oblasti Rejvízu pak kvartérními nezpevněnými sedimenty a rašelinou. Moravskoslezské paleozoikum je zde pak zastoupeno především v Mnichovské oblasti karbonovými sedimenty – jílovitými břidlicemi, drobnými prachovci.

Geologické poměry v povodích, horninové složení, uložení hornin, jejich propustnost a rozpukání jsou důležitými faktory, které společně s vlastnostmi reliéfu, klimatem a půdními vlastnostmi ovlivňují vznik povrchového i podpovrchového odtoku, zásoby vody v území a také odtokovou odezvu srážkových událostí a zvětšování průtoků v korytech řek.

### **4.3 Hydrogeologické poměry**

Hydrogeologické poměry území jsou důležitým faktorem ovlivňujícím režim odtoku, neboť vedle půdních, sklonitostních poměrů, vegetačního krytu apod. je také důležité, na které horniny srážky spadnou. Uplatňuje se především propustnost či nepropustnost hornin, jejich mocnost, vlastnosti zvětralinového pláště apod., které ovlivňují vsak spadlé srážkové vody a odtékající vody, podílí se na tvorbě zásob podzemních vod a jejího odtoku a ovlivňují tak napájení řek. Propustnost hornin je závislá především na petrografickém složení, tektonických poruchách a rozpukání hornin.

Z hydrogeologického hlediska náleží zájmová oblast k dvěma rajónům – oblasti Krystalinika severní části východních Sudet – Jihovýchodní část a oblasti Kulmu Nížkého Jeseníku.

Krystalinikum východních Sudet představuje hydrogeologický masív, kde jsou pásma zvodnění určována tektonickými poruchami a zónami podpovrchového rozpukání. Celkově je budováno horninami málo propustnými s nízkou akumulací schopností a obecným nedostatkem podzemní vody, přičemž podzemní voda je vázaná především na kvartérní sedimentární pokryv a otevřené pukliny v dosahu podpovrchového zvětrávání či v nezatěsněných puklinových zónách a tektonických poruchách. Obvyklé jsou puklinové prameny v údolích. Sedimentární horniny jsou v oblasti uloženy převážně na nepropustném podloží, tudíž podzemní vody mohou být odváděny paralelně s povrchovým odtokem. Pokud

podpovrchový přísun vody probíhá spolu s povrchovým odtokem, dochází ke zvyšování vodního stavu v řece. (Květ, 1978, Vilímek, 2003)

Hydrogeologický rajón Kulmu Nízkého Jeseníku tvořený břidlicemi a drobami je charakterizován hustší sítí puklin s mělkým oběhem podzemních vod v zóně zvětrávání a podpovrchovém rozpojení hornin do různých hloubek podél povrchových pásem.

V zájmové oblasti se jedná především o oblasti s puklinovým oběhem podzemních vod s proměnlivým podílem průlomové porozity v pásmu připovrchového rozpukání. Oběh se uskutečňuje po puklinách, jež nejsou působením tlaků sevřeny. Průlomový kolektor je tvořen hlinitopísčnými a šterkovitými kvartérními sedimenty, lokalizovanými v údolních nivách. Zásoby podzemních vod jsou doplňovány břehovou a srážkovou infiltrací, odvodnění představuje infiltrace do vodních toků. (Müller, 1992)

#### **4.4 Geomorfologické poměry**

Z geomorfologického hlediska náleží zájmové oblast k provincii Česká Vysočina, subprovincii Krkonošsko – Jesenické soustavě, oblasti Jesenické. Obecně se jedná o horskou oblast s hluboce zařezanými údolními tvaru V s příkrými svahy a poměrně vysokými spády vodních toků. Typické jsou rovněž poměrně velké výškové rozdíly na malých vzdálenostech. Říční údolí zdrojnic jsou vysoká, sevřenější, spíše asymetrická. Na modelaci terénu se po doznění variského vrásnění a následné peneplenizaci podílely endo a exogenní pochody pobíhající v mladších třetihorách – neogenní tektonické pohyby s řadou kerných posunů, spolu s kryogenní modelací v chladných obdobích pleistocénu.

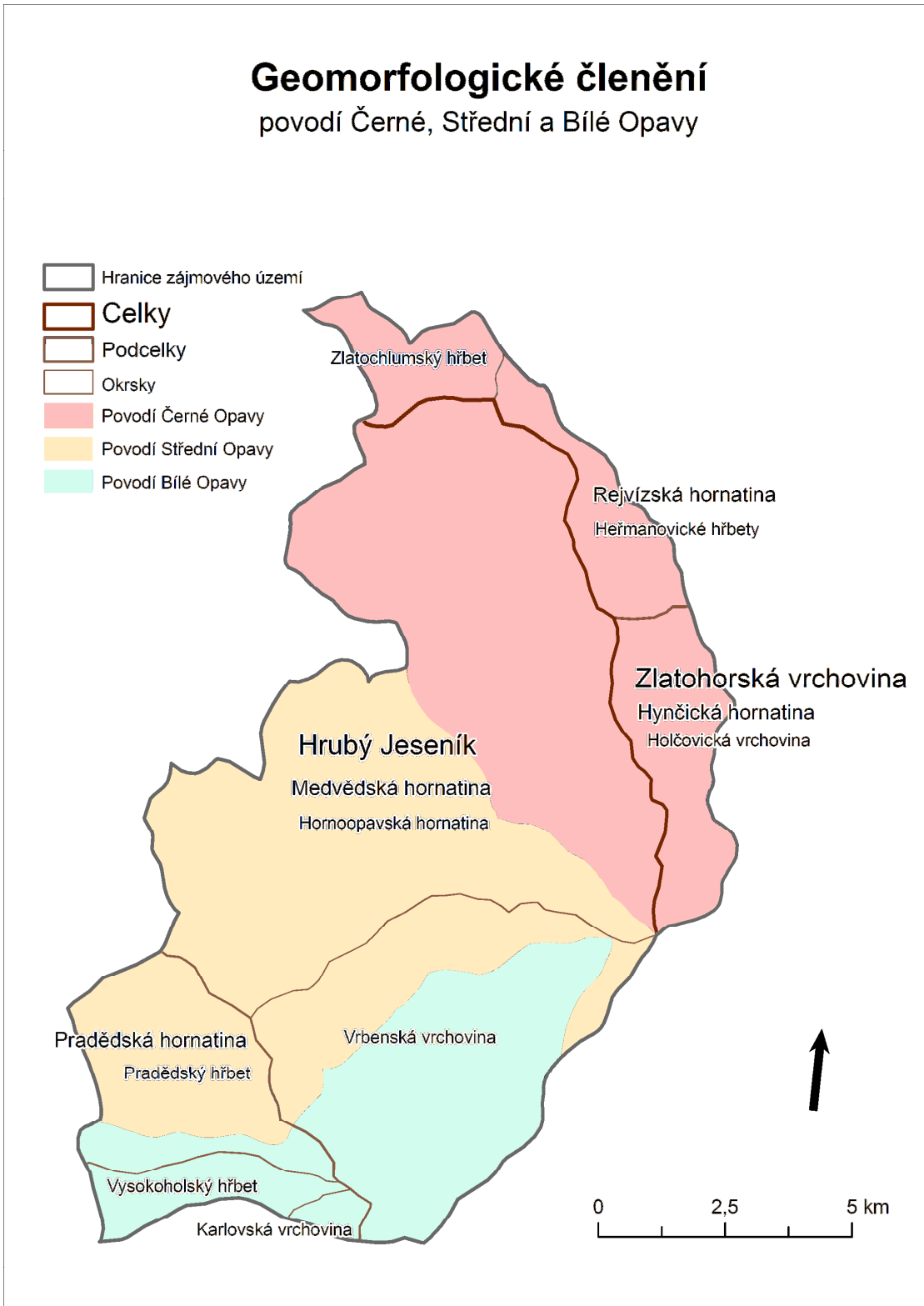
Z regionálně geomorfologického hlediska je převážná část povodí Černé Opavy (pramenná oblast a především povodí pravobřežních přítoků ) a celá povodí Bílé a Střední Opavy budováno celkem Hrubý Jeseník, převážně pak patří k podcelku Medvědské hornatiny a okresům Horňopavské hornatině a Vrbenské vrchovině. Jedná se o vyzdvížené zlomové kry, jež byly přemodelovány kryogenními pochody, jejíž údolí jsou založená na tektonických poruchách a zlomech. V oblasti se vyskytují izolované skály, popř., mrazové sruby.

Pramenné úseky Střední a Bílé Opavy jsou tvořeny podcelkem Pradědskou hornatinou a okrsky Pradědský hřbet, Vysokoholský hřbet, pouze okrajově do povodí Bílé Opavy zasahuje Karlovarská vrchovina. Pradědská hornatina je také vyzdvíženou zlomovou krou složitě stavby s hlubokými údolními, hlavní linie jsou vázány na zlomy.

Povodí Černé Opavy je dále budováno okresky Zlatohorské vrchoviny – oblast Rejvízu a Zlatých hor, a Holčovické vrchoviny. Tato ukloněná kerná vrchovina je budována

zvrásněnými a mematomorfovanými karbonskými horninami, překrytými mladšími sedimenty (Demek, 1992).

Mapa č.3: Geomorfologické členění zájmového území



Zdroj: CENIA, geomorfologické členění ČR



Jedná se zde rovněž o tektonické, zlomové kry, ukloněné k jihovýchodu. Ve vrcholových částech je možno najít zbytky zarovnaného povrchu. Jelikož byl povrch kryogenně přemodelován, vyskytují se zde periglaciální tvary. Typická jsou pravoúhlá zařezaná údolí založená na zlomech a poruchách ve směru SV – JV či SZ – JZ. Specifickým znakem Rejvízské hornatiny je výskyt rašelinišť, jež vznikala v důsledku nepropustnosti podloží v době poledové.

V chladném období pleistocénu byla oblast modelována periglaciálními pochody, vyskytují se zde izolované skály, hranáče (Pradědský hřbet), kryoplanační plošiny (rozvodí Střední a Bílé Opavy), tóry (Mnichov) a sruby. Intenzivní periglaciální denudace v meziúrodních částech vedla k nahromadění materiálu, jež vodní toky nebyly schopny unášet. Na JZ svahu Bílé Opavy v Karlově Studánce se vyskytuje halda mocnosti až 32 m (Demek, 1992).

V řečišti vodního toku Bílé Opavy, vlivem odlišné odolnosti hornin vůči vodní erozi a nepravidelným vrásněním hornin, vznikly přirozené výškové stupně, jež tok překonává řadou kaskád, peřejí a vodopádů. Největší vodopád má výšku přes 7 m.

*Obrázek č.4.1: Výškové stupně na horním toku a říční údolí Bílé Opavy*



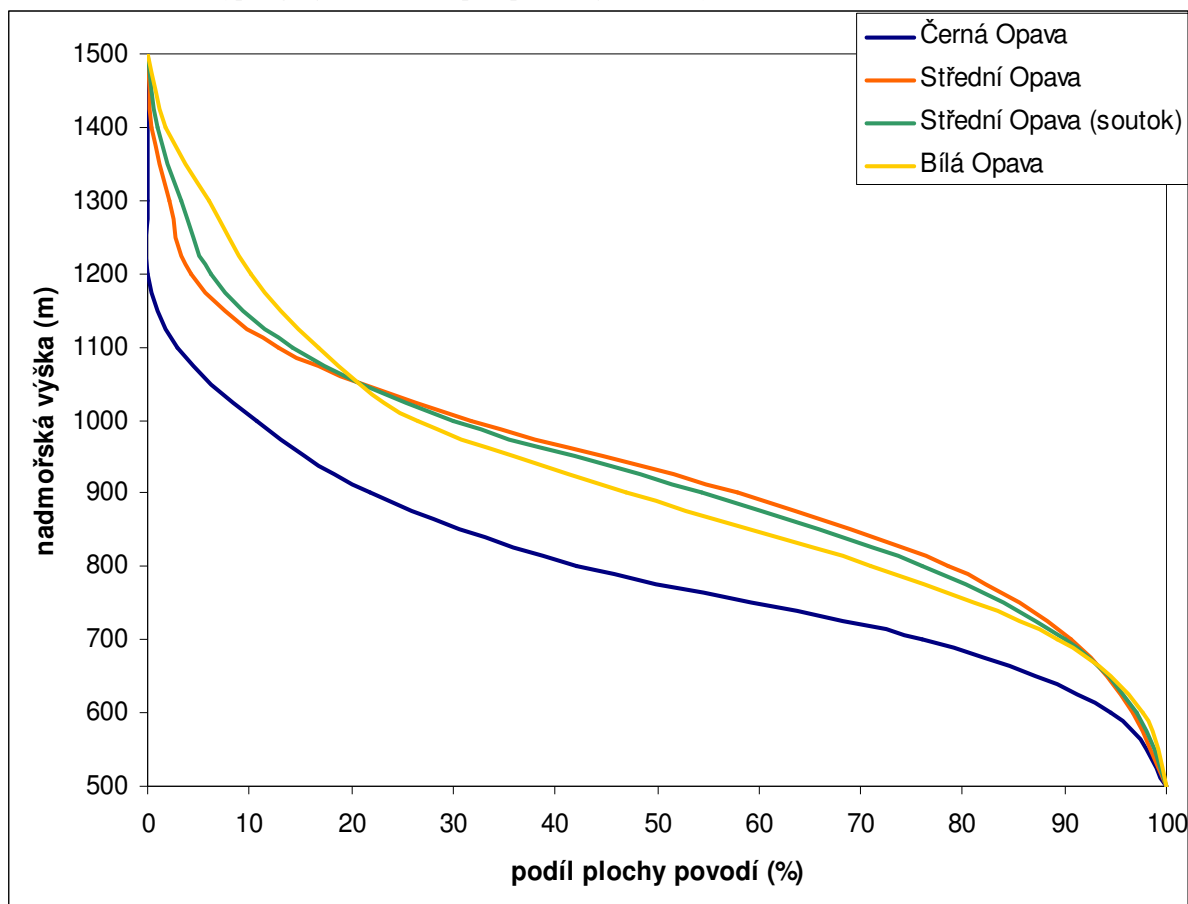
*Foto: autorka*

## **4.5 Morfometrické vlastnosti**

Morfometrické vlastnosti povodí mají rozhodující vliv na intenzitu, plošné a časové rozložení srážek a odtoku. Výškové a sklonitostní poměry mají vliv především na teplotu vzduchu, celkové srážkové úhrny, vlhkost vzduchu aj. Základní morfometrické charakteristiky jsou odlišné pro horní a dolní úseky toků zdrojnic.

Základní představu o výškových poměrech podává převýšení a průměrný sklon povodí. Nejvyšším vrcholem v povodí Bílé a Střední Opavy je Praděd (1491 m n. m.), v povodí Černá Opavy pak Medvědí vrch (1216 m n. m.), nejnižší polohy představují ústí vodních toků – soutok Bílé a Střední Opavy v nadmořské výšce 544 m n. m., soutok Černé a Střední Opavy ve výšce 527 m n.m. Představu o výškových poměrech v jednotlivých povodích udává tabulka č.4.1.a hypsografická křivka.

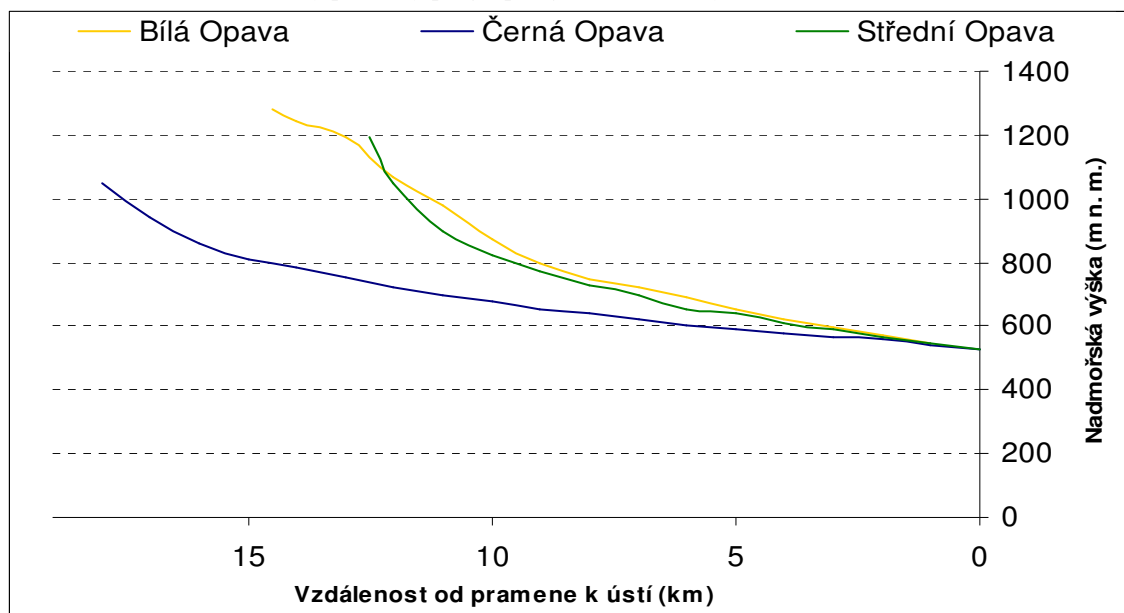
Obrázek č.4.2: Hypsografická křivka pro povodí jednotlivých toků



Zdroj dat: DMÚ 25

Téměř 34% povodí Černé Opavy se pohybuje v nadmořských výškách 700 – 800 m n. m., (střední výška 748 m), povodí Střední Opavy je charakteristické svými obecně vyššími polohami – poměrně rovnoměrné zastoupení okolo 20% ve výškách 800, 900, 1000 m n. m. (střední výška 879 m). Bílá Opava má největší zastoupení výšek 800 - 900 m n. m. – okolo 27% (střední výška 866 m). Koeficienty reliéfu a sklonové charakteristiky jsou různé pro jednotlivá povodí a poukazují na odlišnost přírodních podmínek, vypovídají rovněž o odlišných rychlostech tvorby povrchového odtoku a extrémních průtoků.

Obrázek č.4.3 : Rozvinutý podélný profil pro jednotlivé toky



Zdroj dat: DMÚ 25

Celkově se povodí Bílé a Střední Opavy vyznačují sevřenějšími tektonicky podmíněnými údolními s členitým reliéfem s velkými sklony svahů – největšími hodnotami disponuje pramenná část v okolí Pradědu – přes 40%, svahy v povodí Černé Opavy jsou mírnější – s hodnotami okolo 20%. Souhrnně sklonitost poklesá od pramene směrem k ústí. Mapky sklonitostních poměrů v jednotlivých povodích jsou uvedeny v příloze práce.

Tabulka č 4.1: Základní charakteristiky reliéfu pro povodí jednotlivých toků

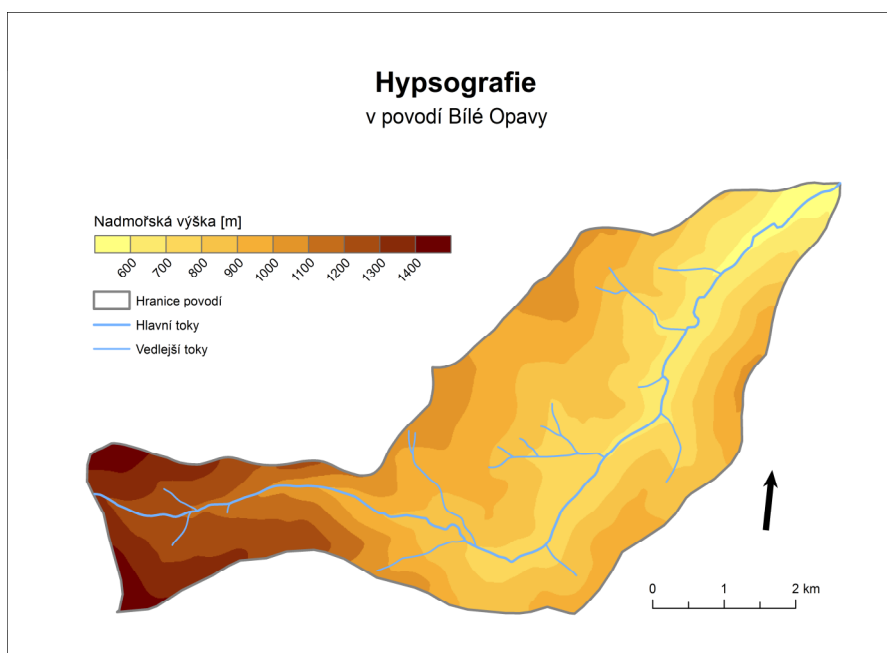
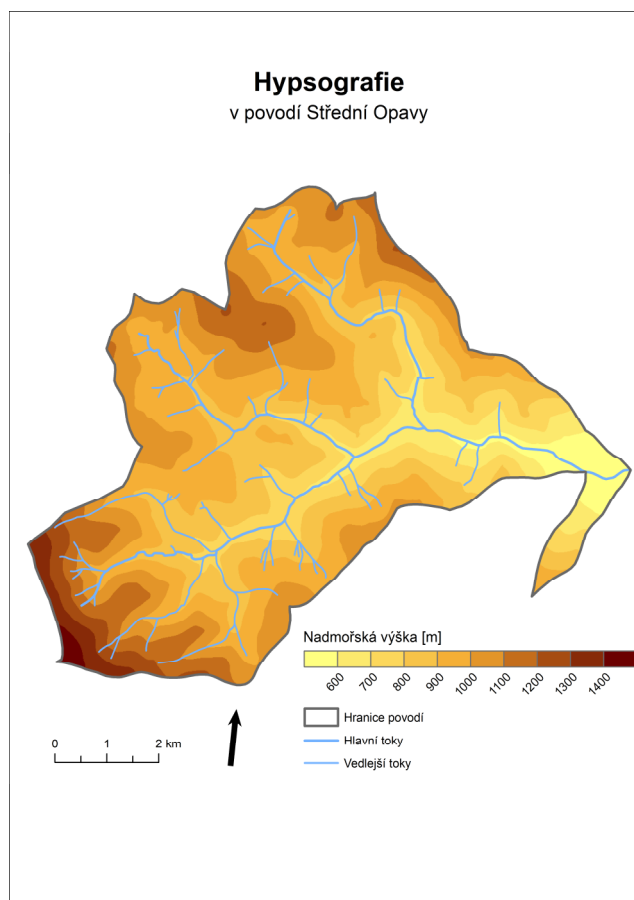
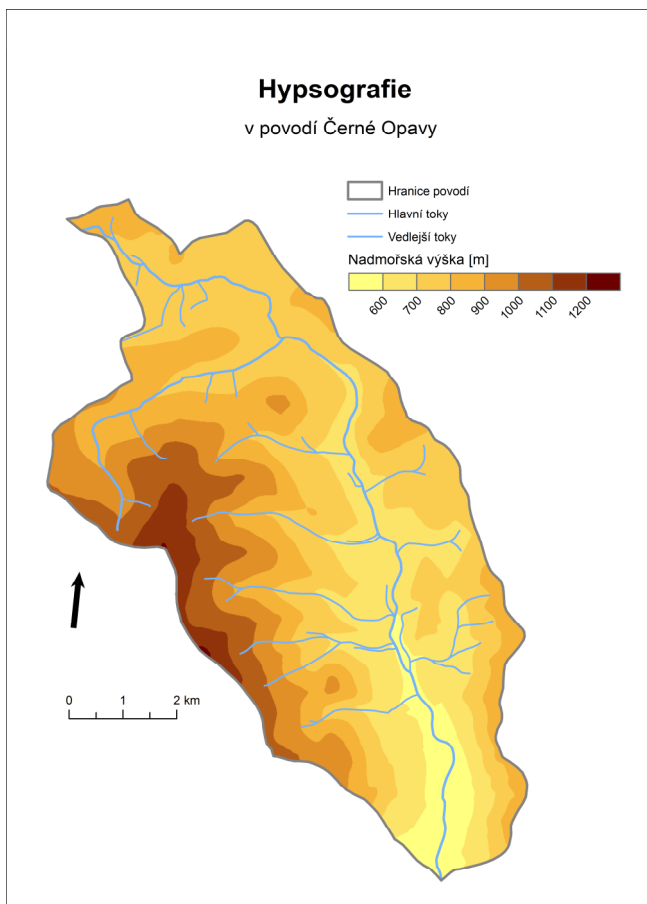
Vodní tok	Černá Opava	Střední Opava	Střední Opava (soutok)	Bílá Opava
<b>Převýšení (m)</b>	689	947	964	947
<b>Průměrný sklon (‰)</b>	89,94	128,36	105,45	180,45
<b>Koeficient reliéfu</b>	38,49	81,64	77,74	70,15
<b>Délka toku (km)</b>	17,9	11,6	12,4	13,5
<b>Stupeň vývinu toku</b>	2,02	1,16	1,16	1,22
<b>Střední sklon (%)</b>	2,92	5,61	5,39	5,45

Zdroj dat: DMÚ 25, výpočet autorka

Obecně největšími sklony a spády se toky vyznačují na horních tocích, nejmenší průměrný sklon toku má Černá Opava, jež v dolních úsecích klesá až k 1,2%, Bílá a Střední Opava mají podobné hodnoty, a to přes 5%. Celkově tedy voda rychle odtéká po povrchu v korytech toků a poměrně rychleji zde nastávají povodňové průtoky. Úpravami Střední Opavy od soutoku po ústí do Černé Opavy spád toků poklesá až na 0,9%. S poklesem sklonů a spádů toku je spojen pokles dynamických účinků řeky a vytváření říční nivy, výjimkou je Bílá Opava, která na svém horním toku má klidnější charakter, bez peřejí, místy vytvářející

řiční nivu, zhruba po 2 km však překonává velký výškový stupeň (Velký vodopád) a dále pokračuje jako horská bystřina hlubokým údolím s poklesem sklonu k ústí.

Mapy č 4,5,6: Výškové poměry v jednotlivých povodích

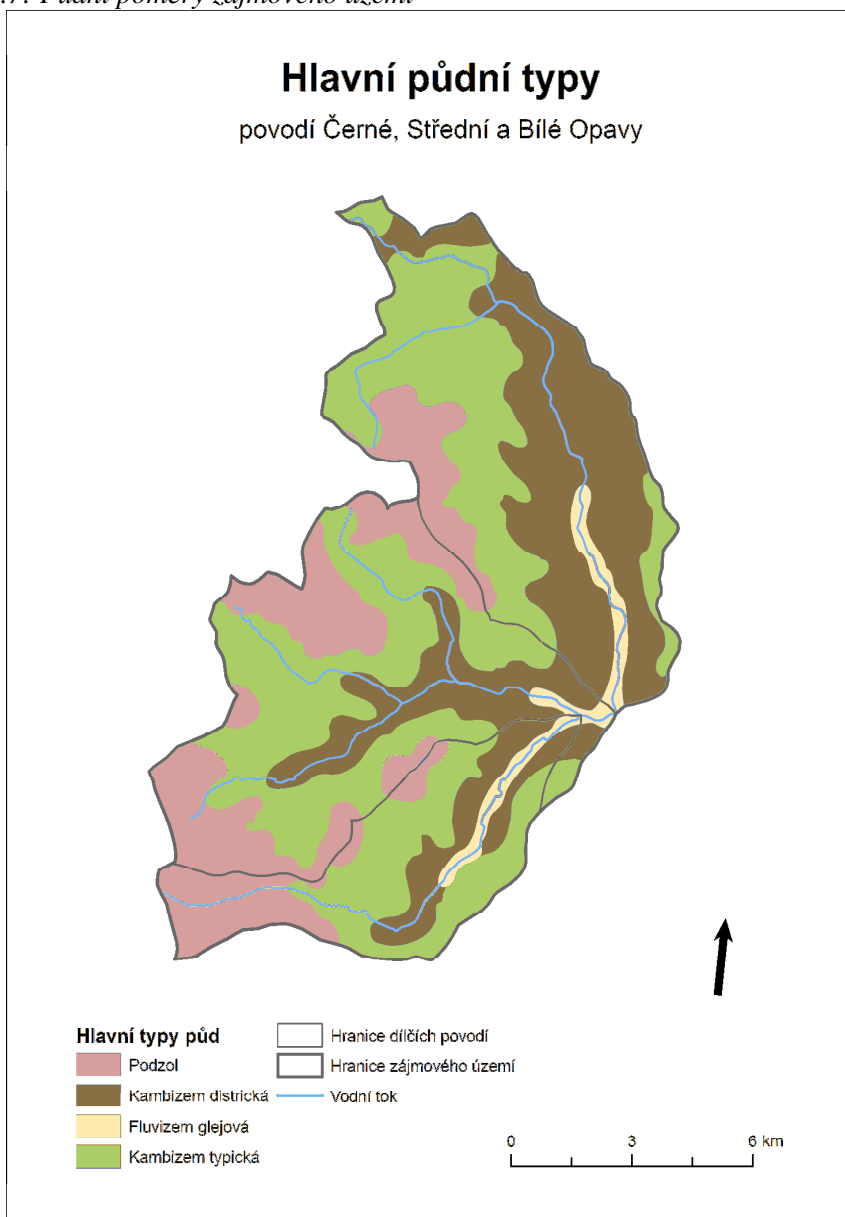


Zdroj dat: DMÚ 25

## 4.6 Půdní poměry

Půdní pokryv je důležitým faktorem odtoku, ovlivňuje především infiltraci, intenzitu vsaku spadlých srážek do podloží, a takto přechod povrchového odtoku v podzemní. Uplatňuje se především celková vlhkost půdy, její struktura, zrnitost, obsah solí apod. Půdní kryt je dán především různou geologickou stavbou, geomorfologickým vývojem, polohou a přemístěním zvětralin a klimatickými poměry. Působením vody a mrazu se v oblasti vyvinuly dva typy zvětralin – z odolných hornin vznikají postupně kamenité, písčité a hlinitopísčité zvětralin, z méně odolných hornin (svory, fylity) hlinitější zemina (Demek, 1992).

Mapa č.7: Půdní poměry zájmového území



Zdroj: Digitalizováno dle Tomáška (2003)

Obecně jsou zde zastoupeny především typy kambizemí, podzolových půd a v okolí toků pásy fluvizemí. Na extrémní stanoviště jsou vázány rankery a mělké kambizemě. Specifický půdní typ představuje organozem glejová, vyskytující se v oblasti rašelinišť Rejvízu v chladném horském klimatu (mělké až středně hluboké půdy okolo 30 až 60 cm mocnosti).

Ve vrcholových polohách, prameništích zdrojnic, se vyskytují v chladném horském klimatu s převládajícími porosty smrků až kleče (úhrny srážek překračují obvykle 800 mm za rok) na kyselých metamorfitech především podzoly vznikající procesem podzolizace. V nižších polohách na stejném podloží na uvedený typ navazují kryptopodzoly vznikající procesem vnitropůdního zvětrávání doprovázeným uvolňováním seskvioxidů, jež nejsou přemísťovány. Jedná se o půdy mělké až středně hluboké, mírně propustné (Tomášek, 2003).

Nejvíce zastoupeným půdním typem v povodích jsou kambizemě (především dystrické, mírně oglejené). Tyto sleletovité, mírně propustné půdy mají poměrně vysokou pórovitost a dobrou vnitřní drenáž a jsou vázány na kyselá stanoviště nižších poloh. Často jsou zemědělsky využívány.

Úzké pásy podél vodních toků jsou kryty fluvizeměmi, jež jsou vázány na mladý kvartérní pokryv fluviálních sedimentů. Jedná se o půdy nízké až velmi nízké propustnosti, jejichž vznik byl periodicky přerušován akumulací činností toků při záplavách. (Tomášek, 2003). V povodích bývají využívány jako travní porosty.

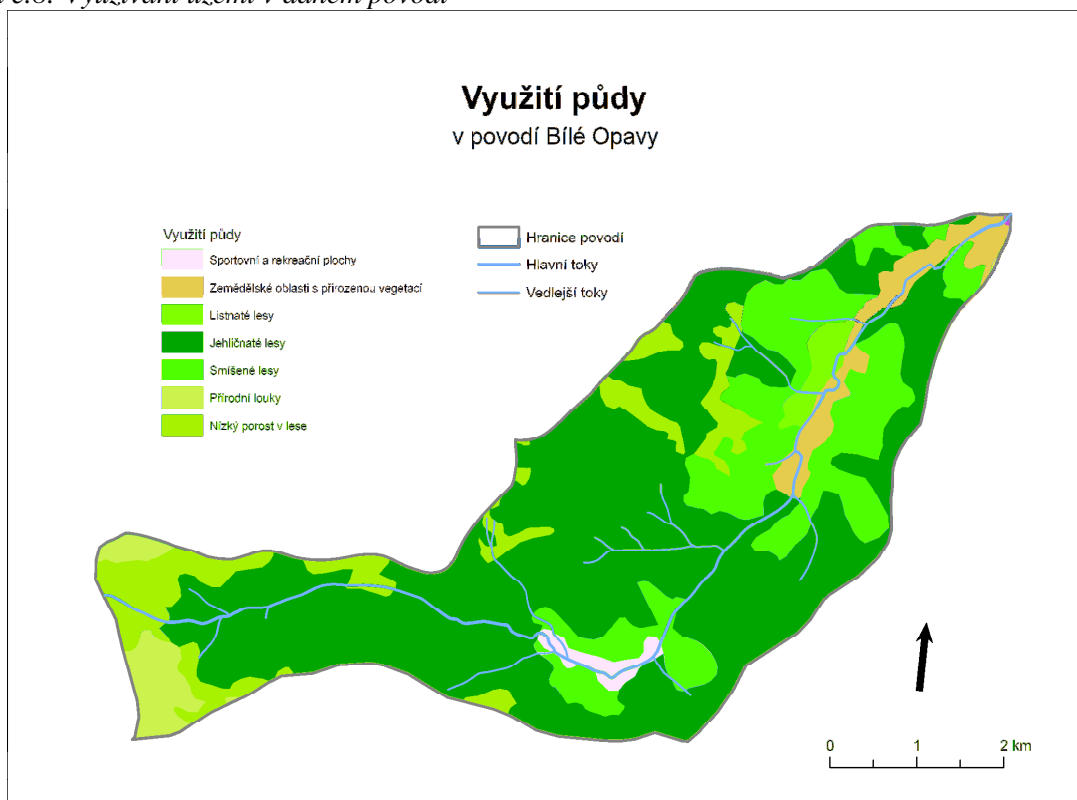
#### **4.7 Krajinový pokryv a biota**

Krajinový kryt je vedle geologických, geomorfologických, klimatických a půdních poměrů dalším z faktorů, které se podílí na tvorbě odtoku v území, především pak ovlivňuje infiltraci vod do půd a přechod povrchového odtoku na podpovrchový a celkovou rychlost odtoku vody z území. Různé typy krajinového pokryvu v území odlišně ovlivňují proces odtoku, důležitým faktorem jsou také břehové porosty, příbřežní vegetace a celková retenční schopnost krajiny. Nejvýznamnější prvek představují lesní porosty různé skladby, dále pak louky a pastviny. V dnešní době diskutovaný je vliv rašelinišť a vrchovišť. Stejně jako má krajinový pokryv vliv na formování povodňových vln, je krajina významně zpětně rozsahem a intenzitou záplav ovlivněna. Ke vzniku povodní přispívá vše, co snižuje celkovou retenční schopnost krajiny, např. lokalizace sídelní zástavby podél vodních toků v údolních nivách.

