

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA UNIVERZITY KARLOVY

Katedra fyzické geografie a geoekologie

Hydrografie, režim srážek a odtoku v povodí Bílé Opavy

(bakalářská práce)

Lucie Lautnerová

Vedoucí práce: Doc. RNDr. Bohumír Janský, CSc.

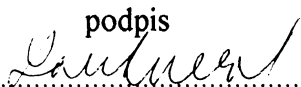
PRAHA 2007

Autorské prohlášení:

Prohlašuji, že jsem zadanou bakalářskou práci vypracovala sama a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje.

Praha 1.8.2007

podpis


.....

Poděkování:

Úvodem své bakalářské práce bych ráda poděkovala panu Doc. RNDr. Bohumíru Janskému, CSc. za cenné rady a věcné připomínky a panu Mgr. Juliu Česákovi za ochotu a pomoc při terénním měření. Dále bych ráda poděkovala pracovníkům Povodí Odry, s.p. za vstřícnost při poskytování zdrojových dat a podkladů.

Abstract

The aim of this work is to give a hydrological description of the drainage area of the Bílá Opava river and to character basic features of the precipitation and drainage regime.

The Bílá Opava river is one of three riverheads of the Opava river. Knowledge in mentioned features, together with regular observation of the Černá and Střední Opava rivers, gives us an opportunity to discern the process of drainage formation in the resource area of the Opava river and to compare relations between drainage and rainfall in partial drainage areas.

Understanding of the flow regime is one way to find the drainage process, that is influenced by many different agents. This knowledge allows us to define distribution of this flow during surveyed period, in some characteristic seasons and to establish their characteristic values.

First part of this work follows the description of physical-geographical and hydrological conditions of the drainage area of the Bílá Opava river and their impact on the drainage process. Second part monitor the drainage process through regular changes of daily, monthly and year flow. The last, final part is interested in vacillation of heights of the water and summarize findings of practical measurements.

Obsah

Abstract	4
Obsah	5
1. Úvod	7
2. Metodika práce	8
2.1. Obecné metody práce	8
2.2. Metody izohyet	8
3. Fyzickogeografické charakteristiky	10
3.1. Vymezení zájmového území	10
3.2. Geologické poměry	11
3.3. Hydrogeologické poměry	14
3.4. Geomorfologické poměry	15
3.5. Klimatické poměry	19
3.5.1. Klimatické oblasti	19
3.5.2. Srážky	20
3.5.3. Teploty	22
3.5.4. Další charakteristiky	23
3.6. Půdní poměry	24
3.7. Biogeografie a krajinný pokryv	25
3.8. Hydrologie	28
4. Hydrografické charakteristiky povodí	29
4.1. Základní charakteristiky povodí	29
4.2. Základní charakteristiky říční sítě	32
5. Odtokový režim	35
5.1. Základní charakteristiky	35
5.2. Režim průtoků	37
5.2.1. Průměrné denní průtoky	37
5.2.2. Průměrné měsíční průtoky	42
5.2.3. Průměrné roční průtoky	45
5.2.4. Extrémní průtoky	48
5.2.4.1. Maximální průtoky	48
5.2.4.2. Minimální průtoky	51
6. Změny vodních stavů	52
7. Diskuse	56
8. Závěr	58

9. Seznam použitých zdrojů	59
9.1. Literatura	59
9.2. Mapové podklady	60
9.3. Internetové zdroje	61
10. Seznam obrázků, tabulek a příloh.....	62
10.1. Seznam obrázků.....	62
10.2. Seznam tabulek.....	63
10.3. Seznam příloh.....	63
Přílohy.....	65

1 Úvod

Tato bakalářská práce si klade za cíl popsat hydrologické vlastnosti povodí Bílé Opavy a zároveň charakterizovat základní rysy režimu odtoku a srážek. V povodí Bílé Opavy byl instalován nový hladinoměr a bylo započato pravidelné sledování změn vodních stavů. Úkolem mé práce je tedy také popis fyzickogeografického prostředí, ve kterém monitoring probíhá, a dosažené výsledky jsou podkladem pro hodnocení nově zjišťovaných hodnot. V dlouhodobější perspektivě se pak práce při rozšíření současného poznání může stát základem pro sledování změn v krajině a jejich dopad na režim odtoku.

Bílá Opava je jednou ze zdrojnic řeky Opavy, proto znalost uvedených charakteristik, společně s pravidelným měřením na Černé a Střední Opavě, umožňuje přiblížit proces formování odtoku v pramenné oblasti řeky Opavy a srovnat srážkoodtokové vztahy v rámci jednotlivých povodí.

Znalost režimu průtoků je cestou k poznání procesu odtoku v povodí ve vztahu k činitelům, kteří tento proces podmiňují. Znalost průtoků za delší časové období tedy umožňuje popsat rozdělení průtoků v průběhu zkoumaného období, v charakteristických obdobích (např. roční období) a určit jejich typické hodnoty (průměry, extrémy).

Práce je rozdělena na několik částí. První kapitoly jsou věnovány popisu fyzickogeografických poměrů v povodí Bílé Opavy a jejich vlivu na odtok. Zde je také nastíněn chod srážek a ostatních klimatických činitelů ovlivňujících odtokový režim.

V druhé části jsou sledovány hydrologické vlastnosti povodí a říční síť, je také zmíněn jejich vliv na srážkoodtokový proces. Další část pak sleduje samotný odtok vody z povodí prostřednictvím změn denních, měsíčních a ročních průtoků. Zmíněná analýza proběhla na základě zpracování řady poskytnutých dat.

Dosavadní pozorování kolísání vodních stavů je shrnuto v závěrečných kapitolách, kde jsou také zpracovány výsledky tří měření okamžitých průtoků na Bílé Opavě. V samotném závěru práce jsou pak sesumírovány všechny nejdůležitější poznatky o režimu srážek a odtoku v povodí Bílé Opavy.

Pro větší přehlednost je práce také doplněna o fotografické přílohy zájmového území a další mapové a obrázkové přílohy.

2 Metodika práce

2.1 Obecné metody práce

K tvorbě této bakalářské práce bylo využito několik metod, které odpovídají jednotlivým kapitolám.

Fyzickogeografický přehled byl zpracován na základě studia dostupné literatury, dat poskytnutých státním podnikem Povodí Odry, s.p., mapových podkladů a internetových zdrojů. S využitím programu ArcGIS (firma ESRI) byla k většině kapitol vytvořena přehledná mapa znázorňující danou problematiku. Vytvoření těchto map proběhlo digitalizací mapových podkladů, využitím databáze ArcČR, dostupných vektorových vrstev Arc IMS serveru a www.merkur.nature.cz. Detailnější rozbor klimatických poměrů byl zpracován níže uvedenými metodami.

Programu ArcGIS, mapového serveru VÚV TGM bylo také využito pro vytváření vstupních dat (především zjišťování ploch a délek) ke zpracování hydrografických charakteristik zájmového povodí. Dalším zpracováním s využitím literatury byly vypočteny koeficienty podávající informace o charakteru povodí a říční síť. Text je doplněn o mapové přehledy vytvořené výše uvedeným způsobem a několik grafů vypovídajících o vlastnostech povodí.

Odtokový proces byl popsán pomocí analýzy řady průměrných denních průtoků ze stanice Ludvíkov na Bílé Opavě poskytnutých ČHMÚ. Samotná analýza proběhla na základě literatury uvedené v závěru práce. Kapitola pojednávající o změnách vodních stavů byla zpracována stejným způsobem, s využitím řady průměrných denních stavů z databáze hladinoměru, poskytnutých Katedrou fyzické geografie a geoekologie.

Pro charakteristiku klimatických poměrů zájmové oblasti byla jako v ostatních případech studována literatura, atlasy podnebí a data poskytnutá Povodí Odry, s.p. Dále byly zpracovány řady průměrných úhrnů srážek ze srážkoměrných stanic v povodí Opavy. Data byla poskytnuta ČHMÚ. Zvláštní kapitola je věnována metodě izohyet, která je využívána pro zjištění průměrných ročních srážkových úhrnů.