Prameniště řeky Opavy, tedy zájmová oblast povodí zdrojnic, se vyznačuje vysokým stupněm zalesnění, a to jak v nižších polohách Nízkého Jeseníku, tak ve vrchovinách a

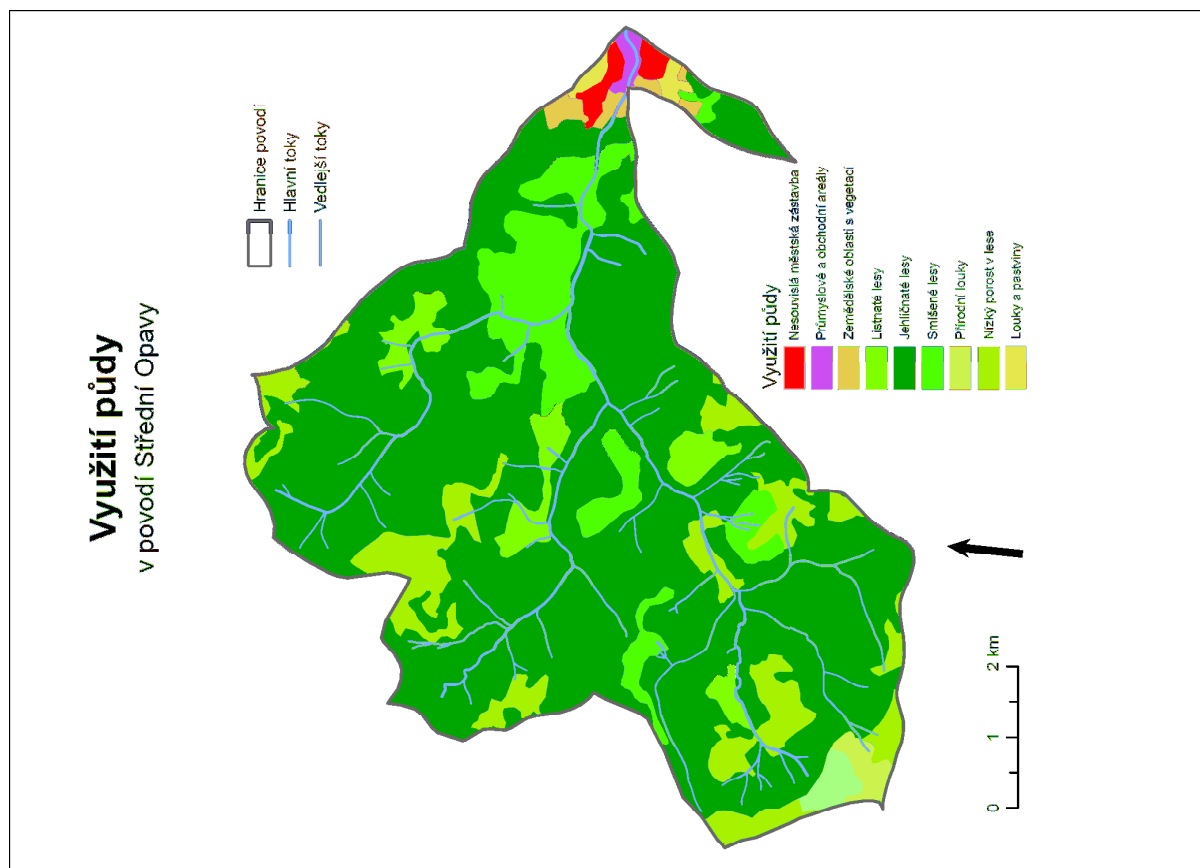
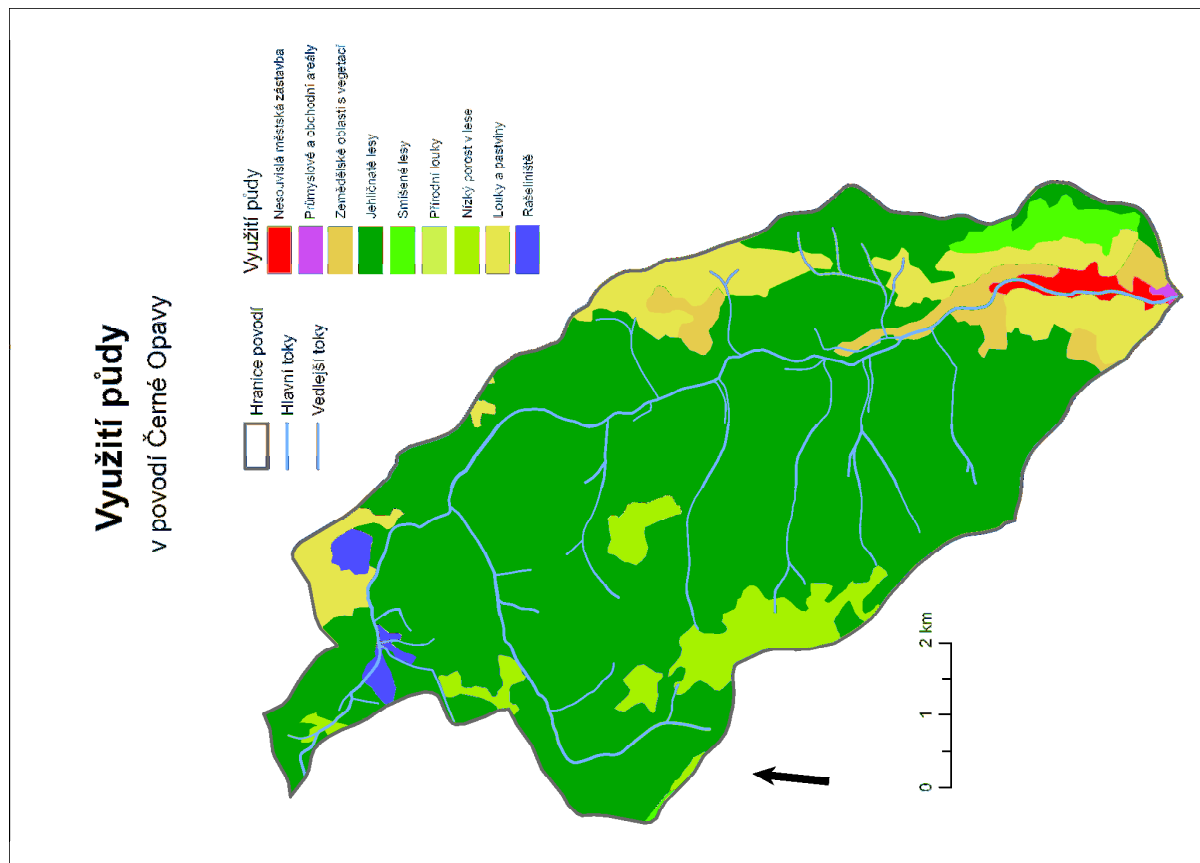
horských oblastech Hrubého Jeseníku. Celková míra zalesnění přesahuje u všech tří zdrojnic 90%. Les, jako hlavní složka krajinného pokryvu, plní v oblastech nejen funkci půdoochrannou, ale také vodohospodářskou - slouží k ovlivňování a stabilizaci vodních poměrů v území. Pro danou oblast jsou charakteristické změny nadmořských výšek, na malé vzdálenosti, pestrost geologického podloží, reliéfu, klimatických podmínek – tyto faktory ovlivňují dřevinnou skladbu lesa. Les, především v horských oblastech, může mít vliv na utváření katastrofálního odtoku z území (Bělský, 2003). Rozhodující faktor nepředstavuje dřevinná skladba, ale vlastnosti lesních půd. Lesní společenstva jako složitý ekosystém působí na přírodní prostředí a mají schopnost tlumit povodňové vlny a stabilizovat vodní režim krajiny, přesto je však tato schopnost tlumit extrémní průtoky a zadržovat deště omezená, kapacita zpomalení a snížení odtoku vody je limitována, což je dáno především nižší propustností půdy pro vodu i celkovou omezenou kapacitou horských lesních půd. Dle Kantora a Šacha jsou středohorské a horské lesy schopny tlumit přívalové srážky o síle do 50 mm, kritickou mez tlumení pak stanovili na 150 – 200 mm, kdy dochází k úplnému nasycení vodou a nastupuje neřízený, spontánní odtok celým půdním profilem, vystupujícím na povrch půdy (Kantor, Šach, 2003). Při katastrofálních povodňových událostech (např. rok 1997) však úhrny srážek na lesní ekosystémy tuto kritickou mez převyšují.

Mapa č.8: Využívání území v daném povodí



Zdroj: Corine Land Cover, 2000

Mapa č. 9,10: Využívání půdy v daných povodích



Zdroj: Corine Land Cover, 2000



V zájmovém území převládají jehličnaté a smíšené lesy, lesy listnaté jsou vázány spíše na dolní části povodí. V povodích se rovněž vyskytují smrkové monokultury, jež jsou méně odolné vůči škodlivým faktorům a dochází proto k námrazovým či větrným katastrofám, existují zde ale rovněž lokality zachovalé, kde se druhová skladba blíží přirozenému výskytu. V údolí Bílé Opavy, na svazích Pradědu, jsou zachovalé zbytky původních pralesních klimaxových horských smrčín. Zbytek geobiocenózy s autochtonní borovicí a plazivou formou smrku je zachován v povodí Černé Opavy – Mnichovsko.

Ve výzkumu vlivu lesních porostů na tlumení povodní se však stále poškozená lesní společenstva, např. nepůvodní smrkové monokultury, holoseče apod. uplatňují lépe než orná půda. Horní hranice lesa se v území pohybuje okolo 1300 m n. m., vystupují nad ní vrcholové, pramenné oblasti Bílé a Střední Opavy. Pro tyto alpské hole je charakteristická zakrslá, keřovitá vegetace a porosty travin. Zvláštností Jeseníku je absence autochtonní kleče, horní hranice lesa tedy v nejvyšších polohách navazuje přímo na bezlesí alpského charakteru (Culek, 1996). Ze zástupců bioty uvedme lipnici a třtinu chloupkatou.

Pro exponovaná stanoviště a východní svahy Hrubého Jeseníku jsou typické přírodní horské louky s pestrá rostlinnou skladbou – př. sasanka narcisokvětá, stračka vyvýšená či mléčivec alpský.

Zástavba je v území přestavovaná sítí menších sídel a pohybuje se okolo 1,5 %, orná půda a zemědělské oblasti jsou situovány především v okolí sídel a představují asi 4% ploch.

## 4.8 Klimatické poměry

Základní ráz klimatu pro zájmovou oblast je dán polohou v evropském mírném podnebném pásu. K důležitým faktorům ovlivňujícím klima patří výškové poměry oblasti, lesnatost, vodní poměry apod. Díky pestrému reliéfu a změnám nadmořských výšek v oblasti je počasí během roku značně proměnlivé. Oblast leží na styku západní hranice kontinentálního klimatu s doznívajícími vlivy klimatu atlantického. Po většinu roku se zde uplatňují vlivy vzduchových hmot mírných šířek, krátkodobé jsou pak vlivy chladných arktických šířek a teplejších hmot z jihu (Weissmannová, 2004).

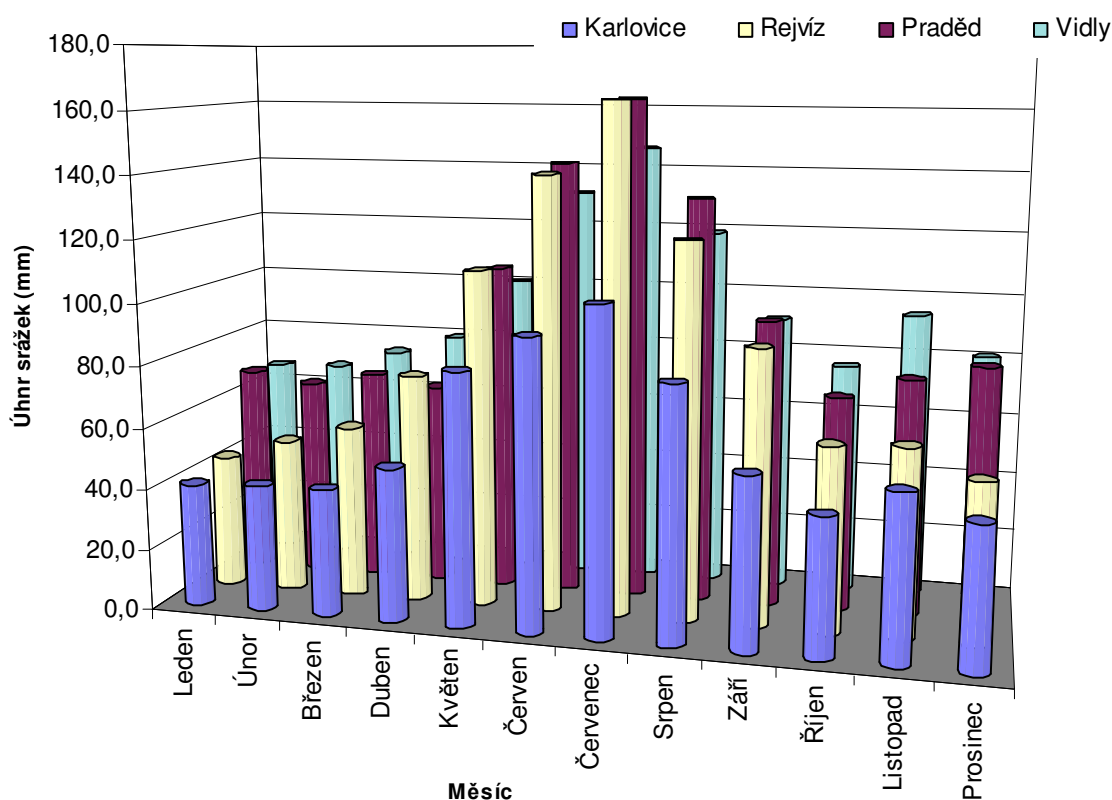
Povodí všech tří zdrojnic situováno dle Quitta (1971) v chladné klimatické oblasti, převážná část povodí Bílé a Střední Opavy spadá do oblasti CH6 a CH7 s krátkým, vlhkým létem a dlouhou, mírně chladnou, vlhkou zimou a dlouhými, chladnými přechodnými obdobími. Vrcholové oblasti jsou zahrnuty v oblasti CH4 a vyznačují se velmi krátkými, vlhkými léty a s chladnými vlhkými zimami s velmi dlouhými přechodnými obdobími.

Podrobnější charakteristiky jednotlivých oblastí společně s klimatickými charakteristikami profesionální klimatické stanice Praděd jsou uvedeny v příloze.

#### 4.8.1 Srážkové poměry

Srážky jsou hlavním zdrojem vodnosti (povrchové i podpovrchové vody) v zájmové oblasti, chod srážek tedy významně ovlivňuje proces formování odtoku. Obecně jsou větší úhrny srážek spojeny s nárůstem průtoků a rozvodňováním toků. Na celkové úhrny srážek, jejich intenzitě v ročním chodu se podílí především atmosférická cirkulace vzduchu, vlivy vzduchových hmot společně s orografickými efekty a lokální poloha vůči dešťonosným větrům. Obecně jsou celkové úhrny srážek v zimním půlroce nižší, vypadávají převážně ve formě sněhu, který je vázán v povodí a nezpůsobují tak rozvodňování toků – to pak nastává v jarním období při nárůstu dešťových srážek, zvýšení teplot a tání sněhové pokrývky.

Obrázek č.4.4: Průměrné měsíční úhrny srážek ve vybraných stanicích

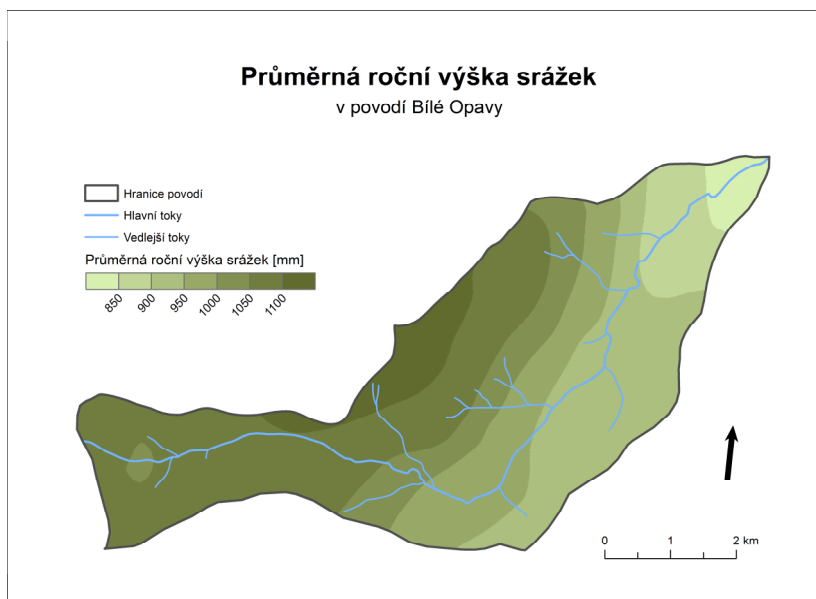
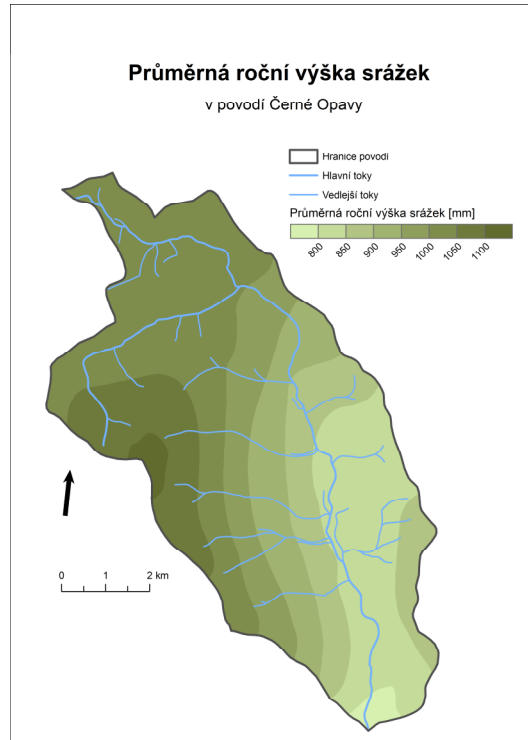
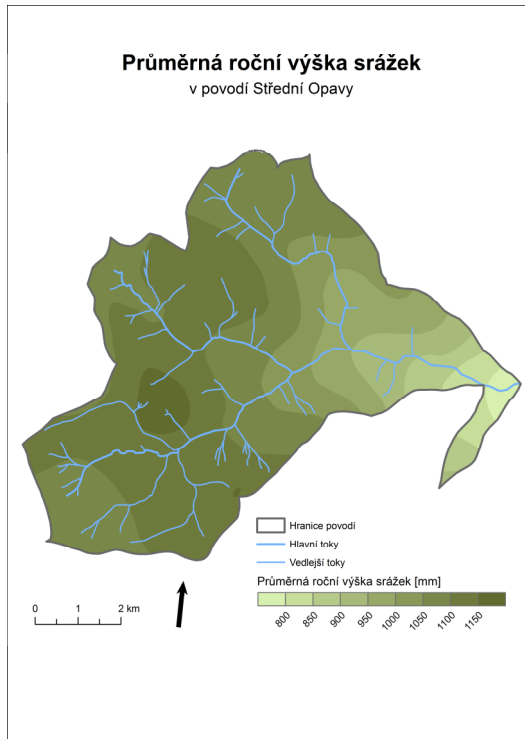


Zdroj dat: ČHMÚ

V zimním půlroce dochází k hlavním přechodům frontálních systémů z Atlantiku, uplatňuje se vliv tlakových níží spojených s vrstevnatou oblačností. V letním půlroce naopak úhrny srážek vzrůstající, převládá výstupní konvekční proudění s tvorbou vrstevnaté a bouřkové oblačnosti. Letní srážky mají často charakter regionálních přeháněk, přívalových

dešťů a bouřkových lijáků. Odtoková odezva je pak rychlejší, s rychlým zvětšením průtoků a rozvodněním toků. Pro vznik nebezpečných povodňových situací jsou velmi důležité tzv. krajinné deště trvající 6 hodin až pět dní, projevující se postupným nástupem extrémních průtoků. Obecně jsou pro povodně nejnebezpečnější přechod cyklon ze středomoří z jižních oblastí k severu (Brázdil et. al., 2005).

Mapy č 11, 12, 13. : Průměrná výška srážek v jednotlivých povodích



Zdroj dat: povodí Odry, s.p.

Rozložení srážek v zájmovém území je nerovnoměrné, obecně lze říci, že se vzrůstající nadmořskou výškou v povodích vzrůstá průměrný roční úhrn srážek, rozložení během roku je ale prostorově i časově velmi nerovnoměrné, uplatňuje se také lokální expozice svahů. Maxima dosahují srážkové úhrny v červenci, minima naopak v lednu a říjnu.

Celkové úhrny srážek jsou proto nejvyšší ve vrcholových oblastech - především prameniště Bílé a Černé Opavy s úhrny okolo 1100 mm za rok, v nižších polohách pak okolo 800 – 900 mm za rok. V povodí Černé Opavy srážek ubývá směrem k jihovýchodu, obecně je to území zájmové oblasti s menší srážkovou dotací. Celkově však díky horské poloze a specifickým geomorfologickým podmínkám ve srovnání s e zbývajícím povodím Opavy je zájmové území oblast srážkově bohatá.

#### **4.8.2 Teploty**

Jak již bylo zmíněno, zájmové území spadá do vlhké, chladné klimatické oblasti. Maxima teplot jsou dosahována v letním půlroce. Průměrná denní teplota vzduchu se pohybuje od 3-4°C v prameništích po 6-7°C v oblastech ústí. Jarní a podzimní období jsou zde poměrně dlouhá s průměrnými teplotami okolo 5°C, naopak v letní sezóně nevystupují ve vrcholových oblastech teploty nad 10°C, v nižších polohách se pohybují okolo 14-15°C, průměrné teploty v zimním půlroce jsou záporné a stoupají s poklesem nadmořské výšky od (-5) až k (-11)°C. Nejteplejšími měsíci jsou červenec a srpen, nejchladnějším měsícem je leden, chod teplot však může být v jednotlivých letech dosti odlišný.

#### **4.8.3 Sněhová pokrývka**

Celková doba trvání sněhové pokrývky je určována srážkovou dotací v zimním a jarním období a chodem teplot. Vrcholové oblasti Hrubého Jeseníku se vyznačují dlouhým až velmi dlouhým trváním sněhové pokrývky, sněhové srážky se zde mohou objevit kdykoliv během roku. Pro Praděd je typický výskyt sněhové pokrývky od 10. do 6. měsíce, v nižších polohách pak nastupuje okolo 11. měsíce a trvá v průměru do 4. měsíce. Maximální výšky sněhových pokrývek jsou opět spjaty s nejvyššími nadmořskými výškami a překračují 2,5 m. Celkově je povodí Střední a Bílé Opavy v průměru chladnější a vlhčí s delším trváním sněhové pokrývky. Tání sněhu je v povodí postupné, dochází proto k postupnému odtoku, nejrizikovější jsou období tání (okolo 4. měsíce) s většími dotacemi dešťových srážek, jež se podílejí na vzniku povodňových průtoků (Atlas podnebí Česka, 2007).

## 4.9 Hydrologická charakteristika území

Opava Černá je považována za hlavní zdrojnicí řeky Opavy. Tok prameni v Hrubém Jeseníku na úpatí masivu Orlíku (1204 m n. m.) v nadmořské výšce 1050 m n. m., plocha povodí činí 58,7 km<sup>2</sup>. K významným pravobřežním přítokům patří především Podzámecký potok (délka toku přibližně 2,5 km), Slučí potok (3,3 km), Sokolí potok (3,6 km), Rudná ( 2,7 km) a Suchý potok (2,3 km) - s celkovou plochou povodí okolo 5 km<sup>2</sup>, zleva pak Černá Opava zaznamenává přítok z rašelinišť pod Rejvízem, s celkovou plochou povodí 7,6 km<sup>2</sup>. Tok se v pramenné oblasti přibližně po 2 km stáčí ze severozápadního směru k severovýchodu a přibližně po 6 km se výrazně stáčí k jihu, kde po 17,9 km přijímá ve Vrbně pod Pradědem Opavu Střední, jejichž soutokem vzniká řeka Opava.

Opava Střední je levobřežním přítokem Černé Opavy a ústí do ní ve Vrbně pod Pradědem s kótou dna 527 m n. m. Celková plocha povodí zabírá 54,43 km<sup>2</sup> nad Bílou Opavou a 83,57 km<sup>2</sup> po soutok s Opavou Černou, což představuje téměř trojnásobek oproti povodí samotné Bílé Opavy. Vodní tok pramení rovněž v Hrubém Jeseníku na úpatí Kamzičího vrchu (1170 m n. m.) v nadmořské výšce 1195 m n. m. K významnějším levobřežním přítokům patří Česnekový potok (délka toku přibližně 3,8 km), Skalní potok (5,7 km), Bílý potok (6,6 km), zleva se pak vlévá Sokolí potok (3,1 km) a Videlský potok (3,3 km). Tok od pramene teče k severovýchodu až k obci Bílý potok, kde se stáčí k východu, odkud pokračuje k obci Železná a Vrbno pod Pradědem, kde přijímá zprava přibližně po 11,7 km Opavu Bílou.

*Obrázek č.4.5: Charakter přítoků na Bílé Opavě*



*Foto: Autorka*

Třetí zdrojnicí představuje Opava Bílá, jež pramení v Hrubém Jeseníku pod Pradědem (1491 m n. m.) v nadmořské výšce 1280 m n. m. a vlévá se zprava po 13,5 km toku do Opavy Střední s kótou dna 544 m n. m. Celková plocha povodí činí 27,54 km<sup>2</sup>. Na horním toku přijímá Bílá Opava dva hlavní přítoky – Pradědský a Ovčárenský potok stékající z úbočí Pradědu a Vysoké Hole, další přítoky jsou převážně plošné ze svahů údolí, popř. krátké bystřiny s nekapacitními koryty. Tok od pramene teče východním směrem, kde po 2 km překonává výrazný stupeň (tzv. Velký vodopád), u Karlovy Studánky se pak stáčí k severovýchodu. Obecně jsou říční údolí tektonicky podmíněna s pestrou geologickou stavbou na styku hornin různých vrstev, jedná se proto většinou o křivolakost orografickou.

V severní části povodí Černé Opavy, v oblasti rašelinišť Rejvízu, se nacházejí rašelinná jezírka – Velké a Malé mechové jezírko. Toto rozvodnicové vrchoviště vznikalo v kvartéru v poledové době akumulací měkké srážkové vody na nepropustném podloží. Voda byla posléze zbarvena produkty z procesu rašelinění. Typický je nedostatek minerálních látek a nízké pH (Jánský, Šobr, Hrdinka, 2003). Vliv rašelinišť na odtokové poměry je prozatím diskutovanou otázkou, toky odvodňující rašeliniště mají rozkolísaný chod průtoků, výrazně se uplatňují letní přívalové deště – po úplném naplnění retenční kapacity vrchovišť je zaznamenán rychlý vzestup odtoku (Jánský, Kocum, 2007).

Tabulka č 4.2.: Základní hydrologické charakteristika

Vodní tok	Černá Opava	Střední Opava	Bílá Opava
<b>Délka toku</b>	17,9	12,4	13,5
<b>Průměrný průtok <math>Q</math> v ústí (<math>m^3 s^{-1}</math>)</b>	0,83	1,37	0,45
<b>Specifický odtok <math>q</math> (<math>m^3 km^{-2} s^{-1}</math>)</b>	14,12	16,54	16,39

Zdroj dat: povodí Odry, s.p.

Všechny tři zdrojnice představují horské toky bystřinného charakteru s vysokým energetickým potenciálem. Obecně se jedná o štěrkonosné toky, jež se nacházejí v blízkosti zdrojů rozpadajících se hornin. K zachycování však dochází již na horních tocích díky úpravám - štěrkonosným přepážkám.

Toky protékají zástavbou menších sídel v Hrubém Jeseníku a mimo tuto zástavbu mají koryta přírodní či přírodě blízký charakter, v zástavbě či podél komunikací však byly po povodni v r. 1997 provedeny úpravy stability příčného řezu zajišťující ochranu před Q20 (Povodí Odry, s.p.).

## 4.10 Hydrografické charakteristiky

Základní hydrografické charakteristiky povodí vypovídají o důležitých vlastnostech území, na kterých dochází k formování extrémních průtoků, jsou tedy předpokladem každého hydrologického rozboru. Mezi základní ukazatele patří především tvar povodí, celkové uspořádání a hustota říční sítě. Základní hydrografické charakteristiky jsou uvedeny v tabulce – povodí Střední Opavy bylo zpracováváno pro povodí po soutok s Bílou Opavou a pro povodí celkové až po soutok s Černou Opavou, zahrnujíc rovněž povodí Bílé Opavy – v tabulce je tato možnost označena Střední Opava (soutok). Opava je z hlediska absolutního modelu řádovosti tokem II. Řádu, Opava Černá a Střední pak toky III. Řádu, Bílá Opava pak tokem IV. Řádu.

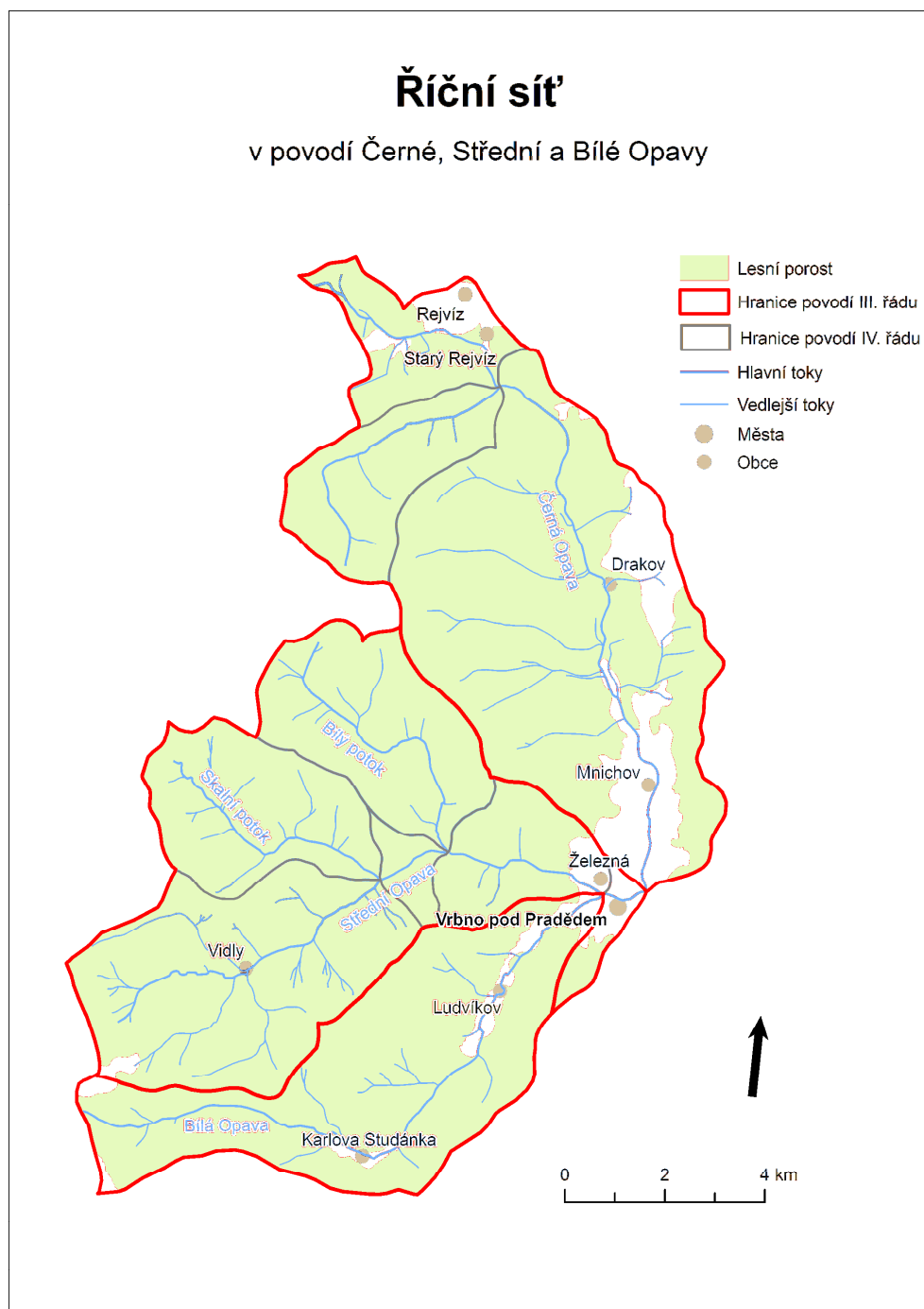
Tvar povodí má vliv na zadržování vody a formování a vznik průtoků v říčním korytě po vypadnutí srážek. Obecně jsou pro horní povodí řeky Opavy typická spíše vějířovitá povodí, v zájmové oblasti jsou však zastoupeny všechny tři tvarové typy. Střední Opava je povodím vějířovitým, značně nesouměrným, tato nesouměrnost je vyrovnávána po soutoku s Bílou Opavou, jež kompenzuje chybějící pravou stranu. Černá Opava je typickým přechodným, poměrně souměrným, povodím, naopak Bílá Opava se vyznačuje poměrně značnou protáhlostí. Z hlediska tvaru povodí jsou nebezpečné hlavně povodí protáhlá – velmi důležitým faktorem je ale rozložení srážkového pole a postup těžiště intenzivních srážek. Postupuje – li jádro od pramene směrem k bráně povodí, nastávají maximální povodně, postupuje – li směrem k rozvodí, odtok pomalu narůstá.

Tabulka č 4.3.: Základní charakteristiky říční sítě

Vodní tok	Černá Opava	Střední Opava	Střední Opava (soutok)	Bílá Opava
<b>Plocha povodí (km<sup>2</sup>)</b>	58,68	54,43	83,57	27,54
<b>Délka povodí (km)</b>	15,72	12,04	13,60	13,00
<b>Charakteristika povodí <math>\alpha</math></b>	0,24	0,38	0,45	0,16
<b>Koeficient protáhlosti povodí</b>	0,55	0,69	0,76	0,46
<b>Gravelliův koeficient</b>	1,39	1,30	1,28	1,57
<b>Koeficient souměrnosti</b>	0,11	0,54	0,01	0,11
<b>Střední šířka povodí</b>	3,73	4,52	6,14	2,12
<b>Délka toku (km)</b>	17,90	11,60	12,40	13,50
<b>Hustota říční sítě (km.km<sup>-2</sup>)</b>	0,87	0,95	0,92	0,87

Zdroj dat: DMÚ 25, výpočet autorka

Mapa č.14 : Tvar povodí a říční sítě v zájmové oblasti



Zdroj: VÚV TGM

Říční síť v zájmovém území je výsledkem dlouhého geologického a geomorfologického vývoje, dnešní uspořádání říční sítě je výsledkem třetihorních tektonických pohybů, na modelaci se pak podílela erozní a modelační činnost vody společně se změnami klimatu během čtvrtohor.

Uspořádání říční sítě se podílí na tvorbě povodňových průtoků – charakter říční sítě Bílé a Černé Opavy je spíše stromovitý, kdy se střídají přítoky pravidelně z obou stran, růst



vodnosti a časové rozložení průtoků je proto rovnoměrnější. Naopak Střední Opava je povodím vějířovitým s převládajícími levostrannými přítoky.

Hustota říční sítě je souhrnným ukazatelem několika činitelů odtoku, např. množství srážek, spádových poměrů apod. Obecně vyšší hodnoty indikují celkově vyšší hodnoty průměrných ročních povodní. Hodnota ukazatele je ovlivněna podrobností vstupních dat, souhrnně však nejvyšší hodnoty vykazuje povodí Střední Opavy. Hustota říční sítě je výsledkem hornatého rázu území, nepropustností krystalického podloží, zalesněním, spádovými poměry a plošným charakterem řady přítoků – hustota říční sítě roste se zvýšeným povrchovým odtokem a zvýšeným množstvím srážek (Dub, 1963).

## 5 Proces odtoku

Výskyt povodňových situací v zájmovém území je výsledkem působení řady příčinných, předběžných i následných ovlivňujících faktorů. Povodňová situace je extrémním hydrologickým režimem a pochopení určitých zákonitostí jejich vzniku a výskytu vyžaduje znalosti režimu odtokového procesu v daném území, neboť vznik průtoků v recipientu v závislosti na dotaci zájmového území srážkami je výsledkem složitého procesu formování odtoku vody z povodí. Zvýšené průtoky ve vodních tocích, charakteristické pro povodňové události, jsou tedy výsledkem srážko-odtokových vztahů. V následující kapitole je proto věnována pozornost procesu odtoku s cílem vymežit období náchylnější k vzniku a výskytu různých typů povodní. Rovněž je věnována pozornost odlišnostem režimu jednotlivých zdrojnic, projevující se v dlouhodobém měřítku, ve vztahu k fyzickogeografickým poměrům, ve kterých samotný proces odtoku probíhá.

Odtok vody z povodí vzniká účinkem tzv. efektivních srážek, rozumíme tím vodu spadlých atmosférických srážek, která není zachycena intercepací a dopadá tak na zemský povrch. Část těchto srážek je infiltrována do půdy, kde zůstává jako půdní vláha nebo zóně aerace, ze které vytéká a vytváří tak hypodermální odtok. Část infiltrované vody zásobuje podzemní vody v zóně saturace, z níž pak vytéká bazální odtok. (Netopil, 1984). Zbylá část srážek stéká po povrchu a vytváří tzv. povrchový odtok (tato část srážek je dále postihována výparem). Celkový odtok je souhrnem základního odtoku (odtok podzemních vod), povrchového odtoku a odtoku hypodermického.

Ukazatelem a časově posunutým výsledkem složitého procesu odtoku v povodí je průtok v recipientu, mění se s jistým časovým odstupem s vydatností vodních zdrojů (Dub, 1963). Vodními zdroji v daném území jsou především atmosférické srážky, prameny a tající sněhová pokrývka. Popsání průtokového režimu Černé, Střední a Bílé Opavy – rozumíme tím rozkolísanost, velikost změn a jejich časové rozložení, popř. četnost výskytu, charakterizuje proces odtoku z daných povodí a umožňuje jej zkoumat v určitých charakteristických obdobích.

Charakterizace procesu odtoku vycházela ze zpracování řad průměrných denních průtoků z databáze ČHMÚ pro profily na jednotlivých zdrojnicích, konkrétněji limnigrafické stanice Mnichov (Černá Opava), Železná (Střední Opava) a Ludvíkov (Bílá Opava), za referenční období 33 hydrologických let (1.11.1963 – 31.10. 1997). Zdrojem určité míry zkreslení může být nekompletnost dat z důvodu poškození limnigrafické stanice Ludvíkov povodňovou událostí proběhlou v r.1997 a doplnění řady průtoků pro stanici Mnichov za rok

1977. V následujících grafických charakteristikách (čára denních průtoků apod.) je proto toto období záměrně vynecháno.

## 5.1 Režimy denních průtoků

Plynulá změna denních průtoků charakterizuje čára denních průtoků, které znázorňuje rychlosti a velikosti změn a jejich četnosti. Čáry denních průtoků pro jednotlivé toky za sledované období jsou uvedeny v příloze. Průměrné denní průtoky se vyznačují značnou variabilitou a rozkolísaností, tyto změny jsou však v určitých částech roku podobné a souvisí se změnou proměnlivých faktorů, jež představují hlavně klimatičtí činitelé – především chod srážek, teplot a tlaku vzduchu. Maxima denních průtoků jsou dosahována především v letním období v souvislosti s vyššími úhrny srážek ve formě přívalových dešťů, přeháněk a trvalých srážek, naopak minimálních průtoků je obecně dosahováno v zimním období. Čára denních průtoků graficky znázorňuje období extrémů – odpovídající vychýlením od obecného trendu. Logicky můžeme usuzovat, že tyto významné změny mohou být spojeny s výskytem povodňových událostí. Celková frekvence těchto změn pak v hrubém měřítku poukazuje na četnost výskytu větších povodňových událostí, které ovlivňují hodnoty průměrných denních průtoků po delší období. Není to však obecným pravidlem, neboť pro toky bystřinného charakteru, především pak pro Bílou Opavu, je typický prudký nárůst i pokles průtoků během povodňové situace, což se v průměrném denním měřítku nemusí projevit. Největší rozkolísanosti režimu průměrných denních průtoků se vyznačuje tok Střední Opava.