2.2 Metoda izohyet

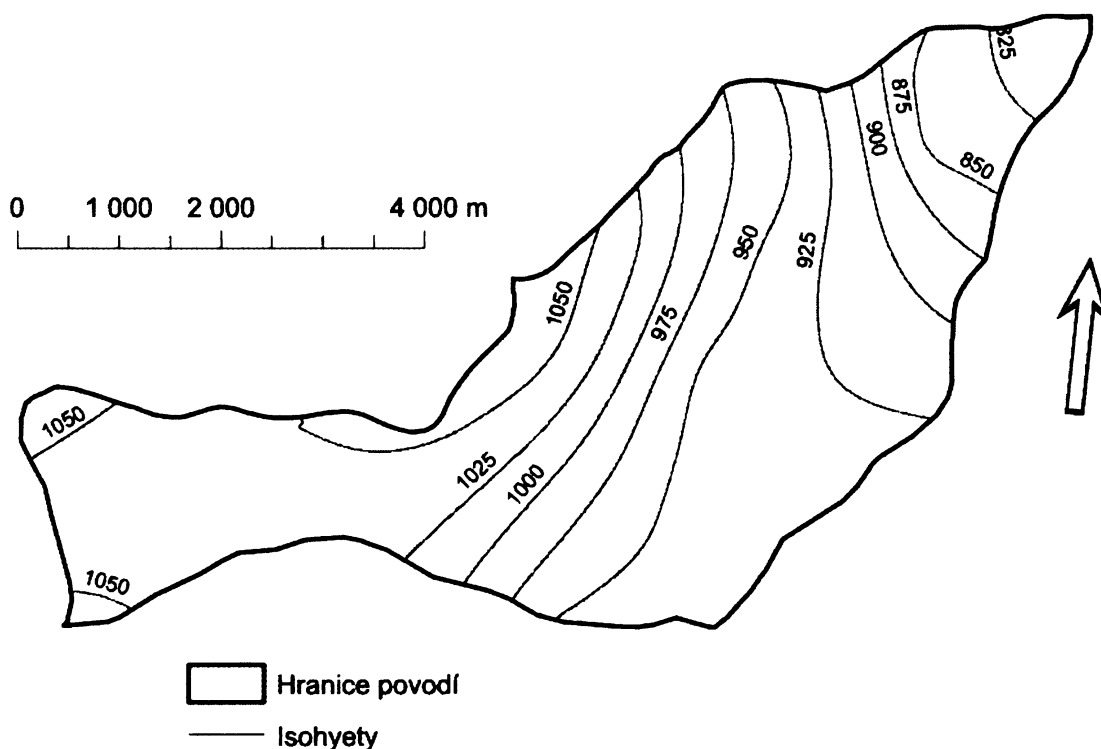
Tato metoda byla využita, neboť je pokládána za nejsprávnější metodu pro zjišťování průměrné výšky srážek na povodí. Spočívá v tom, že pomocí srážkových úhrnů ze

srážkoměrných stanic odvodíme čáry stejných srážek – izohyety v daném území. Průměrnou výšku srážek pak vypočteme podle vzorce:

$$h_s = \frac{\sum h_i \cdot p_i}{P}$$

kde h_i = průměrná výška srážek mezi dvěma izohyetami, p_i = dílčí plocha povodí uzavřená mezi dvěma izohyetami a popřípadě rozvodnicí, P = plocha celého povodí. Přesnost je však ovlivněna správným vedením izohyet. Pro vytvoření mapy izohyet na daném území byla využita data ČHMÚ a Povodí Odry, s.p.

Obrázek č.1: Rozložení srážkových úhrnů v povodí Bílé Opavy.



Zdrojová data: ČHMÚ, Povodí Odry, s.p.

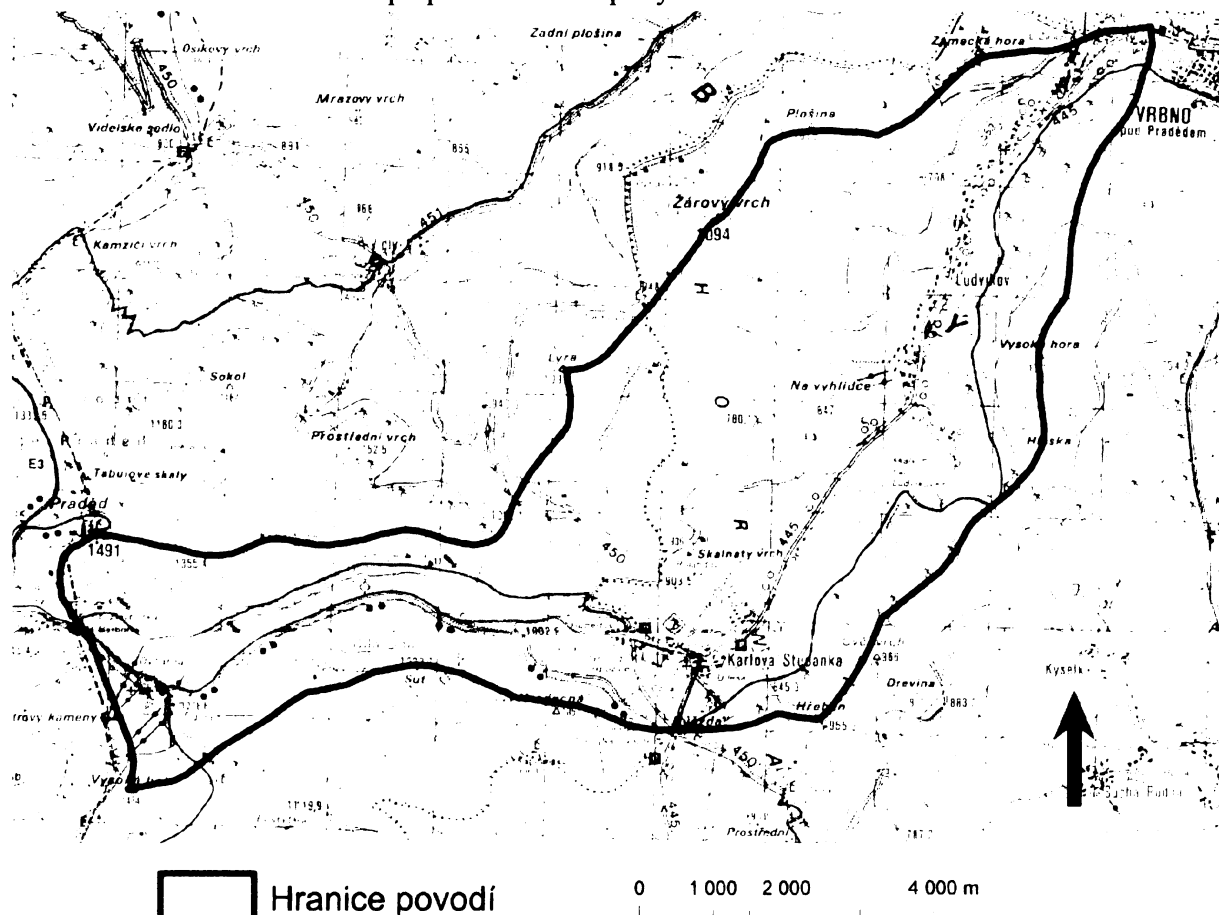
3 Fyzickogeografické charakteristiky

3.1 Vymezení zájmového území

Povodí Bílé Opavy je situováno v severo-východní části České republiky. Patří k rozsáhlému povodí řeky Odry a úmoří Baltského moře.

Samotný tok Bílá Opava je jednou ze tří zdrojnic řeky Opavy (společně se Střední a Černou Opavou). Pramení na jižním svahu Pradědu v nadmořské výšce okolo 1300 m n. m.. Od pramene teče východním směrem do Karlovy Studánky, kde se stáčí k severovýchodu, protéká Ludvíkovem a ve Vrbně pod Pradědem v nadmořské výšce 544 m n. m. ústí do Střední Opavy. Nižší soutokem s Černou Opavou vytváří řeku Opavu, která protéká Krnovem a v Ostravě se vlévá do řeky Odry.

Obrázek č.2: Přehledová mapa povodí Bílé Opavy



Zdroj dat: mapa KČT č.55 – Hrubý Jeseník, upraveno

Povodí je vymezeno rozvodnicí probíhající po hřebenech a sedlech Hrubého Jeseníku. Z Vrbně pod Pradědem rozvodnice probíhá jihozápadním směrem přes vrcholy Zámecká hora (854 m n. m.), Plošina (1015 m n. m.), Žárový vrch (1094 m n. m.) a Lyra (1092 m. n. m.)

k Pradědu (1491 m n. m.), který leží na hlavním evropském rozvodí. Zde pokračuje zhruba jižním směrem přes Petrovy kameny (1438 m n. m) k Vysoké holi (1464 m n. m.), kde se stáčí zpět na východ k Hradečné (1057 m n. m.) a Hřebenu (955 m n. m) a pak severně pokračuje přes Ovčí vrch (966 m n. m.) a Vysokou horu (1031 m n. m.) do Vrba pod Pradědem. Povodí zaujímá celkovou plochu 27,5 km², délka toku Bílé Opavy je 13,5 km. Jde o území s rozličnými fyzickogeografickými podmínkami. Nejvyšším bodem popisované oblasti je Praděd, nejnižším pak ústí toku do Střední Opavy ve Vrbně pod Pradědem.