Minimální průměrný denní průtok byl na Černé Opavě zaznamenán 6.6.1964,  $Q_d = 0,05 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , na Střední Opavě pro období 24. – 28.1. 1973,  $Q_d = 0,096 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , na Bílé Opavě pak 31.5.1979,  $Q_d = 0,071 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Maximální denní průměrné průtoky jsou značně rozdílné v jednotlivých letech, absolutní maxima byla naměřena v r. 1997 a jsou popsána dále v textu. Přehled absolutních maxim v období bez roku 1997 udává tabulka.

Tabulka č.5.1: Přehled absolutních denních maxim

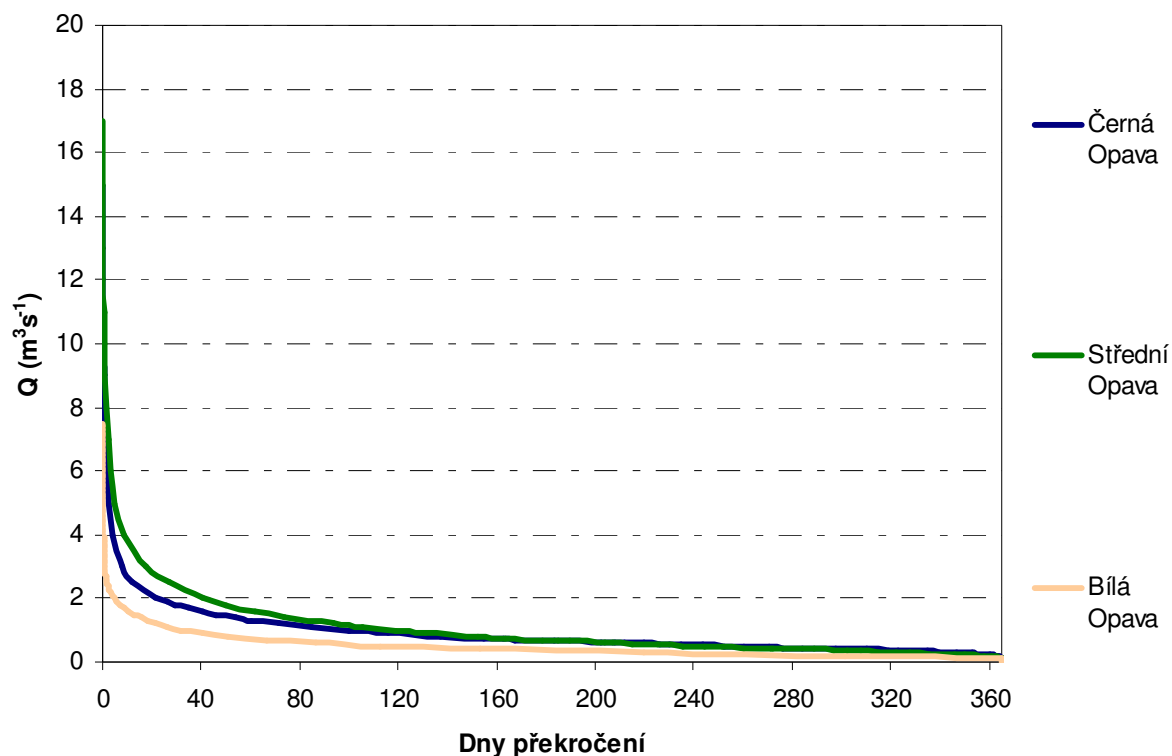
Tok	Datum	$Q_{dmax} (\text{m}^3 \text{s}^{-1})$
<b>Černá Opava</b>	12.6.1965	16,8
<b>Střední Opava</b>	2.8.1977	28,3
<b>Bílá Opava</b>	21.8.1972	7,44

Zdroj dat: ČHMÚ

Výkyvy v zimním a jarním období jsou zapříčiněny vzrůstem teplot, odtáváním sněhové pokrývky, popř. za dotace kapalných srážek.

Další formou vyjádření rozkolísanosti je tzv. čára překročení, jež byla vypočtena průměrně za celé sledované období pro jednotlivé toky.

Obrázek.č.5.1: Čára překročení pro jednotlivé toky



Zdroj dat: ČHMÚ

Čára překročení graficky znázorňuje rozdílné vodnosti všech tří zdrojnic, přičemž největších průtoků obecně je dosahováno na Střední Opavě., která se rovněž vyznačuje největší extremitou dosahovaných kulminačních průtoků. Srovnáme-li dny překročení na jednotlivých zdrojnicích, pak všechny zdrojnice překračují svůj dlouhodobý průtok přibližně v 32-35% procentech roku, rozdíly mezi jednotlivými zdrojnicemi spočívají v překračování extrémů. Zatímco Bílá Opava překročí průměrně jedenkrát do roka průtok rovný 6,5 násobku dlouhodobého průtoků, Opava Černá překročí jedenkrát do roka 8-mi násobek svého dlouhodobého průtoků a Opava Střední až 34-násobek.

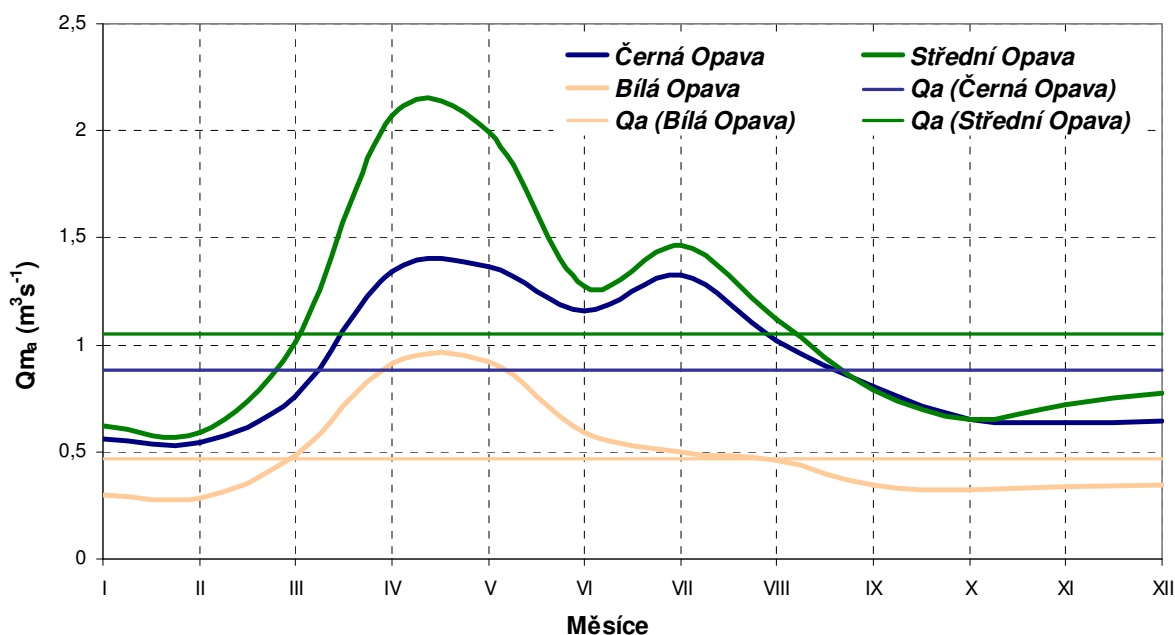
Obecně však pro všechny toky jsou charakteristické náhlé změny střídání období nižší vodnosti s povodňovými stavy.

## 5.2 Režimy měsíčních průtoků

Průměrné měsíční průtoky charakterizují chod vodnosti řek v jednotlivých měsících během roku. Stejně jako průměrné denní průtoky se vyznačují značnou rozkolísaností.

Celkové rozložení odtoku v průběhu roku naznačuje rovněž rozložení vodnosti a podává obecnou představu o obdobích typicky zatížených zvýšenými průtoky toků či naopak období charakteristicky menších průtoků, kde s větší pravděpodobností nedochází ke vzniku povodňových událostí. Uvedené charakteristiky však rozhodně nemusí být obecně platným pravidlem, neboť povodně vznikají většinou souhrou několika výjimečnějších situací.

Obrázek č.5.2: Dlouhodobé průměrné měsíční průtoky  $Q_{ma}$  a dlouhodobé průtoky  $Q_a$  v období 1963-1997

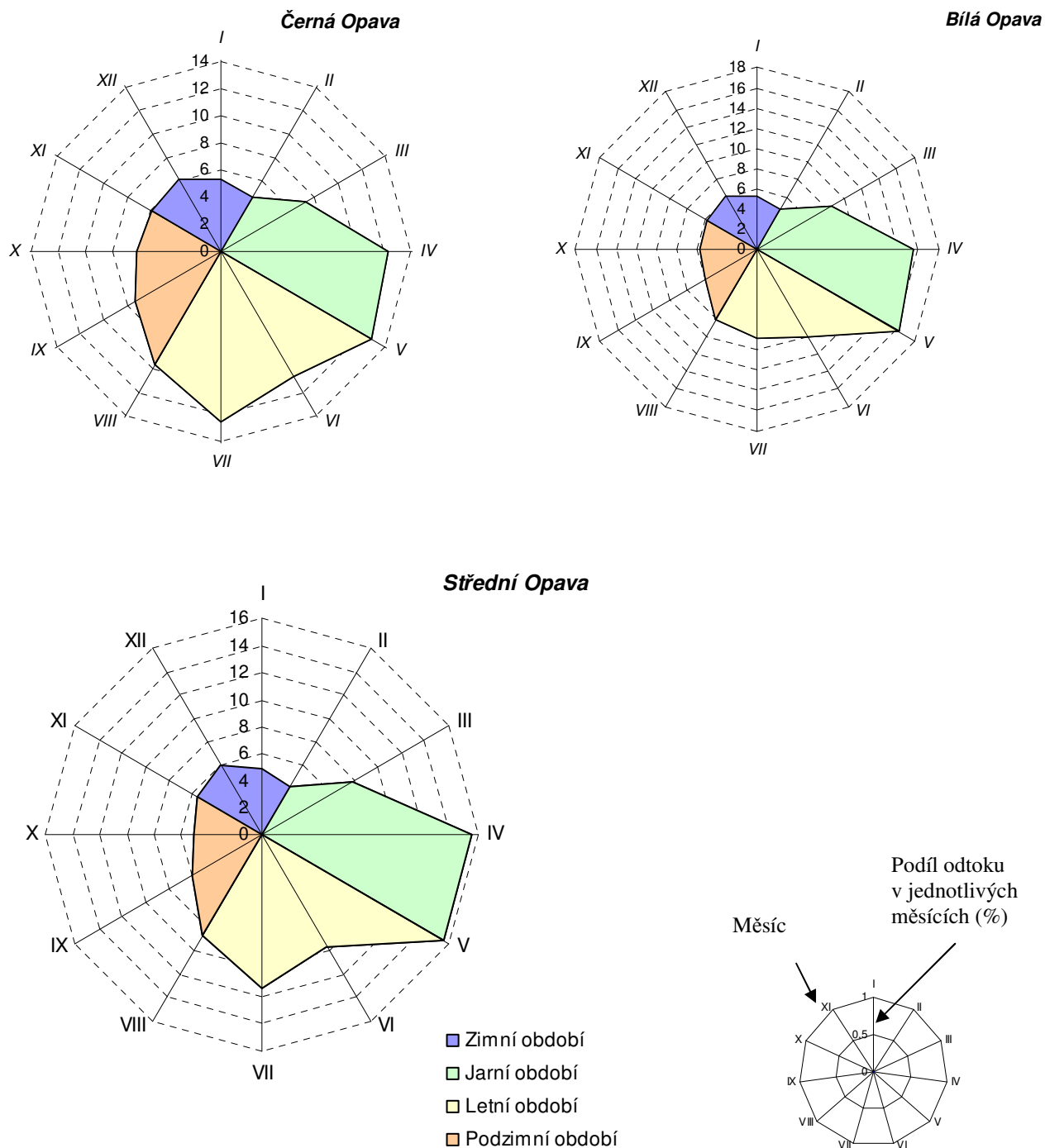


Zdroj dat: ČHMÚ

Různost v odtoku v jednotlivých měsících je znázorněná v obr. č.4.2 a 4.3. Z nich je patrné nerovnoměrné rozdělení odtoku vody v jednotlivých měsících. Maxima všech tří zdrojnic jsou orientována do jarních měsíců v souvislosti s táním sněhové pokrývky, obvykle doplňovanou srážkovou činností. Podružná maxima jsou v tocích Střední a Černé Opavy spojena s letním obdobím (chod v jarním a letním období je v případě Černé Opavy vyrovnán), a sice z důvodu letních přívalových dešťů a déletrvajících krajinných srážek, přičemž dubnové maximum je daleko výraznější u Střední Opavy. Vliv letních srážek se však neprojevuje u Bílé Opavy, kde je maximum vázáno na duben a květen. Obecně jsou pro Bílou Opavu typičtější období déletrvajících nižších průtoků, přerušované relativně pravidelnou zvýšenou jarní vodností. Můžeme proto usuzovat, že povodí Střední a Černé Opavy reagují citlivěji na letní dešťové srážky. Svůj vliv má také poloha a tvar povodí, rovněž struktura říční

sítě, kde v povodí dochází ke koncentraci odtoku. Zároveň se poloha v návěť Hrubého Jeseníku projevuje ve vyšších srážkových úhrnech.

Obrázek č. 5.3: Podíly měsíčních odtoků průměrného roku (za období 1963-1997) v ročních obdobích a procentuální podíly jednotlivých měsíců na celkovém odtoku (%)



Zdroj dat: ČHMÚ

Z rozdělení odtoku v jednotlivých měsících lze usuzovat, že také extrémnější povodňové epizody jsou typičtější v letních a jarních měsících. Z hlediska rozdělení odtoku v ročních obdobích, pak je chod Černé Opavy nejvyrovnanější, v průměru okolo 32% v jarním a letním období, nejméně pak v období zimním (15%), převážná část odtoku v povodí Bílé a Střední Opavy je realizována v jarním období, a sice okolo 40% vlivem výškových poměrů v povodí a tání sněhové pokrývky jež se ve vrcholových polohách Hrubého Jeseníku, především na rozvodí a v pramenných oblastech, může udržovat až do května a června, v letním období pak cca 30%, podzimní a zimní jsou odtokově relativně vyrovnané. Obecně od měsíce září dochází k postupnému poklesu průměrných průtoků (s mírnými výkyvy) až do minima v druhé půlce zimy především vlivem úbytku atmosférických srážek. Únorové povodně v oblasti jsou silně netypické.

Povodně v zimním období vznikají především vlivem teplého proudění vzduchu od Atlantiku, jež s sebou přináší vzrůst teplot a odtávání sněhu vázaného na povodí, srážky vypadávající na povodí – spojené především s cyklonální činností s východní či západní složkou proudění, jsou většinou sněhové a povodně proto nevyvolávají.

Zkoumání variability jednotlivých měsíčních průtoků napovídá o rozkolísanosti režimu v rámci jednotlivých měsíců v průběhu celého referenčního období. K porovnání jednotlivých toků zájmovém území byla využita jednoduchá statistická analýza a sice míry variability - variační rozpětí R (udáváno jako rozdíl maximálního a minimálního měsíčního průtoky) a variační koeficient V (poměr směrodatné odchylky a dlouhodobého průměrného měsíčního průtoky).

Tabulka č.5.2: Základní míry variability průměrných měsíčních průtoků

Měsíc	Černá Opava		Střední Opava		Bílá Opava	
	R	V	R	V	R	V
<b>I</b>	1,74	0,58	1,85	0,58	0,65	0,5
<b>II</b>	1,72	0,47	1,22	0,56	0,59	0,46
<b>III</b>	1,73	0,45	2,34	0,57	0,98	0,54
<b>IV</b>	1,89	0,38	3,69	0,43	1,15	0,32
<b>V</b>	3,48	0,53	2,39	0,43	1,74	0,47
<b>VI</b>	3,89	0,63	4,09	0,67	1,56	0,48
<b>VII</b>	6,48	0,92	8,43	1,04	1,73	0,7
<b>VIII</b>	2,51	0,63	6,03	0,98	1,82	0,81
<b>IX</b>	3,01	0,74	3,81	0,84	0,85	0,54
<b>X</b>	1,3	0,45	1,87	0,54	0,53	0,32
<b>XI</b>	1,8	0,53	1,85	0,61	0,58	0,43
<b>XII</b>	1,2	0,48	2,67	0,68	0,92	0,5

Zdroj dat: ČHMÚ

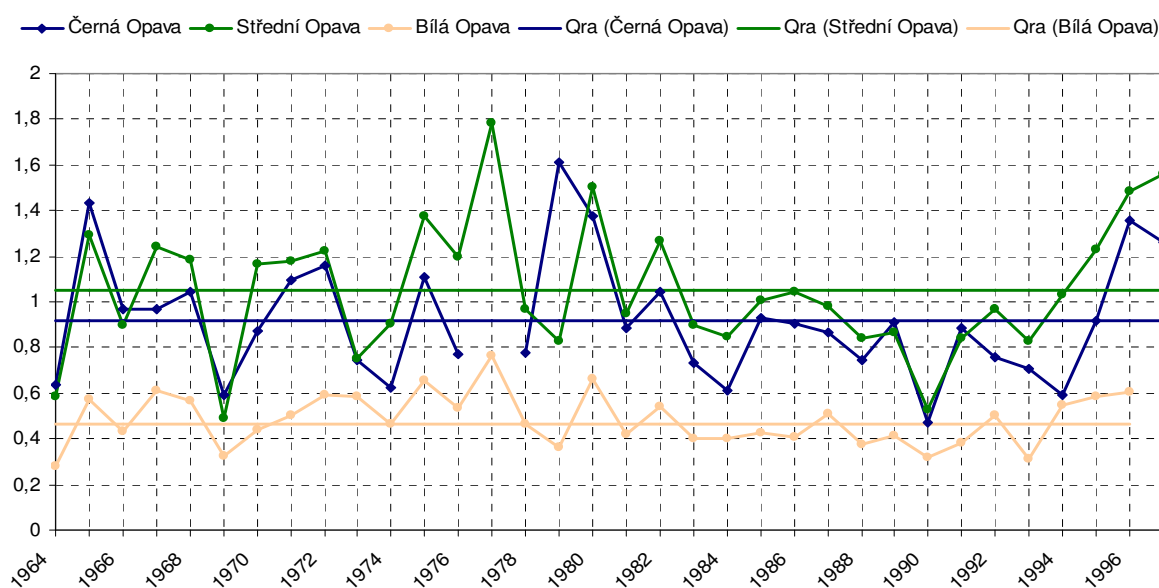
Z tabulky vyplývá, že obecně největší rozkolísanosti jsou spojeny s měsíci červencem a srpnem, což je typické období nepravidelných srážkových událostí, především přívalových dešťových srážek. Vysoké míry variačního rozpětí poukazují na to, že se jedná o období zvýšené frekvence povodňových událostí, především na tocích Střední a Černé Opavě.

### 5.3 Režimy ročních průtoků

Vodnosti jednotlivých toků v letech během referenčního období jsou charakterizovány řadou průměrných ročních průtoků. Jejich hodnoty kolísají v poměrně značném rozpětí okolo dlouhodobého ročního průtoku. Srovnání vodností jednotlivých let může přispět k identifikaci velkých povodňových událostí, spojených s několika vlnami na všech třech zdrojnicích. Neplatí to však obecně, neboť stejný roční průtok může zaznamenat dosti odlišný průběh a rozdělení během roku. Hodnoty průměrných ročních průtoků se mění především v závislosti na podílu hlavního zdroje vodnosti, tzn. úhrny atmosférických srážek a vody z tající sněhové pokrývky na povodí společně s vlivem dalších klimatických činitelů (chod teploty vzduchu, výpar, apod.). V celkové závislosti ročních úhrnů srážek a odtoku se také projevuje vliv srážek za předešlé období, tzn. je postihnuta větší či menší zavlaženost povodí a tím menší či větší ztráty v odtoku (Dub, 1963).

Obecně vodnosti jednotlivých toků kolísají s rozdílnými změnami v jarním a letním období v reakci na rozdílné srážkové dotace a rychlosti odtávání sněhové pokrývky, z pohledu dlouhodobého měřítka změny v zimním období nejsou typické.

Obrázek č.5.4: Srovnání vodností jednotlivých let pro dané toky za referenční období



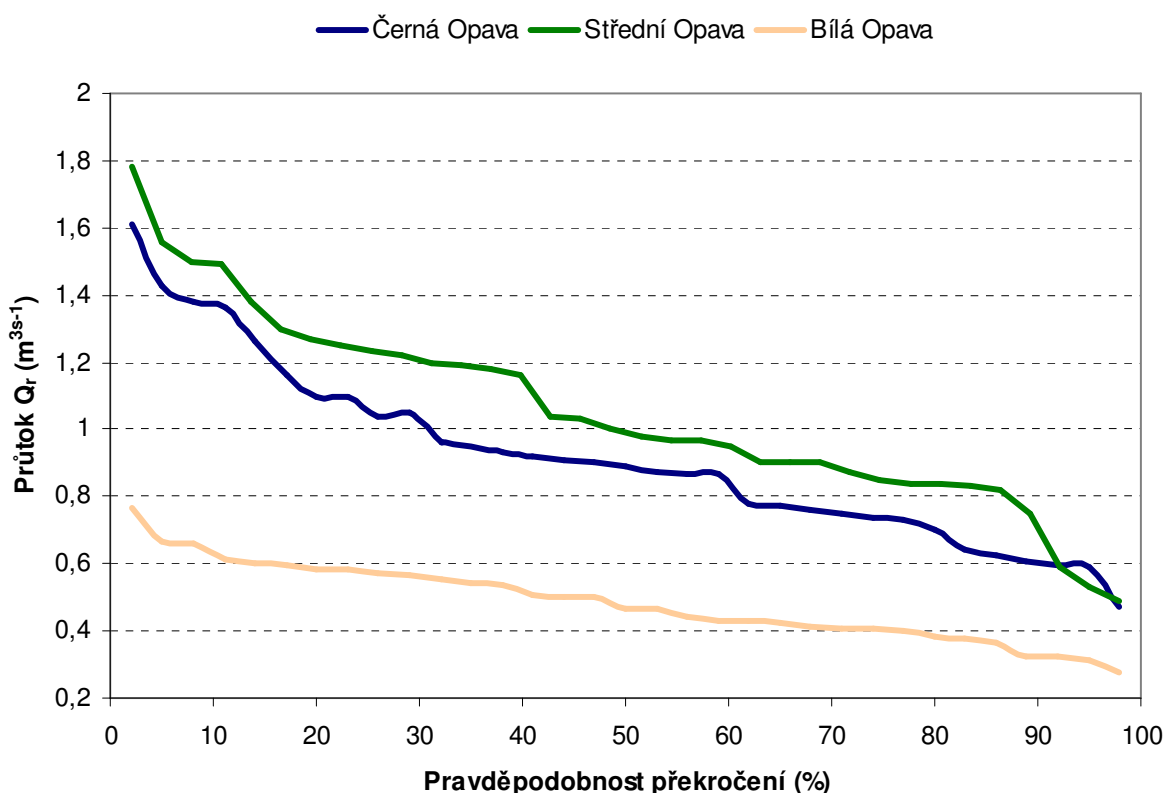
Zdroj dat: ČHMÚ



Vodnosti jednotlivých let se mohou dosti lišit v rámci jednotlivých toků a nemusí si odpovídat (např. rok hydrologický rok 1986 - 1987, kdy u Bílé Opavy jde o nadprůměrný rok, u Střední a Černé Opavy podprůměrný). Maximální hodnoty jsou obvykle spojeny s léty s vyššími úhrny srážek vpadlých na povodí, ať už ve formě dešťů či sněhových srážek, které dotovaly sněhovou pokrývku na jednotlivých povodích.

Hodnocení vodnosti jednotlivých let bylo provedeno pomocí tzv. pravděpodobnosti překročení  $P$  dle Čegodajeva ( $P = (m-0,3)/(n+0,4)*100$ ), kde  $m$  je pořadové číslo sestupně uspořádaní řady,  $n$  je počet let referenčního období a jejich rozdělení na roky vodné, málo vodné a mimořádně málo vodné. Jako mimořádně vodné období pro všechny tři zdrojnice můžeme stanovit např. hydrologický rok 1977, 1980 či 1996.

Obrázek č. 5.5: Křivka pravděpodobnosti překročení pro jednotlivé toky



Zdroj dat: ČHMÚ

Chod ročních průtoků ve srovnání zdrojnic v zájmové oblasti umožňuje porovnat odlišné reakce na změny atmosférických cirkulačních podmínek i chování odtoku v odlišném fyzickogeografickém prostředí. Odtok ve stejném roce může mít dosti odlišný průměr v rámci jednotlivých toků, odpovídá tomu i odlišné sezónní rozvodňování toků a celkový počet povodňových událostí.

## 6. Analýza sezonalitu výskytu povodní

Zájmová oblast povodí Černé, Střední a Bílé Opavy je pramennou oblastí řeky Opavy a vyznačuje se specifickými fyzickogeografickými a klimatickými podmínkami. Jedná se o relativně malá povodí s kratšími délkami vodních toků, jež protékají zástavbou menších sídel, okolí vodních toků je rovněž intenzivně využíváno. Přestože jsou si povodí do jisté míry v určitých znacích podobná, může se odtoková reakce vyvolaná různými či naopak podobnými příčinnými faktory odlišovat a představovat tak odlišné povodňové riziko pro širší okolí i samotný tok řeky Opavy. Odlišná citlivost jednotlivých povodí na působení některých faktorů spojených s utvářením povodně (např. příčinná povětrnostní situace, časová a plošná distribuce srážek, tání sněhové pokrývky, chod teploty a tlaku vzduchu) pak rovněž vyvolává jisté rozdílnosti ve výskytu extrémních povodní či např. chodu minimálních průtoků. Rovněž každá povodeň, která v daném prostoru proběhla, vznikla za určitých specifických, jedinečných podmínek, proto také její průběh, dopady i působení na okolní krajinu je rozdílné.

Povodně jsou v krajině zcela přirozeným jevem, z historických průzkumů vyplývá, že ničivé povodně se značnými materiálními škodami a ztrátami lidských životů se v krajině vyskytovali i v období minimálních negativních antropogenních zásahů, je proto důležité zakládat efektivní protipovodňovou ochranu a předpověď povodňového nebezpečí na důkladném poznání celkového charakteru výskytu povodní v určitých obdobích, identifikovat předběžné fyzikální symptomy v růstové větvi průtokové vlny a obecně předkulminační fázi.

V následující kapitole byla hodnocena sezonalita výskytu povodní v profilech na jednotlivých zdrojnicích s cílem charakterizovat období zvýšeného povodňového rizika a naopak období spojená s povodňovým klidem, zároveň je také zhodnocena relativní celková „rizikovitost jednotlivých toků“ na základě analýzy celkových extremit povodní a povodňového ohrožení v ročním chodu. Charakterizace sezonality výskytu povodní pak může zlepšovat odhad pravděpodobnosti výskytů povodňových situací v povodí. Rovněž v souvislosti s diskutovanou otázkou změny klimatu a tím i změny celkových úhrnů srážek a jejich rozložení v čase a prostoru je důležité rozpoznat základní vztahy výskytu povodní s jejich příčinnými faktory.

### 6.1 Výskyt povodní v zájmovém území

Povodně jsou nedílnou součástí odtokového procesu, stejně jako celkového koloběhu vody v daném území. Tyto jevy jsou výsledkem působení řady faktorů v čase i prostoru a

vyznačují se proto nepravidelností i celkovou rozkolísaností, přesto však existují určité obecné rysy výskytu povodní v zájmovém území – např., období s velmi nízkou pravděpodobností výskytu katastrofické povodňové události.

Z analýzy proběhlých povodňových vln na všech třech zdrojnicích vyplývá typičnost menších regionálních povodní s hodnotami průtoků přesahujícími jednoleté až dvouleté vody, čemuž byla také uzpůsobena protipovodňová ochrana v území. Jako nedostatečná se projevila během extrémní situace v roce 1997, kdy byla devastována zástavba, komunikace a byla poškozeno či strženo několik mostů a mimo jiné byly poškozeny či úplně zničeny limnigrafické stanice na Střední a Bílé Opavě. Povodeň 1997 tak představovala extrém, který v oblasti nebyl do té doby zaznamenán.

Z hlediska celkového výskytu povodňových situací je nejbohatší Střední Opava, pro níž je typické překračování jedno až dvouleté vody v několika vlnách během roku, naopak nejméně četné jsou výskyty na Opavě Bílé. Povodněmi proběhlými v zimním půlroce rozumíme povodňové situace proběhlé v období listopadu až dubnu, letním půlrokem je pak označeno období května až října. Duben byl přiřazen k zimnímu období, neboť v tomto období ještě ve vyšších partiích povodí zůstává sněhová pokrývka, avšak spolu se vzrůstající teplotou vzduchu a dotací dešťových srážek dochází k jejímu postupnému odtávání. Ve vrcholových oblastech – především oblast Pradědu může být toto období prodlužováno až do května, smíšené povodně se proto mohou objevit v letním i zimním půlroce. Typický je zvýšený výskyt jarních povodní v květnu pro Bílou Opavu.

Naprostou převahu mají povodně v letním půlroce, kdy kulminační průtoky dosahují svých maxim a mohou několikanásobně překračovat kulminační průtoky povodňových vln v ostatních částech roku. Téměř výhradně jsou na letní půlrok vázány situace, kdy je dosahováno pěti a víceleté vody. Povodně v zimním půlroce (s výjimkou jarních smíšených povodní) obvykle nedosahují pětiletých vod, typická je hodnota kulminačních průtoků v rozmezí jedno až dvouletých vod.

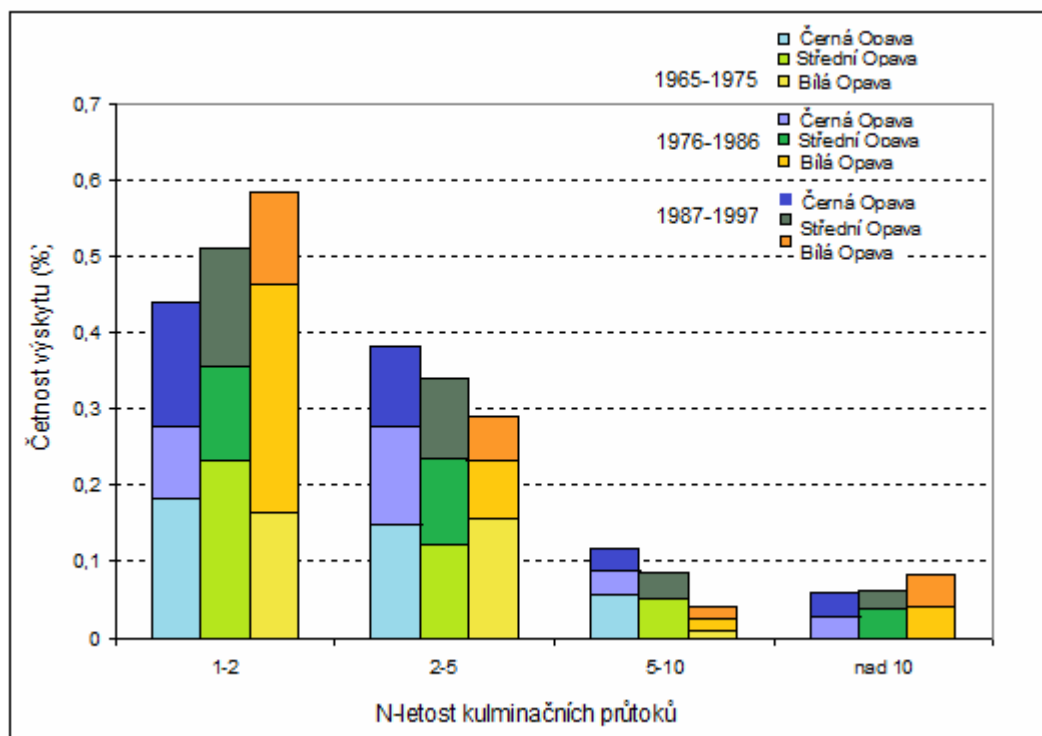
Uvažujeme – li celkový souhrn všech povodňových situací v prameništi Opavy, pak poměr sezónálních situací v ročním počtu činí 9:2 ve prospěch letních povodní. Nejmarkantnější rozdíly v počtu letních a zimních povodňových situací byly zaznamenány v profilech na Černé a Bílé Opavě, a to přibližně 6:1, na Střední Opavě pak 5:1. Zimní povodně proběhlé v jarním období jsou rozloženy poměrně rovnoměrně v průběhu celého referenčního období, poměrně často je takováto povodeň následována druhou epizodou v letním období.

Přibližně v 60% referenčního období docházelo k situacím, kdy se rozvodňovaly alespoň dvě zdrojnice ve stejném období, většinu pak představoval případ souběhu Černé a Střední Opavy. Naopak souběh samostatně Bílé a Černé Opavy typicky nenastává, v tomto případě pak kulminují všechny tři zdrojnice.

Dosažené kulminační průtoky se liší v jednotlivých letech. Největší rozkolísaností se vyznačuje Střední Opava, pro níž je typický poměrně rychlý nárůst v čase, často také povodňová vlna zaznamenává více vrcholů v závislosti na rozložení srážkového pole. V případě Bílé Opavy je typická povodňová vlna pouze s jedním vrcholem, charakterizována rychlým nárůstem i poklesem. Výjimku tvoří rok 1977, kdy všechny tři zdrojnice kulminovaly v několika vlnách. Ojedinělá situace se vyskytovala v r. 1997, kdy byla ve všech profilech překročena stoletá voda.

Obecně je celá zájmová oblast charakteristická rychlejším odtokem vody z povodí. Odtoku na dolních tocích, zejména při dešťových povodních, napomáhají koncentraci odtoku a průchodu povodňové vlny také antropogenní zásahy do vodních toků, např. zpevněná koryta s místy vybetonovanými břehy pravidelných tvarů. Jelikož se jedná o horská povodí, není zde příliš vyvinuta údolní niva poskytující dostatečný prostor pro rozliv, naopak vysoká zalesněnost povodí, stejně jako přírodní charakter koryt na horních tocích přispívá ke zmenšování extremit povodňových událostí.

Obrázek č.6.1: Výskyt povodní ve zvolených obdobích

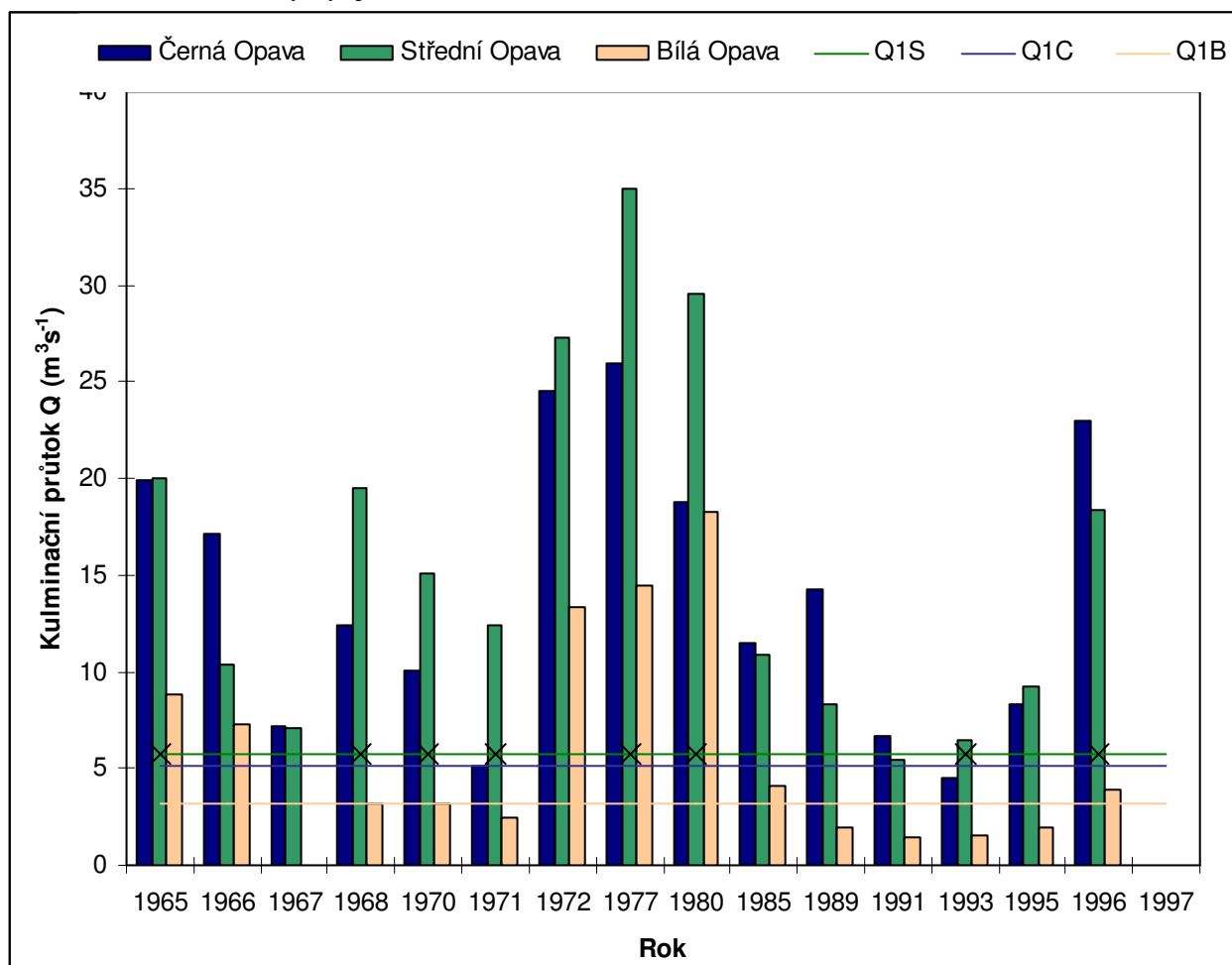


Zdroj dat: ČHMÚ

Dosažené kulminační průtoky ve vybraných letech jsou znázorněny v obrázku č.6.2., roky byly vybírány tak, aby byly zastoupeny všechny různé typy situací kulminací na Černé, Bílé a Střední Opavě a byl zastoupen letní i zimní půlrok. Hvězdičkou jsou pak označeny roky, kdy povodňová vlna na alespoň jedné zdrojnici zaznamenala více vrcholů. Záměrně je pak vypuštěn rok 1997, povodeň je popsána dále v textu. Kulminační průtoky v tomto období představovaly více než desetinásobek průměrného kulminačního průtoky.