3.2 *Geologické poměry*

Povodí Bílé Opavy je z geologického hlediska součástí velké geologické jednotky - hercynské mezoevropy či variscidy, konkrétněji Českého masívu, a to jeho severovýchodní části – moravskoslezské zóny. V rámci této jednotky pak zájmové území náleží do její severní části – silezika (oblast východosudetská), která je na západě oddělena vůči lugiku podél ramzovské linie, východně tvoří hranici spodní karbon Nízkého Jeseníku a jižní tektonická hranice – bušínský zlom odděluje silezikum od zábřežského krystalinika (Demek, 1992).

Nejstarší součást Českého masívu tvoří prekambriické krystalinikum, tvořené kadomskými plutonity a metamorfity, které tvoří podklad variské stavbě moravskoslezské oblasti. Prekambriické krystalinikum buduje centrální část desenské klenby. Pokryvné útvary tvoří především miocénní a kvartérní horniny (Weissmannová, 2004).

V rámci regionálně geologického členění povodí Bílé Opavy leží na styku nižších geologických jednotek – desenské klenby a zóny vrbenské skupiny.

Horniny předdevonské desenské klenby tvoří převážnou část údolí Bílé Opavy. Jednotka je rozdělena bělským zlomem na slezskou kru Orlíku a moravskou kru Pradědu.

Základními horninami jsou jemnozrnné a drobnozrnné biotické či muskovit – biotické retrogradně metamorfované ruly, místy s granátem, pak také mylonity, blastomylonity a okrajově muskoviticko-chlorotická retrogradně metamorfovaná rula, místy s biotitem.

Na celé řadě hornin, především ve vrcholových částech kry Pradědu (pramenná oblast Bílé Opavy), lze pozorovat znaky zpětné metamorfózy, kdy polymetamorfní pochody variské etapy měly nižší intenzitu než pochody starší. O původně sedimentární povaze desenských rul svědčí četné vložky kvarcitů, vápenců, svorů a metabazitů (Demek, 1992). Mezi Pradědem a Karlovou Studánkou se v nadloží desenských rul vyskytují proteozoické horniny skupiny Videlského potoka, a to metasedimenty - metaprachovce a metaarkózy.

Horniny vrbenské skupiny vystupují na povrch především v oblasti Karlovy Studánky a Vrbna pod Pradědem. Jednotka desenské klenby je protažena ve směru severovýchod – jihozápad a vyznačuje se složitou příkrovovou stavbou.

Vrbenská zóna tvoří obal krystalinika desenské klenby a představuje soubor devonských vulkanosedimentů, vyvinutých v drahanském faciálním vývoji, který byl při variské orogenezi metamorfován (Demek, 1992). Jedná se především o kvarcity, křemenné metakonglomeráty, chlorotické a muskovit-chlorotické fylity, místy s grafitem. Dále pak další vulkanosedimenty s tělesy bazických či acidických metavulkanitů (Weissmannová, 2004). V oblasti Karlovy Studánky a Ludvíkova byla zjištěna makrofauna (mlži, korály a trilobiti), která zařazuje vrbenskou skupinu do devonu (Demek, 1992). Velmi komplikovanou, příkrovovou stavbou se vyznačuje také vrbenská jednotka, kde byl devon shrnut od západu a později stlačen k východu. (Poruba, 1962).

Starší horniny předdevonské a devonské jsou v řadě oblastí překryty kvarténními uloženinami. Pramenná oblast Pradědu je tvořena pleistocénními staršími a mladšími deluviálními písčitohlinitými, kamenitohlinitými a hlinitokamenitými sedimenty. Oblast mezi Karlovou Studánkou a Ludvíkovem je budována holocénními fluviálními sedimenty údolní terasy a pleistocénními fluviálními sedimenty vyšší terasy.