Jelikož je referenční období poměrně krátké, neumožňuje srovnání s vývojem posledních let, takovéto srovnání je možné pouze v profilu Mnichov – Černá Opava, kde monitoring stále probíhá. Obecně však období od r. 1980 bylo z hlediska výskytů i extremity povodní poněkud chudší, povodňové katastrofě v r. 1997 předcházel rok 1996, který byl spojen s rozsáhlou povodní na řece Opavě, ve zdrojnicové oblasti byla však pouze na Černé Opavě překonána desetiletá voda. Tato skutečnost mohla být také důvodem podcenění povodňového nebezpečí.

Obrázek č.6.2: Výskyt povodní v období 1964-1997

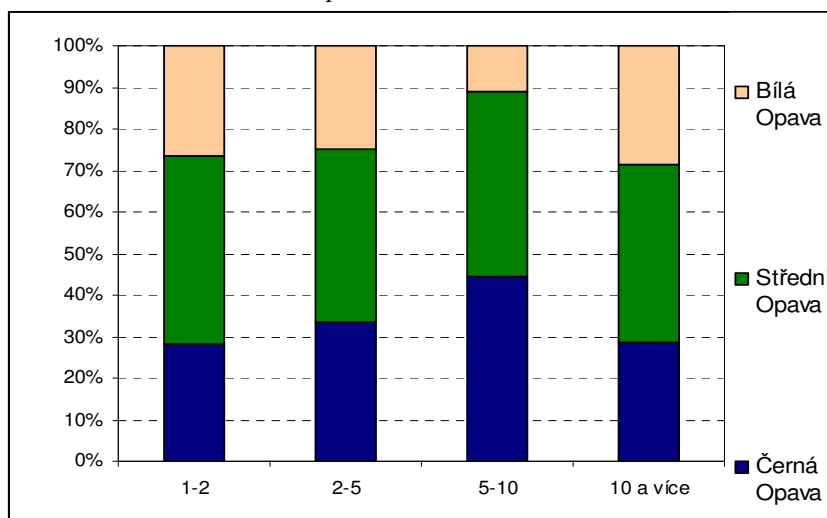


Zdroj dat: ČHMÚ:

Porovnání skladby povodňových průtoků uvádí graf uvedený v příloze., kde jsou vyjádřeny procentuální zastoupení n-letých povodňových průtoků na celém souboru za referenční období. Jejich rozložení je však nerovnoměrné v čase. Obecně se Černá Opava vyznačuje rovnoměrnějším zastoupením všech typů extremity povodňových průtoků, naopak specifická je Bílá Opava, kde kulminace v případě větších povodní spíše přesahují desetileté vody.

Podíly kulminačních průtoků o různé extemitě na celkovém počtu proběhlých povodňových událostí v zájmovém území. udává obrázek č.6.3. V průběhu celého referenčního období docházelo často k časovým souběhům povodní alespoň na dvou zdrojnicích, nejtěsnější vztah je zaznamenán mezi kulminacemi Černé a Bílé Opavy, nejvolnější vztah mezi kulminacemi Černé a Bílé Opavy. V případě současných kulminací se však extremity v závislosti na příčinných faktorech mohly markantně odlišovat. Jako příklad může sloužit letní vlna povodně v 8. měsíci 1980, kdy na Černé Opavě byla překročena hodnota dvouletého průtok, na Střední Opavě pouze krajní mez jednoletého průtok, naopak kulminační průtok Bílé Opavy byl dvakrát menší než prahová hodnota jednoleté vody, jarní povodňová vlna v 4. měsíci 1995 se pak vyznačovala pouze kulminací na Střední Opavě, naopak červnová vlna ve stejném roce přinesla souběh kulminací na Střední a Černé Opavě s hodnotami průtoků blízcími se dvouleté vodě, Bílá Opava v těchto obdobích zaznamenala pouze malé průtoky odpovídající dvojnásobku průměrného dlouhodobého průtok. Srpnová povodňová vlna r.1991 pak např., přinesla kulminaci pouze Černé Opavy. Z tohoto hlediska není možné vyslovit obecný závěr o těsnosti a provázanosti kulminací na jednotlivých zdrojnicích.

Obrázek č.6.3: Skladba kulminačních průtoků o různé extemitě



Zdroj dat: ČHMÚ

Rozložení různě extrémních kulminačních průtoků během celého referenčního období bylo různé, graficky jsou znázorněny na obrázku č.6.1. a 6.3., na Bílé Opavě je zaznamenán nárůst extremity povodní v posledních 20-ti letech, především pak zmíněná povodeň 1977, 1980 a 1997. Střední Opava si zachovává poměrně rovnoměrné rozložení jedno až dvouletých průtoků, spojených především s letním a jarním obdobím. Celkově v počtu i extremitě proběhlých povodí dominuje spíše Střední Opava nad Opavou Černou, což je dáno především dotací vodnosti řek z Pradědské oblasti v jarním období, celkově vyššími průměrnými srážkovými úhrny a specifickými přírodními poměry. Povodí Střední Opavy se rovněž nachází v jádrové oblasti, tzn. srážkové pole zasahující povodí Bílé nebo Černé Opavy ovlivňují rovněž odtok vody v tomto povodí. Vějířovitý tvar povodí Střední Opavy s posílením hlavního toku ve střední oblasti rovněž napomáhá ke zvyšování vodnosti v čase, při zasažení oblasti i méně vydatnými srážkami pak dochází ke koncentraci odtokových vln na dolním toku nebo naopak přispívá k udržování povodňových průtoků po delší období.

## **6.2 Sezonalita výskytu povodní**

Povodně o různém stupni extremity jsou přirozenou součástí vývoje krajiny, představují proto jeden z modelačních prvků krajiny. Povodně se v čase i prostoru vyskytují nepravidelně s rozdílnou extremitou, avšak lze v jejich chodu vyzorovat určité shodné znaky, např. typická období výskytu apod.

Výskyt povodňových událostí v daném území je výsledkem spolupůsobení řady faktorů, především pak klimatických činitelů, probíhajících cirkulačních procesů v atmosféře a samotného fyzickogeografického prostředí, ve kterém je realizován odtokový proces. Z hlediska účelné protipovodňové ochrany je důležité rozpoznat, která období jsou s výskytem povodní spjata, především pak s výskytem extrémních průtoků, která přinášejí společnosti nemalé škody způsobené záplavou a destrukcí zástavby, inženýrských sítí a samozřejmě ohrožení lidských životů., či naopak období tzv. „povodňového“ klidu.

Pozorování v pramenné oblasti řeky Opavy je z hlediska délky časové řady průtoků poměrně krátké vzhledem k odhadovaným opakováním některých povodní, období společného monitorování průtoků na Černé, Střední a Bílé Opavě zahrnuje 33 hydrologických let, analýza časového výskytu povodní proto může přispět ke zlepšení odhadů pravděpodobnosti výskytu povodní v daném území (o různé extremitě). Napomáhá rovněž k pochopení mechanismu vzniku povodní v horských, zdrojových lokalitách v závislosti na působení zmíněných činitelů. V diplomové práci byla zkoumána sezonalita výskytu povodní

v jednotlivých profilech zdrojnicových toků za referenční období 33 let (1964 – 1997) pro kulminační průtoky přesahující hodnoty jednoleté, dvouleté a pětileté vody.

### **6.2.1 Metodický postup**

Analýza časového výskytu povodňových situací byla realizována pomocí tří metod – metody růžicových grafů, metody směrových statistik a metody čar kumulativních četností výskytu povodní (kulminační průtoky odpovídající zvolenému kritériu). Dané metody byly použity v pracích J. Hladného, R. Čekala (2007,2009), J. Chalušové (2004) a Šmídové (2009).

#### ***1. Metoda růžicových grafů***

Metoda byla zvolena především pro svou grafickou názornost s dobrou obecnou vypovídací schopností. Princip metody spočívá v grafickém znázornění dané veličiny na růžicovém grafu, kde osa x reprezentuje jednotlivé měsíce v roce (označené v následujícím textu I-XII) a osa y hodnoty sledovaných jevů (absolutní či relativní četnosti výskytu povodňových událostí, průměrné, maximální či minimální hodnoty kulminačních průtoků za zvolené referenční období). Pro sledované profily pak vzniká spojením koncových bodů specifický obrazec charakterizující rozložení dané veličiny.

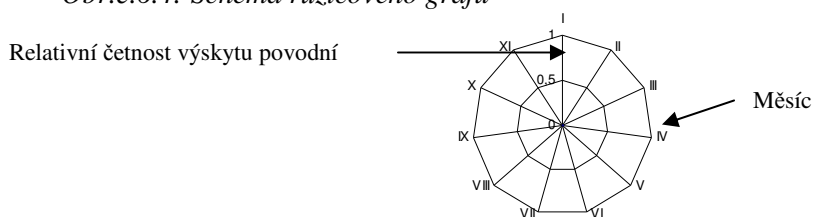
V práci byly na osu y vynášeny hodnoty relativních četností výskytu povodní v daném měsíci s kulminačním průtokem nad danou prahovou hodnotu ( $Q_1$ ,  $Q_2$  a  $Q_5$ ), jež jsou definovány:

$$Y_i = \frac{\sum y_m}{\sum y_n} ,$$

kde  $\sum y_m$  značí počet všech povodní s kulminačním průtokem, jež v daném měsíci a referenční období přesáhne zvolenou prahovou hodnotu

$\sum y_n$  značí počet všech povodní s kulminačním průtokem přesahujícím zvolenou prahovou hodnotu za referenční období

*Obr.č.6.4: Schéma růžicového grafu*



*Zdroj dat: Chalušová(2004)*



V případě rovnoměrného rozložení povodní do průběhu celého roku by vznikl pravidelný dvanáctiúhelník, v skutečnosti jsou však takováto rozložení značně nerovnoměrná odpovídající vychýlením na polárních souřadnicích. Značné vychýlení oproti průměrnému stavu vypovídá o typických extrémech.

## **2. metoda směrových statistik**

Daná metoda umožňuje shrnout režim a sezonalitu výskytu povodní pomocí jedné průměrné číselné hodnoty. Jedná se ukazatele průměrného výskytu povodní v daném profilu MD – Mean Day (Hladný, Čekal, 2009), (Chalušová, 2004). Každé datum výskytu povodně je převáděno prostřednictvím systému polárních souřadnic do příslušné polohy na jednotkové kružnici. Počátek roku je umístěn do nejvýchodnějšího bodu kružnice a jednotlivá roční období následují za sebou po kvadrantech kružnice proti směru hodinových ručiček (Chalušová, 2004). Máme-li soubor  $n$  kulminačních průtoků, pak MD vypočítáme dle vztahu :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \cos(\phi_i) \qquad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sin(\phi_i)$$

Kde  $\bar{x}$  a  $\bar{y}$  reprezentují  $x$  a  $y$  - ovou souřadnici průměrného dne výskytu povodně v daném povodí

$\Phi_i$  pak úhel směrového vektoru data výskytu kulminace (v radiánech)

Ke zvolené charakteristice byla vypočítána hodnota rozptylu povodňových případů, definována jako:

$$r_0 = \sqrt{\bar{x}^2 + \bar{y}^2}$$

Hodnota  $r_0$  se pohybuje od 0 k 1, přičemž hodnota blízká 1 poukazuje na povodí se silnou sezónní závislostí výskytu povodní v průběhu roku (hodnota 1 odpovídá výskytu povodní přesně ve stejném dni v roce v průběhu celého referenčního období), hodnota blízká 0 pak poukazuje na rovnoměrné rozložení povodní během celého roku.

## **3. metoda čar kumulativních četností výskytu povodní**

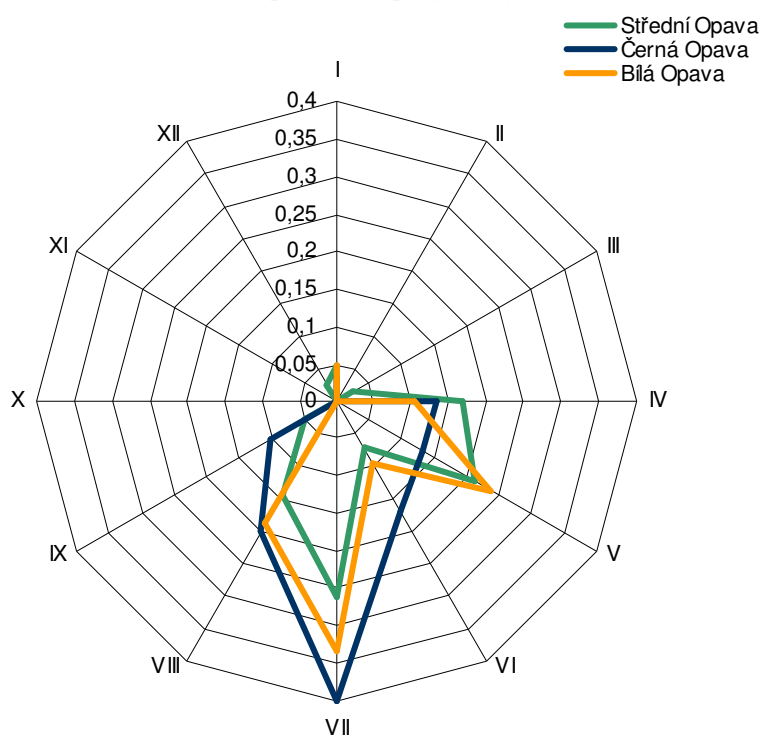
Zvolená metoda je založena na znázornění kumulativní četnosti výskytů povodňových událostí, při kterých kulminační průtok přesáhl prahovou hodnotu. Každému dni výskytu povodňové události za referenční období bylo přiřazeno pořadové číslo odpovídající pořadí

dne jednoho roku. Průběh čáry pak vymezuje charakteristické období zvýšené vodnosti (Chalušová, 2004)

### 6.2.2 Sezonalita

Z řady průtoků a kulminačních průtoků pozorovaných v jednotlivých profilech na Černé, Bílé a Střední Opavě je patrná největší koncentrace povodňových událostí do letního hydrologického půlroku, naprostou dominancí se pak vyznačuje měsíc červenec – tzn. převaha letních dešťových povodní, ať už spojených s přívalovými srážkami či krajinnými dešti. Orientace v letním půlroce je pak rozdílná v celkovém rozložení i intenzitě v jednotlivých profilech. V zimním období obecně jsou povodňové události spjaty především s jarním měsícem dubnem, pouze ojediněle se objevují případy lednové či prosincové spojené se zimní oblevou. Pro Střední a Bílou Opavu je v celkovém ročním charakteru výskytu povodní výskyt dvou povodňově neklidnějších období – hlavní v letních měsících červenci a srpnu a menším v období dubna až května u Střední Opavy a května u Bílé Opavy.

Obrázek č.6.5: Sezonalita výskytu povodní v profilech jednotlivých toků



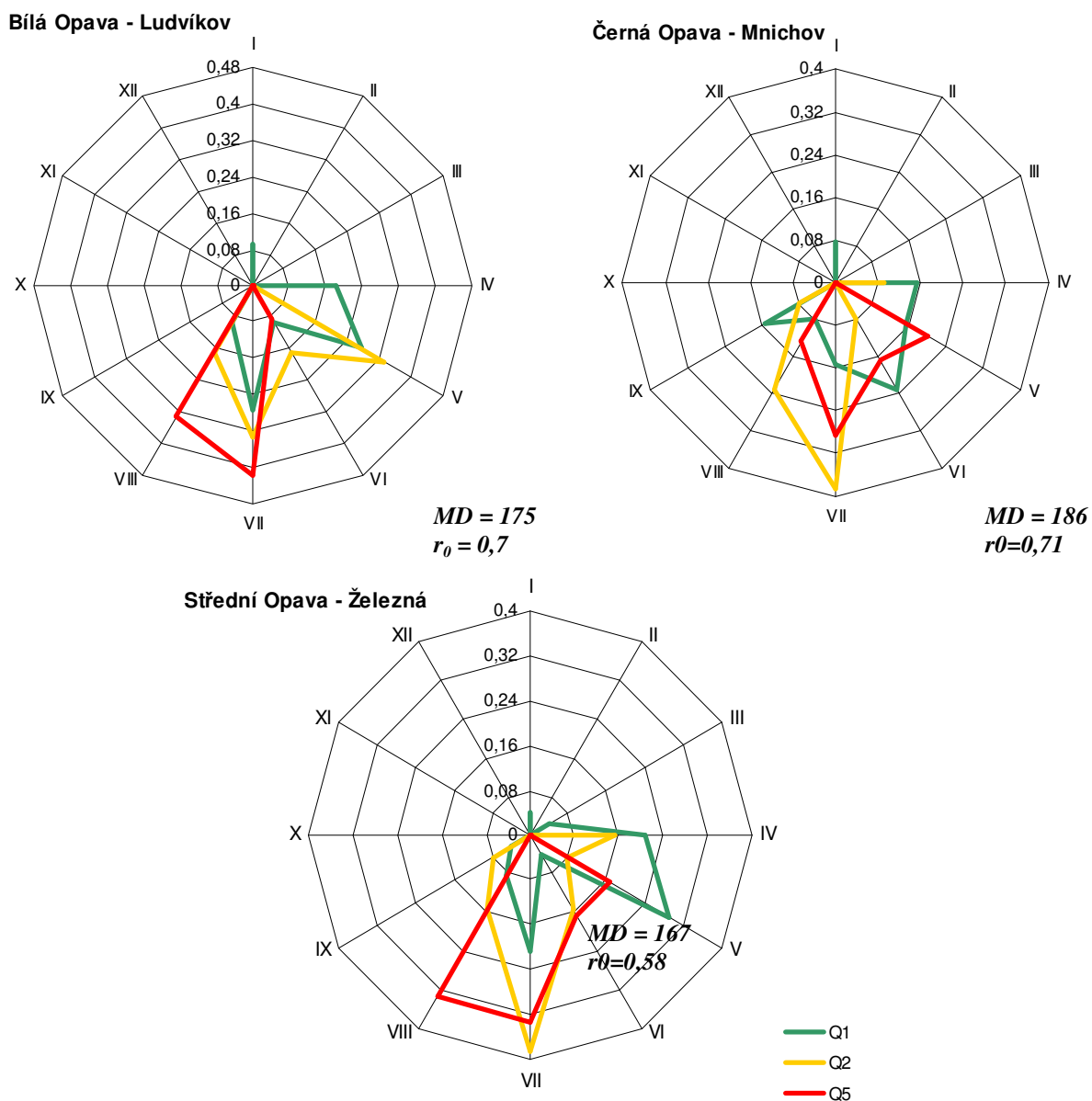
Zdroj dat: ČHMÚ

Naopak asymetrie je nejvíce zřejmá v profilu Černé Opavy, který zaznamenává vzrůstající povodňové riziko rovnoměrněji od jarních měsíců k maximu v létě (červenec). Celkově chybí složka větších zimních povodní, jež je ovlivněna především rozdělením nadmožských výšek teploty a cirkulačními procesy v atmosféře. V zimních obdobích jsou pro toky typické pouze minimální průtoky, neboť většina srážek je vázáná ve sněhové pokrývce

v povodí. Tání sněhové pokrývky při zimních oblevách většinou neprobíhá za přispívání dešťových srážek, neboť většina povodí je orientována v závětrí vůči převládajícím dešťonosným větrům. Dochází tak pouze k mírnému rozvodňování vodních toků Střední a Bílé Opavy, hodnoty takovýchto povodní obvykle dosahují pouze jednoletého kulminačního maxima.

Naopak silná orientace na letní půlrok je způsobena především vlivem cyklonální činnosti spojenou s velkou srážkovou dotací, vhodnou polohou vůči srážkotvorným severovýchodním až východním větrům a uplatňování orografického efektu Hrubého Jeseníku.

Obrázek č.6.6. : Sezonalita výskytu povodňových událostí překračující zvolenou praubohou hodnotu – Q1 (jednoletou vodu), Q2 (dvouletou vodu) a Q5(pětiletou vodu)



Zdroj dat: ČHMÚ

Obecně se největší zonální závislosti povodňových událostí vyznačují povodí Černé a Bílé Opavy s vysokými hodnotami rozptylu  $r_0$ , jež je dán koncentrací většiny povodňových událostí do letního půlroku, v rámci něj pak do měsíce července. Naopak povodí Střední Opavy má rovnoměrnější rozložení povodňového nebezpečí v průběhu roku, přičemž maximální koncentrace jsou spjata s jarními a letními měsíci, typická je rovněž kulminace v jarním a následném letním období. Povodňové vlny vznikající v jarním a zimním období se vyznačují pouze jedním vrcholem, oproti tomu letní povodně probíhají v několika vlnách.

Charakteristika průměrného data nástupu povodně je rovněž rozdílná u jednotlivých zdrojnic a poukazuje na posun maximálních výskytů povodní do letních měsíců v povodí Bílé a Černé Opavy oproti třetí zdrojnici. Povodí Střední a Černé Opavy je více citlivé na změny povětrnostních podmínek a celkového stavu atmosféry. Při přesunech srážkových polí je tak v určitých situacích zasahována pramenná oblast zvyšující vodnost na hlavním toku a následně jednotlivá povodí přítoků, která se mohou sbíhat a zvyšovat celkovou extremitu povodňové vlny na hlavním toku či naopak prodlužovat období zvýšené vodnosti či zapříčinit průchod povodňové vlny v několika etapách s časovým zpožděním. Naopak menší citlivostí přítoků vůči změnám stavů sněhové pokrývky a jejího odtávání se vyznačuje povodí Černé Opavy, neboť sněhová pokrývka obecně postupně odtává v jednotlivých výškových pásech a s různou intenzitou a způsobuje tak spíše jen mírnější rozvodnění toku.

Sněhová pokrývka zůstává vázána na povodí v závislostech na klimatických faktorech, především na teplotě a vlhkosti vzduchu a rozdělení srážek. Ve vrcholových oblastech, zejména v pramenných oblastech Střední a Bílé Opavy pak odtává v průběhu druhé dekády dubna a května, přičemž dochází k přestavbám synoptických situací a v důsledku cyklonální činnosti pak ke zvyšování celkových intenzit srážek, jež vedou k nárůstům průtoku v měsících dubnu a květnu, březnové povodně se téměř nevyskytují. Rovněž intenzivně odtávající sněhová pokrývka na povodích vede k nasycení infiltrační kapacity půdního krytu a způsobuje tak rychlejší odtok vody z povodí, srážky vypadlé na povodí (již srážky menších intenzit, přičemž v převážné většině povodí už v dubnu a květnu převládají srážky dešťové) tak mohou výrazně zvyšovat extremity povodní, především v měsíci květnu a červnu.

Z jednotlivých grafů je patrné, že se vzrůstající extremitou povodní dochází k posunu výskytu povodní do letních měsíců, maximální průtoky jsou vázány na letní přívalové deště způsobené specifickými cirkulačními poměry v atmosféře (viz synoptické příčiny povodní). Specifickým rysem povodí Střední a Černé Opavy je vychýlení výskytu extrémnějších povodní do 9. měsíce, příkladem uveďme povodeň r. 1996 související s výskytem povětrnostní situace Ec a NEc s velkými srážkovými úhrny a vhodnou polohou povodí na

úpatí Hrubého Jeseníku, srážky pak zasahují celé povodí, dochází rovněž k rozvodnění hlavních přítoků.

Sledování dlouhodobých změn sezonalitu výskytu povodňových událostí v zájmové oblasti není možné z důvodu krátkého referenčního období. Monitoring na Černé Opavě v následujících letech potvrdil výskyt extrémnějších povodní v červenci, ale rovněž zaznamenal zvýšený výskyt povodní v jarním období ( např. 03/2004, 04/2004) i celkový růst průměrných denních průtoků v období únor – březen. Rovněž sledování průběhu vodních hladin na Bílé Opavě do r. 2008 prokázalo zvyšování průměrných denních stavů v zimním období a výskyt maxim v červenci a srpnu. Stálý monitoring v následujících letech by mohl přispět k diskutované otázce změny klimatu, trendu vzrůstu teploty a s tímto spojené změny v povodňových režimech.

Rozdělíme – li sledované referenční období na přibližně stejné části, vykazují jednotlivé zdrojnice značné rozdíly, V obou obdobích se vyskytly velké povodně postihující všechny tři vodní toky, popř. docházelo k překročení prahových hodnot průtoků alespoň na dvou z nich ve stejném období (1997, 1996, 1995, 1991, 1989,1986, 1985, 1982, 1981, 1979, 1977, 1975, 1972, 1970, 1968,1967,1966,1965), přičemž rovněž docházelo k řadě drobných lokálních povodní a rozvodnění toků v různých obdobích během roku.

*Tabulka č.6.1: Popisné statistiky kulminačních průtoků pro zvolená období*

	MD		$r_0$	
	1964-1980	1981-1997	1964-1980	1981-1997
<b>Černá Opava</b>	179	176	0,67	0,8
<b>Střední Opava</b>	169	161	0,6	0,53
<b>Bílá Opava</b>	176	167	0,79	0,46

*Zdroj dat: ČHMÚ, výpočet autorka*

První období (1964-1980) se vyznačovalo dle charakteristiky MD pozdějším průměrným nástupem povodně, tento fakt je způsoben především zvýšeným výskytem jarních povodní v následujícím období v povodích Střední a Bílé Opavy, o čemž svědčí také výrazně nižší hodnoty rozptylu, naopak vyjádřené hodnoty pro Černou Opavu prokázaly silnou sezónální orientaci povodňových výskytů do období července.

Hodnotíme – li pak jednotlivé charakteristiky z pohledu n-letých vod na jednotlivých zdrojnicích, vyznačuje se míra rozptylu  $r_0$  menších hodnot pro jednoleté vody, což naznačuje jejich možný výskyt v průběhu celého roku, pravděpodobněji pak v letním období, naopak chod dvouletých vod naznačuje zonálnější rozdělení s maximy výskytů v letních obdobích, zejména květnu, červnu a červenci zejména v reakci na zvýšené srážky a faktoru předchozí nasycenosti povodí ve vztahu k celkovým úhrnům vypadlých srážek, zejména v povodí Černé

Opavy, kdy se dvouleté vody v ročním chodu objevují průměrně dříve. Obecně se jednoleté kulminační průtoky objevují rovnoměrněji v povodí Střední Opavy, často v případě více-vlnových povodňových epizod je jedním z kulminačních průtoků právě hodnota v rozmezí jedno a dvouleté vody. Vypovídací hodnoty jsou však diskutabilní vzhledem k nepříliš dlouhé době pozorování.

Tabulka č. 6.2: Popisné statistiky výskytu kulminačních průtoků o různé extremitě

Vodní tok	Q <sub>1</sub>		Q <sub>2</sub>	
	MD	r <sub>0</sub>	MD	r <sub>0</sub>
<b>Černá Opava</b>	168	0,61	162	0,84
<b>Střední Opava</b>	138	0,49	177	0,77
<b>Bílá Opava</b>	157	0,63	178	0,79

Zdroj dat: ČHMÚ, výpočet autorka

### **6.2.3 Období zvýšeného povodňového neklidu**

K identifikaci typických období se zvýšenou pravděpodobností výskytu povodní či naopak období povodňového klidu byla využita výše popsaná metoda součtových čar. K vytvoření těchto čar byla využita data z limnigrafických stanic na Černé, Bílé a Střední Opavě za referenční období 1964 – 1997.

Průběh součtových čar pro výskyt povodní na jednotlivých tocích v zájmové oblasti potvrzuje určité typické rysy, jež formulovala Chalušová(2004) a Šmídová(2009). Změna sklonu čáry na zvolených prahových hodnotách odpovídá přibližně stejnému dni v roce. Strmější sklon představuje období s větším povodňovým rizikem. Rok je takto možné rozdělit na tři období – tzv. období povodňového klidu, období povodňového neklidu a přechodné období.

V profilech na jednotlivých tocích jsou průběhy čar odlišné a odpovídají celkovému rozdělení povodňového rizika v letech. Křivky se nevyznačují hladkým průběhem z důvodu krátkého referenčního období, avšak v obecném trendu dochází k zachování přibližně stejného dne v roce odpovídající období povodňového klidu.

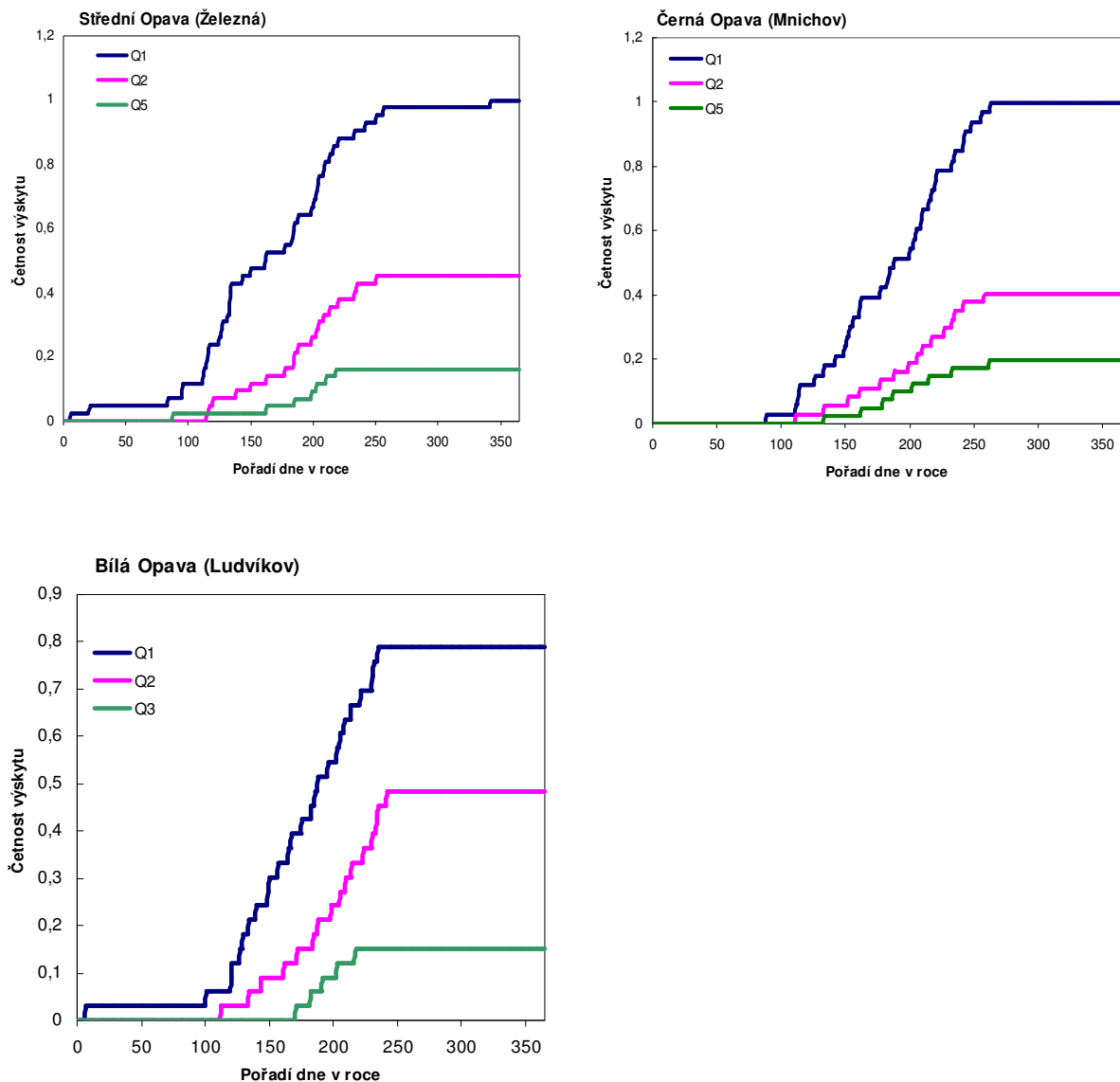
Černá Opava se vyznačuje poměrně dlouhým obdobím neklidu trvajícím od přibližně 179 dne (28.6) do 237. dne (25.8.), naopak období klidu odpovídá časový úsek od 265 (22.9) dne do přibližně 91 dne. (1.4), strmější průběh součtové čáry pro jednoletý povodňový průtok vypovídá o četnějším zastoupení povodňových událostí s kulminačními průtoky v rozmezí jedno až dvouleté vody.

Celkový podobný tvar čar pro jednotlivé prahové hodnoty průtoků v profilu Železná na Černé Opavě vypovídá o rovnoměrnějším zastoupení průtoků překračujícím prahovou

hodnotu jednoleté a dvouleté vody. Období povodňového neklidu je zde kratší trvá přibližně od 198 (17.7) do 224 (12.8) dne, povodňový klid je spjat s obdobím 260 (17.9) dne až přibližně 20 (20.1) dne.

Období zvýšené pravděpodobnosti výskytu povodně je na Bílé Opavě v rozmezí zhruba 180 (29.6) dne až 213 (1.8) dne, relativní povodňový klid pak trvá v období od 247 (4.9) do 99 (9.4) dne. Křivky v přechodných obdobích odpovídají tvarově profilu Mnichov (černá Opava) a vypovídají proto rovněž o četnějším zastoupení jednoletých vod.

Obrázek č. 6.7: Čáry kumulativních četností povodní (pro profily zájmových toků)



Zdroj dat: ČHMÚ

## 7 Analýza synoptických příčin povodní

Cirkulační procesy v atmosféře souvisí s prostorovou i časovou distribucí srážek, chodu teplot, tlaku a vlhkosti vzduchu a chodem dalších meteorologických prvků. Vyšetření vzájemných vazeb mezi těmito procesy a vznikem povodňových průtoků jako extrémních hydrologických jevů probíhajících v určitém fyzicogeografickém prostředí napomáhá pochopení obecného mechanismu vzniku povodní v dané oblasti. Obecně je hydrologický režim vodních toků do jisté míry řízen cirkulačními procesy, ať už v makro měřítku, tzn. ovlivnění počasí nad rozsáhlými oblastmi a rovněž v regionálním měřítku, ovlivňující pouze určitou oblast – povodí zájmových toků. Fyzickogeografické prostředí se pak uplatňuje jako jeden z faktorů ovlivňující lokální rozložení srážek, jejich zesilování prostřednictvím orografického efektu či naopak útlumem celkových intenzit (srážkový stín). Cirkulační podmínky v atmosféře souvisí s prouděním vzduchu, jeho směrem rychlostí, přičemž čím vyšší je rychlost proudění, tím silněji se tento orografický efekt uplatňuje, rovněž s rostoucí nadmořskou výškou v pohoří, táním silnější je pak kondenzační účinek.

Situaci, která zapříčiňuje vznik povodní obvykle předchází řada specifických příznaků, identifikace těchto symptomů je pak důležitá např. pro efektivní protipovodňovou ochranu v daném území. V následující kapitole byly zhodnoceny povětrnostní příčiny povodní v souvislostech s celkovými srážkovými úhrny a jejich rozložením.

Vymezený příčinný povětrnostní typ přiřazený proběhlé povodňové události podle předem stanoveného pravidla v některých případech nemusí odpovídat podmínkám v mezo měřítku. Rovněž v předkulminační fázi často dochází k postupným přestavbám jednotlivých synoptických podmínek, tato přestavba pak může v odlišných územích probíhat s různou rychlostí a ovlivňovat chod meteorologických prvků, proto také může v jednotlivých oblastech vyvolávat odlišnou odezvu (i rozložení srážek). Odlišný průběh je rovněž způsoben rozdílnými podmínkami ve fyzickogeografickém prostředí, především pak orografickými rozdíly či rozdílností celkového charakteru říční sítě. Rovněž odlišná situace v povodích před vypadáváním srážek, tzn. např. celková nasycenost povodí a naplnění říční sítě může způsobovat odlišný průběh povodňových vln v jednotlivých povodích.

K určování příčinných povětrnostních typů byl využit Katalog povětrnostních situací (Brádka a kol., 1961) dostupný na internetových stránkách ČHMÚ, postup při určování příčinné situace je uveden v metodice práce.



## 7. 1 Frekvenční analýza výskytu povětrnostních typů.

Celkové zastoupení různých povětrnostních typů v jednotlivých povodích Černé, Střední a Bílé Opavy je různý skladbou i četností. Velké úhrny srážek v letním období jsou vyvolávány především cyklonální činností a výskyty brázd nízkého tlaku vzduchu se zvlněnými studenými frontami (viz kap. 2) - odpovídající typy B, C, Ec, a NEc . Četnost jejich výskytu v povodí Střední Opavy odpovídá přibližně 73%, z toho je naprostá většina (62%) případů letních povodní, podobná je také četnost v povodí Bílé Opavy. Specifická je situace pro tok Černou Opavu, kdy tyto případy tvoří 80% všech povodňových případů a jsou zastoupeny výhradně u letních dešťových povodní. Výskyt povětrnostních podmínek odpovídajícím těmto typům ještě nemusí vyvolávat povodeň, vyskytují se v průběhu celého roku a přinášejí různě časově a plošně rozložené srážky.

Dlouhodobý výskyt jednotlivých typů je uveden v tabulce. Z tohoto hlediska je patrné, že četnost jejich výskytu v době povodní je zhruba trojnásobná oproti dlouhodobému průměrnému výskytu, v povodí Černé Opavy až čtyřnásobná. Typy NEc a Ec spojené s studeným severovýchodním až východním prouděním a postupem frontálních systému od východu jsou u všech tří toků spojeny pouze s letním obdobím, neboť v zimní polovině roku jsou sice spojeny se srážkami, avšak sněhovými, které nezpůsobují rozvodnění toků. V letním půlroce se rovněž uplatňuje orografické zesilování srážek při úpatí Hrubého Jeseníku, tzn., že v zájmovém povodí jsou zaznamenány nejvyšší srážkové úhrny. Cirkulační podmínky těchto synoptických situací obvykle vedou ke vzniku povodní na všech třech zdrojnicích. V případě zasažení celého zájmového území srážkami obvykle řeky kulminují ve stejný den.

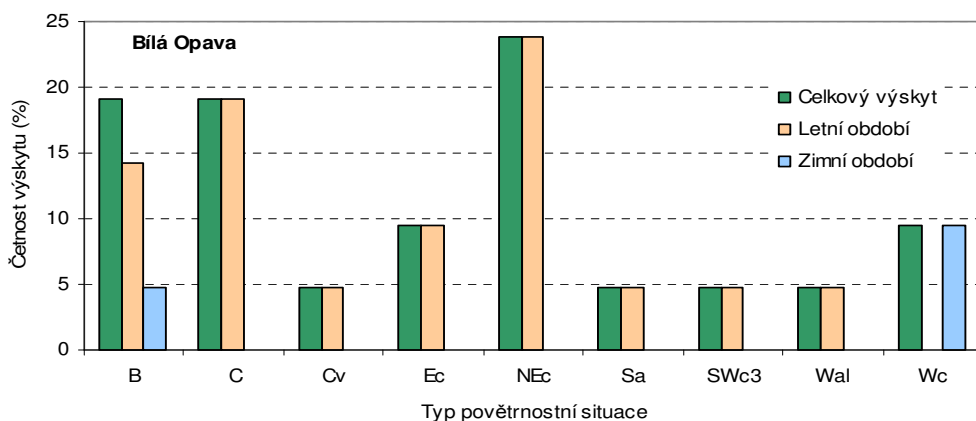
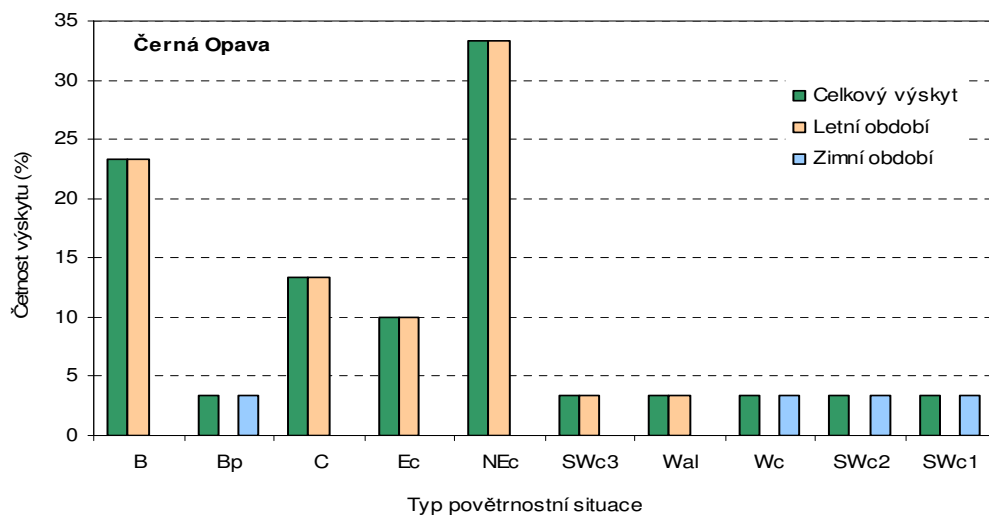
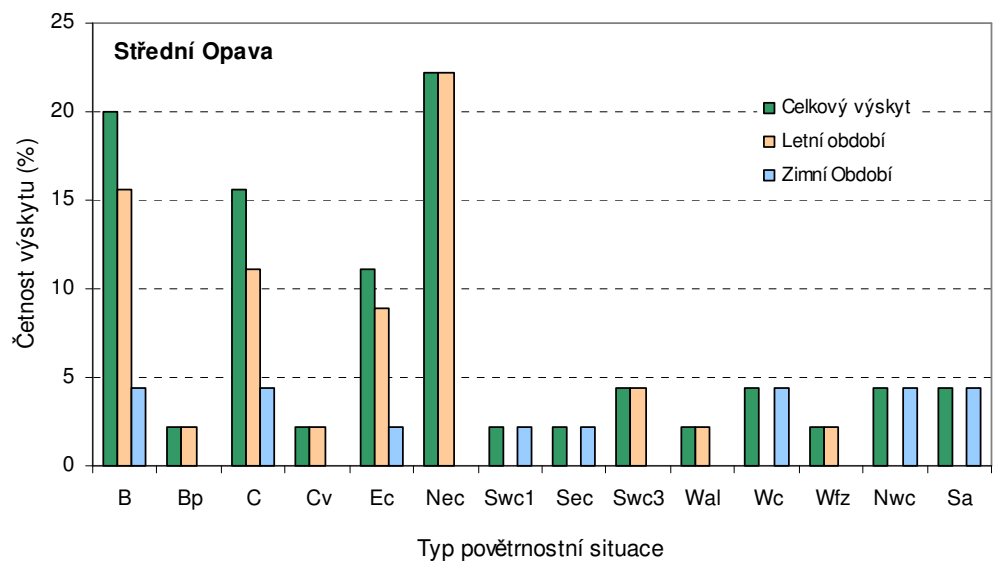
Tabulka č.7.1: Dlouhodobý výskyt vybraných povětrnostních situací

<b>Povětrnostní situace</b>	<b>Výskyt (%)</b>	<b>Povětrnostní situace</b>	<b>Výskyt (%)</b>
<b>B</b>	<b>8,7</b>	<b>Sa</b>	<b>2,0</b>
<b>Bp</b>	<b>5,2</b>	<b>SEc</b>	<b>3,5</b>
<b>C</b>	<b>3,2</b>	<b>SWc3</b>	<b>3,6</b>
<b>Cv</b>	<b>1,2</b>	<b>Wal</b>	<b>3,6</b>
<b>Ec</b>	<b>4,7</b>	<b>Wc</b>	<b>9,7</b>
<b>NEc</b>	<b>5,0</b>	<b>SWc2</b>	<b>5,1</b>

Zdroj dat : ČHMÚ

Z hlediska pestrosti skladby příčinných synoptických typů v letním období je nejbohatší Střední Opava, kde jsou letní povodně rovněž spojeny výrazněji s jihozápadní a západní cyklonální situací.

Obrázek č.7.1.: Relativní četnost zastoupení příčinných povětrnostních situací v době povodní v jednotlivých povodích za referenční období



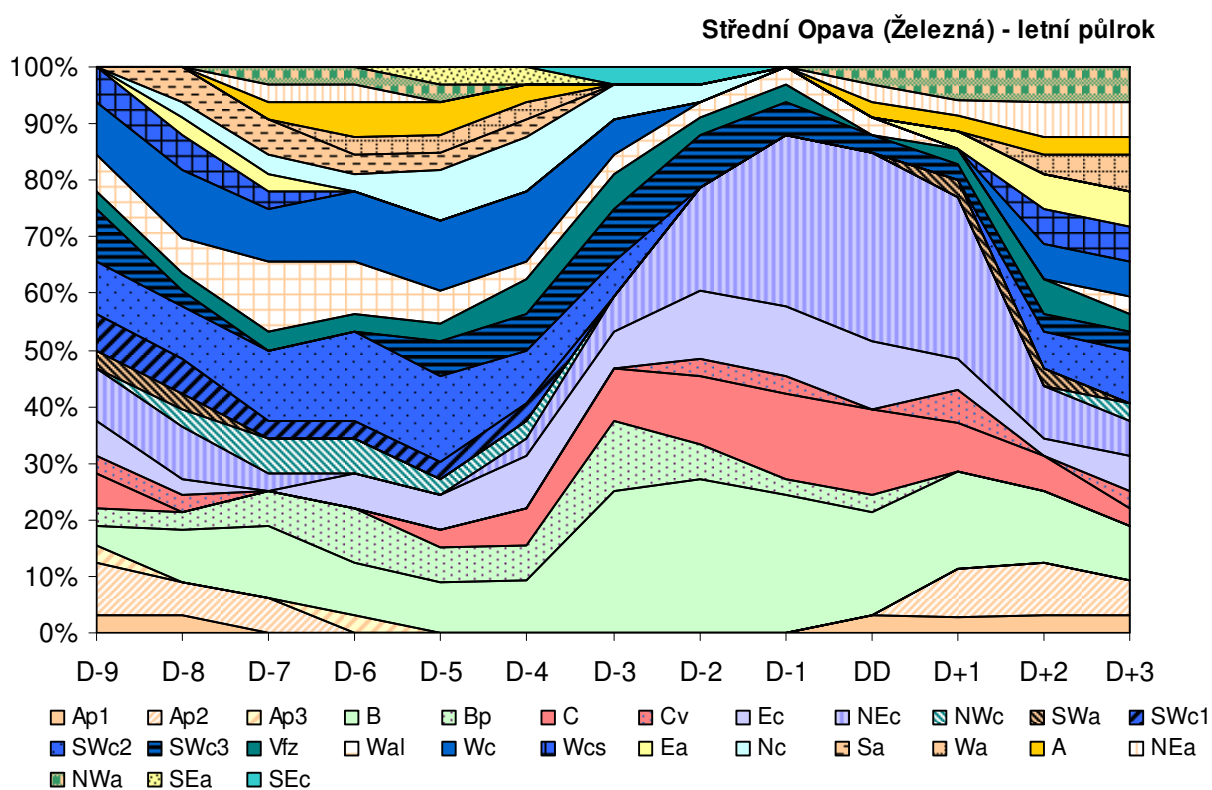
Zdroj dat: ČHMÚ

Ve výškovém západním a jihozápadním proudění přecházejí přes střední Evropu jádra oddělená od Azorské anticyklóny a mezi nimi zvlněné studené fronty, často jsou s těmito situacemi spojeny konvektivní srážky, bouřkové lijáky.

Západní cyklonální situace, jež se vyskytuje v průběhu celého roku, je spojena s povodněmi pouze v zimním období, a to hlavně v jarních měsících. Srážky vypadávající v důsledku tohoto povětrnostního typu jsou orograficky zesilovány.

Synoptický typ SWc2 se podílí na vzniku povodňových situací především v jarních měsících, přičemž je v předkulminační fázi typická postupná přestavba na či z typu Wc, může se proto podílet na vytváření povodně jak v letním tak zimním půlroce, přičemž se v zimním půlroce může být více orograficky modifikován. Ke vzniku zimních povodní rovněž přispívají cirkulační podmínky spojené s postupující brázdou nízkého tlaku k východu. Obecně tyto typy přinášejí oteplení a větší dešťové srážkové úhrny.

Obrázek č.7.2.: Relativní četnost (vyjádřena v %) výskytu synoptických typů ve dnech D-9 až D+3 během povodní na Střední Opavě, profil Železná, letní půlrok

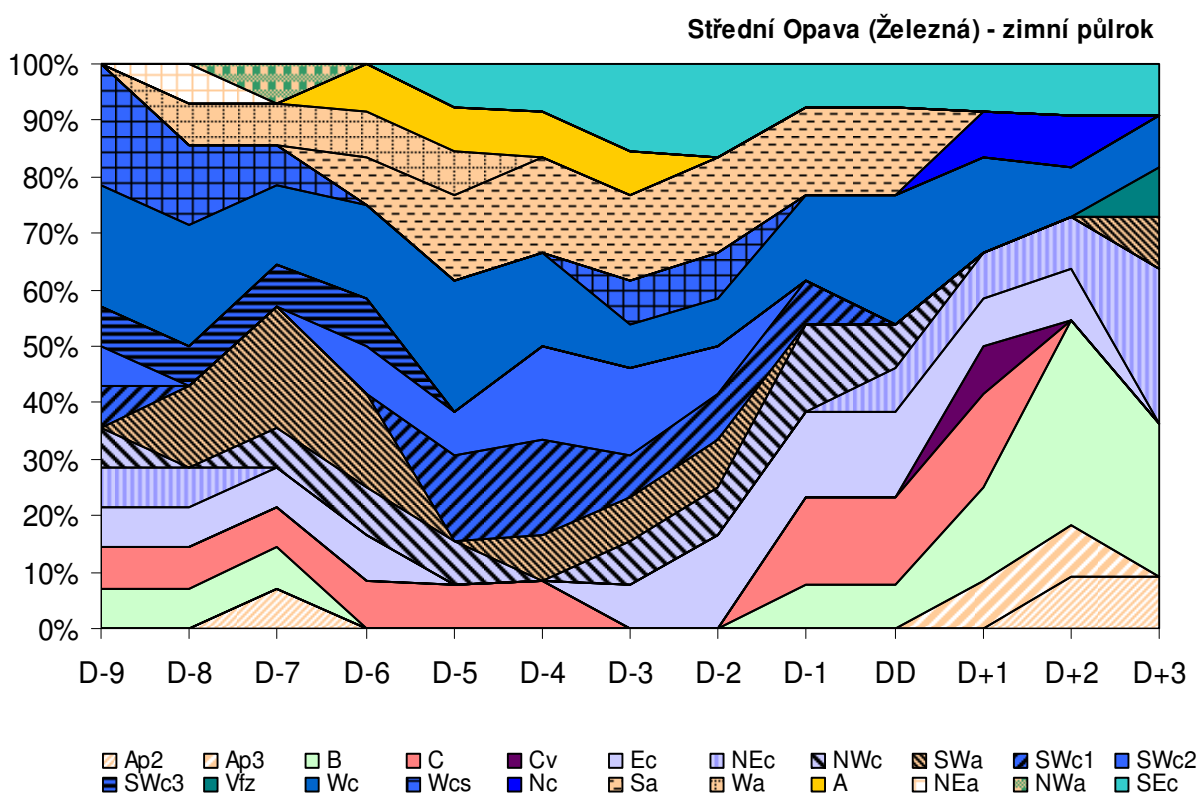


Zdroj: ČHMÚ

Vzhledem k malému počtu zimních povodní na jednotlivých zdrojnicích není možno srovnávat jejich heterogenitu mezi sebou, avšak obecně při vzniku zimních povodní, zejména pak jarních povodní, působí nejen faktor srážek, ale rovněž chod teploty vzduchu, celková

výška sněhové pokrývky, uplatňuje se rovněž faktor nasycenosti povodí a výškové poměry povodí atd. Porovnáme –li celkový počet přiřazených povětrnostních příčin vzhledem k celkovému počtu povodní, pak v letním období (Střední Opava) připadají v průměru 4 povodňové události, v zimním období (Střední Opava) pak na 1 typ pouze necelé 2 povodňové události, což v hrubém průměru poukazuje na větší heterogenitu příčinných typů v zimním období. Porovnání pro Bílou a Černou Opavu tento nepoměr ještě zvětšují (obecně každá povodeň je vyvolána jiným synoptickým typem), avšak hodnoty nejsou příliš objektivní vzhledem k malým počtům zimních povodní. (Smíšené povodně Bílé Opavy jsou posunuty do letního období května, neboť sněhová pokrývka v důsledku vyšších nadmořských výšek zůstává v horním povodí vázána až do pozdních jarních měsíců).

Obrázek č.7.3.:Relativní četnost (vyjádřena v %) výskytu synoptických typů ve dnech D-9 až D+3 během povodní n Střední Opavě, profil Železná, zimní půlrok



Zdroj: ČHMÚ

Jak již bylo zmíněno, povodně jsou výsledkem postupných změn cirkulačních procesů v atmosféře a s nimi spojenými změnami meteorologických prvků. Pouze jediná povodeň (2. vlna červnové povodně r. 1965) vznikala v důsledku čistě jediného synoptického typu, a sice cyklónou nad střední Evropou s postupem frontálních systému z oblasti Středozemního moře, projevila se na všech třech tocích, pouze se lišil den kulminace. V ostatních případech

docházelo k poměrně různorodým představám. Pouze 10% povodní bylo utvářeno pouze cyklonální činností (cyklóny v různých polohách). Nejpestřejší proměny synoptických typů jsou vázány na letní období. V letním období jsou pro vznik povodňových událostí typické přestavby cyklonálních situací se západní složkou proudění na cyklonální situaci s východní složkou proudění (především pak SWc1, SWc2 a SWc3 na typy NEc, Ec), popř. přestavby do brázdy nízkého tlaku vzduchu či centrální cyklony. V případě zimních povodní jsou to přestavby z anticyklonálních situací do cyklonálních typů, především Wcs, SWc1, SWc2 a SWc3.

## 7.2 Genetický kód synoptického vývoje povodní

Každá synoptická situace, tedy určité cirkulační podmínky v atmosféře, je doprovázena určitým chodem meteorologických prvků, tzn. existují jisté fyzikální projevy těchto podmínek v atmosféře. Tvorba genetických kódů povětrnostního vývoje slouží k prozkoumání nástupů těchto jevů jež předcházejí s určitým časovým předstihem povodňovým nebezpečím.

Metoda tvorby genetického kódu byla převzata z prací Šmídové (2009) a Čekala (2005). Obecně metoda vychází z tvrzení, že vliv kauzality synoptických situací na realizaci odtokové odezvy musí postupně přibývat, naopak neurčitost ve změnách atmosférických procesů, daných počtem možných kombinací jejich vyskytujících se typů, musí ubývat. (Čekal, 2005). Den, kdy je variabilita možných typů povětrnostní situace nejmenší lze označit za příčinné (Šmídová, 2009).

Sestavený genetický kód pro všechny tři zdrojnice poukazuje na snižující se proměnlivost určitých povětrnostních situací v růstové větvi povodňové vlny, tedy v předkulminační fázi. Ukazuje se, že v rozmezí D-4( v závislosti na zájmovém toku) až D-9 je zastoupenou podstatně více druhů různých synoptických situací, přičemž směrem ke dni kulminace (D) se tato variabilita podstatně zmenšuje a prosazují se hlavní povětrnostní typy. Nejmenší různost povětrnostních typů se projevuje ve dni D-1 v případě zkoumání povodní v letním období a ve dni kulminace v případě prozkoumávání zimních povodní. Zimní povodně se obecně vyznačují ve svém povětrnostním vývoji zastoupením více cirkulačních typů v průběhu celého předkulminačního období, což podporuje tvrzením, že na tvorbě zimních povodní (převážně jarních povodní) se uplatňuje více faktorů.

Genetický kód pro zimní povodňové události na Černé a Bílé Opavě zde není uveřejněn z důvodu velmi malého počtu zimních povodní a nemá proto příliš dobrou vypovídací hodnotu.

Z hodnocení genetického povětrnostního kódu bylo vyčleněno 8 příčinných typů pro zimní povodně na Střední Opavě a 9 příčinných typů pro letní povodňové události (Střední Opava, profil Železná). Na Černé Opavě takto pro letní povodňové události bylo vyčleněno 6 příčinných typů, na Bílé Opavě pak 8 příčinných situací. Z hlediska hodnocení příčinných typů na Černé Opavě pro zimní povodně platí, že v podstatě každá povodeň byla vyvolána jiným cirkulačním typem. Zimní povodně na Bílé Opavě nebyly z důvodu příliš malého počtu zhodnoceny. Vymezené typy povětrnostních příčin povodňových situací odpovídají určeným typům na základě srážkového hodnocení.

Vypracované genetické kódy pro proběhlé povodňové události v letním půlroce na tocích Černé a Bílé Opavě jsou uvedeny v příloze.







### 7.3 Povodňový index

Možným způsobem zkoumání těsnosti vazby proběhlé povodňové události na příčinných synoptických podmínkách je tzv. povodňový index. Tato metoda byla využita v řadě prací analyzujících povodně na českých i zahraničních řekách, viz (Čekal, Hladný, 2007, Huth, Buchtele, 2003, Šmídová, 2009)

Povodňový index (ID) pro potřeby této práce je definován takto:

$$ID(j) = \frac{N_1(i)}{N_2(i)}$$

kde:  $N_1(i)$  značí podíl četnosti výskytu určitého povětrnostního typu v jednotlivých dnech v předkulminační fázi povodňové epizody k celkovému počtu proběhlých povodňových událostí

$N_2(i)$  značí podíl četnosti výskytu daného povětrnostního typu nepodmíněně na výskytu povodně za celé referenční období ku celkovému počtu dní v referenčním období

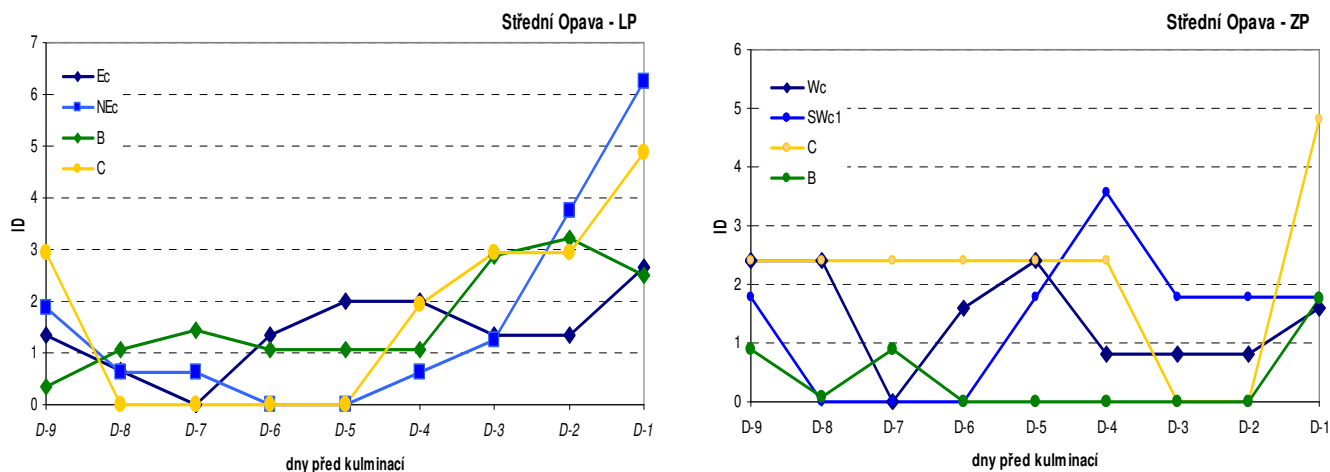
V práci bylo jako uvažované referenční období bráno období 1964 – 1997, nepodmíněný dlouhodobý výskyt byl vypočítán z přehledného Katalogu povětrnostních situací publikovaného na internetových stránkách ČHMÚ.

Povodňový index byl určen pro Střední, Černou a Bílou Opavu v letním období, pro Střední Opavu pak také zvlášť pro období zimní., vždy pro jednotlivé dny předkulminační fáze povodně, tzn., pro dny D-1 až D-9. Vývoj a hodnoty povodňového indexu v jednotlivých dnech může rovněž sloužit k vymezení časového předstihu, kterého je možné v povodích dosáhnout (Šmídová, 2009). Metoda povodňového indexu identifikuje období zatížené realitně častějším výskytem povodní, tzn. období s nepoměrně častějšími výskyty příčinných povětrnostních situací, než by odpovídalo nepodmíněnému dlouhodobému výskytu bez vazby na povodňové situace. Hodnoty ID vyšší než 1 na tato období poukazuje.

Maximální hodnoty povodňového indexu pak vymezují časový předstih mezi příčinnou synoptickou situací a proběhlou povodní. Z důvodu poměrně značné různosti příčinných

povětrnostních situací, byly graficky znázorněny relativně nejčastější povětrnostní typy spojené s výskytem povodňových situací na všech třech tocích v zájmovém území

Obrázek č.7.7 :Povodňový index pro (ID) pro vybrané příčinné situace na Střední Opavě, zvláště pro letní půlrok (LP) a zimní půlrok (ZP) za referenční období 1963-1997



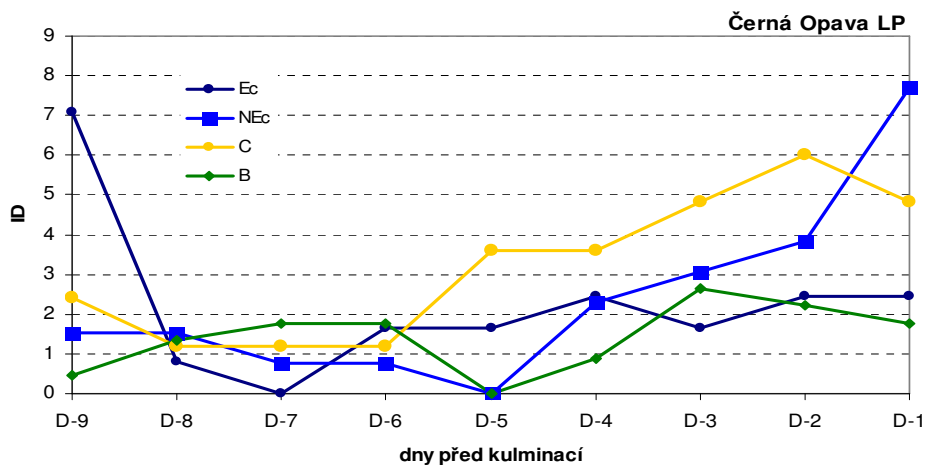
Zdroj dat: ČHMÚ

Z uvedených grafů vyplývá, že časový předstih je v rámci jednotlivých půlroků a příčinných situací poněkud odlišný. V letním půlroce nepohybuje okolo jednoho až dvou dní před výskytem povodně, v rámci zimního půlroku pak nejlépe den před výskytem povodně (pro situace spojené nejvíce s výskytem povodní v zimním půlroce pak v rozmezí tří až jednoho dne před výskytem povodně). Výsledný časový předstih odpovídá vytvořeným genetickým kódů, kde nejnižší variabilita (tedy zvýšená frekvence určitých typů povětrnostních příčin) připadá na den před kulminací povodně.

Podobné výsledky jsou rovněž u toků Černé a Bílá Opavy, kdy se rovněž časový předstih v letním půlroce spojuje s obdobím tří až jednoho dne před kulminací povodně. Graf vývoje povodňového indexu v jednotlivých dnech před kulminací pro tok Bílou Opavu je uveden v příloze a odpovídá zmíněnému výsledku.

Hodnoty povodňového indexu jsou v jednotlivých fázích před kulminací dosti odlišné, největší hodnoty obecně jsou spojeny s příčinným typem NEc (letní a jarní období), což upozorňuje na největší frekvenci, tedy na naprostou většinu povodní spojenou s přívalovými srážkami, jež mohou být v úpatní poloze Hrubého Jeseníku dále orograficky zesilovány. V letním půlroce je rovněž zřetelný nárůst pravděpodobnosti výskytu příčinných synoptických typů s dny přibližujícím se samotné kulminaci.

Obrázek č.7.8 :Povodňové indexy (ID) pro vybrané synoptické situace spojené s výskytem povodní na Černé Opavě v letním půlroce (LP) za referenční období 1963-1997



Zdroj dat: ČHMÚ

## 8 Typy povodňového ohrožení v jednotlivých povodích

Jak již bylo zmíněno, dle ČSN (1975,1983) jsou povodňové události zařazeny podle svého vzniku do tří kategorií, a sice povodeň dešťová, smíšená a sněhová. Prozkoumáním řady kulminačních průtoků z profilů Železná na Střední Opavě, Mnichov na Černé Opavě a Ludvíkov na Opavě Bílé za referenční období let 1964 – 1997, ve vztahu k celkovým úhrnům srážek vypadlých na daná povodí v období D-9 až DD byly jednotlivé povodňové události zařazeny do těchto kategorií. Naprostou většinu povodní v zájmovém území tvoří povodně dešťové, spojené s přívalovými dešti či déletrvajícím vrstevnatou oblačností. Naopak poněkud netypická je kategorie povodní sněhových, které se v povodích vyskytují méně, a to vázané spíše na tok Střední Opavu. Smíšené povodně vyvolané kombinací více příčinných faktorů mohou být zastoupeny v letním i zimním půlroce v závislosti na celkové výšce sněhové pokrývky, chodu teplot, distribuci srážek. Obecně jsou však spojeny s zimním půlrokem.

Délka doby trvání sněhové pokrývky i její celková vodní hodnota je odlišná v závislosti na rozdělení nadmořských výšek v povodí. Ve vrcholové oblasti (rozvodí Střední a Bílé Opavy – Pradědský hřbet) se sněhová pokrývka může vyskytovat až do letních měsíců. Její postupné odtávání proto může zvyšovat průtoky v tocích až do měsíců května. Postupné odtávání sněhové pokrývky v jarním období bez přispění větších srážkových úhrnů obvykle nevyvolávají příliš rozsáhlé povodně překračující hodnotu pětiletého průtoky, jako rizikový faktor se však uplatňuje míra nasycenosti povodí tající vodou. Největší povodně, které se vyskytly v zájmovém území proběhly v letním období a postihovaly všechny tři toky, což zvyšuje povodňové riziko pro níže položené profily, zejména profil Karlovice. Nejvyšší ohrožení v zájmovém území je proto vázáno na místo soutoku, tedy Vrbno pod Pradědem, kde v případě rozsáhlých povodňových situací (1977, 1997) dochází k interferenci povodňových vln. Zkoumání příčinných faktorů povodní, předcházejících symptomů a možnou odtokovou odezvu pak napomáhá efektivní protipovodňové ochraně v zájmovém území.

Tabulka č.8.1: Průměrná výška sněhové pokrývky pro klimatickou stanici Praděd

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I-XII
Výška sněhové pokrývky (cm)	131,4	164,5	177,9	108,4	31,9	2,1	0	0,2	2,3	14,2	46,1	87,9	192

Zdroj dat: ČHMÚ

## 8.1 Povodně v zimním hydrologickém půlroce

Zimním hydrologickým půlrokem rozumíme období měsíců listopad až duben. Pro toto období je charakteristický výskyt povodní smíšených a sněhových. K rozlišení těchto dvou kategorií je zapotřebí zvážit vliv tání sněhové pokrývky na rozvodnění toků v závislosti na celkovém úhrnu srážek. Typy povodní proběhlých ve stejném období na jednotlivých zdrojnicích se od sebe mohou odlišovat, většinou je s tímto případem spojené určité posunutí kulminací toků. Sněhová povodeň je obvykle charakteristická delším období vzestupu i poklesu, přičemž hodnoty průtoků se udržují i v pokulminační fázi na vyšších hodnotách po delší období. Smíšené povodně pak zaznamenávají prudší a rychlejší zvyšování průtoků v závislosti na rozdělení srážek, typická je rovněž výskyt více vrcholů odrážející prostorové rozložení srážek.

K rozlišení jednotlivých povodňových situací byla použita statistická závislost úbytku sněhové pokrývky na dvoudenní efektivní srážce. Dvoudenní srážkový úhrny byl stanoven pro období D-3 až DD k jednotlivým povodňovým událostem, celkový úhrn o nejvyšší hodnotě pak byl určen jako příčinná srážka vyvolávající povodeň. Uvedená jednoduchá analýza neodráží dostatečně vliv všech příčinných faktorů na tvorbu povodňové události, avšak obecně umožňuje rozlišit vliv tající sněhové pokrývky na tvorbu povodňového průtoku.

Prozkoumány proto byly především jarní povodně, charakteristicky se vyskytující v měsíci dubnu.

Tabulka č.8.2: Charakteristiky vybraných zimních povodní(srážka na povodí Střední Opavy)

Datum kulminace	26.4.1993	27.4.1995	25.4.1970	6.4.1976
Tok	Střední Opava	Střední Opava	Střední Opava, Černá Opava, Bílá Opava	Střední Opava
Dvoudenní příčinná srážka	0	5,7	31,5	10
Příčinný povětrnostní typ	Sa	C	Wc	B
Nadmořská výška se sněhovou pokrývkou	900-1320	800-1320	1000-1320	700-1320
Typ povodně	sněhová	smíšená	smíšená	smíšená

Zdroj dat: ČHMÚ

Z výsledné analýzy se jeví, že sněhové povodně jsou vázány na anticyklonální situace jež přinášejí do zájmového území značné oteplení a dochází k signifikantním změnám v celkové výšce sněhové pokrývky ve vrcholových oblastech. Sněhová pokrývky odtává z nižších poloh v průměru do konce dubna a vytváří tak důležitý faktor nasycenosti povodí, přičemž z vrcholových partií Hrubého Jeseníku může postupně odtávat v průměru celého

měsíce května. Obecně tedy v zájmovém území platí, že anticyklonální situace spojené s přívodem teplého vzduchu nesou potenciální nebezpečí sněhové povodně.

Proběhlá analýza v zájmovém území ukázala, že se za celé referenční období v zájmovém povodí vyskytují pouze dvě typické sněhové povodně, které proběhly bez přispění srážek, a sice povodňová událost z dubna r.1993 a následně v roce 1996, bližší charakteristika vybrané povodně je uveden dále v textu.

### **8.1.1 Povodeň 4/1996**

Povodeň, která proběhla v dubnu r. 1996, je typickým zástupcem z kategorie povodní sněhových a smíšených, která postihla pouze 2 zdrojnice, a to Černou a Střední Opavu. Extremita povodně byla stanovena na základě kulminačních průtoků a překročení prahové hodnoty  $Q_1$  v odpovídajících profilech obou toků, přičemž se kulminační průtok pohyboval v rozmezí jedno a dvouleté vody. Bílá Opava zaznamenala postupný mírný nárůst průtoků v průběhu celého dubna a počátku května, avšak nedošlo k jejímu rozvodnění a povodňové události (dle zvoleného kritéria).

Jako příčinný povětrnostní typ pro povodňovou událost na toku Střední Opava byl stanoven cirkulační typ Sa, tedy anticyklonální situace s jižní složkou proudění vzduchu. Přívod teplého vzduchu ze Středomoří byl v oblasti spojen s růstem teplot a táním sněhové pokrývky. V nižších polohách sněhová pokrývky postupně odtávala vlivem anticyklonálních situací a převládajícím teplým prouděním od Atlantiku. Sněhová pokrývky se v rozmezí dní D-9 až DD udržovala pouze ve vrcholových oblastech, v rozmezí nadmořských výšek 800-1320 m n. m., přičemž odtávání sněhové pokrývky v první polovině dubna v nadmořských výškách 600-700 m n. m. vedlo k nasycení infiltrační kapacity povodí, oteplení spojené s úbytkem sněhu ve vyšších polohách (dle údajů stanice Praděd, vzrůst teplot v rozmezí DD až D-5) pak vyvolalo rozvodnění toku. Vpád brázdy nízkého tlaku spojený s dešťovými srážkami pak vyvolal odtokovou odezvu a rozvodnění Černé Opavy, u níž se rovněž projevil efekt nasycenosti retenční kapacity povodí vodou. Vyšší průtoky se díky srážkám rovněž udržovali na Střední Opavě, avšak k vyvolání podružného maxima na poklesové větvi průtokové vlny již nedošlo.

Důvod odlišné odtokové reakce Střední a Bílé Opavy může spočívat v odlišném fyzickogeografickém prostředí. Vějířovité povodí Střední Opavy má pramenné úseky svých přítoků ve vyšších nadmořských výškách, zvýšené vodnosti řek posilují hlavní tok ve středním úseku a zvyšují tak jeho průtoky v dolním úseku.