Devonské a spodnokarbonské sedimenty moravoslezika patří k nejvyšší úrovni variského patra v Českém masívu. Jejich vývoj ukončila variská orogeneze ve svrchním karbonu. Patří sem například vrbenské vrstvy v obalu desenské klenby a moravskoslezský karbon. Spodní část svrchního karbonu je tak společně se starším podložím poslední předplatformní jednotkou Českého masívu. Tyto formace byly společně s ostatními horninami postiženy vrásněním a metamorfními procesy. Vyšší části svrchního karbonu a perm, včetně dalších mladších formací, leží na svém starším podloží nezvrásněny a tvoří součást jednotek platformních (Demek, 1992).

Základní rysy jesenické části Českého masívu, jehož součástí je také povodí Bílé Opavy, tedy byly utvářeny v prvohorách, kdy sedimenty, doposud ukládané v mohutné sníženině, byly v období variského vrásnění postiženy rozsáhlou horotvornou činností. Variské vrásnění se projevilo podsouváním litosférické desky s devonským a spodnokarbonským pokryvem pod desku moldanubika a západosudetské oblasti. Průvodním jevem jsou také proniky variských granitoidů do starších komplexů. (Povodí Odry, s.p., 2005). Variská orogeneze se také projevuje v převládajícím (severovýchod-jihozápad) směru zlomů, kleneb (desenská a keprnická) a souvrství, jež tvoří a prostupují Hrubý Jeseník.

Po ukončení variských pohybů se nově zformované území stalo součástí velké západoevropské epivariské platformy a variský fundament prodělal mezi karbonem a miocénem dlouhé období zvětrávání a odnosu, kdy bylo území zarovnááno subaerickými pochody v povariskou parovinu.

Novou fází vývoje pak Český masív prošel během třetihorního alpínského vrásnění. Na tuto orogenetickou činnost je vázána také neovulkanická činnost a soubor tektonických pohybů, díky kterým byly obnoveny staré tektonické poruchy a vytvořeny příčné zlomy ve směru severozápad – jihovýchod.


Obrázek č.3: Geologická mapa povodí Bílé Opavy



0 1 000 2 000 4 000 m



 Hranice povodí

 Řeka

Zlomy

 zlom zjištěny

 zlom předpokladany

Typ horniny

 fylity, svory

 bridlice, droby, kremence, vapence

 bridlice, svory, ruly, pararuly

 amfibolity, diabasy, melafyry, porfyry

Zdroj dat: <http://geoportal.cenia.cz>

Čtvrtohorní geologický vývoj je charakterizován především pleistocénní sedimentací ledovcových usazenin a mrazovým zvětráváním v předpolí pevninského ledovce, který pronikl v mindelském a rozsáhlejším sálském glaciálu do oblasti Opavska a úpatí Jeseníků ze Slezské nížiny. Oblast povodí povodí patřila k periglaciální zóně. Výsledkem zalednění byl vznik poměrně mocných eluvií a deluviofluviálních sedimentů.

Pro svrchní pleistocén a holocén jsou pak běžné také deluviální a fluviální holocénní sedimenty. Místa jsou zde také zastoupeny deluvioeolické sedimenty a recentní eolické

sedimenty – především sprašové hlíny. Jako zvláštní geologický jev lze uvést přítomnost postglaciálních rašelinišť na plochých hřbetech Hrubého Jeseníku.

Z hlediska ložiskové geologie je známé ložisko měděné rudy v Ludvíkově. Ložisko je tvořeno křemennou žilou, o mocnosti až 8m, uloženou JV – SZ směrem v horninách vrbenské skupiny. Žíla je tektonicky porušena, leží na větvi systému paralelního s bělským zlomem. Ložisko bylo v minulosti předmětem těžby. (Povodí Odry, s.p., 2005)

3.3 Hydrogeologické poměry

Povodí Bílé Opavy náleží z hlediska hydrogeologické rajonizace k hydrogeologickému rajonu č.643: Krystalinikum Východních sudet.

Toto území dle Kamenského charakterizujeme jako hydrogeologický masív, kde zvodnění určují tektonicky porušené zóny a pásma podpovrchového rozpukání. Zvodnění ubývá s hloubkou.

Podzemní voda je v dané oblasti vázaná na kvartérní pokryv nebo zvětralinový plášť a na otevřené pukliny buď v dosahu podpovrchového zvětrávání nebo v otevřených nezatěsněných puklinových a zlomových zónách. Obecně se však jedná o území s relativním nedostatkem podzemní vody. Malá propustnost a akumuláční schopnost hornin je ale především v oblastech výše položených kompenzována srážkami. Obvyklé jsou puklinové prameny v údolích, většinou daných výhodnou tektonickou expozicí území (např. pramen u Karlovy Studánky s vydatností několika desítek $l s^{-1}$), o vydatnosti několika setin až desetin litru za sekundu. Výjimečně jsou vydatnosti větší tam, kde dochází k drenáži významných zón rozpukání (Květ, 1978).