Tabulka č.8.3: Charakteristiky povodňové situace (4/1996)

<b>Tok</b>	<b><i>Střední Opava</i></b>	<b><i>Černá Opava</i></b>
<b>Dvoudenní příčinná srážka (mm)</b>	0	9,8
<b>Typ příčinné situace</b>	Sa	Bp
<b>Počet dní vzestupu</b>	7	5
<b>Nadmořská výška, nad kterou je sněhová pokrývka v den DD (m n. m)</b>	800-900	
<b>Charakter povodně</b>	<b>sněhová</b>	<b>smíšená</b>

Zdroj dat: ČHMÚ

Obecně také Střední Opava odvodňuje rozsáhlejší oblast, což rovněž ovlivňuje celkové množství odtoku z tající sněhové pokrývky. Rozložení srážek v následující epizodě rovněž nevedlo k prudkému navýšení průtoků, nejvyšší srážkové dotace byla spojena s horním povodím Černé Opavy a jádrové oblasti povodí Střední Opavy. Kulminace v profilu Karlovice na řece Opavě byla zaznamenána dne 25.4 v 1:30, tedy v přibližně stejné době jako kulminace Černé Opavy.

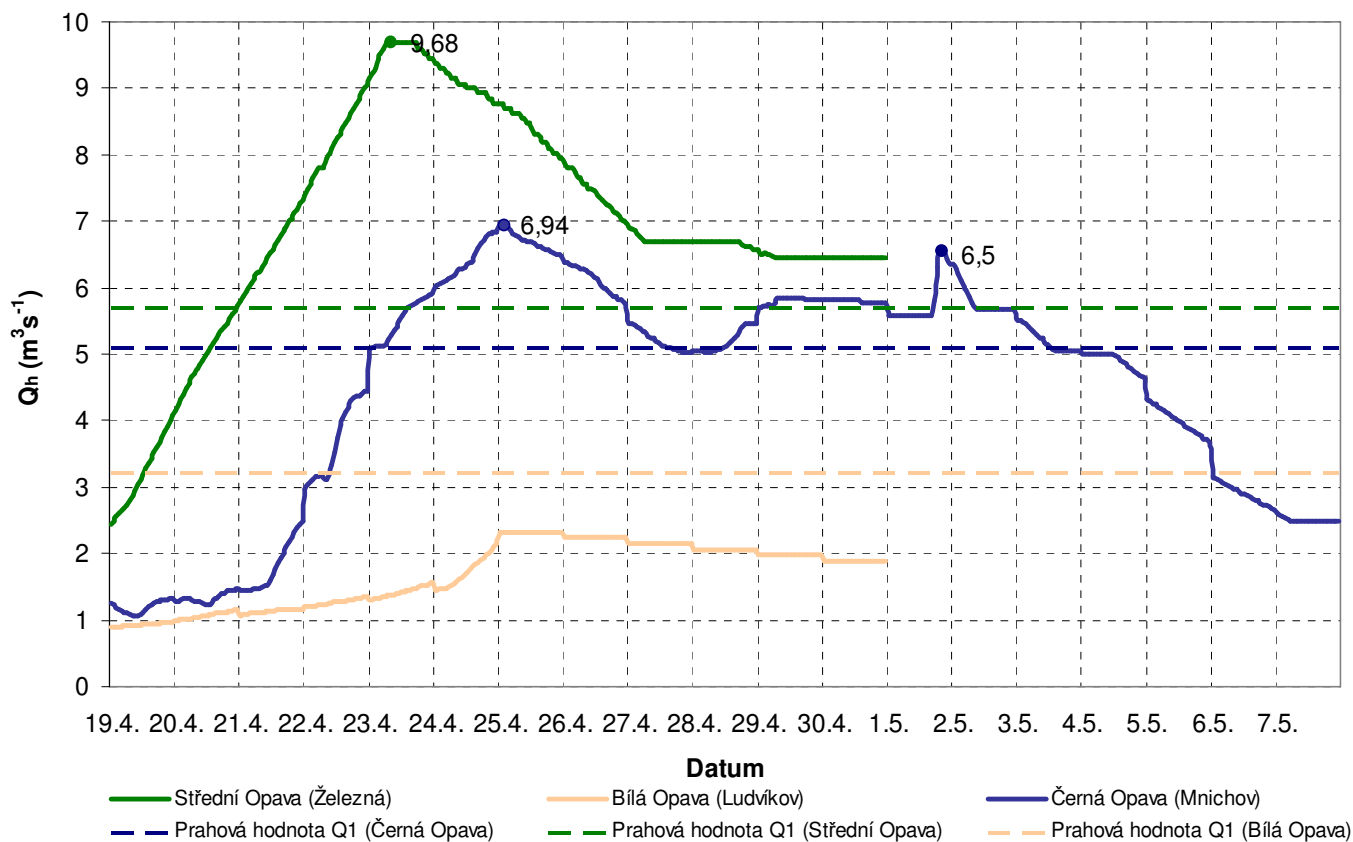
Tabulka č.8.4: Kulminace v zájmových profilech (4/1996)

<b>Profil</b>	<b><i>Železná</i></b>	<b><i>Mnichov</i></b>	<b><i>Karlovice</i></b>
<b>Tok</b>	<b><i>Střední Opava</i></b>	<b><i>Černá Opava</i></b>	<b><i>Opava</i></b>
<b>Datum kulminace</b>	23.4.1996	25.4.1996	25.4.1996
<b>Čas kulminace</b>	6:30	0:30	1:30
<b>Kulminační průtok (m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>)</b>	9,68	6,98	25,1

Zdroj dat: ČHMÚ

Zmíněné sněhové povodně nejsou v dané oblasti typické, pro toky Černou a Bílou Opavu se téměř nevyskytují vůbec, každá proběhlá zimní povodňová událost se vyznačovala alespoň minimálními denní úhrny srážek spojenými s cyklonální činností v zájmové oblasti, Obecně je povodí Bílé Opavy nejméně citlivé ke změnám meteorologických prvků vyvolávající odtávání sněhové pokrývky v kombinaci se sněhovými či dešťovými srážkami. Obecně je také Bílá Opava nejchudší z hlediska celkového výskytu zimních povodní, za referenční období se vyskytly pouze tři události. Vztáhneme – li tento počet k frekvenci zimních povodní na Střední Opavě (každá z proběhlých povodňových vln proběhla v období povodňové vlny Střední Opavy), pak v průměru na jednu povodeň na Bílé Opavě připadá pět povodní na Opavě Střední. Z hlediska vzniku dešťových a sněhových povodní je proto Střední Opava nejrizikovější.

Obrázek č.8.1: Průběh průtokové vlny v období 19.4 – 30.4 (7.5) 1996



Zdroj dat: ČHMÚ

## 8.2 Povodně v letním hydrologickém půlroce

V textu již byly zmíněny charakteristické synoptické typy spojené s extrémními srážkovými úhrny, obecně se tedy jedná o cyklonální činnost a frontální srážky brázd nízkého tlaku vzduchu. Reakce jednotlivých zdrojnic na přívalové srážky může být dosti odlišná. Obecně nejmenší citlivostí se projevuje povodí Bílé Opavy, naopak značnou variabilitu zaznamenávají zbývající dvě zdrojnice s výkyvy v průtokových vlnách reflektují na vypadnuté srážky v povodí. Z hlediska potenciálního povodňového nebezpečí je významnější Střední Opava, kde také celkově proběhl největší počet, ať už letních či zimních, povodňových událostí. Po prozkoumání všech povodní proběhlých v měsíci květnu bylo zjištěno, že hlavním faktorem podléjícím se na vzniku povodně byly vždy dešťové srážky. Tající sněhová pokrývka však, jak již v textu bylo zmíněno, tvořila klíčový faktor, neboť ovlivnila celkovou míru nasycenosti říční sítě a retenční schopnosti zájmových povodí.



### **8.2.1 Povodeň 9/1996**

Typickým představitelem dešťových povodní v letním půlroce je povodňová událost, jež proběhla v zájmovém území v září 1996. Odráží opět rozdílnou odtokovou odezvu tří zdrojnic na vypadávající srážky. Povodňová událost je spojená s kulminacemi Černé a Střední Opavy, přičemž Bílá Opava nepřekročila hodnotu povodňového průtoku jednoleté vody. Jako příčinný povětrnostní typ vzniku povodně byl u Černé a rovněž Střední Opavy stanoven typ NEc. Srážková činnost v oblasti byla orograficky zesilována a maxima denních úhrnů bylo dosaženo při úpatí Hrubého Jeseníku, přičemž vypadávání srážek mělo charakter přívalových dešťů. Exponovaná poloha povodí Bílé Opavy utlumila vypadávání srážek a oblast proto zaznamenala celkově, až o 20% méně srážkových úhrnů, přičemž pole maximálních srážek zasáhlo oblast Pradědsko – Rejvízskou, tedy pramennou část povodí jednotlivých toků, a to v době D-1 před kulminací. Při srovnání časového odstupu kulminací jednotlivých zdrojnic, vypovídá odtok Bílé Opavy o rychlém svedení vypadlých srážek na povodí, přičemž nedošlo k reakci na maximální úhrny a průtoky v toku pozvolna dále poklesávaly. Celkový objem odtoku je o cca 20% větší v případě Střední Opavy. Celkový charakter povodňové vlny odpovídá reakci na srážkové události v oblasti, přičemž se uplatňuje jisté zpoždování kulminace Střední Opavy. Jádro srážek lokalizované v Rejvízsko-Pradědské oblasti vedlo k souběhu povodňových vln jednotlivých přítoků, které rovnoměrně posilují páteční tok.

*Tabulka č.8.5: Kulminace ve vybraných profilech (9/1996)*

<b>Profil</b>	<b>Železná</b>	<b>Mnichov</b>	<b>Karlovice</b>
<b>Tok</b>	<b>Střední Opava</b>	<b>Černá Opava</b>	<b>Opava</b>
<b>Datum kulminace</b>	8.9.1996	8.9.1996	8.9.1996
<b>Čas kulminace</b>	7:30	5:30	4:30
<b>Kulminační průtok (m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>)</b>	18,4	17,4	50,1

*Zdroj dat: ČHMÚ*

Průběh průtokové vlny odpovídá charakteru povodní z přívalových dešťů, posílených orografickým efektem. Povodňová vlna je charakterizována prudkým nárůstem průtoků následovaný poměrně rychlým poklesem, který odráží srážkové události v povodích.

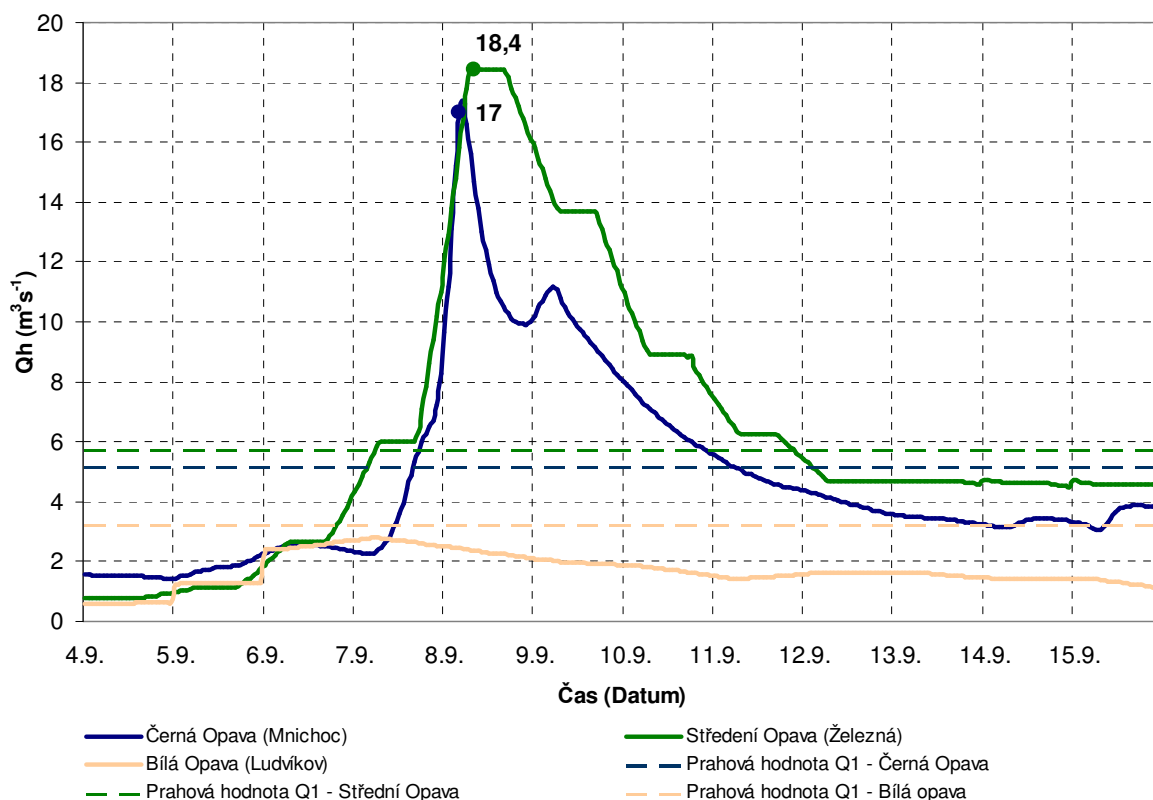
*Tabulka č.8.6: Charakteristiky povodňové situace (4/1996)*

<b>Tok</b>	<b>Střední Opava</b>	<b>Černá Opava</b>
<b>Dvoudenní příčinná srážka (mm)</b>	51,7	48,5
<b>Typ příčinné situace</b>	NEc	NEc
<b>Počet dní vzestupu</b>	2	2
<b>Charakter povodně</b>	<b>dešťová</b>	<b>dešťová</b>

*Zdroj dat: ČHMÚ*

Celý počátek měsíce září byl charakterizován srážkovou činností, z tohoto důvodu se rovněž uplatnil faktor nasycenosti povodí – v předchozích srážkových epizodách na povodí vypadlo přes 30 mm srážek.

Obrázek č.8.2: Průběh průtokové vlny v období 4.9 – 16.9 1996



Zdroj dat: ČHMÚ

### **8.2.2 Povodeň 5/1996**

Povodňová událost, která se vyskytla v jámovém území je zástupcem dešťových povodní z přívalových srážek, přičemž největší srážkové úhrny zaznamenalo povodí Černé Opavy, kulminační průtok tohoto toku překonal hranici pětileté vody. Ke vzniku povodňových událostí pak došlo na všech třech zdrojnicích, kulminace Bílé Opavy zaznamenala určité zpoždění v závislosti na plošné distribuci srážek.

Jako příčinný povětrnostní typ byl stanoven cirkulační typ Ec, jež je spojen s výskytem konvektivní bouřkové oblačnosti a přívalovými dešti, přičemž srážky v povodích jsou zesilovány vlivem výškových poměrů, přičemž největší úhrny jsou obecně spojeny

s úpatím Hrubého Jeseníku. V důsledku předchozí srážkové činnosti byla rovněž snížena infiltrační schopnost povodí.

Charakter průtokové vlny odpovídá odtokové reakci na srážkové události, rovněž podružné maximum průtokové vlny Černé Opavy (profil Mnichov) je odrazem srážkového pole v Rejvízské oblasti. Tvar vlny se vyznačuje velmi prudkým nárůstem a poměrně rychlým poklesem, naopak v případě Střední Opavy se jedná o dlouhodobější charakter zvýšených průtoků, také extremita povodně je výrazně nižší.

Vzniklá povodňová situace je potenciálně nebezpečná pro závěrový profil Vrbno pod Pradědem, neboť zde došlo k souběhu povodňových vln, přičemž vodnost Střední Opavy byla dále posilována rozvodněním Bílé Opavy.

Tabulka 8.7: Kulminace ve vybraných profilech (9/1996)

Profil	<b>Železná</b>	<b>Mnichov</b>	<b>Ludvíkov</b>	<b>Karlovice</b>
Tok	<b>Střední Opava</b>	<b>Černá Opava</b>	<b>Bílá Opava</b>	<b>Opava</b>
Datum kulminace	14.5.1996	14.5.1996	14.5.1996	14.5.1996
Čas kulminace	7:30	4:30	16:30	8:30
Kulminační průtok ( $m^3 s^{-1}$ )	10	23	3,94	50,1

Zdroj dat: ČHMÚ

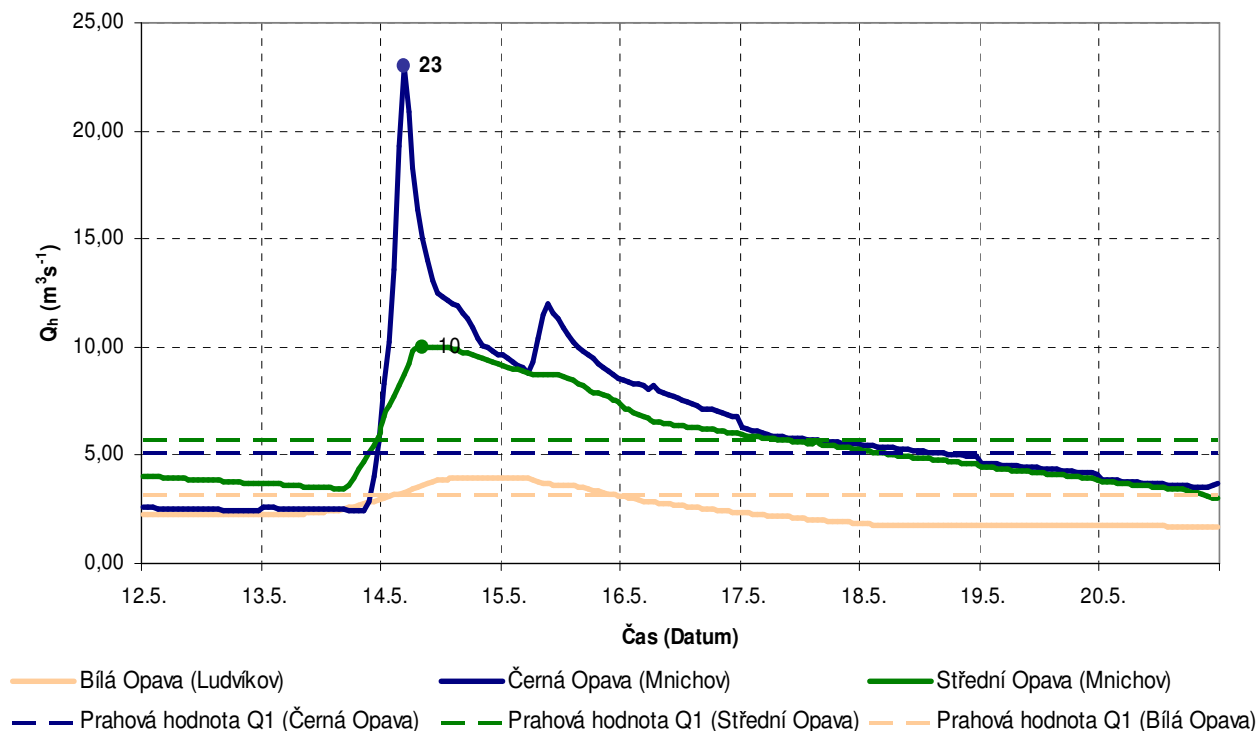
Kulminace na Opavě v profilu Karlovice byla zaznamenána dne 14.5 v 8: 30, tzn., že povodeň v tomto profilu byla vyvolána nejen srážkovou činností (srážkový úhrn dle srážkoměrné stanice Karlovice - 13.5. 43,7 mm), ale také prošlou povodňovou vlnou Černé a Střední Opavy.

Tabulka 8.8: Charakteristiky povodňové situace (5/1996)

Tok	<b>Střední Opava</b>	<b>Bílá Opava</b>	<b>Černá Opava</b>
Dvoudenní příčinná srážka (mm)	45,9	40,7	51,2
Typ příčinné situace	Ec	Ec	Ec
Počet dní vzestupu	1	1	1
Charakter povodně	<b>dešťová</b>	<b>dešťová</b>	<b>dešťová</b>

Zdroj dat: ČHMÚ

Obrázek 8.3: Průběh průtokové vlny v období 12.5 – 21.5. 1996



Zdroj dat: ČHMÚ

### **8.2.3 Povodeň 7/1997**

Zájmová oblast je pravidelně postihována povodňovými událostmi, přičemž nejvýrazněji se zde projevila – především ve škodách na majetku, inženýrských sítích komunikacích – povodeň v roce 1997. Z tohoto důvodu byly koryta řek upravovány, čištěny. V oblasti zástavby pak byla realizována řada úprav sloužící ke snížení povodňového rizika.

Povodeň v roce 1997 byla z hlediska škod na majetku i ohrožení lidských životů či z hlediska zátopů zástavby největší v uplynulém století a překonala rovněž povodeň z roku 1977. Prudké zvyšování hladin vodních toků a průtoků v korytech měl z následků zničení monitorovacích stanic na Bílé Opavě (Ludvíkov), Černé Opavě (Mnichov) a Střední Opavě (Železná), stejně jako na Opavě (Karlovice), kde s povodňové vlny ze všech 3 zdrojnic setkaly. Zpětně byly průběhy průtoků u těchto stanic rekonstruovány ze zachovalých částí záznamu měření vodních stavů a průtoků, měření povrchových rychlostí proudění vody a zaměřených průtočných profilů. Přibližný tvar hydrografu v profilu Karlovice byl sestaven na základě zkoumání odtokových poměrů na dolním toku řeky Opavy, na základě měření

povrchových rychlostí proudění a ze srážkových dat. Ke kulminačním průtokům v zájmové oblasti docházelo 7. července, na dolním toku Opavy pak následně 8. a 9. července.

### *Meteorologické podmínky*

Na počátku července roku 1997 bylo území Střední Evropy zasaženo zvlněnou studenou frontou postupující pozvolna od Západní Evropy k východu, přičemž postup této fronty přes území České republiky byl doprovázen s četnými boufkami a místními přivalovými dešti a lijáky. Studený vzduch pronikal údolím Rhóny do středomoří a vedl k vytvoření samostatné tlakové níže nad Itálií. Tato tlaková níže se přesouvala severovýchodním směrem a stále se prohlubovala. Dne 5. 7. zasáhla srážková činnost celé území Moravy a Slezska, kde se střetával teplý, vlhký vzduch ze severní Itálie a chladnější proudění v nižších vrstvách atmosféry ze severozápadu. Toto stříhové prodění vedlo k vytvoření silné vrstvy vzduchu silně nasyceného vlhkostí, což vedlo k extrémnímu vypadávání srážek, které bylo v zájmové oblasti dále umocněné návětrným efektem Hrubého Jeseníku. Do půlnoci 6.7. postoupil střed tlakové níže nad Ukrajinu.

Jádro srážkové epizody bylo soustředěno ve vrcholových oblastech Jeseníků, v Hrubém Jeseníku na rozhraní povodí Opavy a Bělé. Vůbec největší srážkové úhrny byly zaznamenány dne 6.7. Tato situace stagnovala až do 8.7. kdy se tlaková níže dále přesouvala k východu, tlakový gradient slábl a srážky na území ČR ustaly. Srážkoměrné stanice v této době zaznamenaly extrémní úhrny srážek.

Další srážková epizoda započala 17.7. a trvala až do 21.7. a celkově během této epizody vypadlo výrazně méně srážek (cca 30 – 50% předchozích úhrnů). Tato epizoda byla vyvolána postupným přibližováním a následným splynutím dvou frontálních systémů.

V severněji položené zóně postupoval systém přes Střední Evropu k východu, v jižněji položené zóně postupoval frontální systém přes západní středomoří k severovýchodu. Tato mělká tlaková níže se splynutím frontálních systémů prohlubovala. V týlu postupující tlakové níže proudil na naše území teplý a vlhký vzduch. Tato situace přinesla srážky na celé území České republiky, avšak nejcitelněji byly postiženy opět horské oblasti, kdy se uplatnil návětrný efekt. Jelikož byl střed srážkové činnosti posunut severněji než v předchozí epizodě – nad Německo a západní Polsko, byly více zasaženy oblasti severních okrajových pohoří (Jeseníky, Krkonoše, orlické Hory, Beskydy) a celkové úhrny byly výrazně nižší. (Řehánek, 2002)

### *Hydrologická situace*

Náhlé, rychlé zvyšování hladin toků vzniklo především jako reakce na srážkovou a povětrnostní situaci, dále se zde také uplatnil faktor celkového nasycení povodí vodou, kdy srážky vypadávající po 4.7. rychle odtékaly z povodí. Nasycenost povodí vyjádřená ukazatelem předchozích srážek (vypočítám pro 30 předešlých dnů) ukazuje, že v povodí bylo před 1. srážkovou vlnou 4.7.1997 obsaženo 30-35 mm vody, ve vrcholových oblastech povodí Bílé Opavy až 40 mm vody. Celkově se také uplatnil návětrný efekt pramenné části Opavy, stejně jako jednotlivých říčních údolí.

Jelikož povodí Bílé, Černé i Střední Opavy leželo v jesenickém srážkovém centru, docházelo ke kulminacím na jednotlivých bystřinných tocích již 7.7, přičemž hodnoty kulminačních průtoků překročily stoleté vody.

Na Střední Opavě v profilu Železná proběhl kulminační průtok  $Q = 130 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , dne 7.7. 1997 v 11 hodin, přičemž tato hodnota je téměř dvojnásobná oproti stoletému průtoku ( $Q_{100} = 72 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ). Přibližně ve stejnou dobu pak docházelo ke kulminacím na Opavě Bílé a Černé, kde hodnota kulminačního průtoku dosahoval  $Q = 120 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , přičemž byla opět překročena hodnota stoleté vody.

Následný souběh povodňových vln zapříčinil rozsáhlou devastaci zástavby Mnichov – Vrbno pod Pradědem, Ludvíkov – Vrbno pod Pradědem, nejcitelněji však byla záplavou a destrukcí obytné zástavby stejně jako komunikací postižena obec Vrbno pod Pradědem. V Mnichově byla také postižena značná část objektu Pstružího hospodářství zahrnující chovné rybníky. V průběhu povodně byly zdevastovány komunikace souběžné s tokem a rovněž stržena řada mostů.

Stejně časy kulminací na zdrojových tocích řeky Opavy a následný souběh povodňových vln se také citelně projevil v úseku Vrbno pod Pradědem – Karlovice, přičemž profil Karlovice zaznamenal při kulminaci průtok  $Q = 320 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , specifický odtok pak  $2,12 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ .

Jako kritický faktor, který výrazně ovlivnil celkový rozsah záplavy a škod, se zde projevila zátarasa kritických profilů, neboť došlo ke stržení rozsáhlých břehových a lesních porostů, rovněž k vyplavování hospodářských objektů a silnému chodu splavenin. V profilu Karlovice se nejvýrazněji projevil zátaras plávním od pily z Vrbna pod Pradědem, která přehradila tok na délce 500 m, čímž došlo k vytvoření nového koryta, jež nekontrolovatelně prošlo zástavbou obce. (Povodí Odry, s.p.)

## 9 Diskuse

Řešená diplomová práce se snažila přistoupit k naplňování cílů práce, tedy analýzy povodňových událostí z různých hledisek, s využitím různých metod a výsledky následně vhodně interpretovat. Přesto však dosažené výsledky a vhodnost využitých metod musí být podrobeny kritické analýze z hlediska vypovídací schopnosti a interpretovatelnosti. Důležité je rovněž zhodnotit přesnost dosažených výsledků v závislosti na kvalitě vstupních dat.

Zdrojem určitého zkreslení a neurčitosti jsou především omezená vstupní data v podobě denních srážkových úhrnů a kulminačních průtoků poskytnutá podnikem Povodí Odry, s.p. a ČHMÚ za poměrně krátké referenční období 33 hydrologických let, které neumožňuje dobře zhodnotit dlouhodobý vývoj a změny trendu v sezonalitě výskytů povodňových událostí, což se projevuje v omezené interpretovatelnosti výstupních dat. Z důvodů nemožnosti porovnat odtokové odezvy v jednotlivých případech, nemůže být dobře provedena analýza proběhlých povodňových vln na základě statistických přístupů. Rovněž použité metody při úpravě srážkových dat, především interpolace srážkových dat, vedou ke zkreslování celkových výsledků. V práci byla využita metoda orografické interpolace, výsledné srážkové úhrny připadajících na jednotlivá povodí tak nemusí přesně odpovídat reálné konkrétní povodňové situaci.

Rovněž analýza sezonality povodní proběhla pomocí několika metod, neboť každá z nich nese určitý prvek relativity. Pro názornost byla využita především metoda polárních grafů, která i přes svou jednoduchost, jednoduše graficky vyjadřuje obecný trend v rozložení povodňových situací. Statistické metody slouží spíše jako zdroj doplňujících informací.

Přiřazování jednotlivých příčinných povětrnostních typů proběhlo dle Katalogu povětrnostních situací publikovaného na internetových stránkách ČHMÚ, vybraná typizace byla zvolena především pro snadnou dostupnost a možnou srovnatelnost s řadou prací, jež využily stejného informačního zdroje. Rovněž je nesporně pozitivní fakt jeho neustálé aktualizace. Přesto však je nutné zvážit, že nástup určitých podmínek v atmosféře spojených s konkrétním povětrnostním typem slouží spíše jako orientační ukazatel, neboť povodeň v území vzniká souhrou více příčinných faktorů. Rovněž výskyt potenciálně nebezpečných povětrnostních situací je daleko četnější než odpovídá proběhlým povodňovým epizodám.

Přesto však dosažené výsledky odpovídají a podporují povodňové studie orientované na zájmové území povodí Odry a Opavy.

## 10 Závěr

Předložená diplomová práce se zabývala hodnocením proběhlých povodňových událostí na tocích Černé, Střední a Bílé Opavě z několika úhlů pohledu, především pak řešila otázku jejich sezonality, příčinných faktorů jejich vzniku, typů ohrožení a odlišnou odezvu na jednotlivých zdrojnicích řeky Opavy za referenční období 34 hydrologických let.

Analýza sezonality povodňových události byla využita k vytyčení hlavních období povodňového neklidu a zvýšeného ohrožení. Rovněž se práce snažila vystihnout hlavní odlišnosti sezonního režimu v rámci jednotlivých toků s cílem upozornit na zdroj rizika souběhu povodní všech tří zájmových toků.

Atmosférické příčiny povodní byly zkoumány zejména z hlediska časoprostorového rozložení srážek a tendencí tání sněhové pokrývky. Rovněž proběhla analýza povětrnostních příčin povodňových událostí, přičemž hlavní pozornost byla věnována studiu symptomů a změn cirkulačních podmínek vyvolávajících povodňové nebezpečí a odlišným průběhům povodní na jednotlivých tocích. Předpokladem zkoumání povodňových situací bylo zhodnocení odtokového režimu v povodích, jeho charakteristický průběh a typickou variabilitu s cílem vytyčit hlavní odlišnosti odtokového procesu.

Z analýzy proběhlých povodňových epizod (s použitím různých metodických přístupů) byly odvozeny následující závěry:

- V povodích Černé, Střední i Bílé Opavy probíhá naprostá většina povodní v letním hydrologickém půlroce ( období květen – říjen). Největší asymetrie v rozdělení povodní je zřejmá u toku Bílá Opava, pro níž jsou zimní povodně silně netypické. V rámci zimního půlroku výrazně dominují jarní povodňové epizody vyvolané spojeným účinkem tání sněhové pokrývky a dešťových srážek. Charakteristickým měsícem jarních smíšených povodní je měsíc duben. Sezonní režim jednotlivých zájmových toků je odlišný, Střední a Bílá Opava zaznamenávají maxima v jarních a letních měsících, povodně Černé Opavy jsou výrazněji orientovány k červenci a srpnu.
- Extrémnější povodně se vyskytují převážně v letním období ve spojitosti s letními přívalovými, konvektivními dešti či s regionálními dešti s rozsáhlou vrstevnatou oblačností. Srážky jsou v tomto období spojeny převážně s prouděním vzduchu ze severního kvadrantu a díky orografickým poměrům Hrubého Jeseníku jsou na návětrných severovýchodních svazích zesilovány.



- V zimním období převládá teplé proudění od Atlantiku, při kterém se uplatňuje srážkový stín Hrubého Jeseníku. Díky výškové poloze povodí srážky již v brzkých měsících mohou vypadávat ve formě sněhu a zůstávají vázané na plochách povodí, nezpůsobují proto povodně. Ve vrcholových oblastech se rovněž udržuje mocnější vrstva sněhové pokrývky, která se rovněž uplatňuje při zadržování dešťových srážek v zimním období.
- Citlivost zájmových povodí ke změnám cirkulačních podmínek je různá, nejcitlivěji reaguje na srážkové dotace a tání sněhové pokrývky Střední Opava. Pouze u tohoto toku jsou zaznamenány čistě sněhové povodně vyvolané táním sněhové pokrývky bez dotace dešťových srážek. Rozdílná nadmořská výška v povodích nevytváří podmínky pro odtání sněhové pokrývky najednou, specificky dochází k odtávání z jednotlivých výškových pásem. Pro Bílou Opavu jsou charakteristické spíše delší období zvýšených vodností pouze s mírným rozvodňováním toku, kulminační průtoky Střední Opavy jsou výraznější. Sněhová pokrývky odtává z povodí Černé Opavy dříve, typický je časový posun zvyšování vodnosti oproti Bílé Opavě, kde se zvýšené průtoky udržují až do května.
- Na celkovou vodnost toků a extremitu proběhlé povodně mají vliv rozdílné fyzickogeografické podmínky a uspořádání říční sítě. Extremitu probíhající povodně na Střední Opavě zvyšují rozvodněné přítoky posilující hlavní tok především ve střední části, charakteristické je proto delší poklesová větev povodňové vlny oproti Černé a Bílé Opavě.
- Extrémnější povodně na Bílé Opavě mají charakter prudkých výkyvů s rychlým poklesem i vzrůstem, Černá a Střední Opava si udržují povodňové průtoky po delší období. Charakteristicky přechodným režimem se vyznačuje Černá Opava, která nejrychleji reaguje rychleji na spadlé srážky na povodí, tzn. kratší vzrůstová větev a výrazněji delší větev poklesová.
- Nejčteněji se v zájmovém území vyskytují mírnější jedno až dvouleté vody povodňových kulminačních průtoků, se vzrůstající extremitou poklesá jejich četnost, poněkud atypická je Bílá Opava, která zaznamenává více povodní v rozmezí N 5-10 než 2-5.
- Povodně v letním a jarním období jsou vyvolávány jiným povětrnostními typy, v létě dominují případy vyvolané srážkovou činností cyklonálních situací NEc, Ec, C a brázdou nízkého tlaku vzduchu (B), okolo 90%. V zimním období

převládají cyklonální situace se západním prouděním – SWc1,2,3 a Wc. U ostatních povodní se uplatňují jiné příčinné synoptické situace, kterým však předcházela přestavba z cyklonálních činností s jižní složkou proudění.

- V letním období je nejvíce srážkových úhrnů zaznamenáváno v úpatních polohách, postižena jsou nejvíce povodí Černé a Střední Opavě, v zimním období jsou více dotovány vrcholové polohy. Nejnebezpečnější z hlediska vzniku velkých letních povodní je postup cyklon po dráze Vb ze severní Itálie, přičemž srážky jsou spojeny s týlovou částí a v Hrubém Jeseníku jsou dále zesilovány.

Povodňovému riziku je v dnešních dnech věnována stále větší pozornost. Zájmová povodí jsou zdrojnicovou oblastí řeky Opavy a toky tak mohou výrazně zvyšovat vodnost Opavy převážně na horním toku. Přestože se jedná o poměrně malé území, je pravidelně postižována povodňovými situacemi, Jako zdroj potenciálního rizika slouží především v souvislosti se souběhem povodní z jednotlivých toků ve Vrbně pod Pradědem a ohrožuje síť zástavby nejen v blízkém okolí toků, ale v celém horním povodí Opavy.

Rovněž studium povodní na horských bystřinách, což je předmětem i této práce může být využíváno v předpovědních modelech a modelacích odtoků v nepozorovaných oblastech i samotném povodí Opavy, rovněž může být nástrojem k zefektivnění protipovodňové ochrany a systémovému plánování protipovodňových opatření v krajině.

# 11 Použitá literatura a informační zdroje

## 11.1 Literatura

- Bělský, J. (2003): Zkušenosti s povodní na drobných vodních tocích. In Lesy a povodně, celostátní seminář, Praha, s.29-33.
- Brádka, J. et. al. (1961): Počasí na území Čech a Moravy v typických povětrnostních situacích. HMÚ, Praha, 31s.
- Brádka, J. (1967): Meteorologické příčiny povodní ve Slezsku. Meteorologické zprávy, 20 č.1, Praha, s.3-8.
- Brádka, J. (1972): Srážky na území ČSSR při jednotlivých typech povětrnostních situací. Sborník prací HMÚ, č.18, Praha, s.8-62..
- Brázdil, R., Štekl, J. (1986): Cirkulační procesy a atmosférické srážky v ČSSR. Univerzita J.E. Purkyně v Brně, 297s.
- Brázdil., R. et. al. (1992): Statistické metody v geografii, Brno, 82s.
- Brázdil, R. et. al. (2005): Historické a současné povodně v České republice. Masarykova univerzita, Brno, 369s.
- Brázdil, R., Kirchner, R. et al. (2007): Vybrané přírodní extrémy jejich dopady na Moravě a ve Slezsku. Masarykova univerzita, Brno, 431s.
- Brosch., O. (2005): Povodí Odry. Anagram, Ostrava, 324s.
- Culek, M. (1996): Biogeografické členění České republiky. MŽP ČR, Praha, 347s.
- Čamarová, L., Jílková, J. (2006): Povodně v území – institucionální a ekonomické souvislosti. Eurolex Bohemia, Praha, 215s.
- Čekal, R. (2005): Hydrosynoptická analýza povodňových situací v povodí horní Ohře. Disertační práce, PŘF, UK, Praha, 220 s.
- Čekal, R., Hladný, J (2007): Metody k objektivizaci regionalizace sezónálního výskytu povodní na území ČR. Změny v krajině a povodňové riziko, P5F UK, s.85-94.
- Demek, J. et. al. (1965): Geomorfologie českých zemí. Akademie věd, Praha, 336s.
- Demek, J. et. al. (1992): Neživá příroda. Vlastivěda moravská, Brno, 242s.
- Demek, J. (1987): Zeměpisný lexikon ČSR, Hory a nížiny. Academia, Praha, 584s.
- Dub, O. (1963): Hydrológia, hydrografia, hydrometria. Bratislava, SVTL 1957, 488s.
- Dub, O., Němec, J, et al. (1969): Hydrologie, SNTL, 378s.