Převážná část povodí Bílé Opavy tedy patří k hydrogeologickému masívu s puklinovým oběhem podzemních vod, s proměnlivým podílem průlomové porozity v pásmu připovrchového rozpukání a rozpojení hornin. Jde o fylity, metagranity, kvarcity desenské popř. vrbenské skupiny, fylity vrbenské skupiny v oblasti Karlovy Studánky či ruly a blastomylonity. Obecně se jedná o krystalinikum Hrubého Jeseníku a obalové devonské série. Koeficient transmisivity T se pohybuje okolo 10^{-5} až $10^{-4} m^2 s^{-1}$. Díky nepříznivým mechanickým vlastnostem se oběh podzemních vod děje jen po puklinách, jež nejsou sepjaty či působením tlaků sevřeny.

Průlinový kolektor pak tvoří fluvialní hlinitopísčité až štěrkovité sedimenty kvartérního stáří, lokalizované v údolních nivách. Mezi oblasti s průlinovým oběhem podzemních vod řadíme především část údolí Bílé Opavy v okolí Karlovy Studánky a

středního toku. Index transmisivity T kolísá od 10^{-4} do $10^{-3} \text{m}^2 \text{s}^{-1}$. Zásoby podzemní vody jsou doplňovány infiltrací srážek či břehovou infiltrací a k odvodnění dochází infiltrací do vodních toků (Müller, 1992).

Propustnost hornin závisí především na petrografickém složení, tektonických poruchách a rozpukání hornin. Dobré infiltraci napomáhají polohy sutí, do kterých se srážková voda poměrně dobře vsakuje.

V Oblasti hydrogeologického masívu se vyskytují prakticky jen prosté vody hydrogenuhličitanového typu. V povodí jsou zastoupeny také uhličitě typy minerálních vod (kyselky), vyskytující se v devonských horninách Hrubého Jeseníku. Vývěry těchto vod jsou vázány na radiální tektonické zlomy či puklinové zóny. Jednotlivé zdroje jsou produktem složité geologické historie území, jeho geomorfologických popřípadě hydrografických a klimatických poměrů. K výstupu minerálních vod dochází např. v Karlově Studánce (prameny Petr a Vladimír leží při bělském zlomu) či Ludvíkově (Květ, 1978).

Hydrogeologické a geologické poměry území – především stupeň propustnosti hornin, jejich akumulární schopnosti a vlastnosti zvětralinového pláště – ovlivňují vsak spadlé srážkové a odtékající vody, podílí se na tvorbě podzemního odtoku a zásob podzemních vod a ovlivňují napájení řek.

3.4 geomorfologické poměry

Oblast Povodí Bílé Opavy je z geomorfologického hlediska součástí provincie Česká vysočina, soustavy Krkonošsko-Jesenické, konkrétněji Jesenické podsoustavy. V rámci této jednotky je povodí tvořeno geomorfologickým celkem Hrubý Jeseník.

Obrázek .č.4: Údolí Bílé Opavy v NPR Praděd



Zdroj dat: Autorka

Masív Hrubého Jeseníku je zároveň hlavní orografickou jednotkou oblasti, představuje západní hraniční pohoří České vysočiny a k jednotce Nizkého Jeseníku klesá strmými srázy

(Brosch, 2005). Hornatina Hrubého Jeseníku je tvořena zaoblenými horskými hřbety, rozřezanými hlubokými údolími. Vrcholem Praděd (1491 m n. m.) dosahuje nejvyššího bodu v rámci celého horního povodí Opavy. Na zájmové území zasahuje celek Pradědskou hornatinou (střední nadmořská výška 888 m n. m.) a Medvědskou hornatinou (střední nadmořská výška 815 m n. m.) (Weissmannová, 2004). Detailněji se povodí nachází v severní a střední části Pradědské hornatiny – v Pradědském a Vysokoholském hřbetu, jihovýchodní část je součástí Karlovarské vrchoviny, a v jižní části Medvědské hornatiny – ve Vrbenské vrchovině.