- Fulco, L., Kabat, P., Van Schaik, H., Van der Valk, M. (2009): Climate change adaptation in the water section. Earthscan, UK a USA, 2009.
- Habersack, H., Burgel, J., Petraschek, A., Stiefelmeyer, H. (2005): Analysis of the floods of august 2002 – Floodrisk, federál Ministry of Agriculture and forestry, Environment and water managment, Vídeň, 36s.
- Hendl, J. (2004): Přehled statistických metod zpracování dat. Portál, 584 s.
- Hladný, J. (1995): Odhady vývoje povodňových situací analýzou historických případů. In: Povodňová ochrana na Labi, ČHMÚ, Ústí nad Labem, s.161-183.
- Hladný, J., Dvořák, V., Kubát, J., Blažek, V., Švihla, V. (1998): Vyhodnocení povodňové situace v červenci 1997 – souhrnná zpráva projektu. MŽP, Praha, 163s.
- Huth, R., Buchtele J. (2003): Typy atmosférické cirkulace spojené s povodňovými událostmi. In Extrémní hydrologické jevy v povodích, ČHMÚ, Praha, 271-277s.
- Chalušová, J. (2004): Vliv fyzickogeografických faktorů na časový a prostorový výskyt povodní v povodí Labe. Disertační práce, PřF UK, Praha 133s.
- Janský, B. et. al. (2003): Jezera České republiky. PřF UK, Praha, 215s.
- Janský, Kocum (2007): Retence vody v pramenných oblastech vodních toků. Změny v krajině a povodňové riziko, PřF UK, Praha, 2008, s.41-50.
- Kakos, V. (1974): Možnosti hydrometeorologických předpovědí havarijních odtokových situací. Sborník prací HMÚ ČSSR, č.21, Praha, s.55-85.
- Kakos, V. (1983): Hydrometeorologický rozbor povodní na Vltavě Praze za období 1873-1982. Meteorologické zprávy, 36, s.171-181.
- Kulhavý, Z., Kovář, P. (2000): Využití modelu hydrologické bilance pro malá povodí. VÚMOP, Praha, 123s.
- Květ, R. (1978): Minerální vody Severomoravského kraje. Ústřední ústav geologický, Praha, 173s.
- Královec, V. (2009): Změny srážkoodtokových poměrů v povodí horní Opavy. Diplomová práce, PřF UK, Praha, 124s.
- Křivancová, S., Vavruška, F. (1997): Základní meteorologické prvky v jednotlivých povětrnostních situacích na území České republiky v období 1961-1990. Národní klimatický program, Praha, 113s.
- Kříž, V. (1987): Hydrometrie. SPN, Praha, 174s.
- Kříž, V. (2004): Moravskoslezský kraj – klimatické a hydrologické poměry. Ostravská univerzita, Ostrava, 43s.
- Kříž, V., Kříž, H., Sochorec, R. (1964): Opakování velkých vod v povodí Odry. Sborník prací HMÚ, Praha, 132s.

- Kříž, V., Doležal, F., Sochorec, R. (1976): Hydrologické vyhodnocení povodně ze srpna 1972 v povodí Odry. Sborník prací HMÚ ČSSR, č.23, Praha, s.8-40.
- Kříž, H., Kolečka, J. (1999): Vliv geografických podmínek na vznik extrémních hydrologických jevů v povodích. In Extrémní hydrologické jevy v povodích, Workshop 99, ČVUT, s.239-248.
- Křovák, F., Kovář, P. (2003): katastrofální průtoky na horských bystřinách. In Lesy a povodně, celostátní seminář, s.57-64.
- Langhammer, J. (2004): Změny přírodního prostředí jako indikátor povodňového rizika. In Krajinotvorné programy, MŽP ČR, Praha, s.31-46.
- Langhammer, J. et.al. (2007): Povodně a změny v krajině. MŽP, PřF UK, Praha, 396s.
- Langhammer, J. et. al. (2008): Změny v krajině a povodňové riziko. PřF UK, Praha, 283s.
- Lautnerová, L (2007): hydrografie, režim srážek a odtoku v povodí bílé Opavy. Bakalářská práce, PřF UK, Praha,61s.
- Miller, M. (2007): Hydrometeorologické podmínky vzniku významných dešťových povodní na území ČR. Disertační práce, PřF UK, Praha, 125s.
- Müller, V. (1992): Vysvětlivky k souhrnu geologických a ekologicky víceúčelových map přírodních zdrojů. ČÚG, Praha, 38s.
- Netopil, R. (1984):.Fyzická geografie I. SPN, Praha, 173 s.
- Prudký, J. (2003): Analýza přirozené retence vody v povodí řeky Opavy při povodni v červenci 1997. Acta Hydrologica Slovaca, č.2, ÚHSAV, Bratislava, s.248-254.
- Quitt, E. (1971): Klimatické oblasti Československa. Studia geographica, Brno, 73s.
- Řehánek, T. (2002): Povodeň na řece Odře v červenci 1997. Studie, sešit31, ČHMÚ, Praha, 41s.
- Řehánek, T. (2005): Analýza významných povodní v povodí Odry. Hydrologické dny 2005, ČHMÚ, Praha, s.578-584.
- Řehánek, T., Kříž, V. (2002): Cvičení z hydrologie. Ostravská univerzita, Ostrava, 54s.
- Řezáčová, D. et.al. (2007): Fyzika oblaků a srážek, Academia,574s.
- Řezáčová,D., Pešice, P., Sokol, Z. (2003): Odhad bodových i plošných srážek s využitím srážkoměrných a radarových dat. Meteorologické zprávy 56, 1, s.1-12.
- Slavík, L., Neruda, M. (2004): Vodní režimy v krajině. Univerzita Jana Evangelisty Purkyně, fakulta životního prostředí, Ústí nad Labem, 134s.
- Stehlík, J. (2002): Objektivní klasifikace cirkulačních typů pro území České republiky. Meteorologické zprávy 55, 1, Praha, s.40-49.

- Šercl, P., Lett, P. (2002): Výpočet rastru srážek v prostředí GIS. Uživatelská příručka ČHMÚ, Praha, 7s.
- Šercl, P. (2008): Hodnocení metod odhadu plošných srážek. Meteorologické zprávy 61, č.2., s.30-43.
- Šmídová, J. (2009): Analýza mechanismu vzniku povodní v povodí Opavy po profil Opava. Diplomová práce, PřF UK, Praha, 115 s.
- Štekl, J., Kakos, V., Brázdil, R., Tolasz, R. (2001): Extrémní denní srážkové úhrny na území ČR v období 1879-2000 a jejich synoptické příčiny. Národní klimatický program České republiky, ČHMÚ, Praha, 140s.
- Šútor, J. (2003): Voda – zdroj života, ale aj jeho ohrozenia. In: Journal of hydrology and hydromechanics, ročník 51, číslo 1., Polygraphia SAV, Bratislava.
- Tomášek, M. (2003): Půdy České republiky. ČGS, Praha, 67s.
- Tolasz, R. et.al. (2007): Atlas podnebí Česka. ČHMÚ, 256 s.
- Vilímek, V. (2003): Zhodnocení průběhu a následků povodně z hlediska geomorfologie. Hodnocení vlivu změn přírodního prostředí na vznik a vývoj povodní, Praha, s.213-226.
- Vlasák, T. (2008): Návrh databanky povodní Otavy a její využití v protipovodňové ochraně. Disertační práce, PřF UK, Praha, 94 s.
- Vlasák, T. (2007): Povodňové režimy Otavy a Lužnice. Změny v krajině a povodňové riziko, PřF UK, Praha, s.105-114.
- Vlasák, T. (2000): Analýza zimních povodňových situací v povodí Otavy. Diplomová práce, PřF UK, Praha.
- Vlček, V. et. al. (1984): Zeměpisný lexikon ČSR. Academia, Praha, 315s.
- Weissmannová, H. (2004): Ostravsko. AOPK, Praha, 454s.

## 11.2 Informační prameny

- ČSN 736530,1975,1983, Názvosloví hydrologie. ÚNM, Praha, 96s.
- Hydrologické poměry ČSSR 1965-1970 sv. I-III, HMÚ, Praha.
- Katalog povětrnostních situací, kolektiv ČHMÚ (2006): Typizace povětrnostních situací pro území České republiky. ČHMÚ, Praha (www.chmi.cz)
- Povodí Odry, s.p.(2004): Návrh na stanovení záplavových úze,í na Bílé, Střední a Černé Opavě. Souhrnná technická zpráva, Povodí Odry, s.p., 19s.

Rámcová směrnice č.207/60/ES o vyhodnocování a zvládnutí povodňových rizik. EI, Brusel.

„Vodní“ zákon č.254/2001Sb. (Zákon o vodách)

### **11.3 Mapové podklady**

DMÚ 25, CGHMÚ, Dobruška.

ZABAGED, ČÚZK, Praha.

Portál veřejné správy České republiky, CENIA, mapové služby, Praha.

ZVM. VÚV TGM, Praha.

## 12 Seznam obrázků, map a tabulek

### 12.1 Seznam obrázků

<i>Obrázek č.2.1: Poloha srážkoměrných stanic v zájmovém území</i> .....	11
<i>Obrázek č.3.1: Průtoková vlna</i> .....	18
<i>Obrázek č.3.2: Schéma vybraných synoptických typů (letní období) dle typizace HMÚ</i> .....	24
<i>Obrázek č.3.3: Hlavní trajektorie cyklon</i> .....	25
<i>Obrázek č.3.4: Schéma vybraných synoptických typů (zimní období) dle typizace HMÚ</i> .....	26
<i>Obrázek č.4.1: Výškové stupně na horním toku a říční údolí Bílé Opavy</i> .....	33
<i>Obrázek č.4.2: Hypsografická křivka pro povodí jednotlivých toků</i> .....	34
<i>Obrázek č.4.3 : Rozvinutý podélný profil pro jednotlivé toky</i> .....	35
<i>Obrázek č.4.4: Průměrné měsíční úhrny srážek na vybraných stanicích</i> .....	42
<i>Obrázek č.4.5: Charakter přítoků na Bílé Opavě</i> .....	45
<i>Obrázek.č.5.1: Čára překročení pro jednotlivé toky</i> .....	52
<i>Obrázek č.5.2: Dlouhodobé průměrné měsíční průtoky <math>Q_{ma}</math> a dlouhodobé průtoky <math>Q_a</math> v období 1963-1997</i> .....	53
<i>Obrázek č.5.3: Podíly měsíčních odtoků průměrného roku (za období 1963-1997) v ročních obdobích a procentuální podíly jednotlivých měsíců na celkovém odtoku (%)</i> .....	54
<i>Obrázek č.5.4: Srovnání vodností jednotlivých let pro dané toky za referenční období</i> .....	56
<i>Obrázek č.5.5: Křivka pravděpodobnosti překročení pro jednotlivé toky</i> .....	57
<i>Obrázek č.6.1: Výskyt povodní ve zvolených obdobích</i> .....	60
<i>Obrázek č.6.2: Výskyt povodní v období 1964-1997</i> .....	61
<i>Obrázek č.6.3: Skladba kulminačních průtoků o různé extremitě</i> .....	62
<i>Obrázek č.6.4: Schéma růžicového grafu</i> .....	64
<i>Obrázek č.6.5: Sezonalita výskytu povodní v profilech jednotlivých toků</i> .....	66
<i>Obrázek č.6.6: Sezonalita výskytu povodňových událostí překračující zvolenou praubohou hodnotu – <math>Q_1</math> (jednoletou vodu), <math>Q_2</math> (dvouletou vodu) a <math>Q_5</math>(pětiletou vodu)</i> .....	67
<i>Obrázek č.6.7: Čáry kumulativních četností povodní (pro profily zájmových toků)</i> .....	71
<i>Obrázek č.7.1: Relativní četnost zastoupení příčinných povětrnostních situací v době povodní v jednotlivých povodích za referenční období</i> .....	74
<i>Obrázek č.7.2: Relativní četnost (vyjádřena v %) výskytu synoptických typů ve dnech D-9 až D+3 během povodní na Střední Opavě, profil Železná, letní půlrok</i> .....	75
<i>Obrázek č.7.3: Relativní četnost (vyjádřena v %) výskytu synoptických typů ve dnech D-9 až D+3 během povodní n Střední Opavě, profil Železná, zimní půlrok</i> .....	76
<i>Obrázek. č.7.4: Genetický kód (typy povětrnostních situací a jejich počet) při letních povodňových událostech na Střední Opavě v období 1964-1997</i> .....	79
<i>Obrázek č.7.5: Genetický kód (typy povětrnostních situací a jejich počet) při zimních povodňových událostech na Střední Opavě v období 1964-1997</i> .....	80
<i>Obr. č.7.6: Typy povětrnostních situací dle klasifikace ČHMÚ</i> .....	80



<i>Obrázek č.7.7:Povodňový index pro (ID) pro vybrané příčinné situace na Střední Opavě, zvlášť pro letní půlrok (LP) a zimní půlrok (ZP) za referenční období 1963-1997.....</i>	<i>82</i>
<i>Obrázek č.7.8:Povodňové indexy (ID) pro vybrané synoptické situace spojené s výskytem povodní na Černé Opavě v letním půlroce (LP) za referenční období 1963-1997 .....</i>	<i>83</i>
<i>Obrázek č.8.1: Průběh průtokové vlny v období 19.4 – 30.4 (7.5) 1996.....</i>	<i>88</i>
<i>Obrázek č.8.2: Průběh průtokové vlny v období 4.9 – 16.9 1996 .....</i>	<i>90</i>
<i>Obrázek č.8.3: Průběh průtokové vlny v období 12.5 – 21.5. 1996 .....</i>	<i>92</i>

## **12.2 Seznam tabulek**

<i>Tabulka č.2.1: Prahové průtoky pro zvolenou extremitu povodně v daných profilech .....</i>	<i>10</i>
<i>Tabulka č.2.2: Výšková poloha srážkoměrných stanic.....</i>	<i>12</i>
<i>Tabulka č 4.1: Základní charakteristiky reliéfu pro povodí jednotlivých toků.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabulka č 4.2: Základní hydrologické charakteristika.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabulka č 4.3: Základní charakteristiky říční sítě.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabulka č.5.1: Přehled absolutních denních maxim .....</i>	<i>51</i>
<i>Tabulka č.5.2: Základní míry variability průměrných měsíčních průtoků .....</i>	<i>55</i>
<i>Tabulka č.6.1: Popisné statistiky kulminačních průtoků pro zvolená období.....</i>	<i>69</i>
<i>Tabulka č.6.2: Popisné statistiky výskytu kulminačních průtoků o různé extremitě .....</i>	<i>70</i>
<i>Tabulka č.7.1: Dlouhodobý výskyt vybraných povětrnostních situací .....</i>	<i>73</i>
<i>Tabulka č.8.1: Průměrná výška sněhové pokrývky pro klimatickou stanici Praděd.....</i>	<i>84</i>
<i>Tabulka č.8.2: Charakteristiky vybraných zimních povodní .....</i>	<i>85</i>
<i>Tabulka č.8.3: Charakteristiky povodňové situace (4/1996).....</i>	<i>87</i>
<i>Tabulka č.8.4: Kulminace v zájmových profilech (4/1996).....</i>	<i>87</i>
<i>Tabulka č.8.5: Kulminace ve vybraných profilech (9/1996) .....</i>	<i>89</i>
<i>Tabulka č. 8.6: Charakteristiky povodňové situace (4/1996).....</i>	<i>89</i>
<i>Tabulka č. 8.7: Kulminace ve vybraných profilech (9/1996) .....</i>	<i>91</i>
<i>Tabulka č.8.8: Charakteristiky povodňové situace (5/1996).....</i>	<i>91</i>

## **12.3 Seznam map**

<i>Mapa č.1:Přehledová mapka zájmového území .....</i>	<i>27</i>
<i>Mapa č.2: Geologické poměry zájmového území.....</i>	<i>29</i>
<i>Mapa č.3: Geomorfologické členění zájmového území.....</i>	<i>32</i>
<i>Mapy č 4,5,6: Výškové poměry v jednotlivých povodích.....</i>	<i>36</i>
<i>Mapa č.7: Půdní poměry zájmového území.....</i>	<i>37</i>
<i>Mapa č.8: Využívání území v daném povodí .....</i>	<i>39</i>
<i>Mapa č 9,10: Využívání půdy v daných povodích.....</i>	<i>40</i>
<i>Mapy č.11, 12, 13 : Průměrná výška srážek v jednotlivých povodích.....</i>	<i>43</i>

<i>Mapa č.14: Tvar povodí a říční sítě v zájmové oblasti .....</i>	<i>48</i>
--	-----------

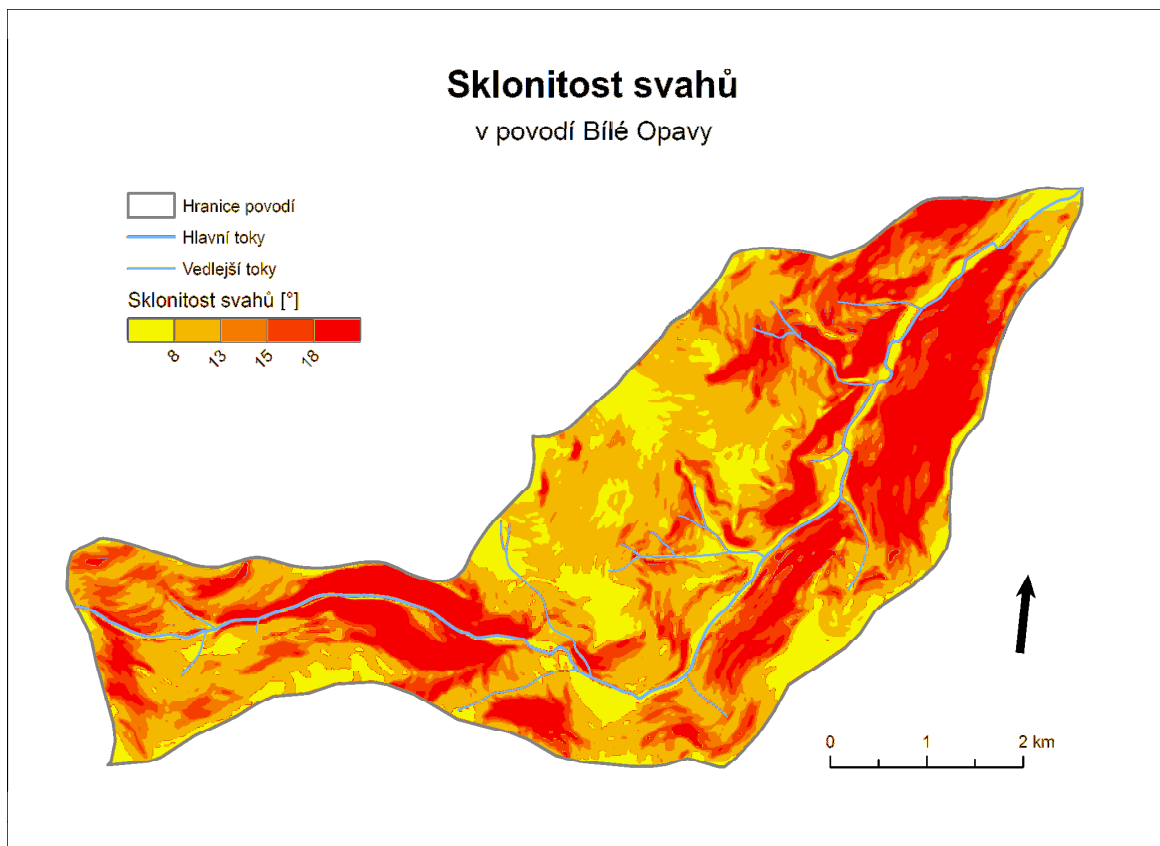
## **12.č Seznam příloh**

<i>Příloha č.1: Sklonitostní poměry v povodí Bílé Opavy .....</i>	<i>108</i>
<i>Příloha č.2: Charakteristika klimatických oblastí dle Quitta.....</i>	<i>108</i>
<i>Příloha č.3: Sklonitostní poměry v povodí Černé Opavy.....</i>	<i>109</i>
<i>Příloha č.4: Četnost výskytu N-letých kulminačních průtoků jednotlivých zdrojnic.....</i>	<i>109</i>
<i>Příloha č.5: Sklonitostní poměry v povodí Střední Opavy .....</i>	<i>110</i>
<i>Příloha č.6: Genetický kód povodňových situací v profilu Mnichov (Černá Opava) za referenční období 1964-1997, letní hydrologický půlrok .....</i>	<i>111</i>
<i>Příloha č.7: Genetický kód povodňových situací v profilu Ludvíkov (Bílá Opava) za referenční období 1964-1997, letní hydrologický půlrok .....</i>	<i>112</i>
<i>Příloha č.8: Čára denních průtoků pro profil Železná, Střední Opava, za referenční období hydrologických let 1963-1997 .....</i>	<i>113</i>
<i>Příloha č.9: Čára denních průtoků pro profil Mnichov, Černá Opava, za referenční období hydrologických let 1963-1997.....</i>	<i>113</i>
<i>Příloha č.10: Čára denních průtoků pro profil Ludvíkov, Bílá Opava, za referenční období hydrologických let 1963-1997.....</i>	<i>114</i>
<i>Příloha č.11: Naměřené srážkové úhrny ve vybraných srážkoměrných stanicích v červenci 1997 .....</i>	<i>114</i>
<i>Příloha č.12: Průměrné měsíční úhrny srážek ve vybraných stanicích za referenční období 1964-1997 .....</i>	<i>114</i>
<i>Příloha č.13: Hodnocení vodnosti jednotlivých průměrných ročních průtoků dle Čegodajeva, P = pravděpodobnost překročení, N = doba opakování, MS – mimořádně suchý rok, S – suchý rok, P- průměrně vodný rok, V – vodný rok, MV – mimořádně vodný rok, referenční období hydrologických let 1.11.1963 (1964) – 31.10. 1997(1997).....</i>	<i>115</i>
<i>Příloha č.14: Klimatické charakteristiky stanice Praděd .....</i>	<i>115</i>
<i>Příloha č.15: Synoptické typy přiřazené jednotlivým dnům v rozmezí D-9 až D+3 pro povodně v letním hydrologickém půlroce,, pro Střední Opavu, profil Železná, referenční období hydr. let 1963 – 1997 .....</i>	<i>116</i>
<i>Příloha č.16: Synoptické typy přiřazené jednotlivým dnům v rozmezí D-9 až D+3 pro povodně v zimním hydrologickém půlroce, pro Střední Opavu, profil Železná, referenční období hydr. let 1963 - 1997.....</i>	<i>116</i>
<i>Příloha č.17: Synoptické typy přiřazené jednotlivým dnům v rozmezí D-9 až D+3 pro povodně v letním hydrologickém půlroce, pro Černou Opavu, profil Mnichov, referenční období hydr. let 1963 – 1997 .....</i>	<i>117</i>
<i>Příloha č.18: Synoptické typy přiřazené jednotlivým dnům v rozmezí D-9 až D+3 pro povodně v letním hydrologickém půlroce, pro Bílou Opavu, profil Ludvíkov, referenční období hydr. let 1963 - 1997 .....</i>	<i>119</i>
<i>Příloha č.19 Statistická závislost úbytku sněhové pokrývky a dvoudenní příčinné srážky-Střední Opava, povodňové události v zimním půlroce .....</i>	<i>119</i>



## 13 Přílohy

Příloha č.1: Sklonitostní poměry v povodí Bílé Opavy



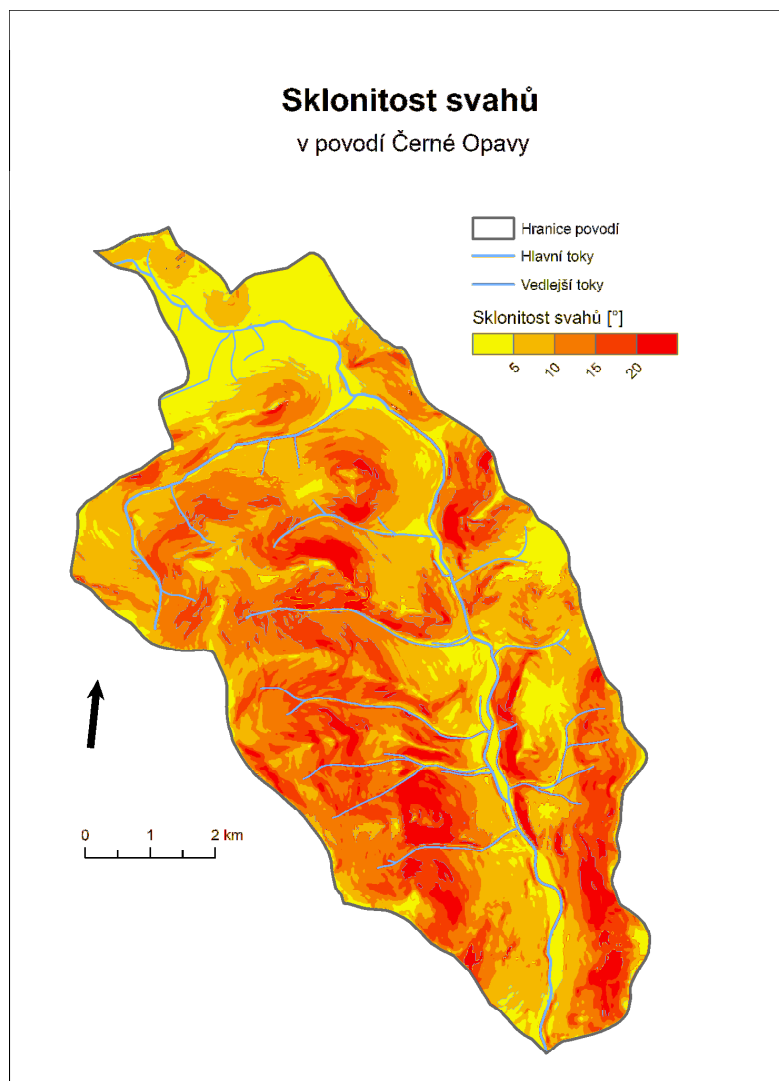
Zdroj dat: DMÚ 25

Příloha č.2: Charakteristika klimatických oblastí dle Quitta

Klimatická oblast	CH 4	CH 5	CH 6
počet letních dnů	0 - 20	10 - 30	10 - 30
počet mrazových dnů	160 - 180	140 - 160	140 - 160
počet ledových dnů	60 - 70	60 - 70	50 - 60
prům. teplota v lednu (°C)	-4 - -7	-4 - -5	-3 - -4
prům. teplota v červenci (°C)	12 - 14	14 - 15	15 - 16
prům. teplota v dubnu (°C)	2-4	2-4	4-6
prům. teplota v říjnu (°C)	4 - 5	5- 6	6- 7
Počet dní se srážkami 1mm a více	120 - 140	140 - 160	120 - 130
Srážkový úhrn ve veget. období (mm)	600 - 700	600 - 700	500 - 600
Srážkový úhrn v zimním období (mm)	400-500	400-500	350 - 400
Počet dnů se sněhovou pokrývkou	30 - 40	40 - 50	40 - 50

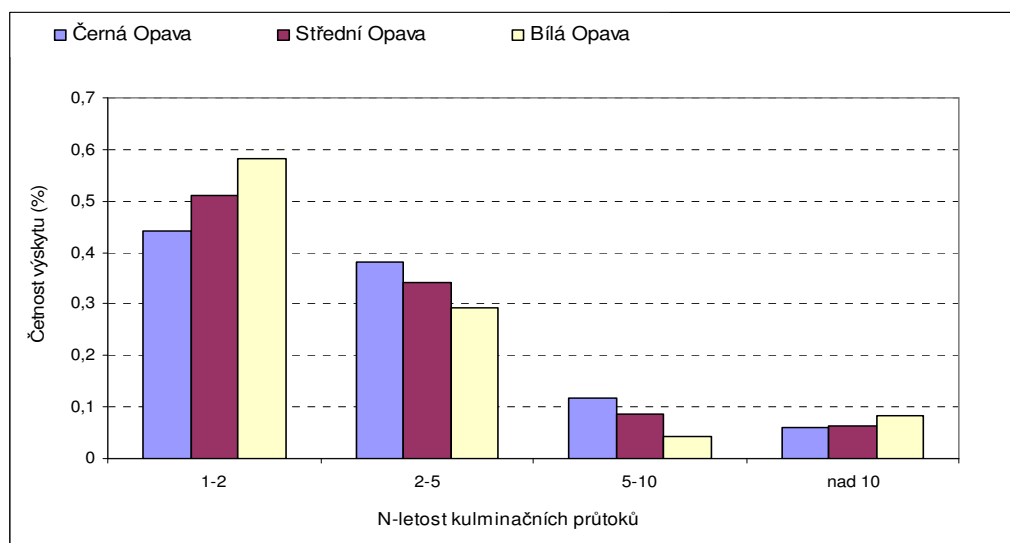
Zdroj dat: Quitt, E. (1971): Klimatické oblasti Československa

Příloha č.3: Sklonitostní poměry v povodí Černé Opavy

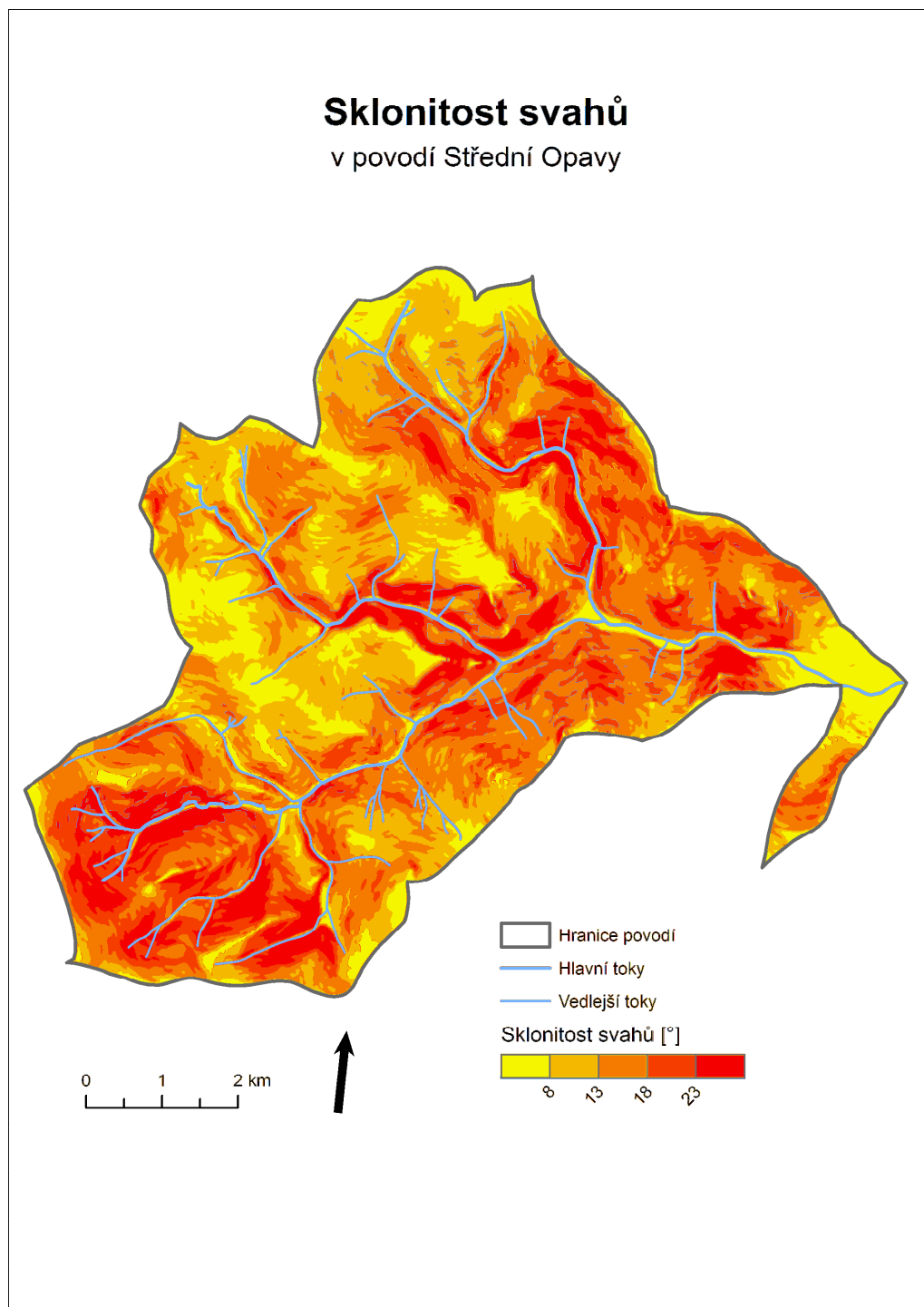


Zdroj dat: DMÚ 25

Příloha č.4: Četnost výskytu N-letých kulminačních průtoků jednotlivých zdrojnic



Zdroj dat: ČHMÚ



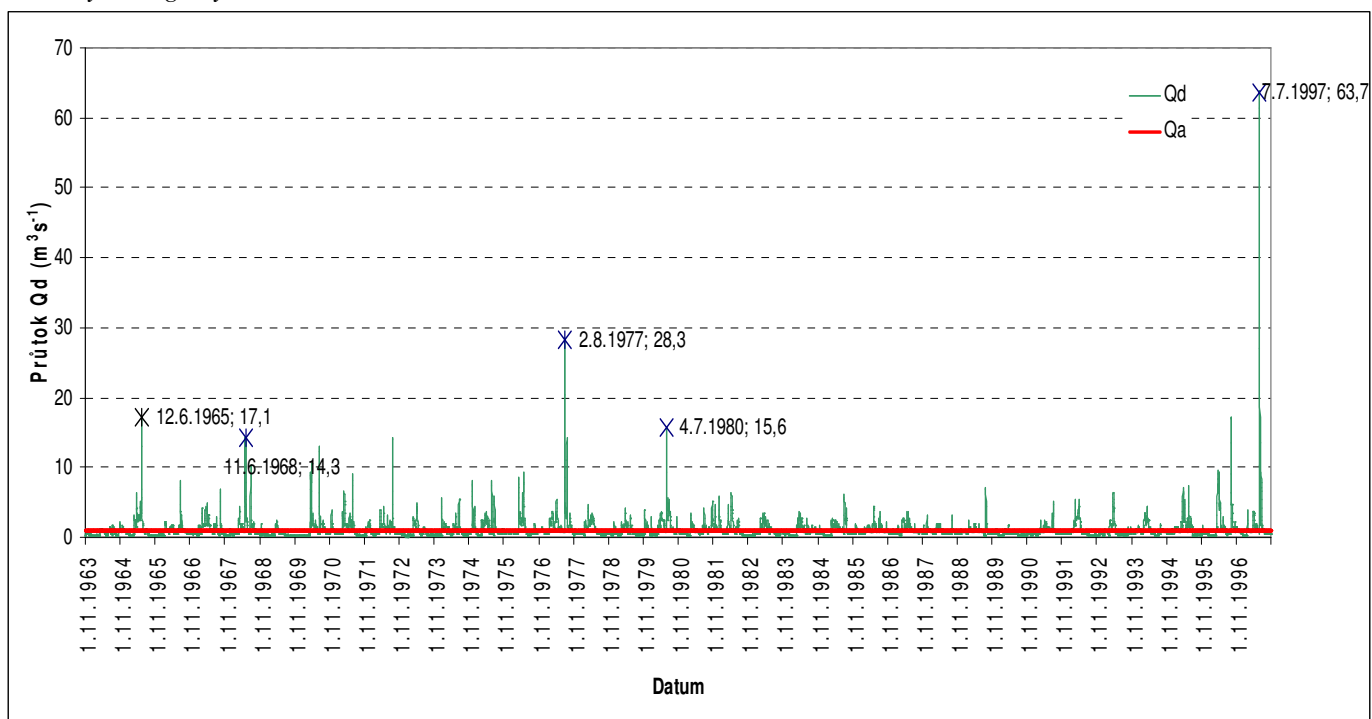
Zdroj dat: DMÚ 25





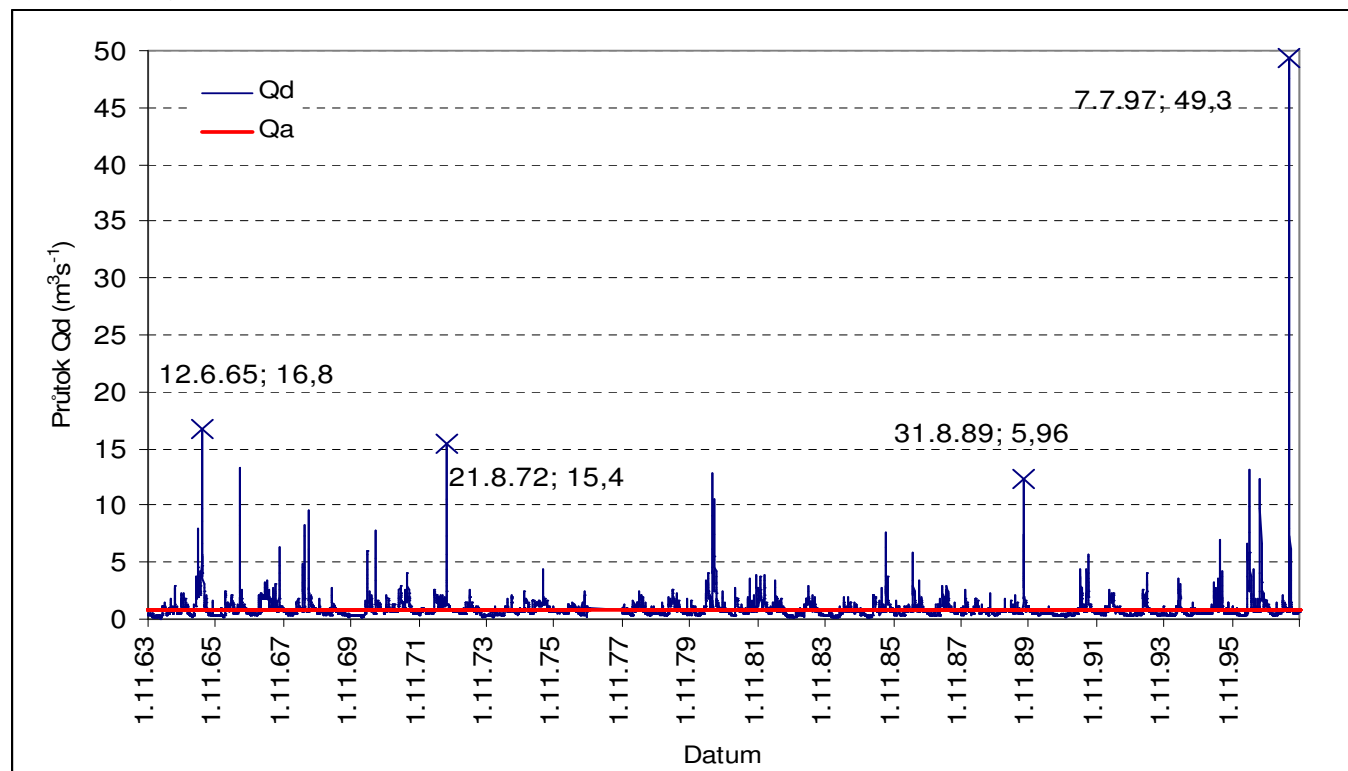


Příloha č.8: Čára denních průtoků pro profil Železná, Střední Opava, za referenční období hydrologických let 1963-1997



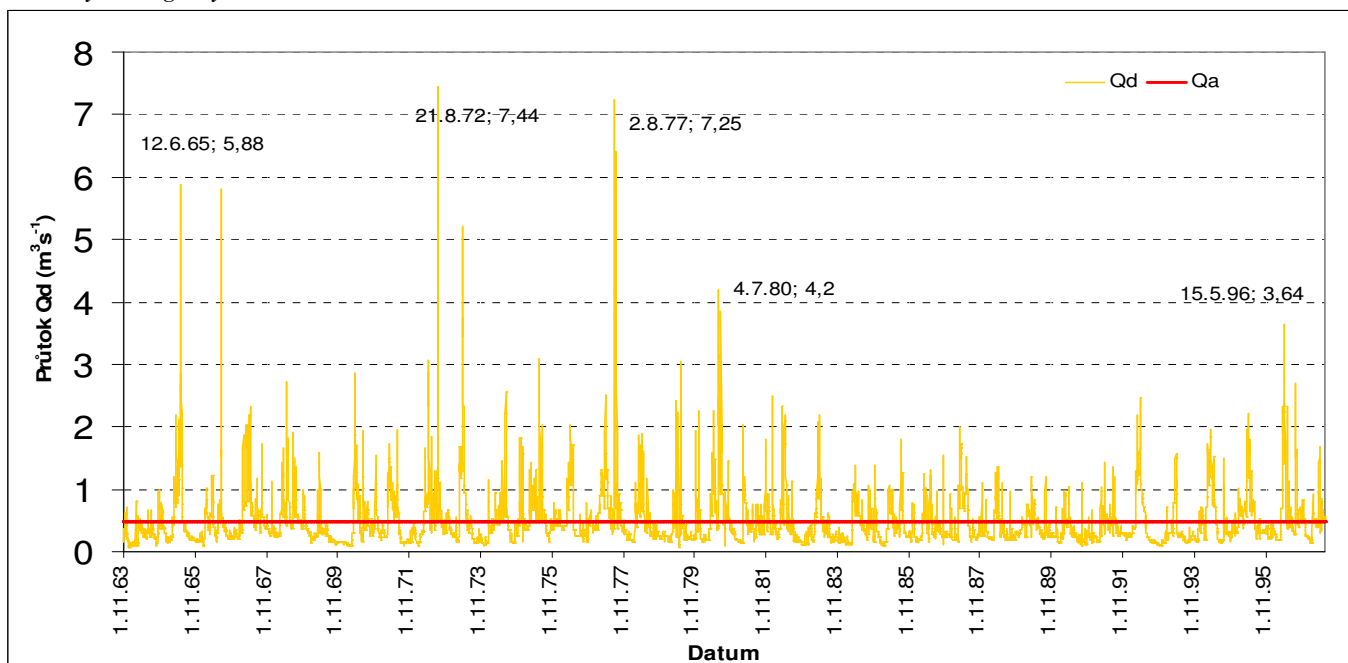
Zdroj dat: ČHMÚ

Příloha č.9: Čára denních průtoků pro profil Mnichov, Černá Opava, za referenční období hydrologických let 1963-1997



Zdroj dat: ČHMÚ

Příloha č.10: Čára denních průtoků pro profil Ludvíkov, Bílá Opava, za referenční období hydrologických let 1963-1997



Zdroj dat: ČHMÚ

Příloha č.11: Naměřené srážkové úhrny ve vybraných srážkoměrných stanicích v červenci 1997.

Srážkoměrná stanice	Úhrn srážek za dny 4.- 8.7.1997 (mm)	Úhrn srážek za dny 17.- 21.7.1997 (mm)	Úhrn srážek za měsíc červenec 1997 (mm)
<b>Karlovice</b>	320	64	424
<b>Praděd</b>	455	139	661
<b>Vidly</b>	501	96	639
<b>Rejvíz</b>	511	171	722
<b>Jeseník</b>	512	144	697
<b>Bělá pod Pradědem</b>	439	114	624

Zdroj dat: Povodí Odry, s.p.

Příloha č.12: Průměrné měsíční úhrny srážek ve vybraných stanicích za referenční období 1964-1997

Stanice	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
<b>Vidly</b>	66,8	67,5	73,4	79,8	100,3	131,1	146,3	118,8	90,7	75,7	93,7	81,1
<b>Rejvíz</b>	44,8	50,5	56,5	74,9	110,0	140,7	163,5	124,6	89,2	60,0	61,0	53,1
<b>Karlovice</b>	40,3	41,4	41,7	50,0	82,1	95,9	104,6	81,9	55,5	44,6	53,5	45,7
<b>Praděd</b>	67,4	64,6	61,7	64,9	111,3	144,0	157,3	167,9	90,4	71,1	77,4	83,1
<b>Heřmanovice</b>	42,6	44,6	52,0	66,7	96,0	119,0	137,4	116,8	77,9	55,2	61,1	48,9
<b>Bělá pod Pradědem</b>	55,5	55,9	61,6	69,9	95,3	122,9	131,9	119,5	75,3	63,8	79,1	72,8

Zdroj dat: ČHMÚ

Příloha č.13: Hodnocení vodnosti jednotlivých průměrných ročních průtoků dle Čegodajeva, P = pravděpodobnost překročení, N = doba opakování, MS – mimořádně suchý rok, S – suchý rok, P- průměrně vodný rok, V – vodný rok, MV – mimořádně vodný rok, referenční období hydrologických let 1.11.1963 (1964) – 31.10. 1997(1997).

Rok	Střední Opava			Černá Opava			Bílá Opava		
	P (%)	N	vodnost	P(%)	N	vodnost	P(%)	N	vodnost
1964	92,15	1	MS	82,93	1	S	97,9	1	MS
1965	16,57	6	V	5,09	20	MV	26,05	4	V
1966	63,08	2	P	32,04	3	V	58,98	2	P
1967	22,38	4	V	32,04	3	V	11,08	9	V
1968	34,01	3	V	26,04	4	V	29,04	3	V
1969	97,97	1	MS	91,92	1	MS	88,92	1	S
1970	39,8	3	V	55,99	2	P	55,99	2	P
1971	36,92	3	V	23,05	4	V	44,01	2	P
1972	28,2	4	V	17,06	6	V	17,07	6	V
1973	89,24	1	S	74	1	S	23,05	4	V
1974	65,99	2	P	85,93	1	S	53	2	P
1975	13,66	7	V	20,06	5	V	8,08	12	MV
1976	31,1	3	V	64,97	2	P	38,02	3	V
1977	2,03	49	MV				2,1	48	MV
1978	51,36	2	P	61,98	2	P	50	2	P
1979	83,43	1	S	2,1	48	MV	85,93	1	S
1980	7,84	13	MV	8,08	12	MV	1,7	5,09	MV
1981	60,17	2	P	50	2	P	64,97	2	P
1982	19,48	5	V	29,04	3	V	35,03	3	V
1983	68,9	1	P	76,94	1	S	73,95	1	S
1984	74,7	1	S	88,92	1	S	76,95	1	S
1985	48,5	2	P	38,02	3	V	61,98	2	P
1986	42,73	2	P	47	2	P	70,96	1	S
1987	51,5	2	P	58,9	2	P	41,02	2	V
1988	77,61	1	S	70,95	1	S	82,93	1	S
1989	71,8	1	S	44	2	P	67,96	1	P
1990	95,06	1	MS	97,9	1	MS	91,92	1	MS
1991	80,52	1	S	53	2	P	79,94	1	S
1992	57,27	2	P	67,95	1	P	47,01	2	P
1993	86,34	1	S	79,94	1	S	94,91	1	MS
1994	45,7	2	P	94,91	1	MS	32,04	3	V
1995	25,3	4	V	41	2	P	20,06	5	V
1996	10,76	9	V	11,08	9	V	14,07	7	V
1997	4,94	20	MV	14,072	7	V			

Zdroj dat: ČHMÚ

Příloha č.14: Klimatické charakteristiky stanice Praděd

Průměrný počet dní v roce	
Dny se sněžením	113
Dny se sněhovou pokrývkou $\geq 1\text{cm}$	171
Ledové dny ( $T_{\max} \leq -0,1\text{°C}$ )	127
Arktické dny ( $T_{\max} \leq -10\text{°C}$ )	16
Dny s víchřicí	70
Dny s mlhou	293

Zdroj dat: ČHMÚ

Příloha č.15: Synoptické typy přiřazené jednotlivým dnům v rozmezí D-9 až D+3 pro povodně v letním hydrologickém půlroce, pro Střední Opavu, profil Železná, referenční období hydr. let 1963 - 1997

Datum kulminace	D-9	D-8	D-7	D-6	D-5	D-4	D-3	D-2	D-1	DD	D+1	D+2	D+3	Příčinný typ	
12.6.1965	C	B	B	B	B	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
24.7.1966	Wcs	Wcs	Wcs	Ec	Ec	Ec	Ec	Ec	Ec	Ec	Ec	B	B	Ec	
5.5.1967	NEc	NEc	Nwa	Nwa	Nwa	B	B	B	B	Ap <sub>1</sub>	Ap <sub>1</sub>	Ap <sub>1</sub>	Vfz	B	
14.9.1967	SWc1	SWc1	B	B	B	B	B	Ec	Ec	Ec	Ec	Ec	Ec	Ec	
30.5.1968	Wc	Wc	Wal	Wal	Wal	Wal	Wal	Wal	Wal	Wal	Ea	Ea	Ea	Wal	
11.6.1968	Ec	Ea	Ea	SWc2	SWc2	SWc2	SWc2	NEc	NEc	NEc	NEc	Ea	Ea	NEc	
28.7.1968	B	Nc	Nc	Nc	Nc	Nc	Nc	NEc	NEc	NEc	NEc	NEa	NEa	NEc	
18.7.1970	Wal	Wal	Wal	Wa	Wa	Wa	B	B	B	B	B	Wc	Wc	B	
3.7.1971	Ap <sub>2</sub>	Ap <sub>2</sub>	Wc	Wc	Wc	Wc	Wc	NEc	NEc	NEc	NEc	NEa	NEa	NEc	
21.8.1972	SWc3	Sa	Sa	Bp	Bp	Bp	Bp	C	C	C	C	C	NWa	C	
7.5.1973	SWc2	SWc2	SWc2	SWc2	SWc2	SWc2	SWc2	B	B	B	B	B	Wa	B	
21.7.1974	Wc	Wc	SWc2	SWc2	SWc2	B	B	B	B	B	B	Wc	Wc	B	
2.7.1975	Ec	Ec	Wal	Wal	Wal	NEc	NEc	NEc	NEc	NEa	NEa	NEa	NEc	NEc	
29.7.1975	Cv	Cv	Wc	Wc	Bp	Bp	Bp	NEc	NEc	A	A	A	Ec	NEc	
14.5.1976	Ap <sub>1</sub>	Ap <sub>1</sub>	A	A	A	A	Bp	Bp	Bp	Bp	Ap <sub>2</sub>	Ap <sub>2</sub>	A	Bp	
23.5.1976	Bp	Ap <sub>2</sub>	Ap <sub>2</sub>	A	A	Vfz	Vfz	Vfz	Vfz	NEc	NEc	Vfz	Vfz	Vfz	
8.5.1977	SWc2	Sa	Sa	Sa	Sa	Sa	B	B	B	B	B	SWc2	SWc2	B	
2.8.1977	SWc2	SWc2	Bp	Bp	Sea	Sea	Sec	Sec	C	C	C	Wa	Wa	C	
23.8.1977	NEc	NEc	NEc	Ap <sub>3</sub>	SWc3	SWc3	SWc3	SWc3	SWc3	SWc3	SWc3	Ap <sub>2</sub>	Ap <sub>2</sub>	B	SWc3
4.7.1980	SWc3	SWc3	NWc	NWc	NWc	NWc	C	C	C	C	SWc3	SWc3	SWc3	C	
23.7.1980	Wcs	Bp	Bp	Bp	Wc	Wc	Wc	Cv	Cv	NEc	NEc	NEc	NEc	Cv	
12.5.1982	Ap <sub>2</sub>	SWc2	SWc2	SWc2	SWc3	SWc3	SWc3	SWc3	SWc3	NWa	NWa	NWa	Ap <sub>4</sub>	SWc3	
9.8.1985	SWc3	Wc	Wc	Wc	Wc	Wc	Bp	Bp	NEc	NEc	Nec	SWc2	SWc2	NEc	
30.8.1989	SWa	SWa	Ap <sub>2</sub>	Wc	Wc	Wc	B	B	B	Nec	Nec	B	B	B	
5.8.1991	NEc	NEc	NEa	NEa	Vfz	Vfz	Vfz	Ec	Ec	Ec	SWa	SWa	Wal	Ec	
2.5.1992	Wc	Wc	SWc2	SWc2	SWc2	SWc2	B	B	B	B	B	B	Ap <sub>2</sub>	B	
14.5.1995	Ap <sub>3</sub>	NWc	NWc	NWc	Nc	Nc	SWc3	SWc3	C	C	Ap <sub>2</sub>	Wcs	Wcs	C	
27.6.1995	Wal	Wal	Wal	Wal	Nc	Nc	NEc	NEc	NEc	NEc	NWa	NWa	NWa	NEc	
14.5.1996	Ap <sub>2</sub>	B	B	B	B	Ec	Ec	Ec	Ec	Ec	Vfz	Vfz	SWc2	Ec	
8.9.1996	C	B	B	Ec	Ec	Ec	Nc	Nc	NEc	NEc	NEc	NEc	NWc	NEc	
7.7.1997	SWc1	SWc1	SWc1	SWc1	SWc1	SWc1	B	B	NEc	NEc	NEc	NEc	Cv	NEc	
22.7.1997	Vfz	Vfz	Vfz	Vfz	C	C	C	C	NEc	NEc	NEc	Wcs	Wcs	NEc	

Zdroj dat: ČHMÚ

Příloha č.16: Synoptické typy přiřazené jednotlivým dnům v rozmezí D-9 až D+3 pro povodně v zimním hydrologickém půlroce, pro Střední Opavu, profil Železná, referenční období hydr. let 1963 - 1997

Datum kulminace	D-9	D-8	D-7	D-6	D-5	D-4	D-3	D-2	D-1	DD	D+1	D+2	D+3	Příčinný typ
23.4.1965	SWc1	SWa	SWa	SWa	SWc1	SWc1	SWc1	SWc1	SWc1	NEc	NEc	NEc	NEa	SWc1
25.4.1970	Wc	Wc	Wc	Bp	Bp	Bp	Wc	Wc	Wc	Wc	B	B	B	Wc
6.4.1971	Ec	Ec	Ec	Ec	SEc	SEc	SEc	SEc	SEc	SEc	SEc	SEc	SEc	SEc
21.1.1974	SWc2	SWa	SWa	Wc	Wc	Bp	Bp	Bp	NWc	NWc	Wc	Wc	Wc	NWc
9.12.1974	NWc	Wc	Wc	Wc	Wc	Wc	NWc	NWc	NWc	Wc	Wc	B	B	NWc

*Pokračování přílohy č.16: Synoptické typy přiřazené jednotlivým dnům v rozmezí D-9 až D+3 pro povodně v zimním hydrologickém půlroce, pro Střední Opavu, profil Železná, referenční období hydr. let 1963 – 1997*

Datum kulminace	D-9	D-8	D-7	D-6	D-5	D-4	D-3	D-2	D-1	DD	D+1	D+2	D+3	Příčinný typ
6.4.1976	Wc	Wa	Wa	Wa	Wa	SWa	SWa	SWa	B	B	B	B	NEa	B
4.4.1978	Wcs	Wcs	SWa	SWa	Sa	Sa	Sa	Ec	Ec	Ec	Ec	Ec	NEa	Ec
23.10.1981	Wcs	Wcs	Wcs	SWc2	SWc2	SWc2	SWc2	B	B	B	B	Ap <sub>2</sub>	Ap <sub>2</sub>	B
6.1.1982	Swc3	Swc3	Swc3	Swc3	Swc2	Swc2	Swc2	Swc2	Wc	Wc	Nc	Nc	Vfz	Wc
25.3.1992	Wcs	Wcs	Ap <sub>2</sub>	Wc	Wc	Wc	Wcs	Wcs	C	C	C	B	B	C
26.4.1993	Wc	Wc	NWc	NWc	SWc1	SWc1	Sa	Sa	Sa	Sa	SEa	SEa	SEa	Sa
27.4.1995	B	B	B	Sa	Sa	Sa	Sec	SEc	C	C	C	Ap <sub>2</sub>	Ap <sub>2</sub>	C
23.4.1996	NEc	NEc	Ap <sub>4</sub>	A	A	A	A	Sa	Sa	Sa	Bp	Bp	Bp	Sa

*Zdroj dat: ČHMÚ*

*Příloha č.17: Synoptické typy přiřazené jednotlivým dnům v rozmezí D-9 až D+3 pro povodně v letním hydrologickém půlroce, pro Černou Opavu, profil Mnichov, referenční období hydr. let 1963 - 1997*

Datum kulminace	D-9	D-8	D-7	D-6	D-5	D-4	D-3	D-2	D-1	DD	D+1	D+2	D+3	Příčinný typ
30.5.1965	Ap <sub>2</sub>	SEc	SEc	SEc	Vfz	Vfz	B	B	B	B	B	B	B	B
1.6.1965	SEc	SEc	Vfz	Vfz	B	B	B	B	B	B	B	C	C	B
12.6.1965	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	Wal	Wal	C
24.7.1966	Wcs	Wcs	Wcs	Ec	Ec	Ec	Ec	Ec	Ec	Ec	Ec	B	B	Ec
13.9.1967	SWc1	SWc1	SWc1	B	B	B	B	B	Ec	Ec	Ec	Ec	Ec	Ec
30.5.1968	Wc	Wc	Wal	Wal	Wal	Wal	Wal	Wal	Wal	Wal	Ea	Ea	Ea	Wal
11.6.1968	Ec	Ea	Ea	SWc2	SWc2	SWc2	SWc2	NEc	NEc	NEc	NEc	Ea	Ea	NEc
28.7.1968	B	Nc	Nc	Nc	Nc	Nc	Nc	NEc	NEc	NEc	NEc	NEa	NEa	NEc
19.7.1970	Wal	Wal	Wal	Wa	Wa	Wa	B	B	B	B	Wc	Wc	Wc	B
21.8.1972	SWc3	Sa	Sa	Bp	Bp	Bp	Bp	C	C	C	C	C	Nwa	C
2.7.1975	Ec	Ec	Wal	Wal	Wal	NEc	NEc	NEc	NEc	NEa	NEa	NEa	NEc	NEc
7.5.1977	SWc2	SWc2	Sa	Sa	Sa	Sa	Sa	B	B	B	B	B	SWC2	B
3.8.1977	SWc2	Bp	Bp	SEa	SEa	SEc	SEc	C	C	C	Wa	Wa	Wa	C
23.8.1977	NEc	NEc	NEc	Ap <sub>3</sub>	SWc3	SWc3	SWc3	SWc3	SWc3	SWc3	Ap <sub>2</sub>	Ap <sub>2</sub>	B	SWc3
4.7.1980	SWc3	SWc3	NWc	NWc	NWC	NWc	C	C	C	C	SWc3	SWc3	SWc3	C
28.7.1980	Wc	Wc	Wc	Cv	Cv	NEc	NEc	NEc	NEc	NEc	Ec	Ec	Ec	NEc
9.8.1985	SWc3	Wc	Wc	Wc	Wc	Wc	Bp	Bp	NEc	NEc	NEc	SWc2	SWc2	NEc
6.6.1986	SWc2	B	B	B	C	C	C	B	B	B	B	B	Ap <sub>1</sub>	B
30.8.1989	SWa	SWa	Ap <sub>2</sub>	Wc	Wc	Wc	B	B	B	NEc	NEc	B	B	B
4.9.1989	Wc	Wc	B	B	B	Nec	NEc	B	B	B	B	Ap <sub>2</sub>	Ap <sub>2</sub>	B
5.8.1991	NEc	NEc	Nea	Nea	Vfz	Vfz	Vfz	Ec	Ec	Ec	SWa	SWa	Wal	Ec
27.6.1995	Wal	Wal	Wal	Wal	Nc	Nc	Nec	NEc	NEc	NEc	NWa	NWa	NWa	NEc
14.5.1996	Ap <sub>2</sub>	B	B	B	B	Ec	Ec	Ec	Ec	Ec	Vfz	Vfz	SWc2	Ec
8.9.1996	C	B	B	Ec	Ec	Ec	Nc	Nc	NEc	NEc	NEc	NEc	NWc	NEc
7.7.1997	SWc1	SWc1	SWc1	SWc1	SWc1	SWc1	B	B	NEc	NEc	NEc	NEc	Cv	NEc
22.7.1997	Vfz	Vfz	Vfz	Vfz	C	C	C	C	NEc	NEc	NEc	Wcs	Wcs	NEc

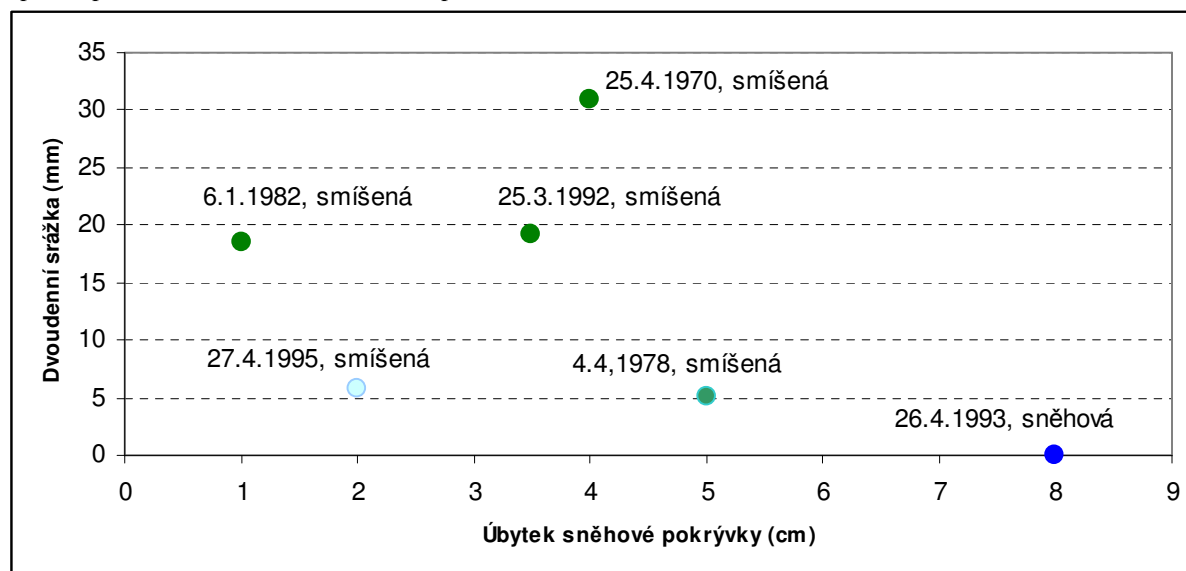
*Zdroj dat: ČHMÚ*

Příloha č.18: Synoptické typy přiřazené jednotlivým dnům v rozmezí D-9 až D+3 pro povodně v letním hydrologickém půlroce, pro Bílou Opavu, profil Ludvíkov, referenční období hydr. let 1963 - 1997

Datum kulminace	D-9	D-8	D-7	D-6	D-5	D-4	D-3	D-2	D-1	DD	D+1	D+2	D+3	Příčinný typ
12.6.1965	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	Wal	Wal	C
24.7.1966	Wcs	Wcs	Wcs	Ec	Ec	Ec	Ec	Ec	Ec	Ec	Ec	B	B	Ec
30.5.1968	Wc	Wc	Wal	Wal	Wal	Wal	Wal	Wal	Wal	Wal	Ea	Ea	Ea	Wal
20.5.1972	Vfz	Vfz	B	B	B	B	B	B	B	B	B	Ap <sub>1</sub>	Ap <sub>1</sub>	B
21.8.1972	SWc3	Sa	Sa	Bp	Bp	Bp	Bp	C	C	C	C	C	NWa	C
7.5.1973	SWc2	SWc2	SWc2	SWc2	SWc2	SWc2	SWc2	B	B	B	B	B	Wa	B
19.7.1974	NWc	Wc	Wc	Wc	SWc2	SWc2	SWc2	B	B	B	B	B	B	B
2.7.1975	Ec	Ec	Wal	Wal	Wal	NEc	NEc	NEc	NEc	NEa	NEa	NEa	NEc	NEc
1.5.1977	Wc	Wc	Wc	Wc	Wc	Wc	SWc2	SWc2	Sa	Sa	Sa	Sa	Sa	Sa
2.8.1977	SWc2	SWc2	Bp	Bp	SEa	SEa	SEc	SEc	C	C	C	Wa	Wa	C
23.8.1977	NEc	NEc	NEc	Ap <sub>3</sub>	SWc3	SWc3	SWc3	SWc3	SWc3	SWc3	SWc3	Ap <sub>2</sub>	Ap <sub>2</sub>	B
17.6.1979	Ap <sub>2</sub>	Wal	Wal	SWc2	SWc2	SWc2	SWc2	SWc2	Cv	Cv	Cv	Cv	Cv	Cv
4.7.1980	SWc3	SWc3	NWc	NWc	NWC	NWc	C	C	C	C	SWc3	SWc3	SWc3	C
28.7.1980	Wc	Wc	Wc	Cv	Cv	NEc	NEc	NEc	NEc	NEc	Ec	Ec	Ec	NEc
9.8.1985	SWc3	Wc	Wc	Wc	Wc	Wc	Bp	Bp	NEc	NEc	NEc	SWc2	SWc2	NEc
14.5.1996	Ap <sub>2</sub>	B	B	B	B	Ec	Ec	Ec	Ec	Ec	Vfz	Vfz	SWc2	Ec
7.7.1997	SWc1	SWc1	SWc1	SWc1	SWc1	SWc1	B	B	NEc	NEc	NEc	NEc	Cv	NEc
22.7.1997	Vfz	Vfz	Vfz	Vfz	C	C	C	C	NEc	NEc	NEc	Wcs	Wcs	NEc

Zdroj dat: ČHMÚ

Příloha č.19: Statistická závislost úbytku sněhové pokrývky a dvoudenní příčinné srážky-Střední Opava, povodňové události v zimním půlroce



Zdroj dat: ČHMÚ

*Příloha č.20: Dvoudenní příčinná srážka vybraných povodní na Střední Opavě v zimním půlroce*

<b>Datum kulminace</b>	<b>Dvoudenní příčinná srážka</b>
<b>23.4.1965</b>	<b>28,9</b>
<b>25.4.1970</b>	<b>31</b>
<b>6.4.1971</b>	<b>9,1</b>
<b>6.4.1976</b>	<b>10</b>
<b>4.4.1978</b>	<b>5,1</b>
<b>6.1.1982</b>	<b>18,5</b>
<b>25.3.1992</b>	<b>19,2</b>
<b>26.4.1993</b>	<b>0</b>
<b>27.4.1995</b>	<b>5,7</b>

*Zdroj dat: ČHMÚ*





Obrázek č.7.4: Genetický kód (typy povětrnostních situací a jejich počet) při letních povodňových událostech na Střední Opavě v období 1964-1997

Počet typů	Četnost výskytu různých typů povětrnostních situací v daných dnech																											
	D-9	D-8	D-7	D-6	D-5	D-4	D-3	D-2	D-1	DD	D+1	D+2	D+3															
1	Wc	3	Wc	4	Wc	3	Wc	4	Wc	4	Wc	2	SWc <sub>3</sub>	3	SWc <sub>3</sub>	2	SWc <sub>3</sub>	1	SWc <sub>3</sub>	1	Wc	2	Wc	2				
2	Wcs	2	Wcs	1	Wcs	1	NWc	2	NWc	2	NWc	1	SWc <sub>2</sub>	2	Ec	4	Ec	4	Ec	4	Ec	2	Wcs	2	Wcs	2		
3	NWc	1	NWc	1	NWc	2	SWc <sub>1</sub>	1	SWc <sub>1</sub>	1	SWc <sub>1</sub>	1	SWc <sub>3</sub>	3	NEc	6	NEc	10	NEc	10	NEc	10	NWc	1	SWc <sub>2</sub>	2		
4	SWc <sub>1</sub>	2	SWc <sub>1</sub>	2	SWc <sub>1</sub>	1	SWc <sub>2</sub>	5	SWc <sub>2</sub>	5	SWc <sub>2</sub>	3	Ec	2	Nc	1	C	5	C	5	C	3	SWc <sub>2</sub>	3	SWc <sub>3</sub>	1		
5	SWc <sub>2</sub>	3	SWc <sub>2</sub>	3	SWc <sub>2</sub>	4	Ec	2	Ec	2	SWc <sub>3</sub>	2	NEc	2	C	4	Cv	1	B	6	Vfz	1	SWc <sub>3</sub>	1	Ec	1		
6	SWc <sub>3</sub>	3	SWc <sub>3</sub>	1	NEc	1	Nc	1	Nc	1	Ec	3	SEc	1	Cv	1	Vfz	1	Bp	1	B	5	Ec	2	NEc	3		
7	Ec	2	Ec	1	Nc	1	Vfz	1	Vfz	1	NEc	1	Nc	2	Vfz	1	B	7	Wal	1	Nwa	2	NEc	2	C	2		
8	NEc	3	NEc	3	Vfz	1	B	3	B	3	Nc	3	C	3	B	9	Bp	1	Nwa	1	SWa	1	C	1	Vfz	2		
9	C	2	Nc	1	B	4	Bp	3	Bp	3	C	2	Vfz	2	Bp	2	Wal	1	Nea	1	Ea	1	Cv	1	B	4		
10	Cv	1	Cv	1	Bp	2	Wa	1	Wa	1	Vfz	2	B	8	Wal	1			A	1	NEa	1	Vfz	1	Wa	1		
11	Vfz	1	Vfz	1	Wal	4	Wal	3	Wal	3	B	3	Bp	4					Ap <sub>1</sub>	1	A	1	B	3	NWa	2		
12	B	1	B	3	NWa	1	Nwa	1	NWa	1	Bp	2	Wal	1							Ap <sub>1</sub>	1	Wa	2	SWa	1		
13	Bp	1	Bp	1	Ea	1	NEa	1	NEa	1	Wa	1									Ap <sub>2</sub>	3	Wal	1	Ea	2		
14	Wal	2	Wal	2	NEa	1	Sa	1	Sa	1	Wal	1												NWa	2	NEa	2	
15	Ap <sub>1</sub>	1	Swa	1	Sa	2	A	2	A	2	SEa	1												Ea	2	A	1	
16	Ap <sub>2</sub>	3	Ea	1	A	1	Ap <sub>3</sub>	1	Ap <sub>3</sub>	1	Sa	1												NEa	1	Ap <sub>1</sub>	1	
17	Ap <sub>3</sub>	1	Sa	2	Ap <sub>2</sub>	2					A	1												A	1	Ap <sub>2</sub>	3	
18			Ap <sub>1</sub>	1																					Ap <sub>1</sub>	1		
19			Ap <sub>2</sub>	2																					Ap <sub>2</sub>	2		
20																									Ap <sub>4</sub>	1		

Zdroj dat: ČHMÚ

Obrázek č.7.5: Genetický kód (typy povětrnostních situací a jejich počet) při zimních povodňových událostech na Střední Opavě v období 1964-1997

Počet druhů	Četnost výskytu různých typů povětrnostních situací v daných dnech																				
	D-9	D-8	D-7	D-6	D-5	D-4	D-3	D-2	D-1	DD	D+1	D+2	D+3								
1	Wc 3	Wc 3	NWc 1	Wc 2	Wc 3	Wc 1	Wc 1	Wc 1	Wc 2	Wc 3	Wc 2	Wc 1	Wc 1								
2	Wcs 2	Wcs 2	SWC <sub>3</sub> 1	NWc 1	SWC <sub>1</sub> 2	SWC <sub>1</sub> 2	Wcs 1	Wcs 1	NWc 2	NWc 1	NEc 1	NEc 1	SEc 1								
3	SWC <sub>1</sub> 1	SWC <sub>3</sub> 1	Ec 1	SWC <sub>3</sub> 1	SWC <sub>2</sub> 1	SWC <sub>2</sub> 2	NWc 1	NWc 1	SWC <sub>1</sub> 1	Ec 1	SEc 1	Nc 1	Vfz 1								
4	SWC <sub>2</sub> 1	Ec 1	C 1	Ec 1	C 1	SEc 1	SWC <sub>1</sub> 1	SWC <sub>1</sub> 1	Ec 1	NEc 1	Nc 1	SEc 1	B 3								
5	SWC <sub>3</sub> 1	NEc 1	B 1	C 1	Bp 1	C 1	SWC <sub>2</sub> 2	SWC <sub>2</sub> 1	SEc 1	SEc 1	C 2	B 4	Bp 1								
6	Ec 1	C 1	Wa 1	Bp 1	Wa 1	Bp 2	Ec 1	Ec 2	C 2	C 2	B 3	Bp 1	NEa 2								
7	NEc 1	B 1	Wal 2	Wa 1	Wal	SWa 1	SEc 2	SEc 2	B 2	B 2	Bp 1	SEa 1	SEa 1								
8	C 1	Wa 1	SWa 3	SWa 2	NWa 1	Sa 2	Bp 1	Bp 1	Sa 2	Sa 2	SEa 1	Ap <sub>2</sub> 2	Ap <sub>2</sub> 2								
9	B 1	SWa 2	NEa 1	NEa 1	Sa 2	A 1	SWa 1	SWa 1			Ap <sub>3</sub> 1	Ap <sub>3</sub> 1	SWa 1								
10	NWa 1		Ap <sub>2</sub> 1	Sa 1	A 1		Sa 1	Sa 2													
11				A 1			A 1														

Zdroj dat: ČHMÚ

Obrázek č.7.6: Typy povětrnostních situací dle klasifikace ČHMÚ

<b>Cyklonální situace</b>	Západní proudění	Wc	Wcs	NWc	SWC <sub>1</sub>	SWC <sub>2</sub>	SWC <sub>3</sub>
	Východní proudění	Ec	NEc	SEc			
	Severní proudění	Nc					
	Centrální cyklona	C	Cv				
<b>Anticyklonální situace</b>	Západní proudění	Wa	Wal	NWa	SWa		
	Východní proudění	Ea	Nea	Sea			
	Jižní proudění	Sa					
	Anticyklona nad Stř. Evropou + putující anticyklona	A	Ap <sub>1</sub>	Ap <sub>2</sub>	Ap <sub>3</sub>	Ap <sub>4</sub>	
<b>Vchod frontální zóny</b>	Vfz						
<b>Brázda nízkého tlaku vzduchu</b>	B	Bp					

Zdroj dat: ČHMÚ, (Brádka et. al., 1961)