Pradědský hřbet má charakter členité hornatiny budované převážně horninami pradědské kry desenské klenby a série červenohorského sedla – rulami, fylity a kvarcity. Nejvyšší vrchol Praděd vystupuje nad horní hranici lesa. Na svazích jsou četné kryoplananční terasy a mrazové sruby. Hřbet je prameništěm několika toků, mimo Bílé Opavy např. řeky Desné (Demek, 1992).

Vysokoholský hřbet je hlavním hřbetem Hrubého Jeseníku, má charakter vyzdvižené zlomové kry budované pararulami, kvarcity vrbenských vrstev a migmatity. Reliéf byl modelován převážně kryogenními pochody, v oblasti jsou četné periglaciální jevy, izolované skály, balvanová moře aj. Nejvyšší vrcholy jsou Vysoká Hole (1464 m n. m.) a Petrovy kameny (1438 m n. m.).

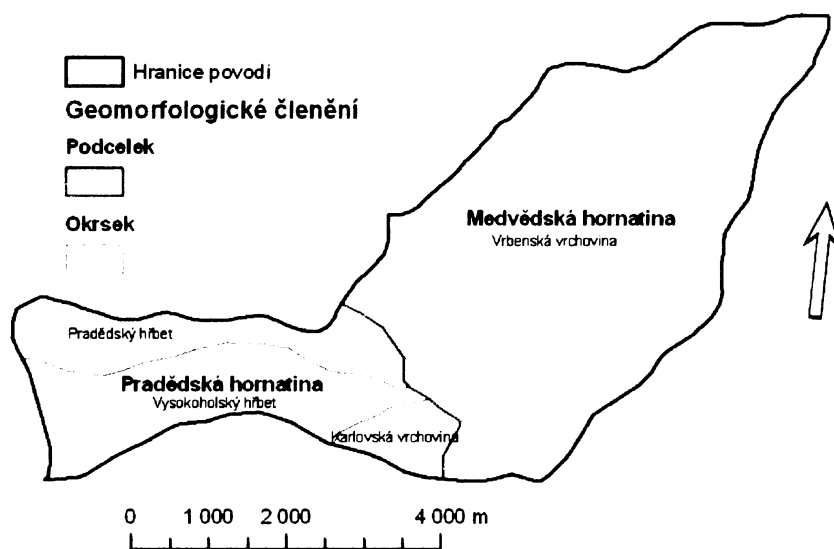
Také Medvědská vrchovina se vyznačuje složitou kernou stavbou, kdy původní paleogenní povrch byl tektonickými pohyby rozlámán a vyzdvižen, s hlubokou údolní sítí. Je tvořena především metamorfity. Svahy i vrcholové oblasti a plošiny byly modelovány kryogenními pochody, vyskytují se zde periglaciální jevy. Nejvyšším vrcholem je Medvědí vrch (1216 m n. m.) (Weissmannová, 2004).

Geomorfologický vývoj české oblasti je odrazem složité geologické minulosti popisovaného území. Dnešní povrchové tvary jsou výsledkem vzájemného působení endo a exogenních sil, výraznou měrou se také podílely změny klimatu, kdy se od druhohor střídaly různé typy podnebí.

Oblast české vysočiny byla po doznění variské orogeneze postižena rozsáhlou peneplenizací a reliéf získával konečnou podobu koncem neogénu. Mladší orogenetická činnost a tektonika dotvářela celkový reliéf především ve formě kerných posunů, členěním na různě denudované segmenty a částečně také vulkanickou činností (Brosch, 2005). Jedná se především o třetihorní alpínské vrásnění a saxonskou tektoniku, během které byly obnoveny tektonické poruchy a vytvořeny příčné zlomy ve směru severozápad – jihovýchod. V modelaci dnešního reliéfu se také významně uplatnilo mrazové zvětrávání a kryogenní

pochody v předpolí pevninského ledovce v dobách ledových v pleistocénu. Odrazem těchto pochodů jsou např. skalní stupně - vzniklé kryogenním zvětráváním a odnosem, kryoplanační terasy a izolované skály - vzniklé mrazovým zvětráváním podél příčných puklin. Periglaciální zvětrávání na údolních svazích mělo za následek hromadění zvětralín, které vodní toky nebyly schopny unášet. Při úpatí údolního svahu Bílé Opavy v Karlově Studánce byla vrty zjištěna mocnost haldy až 32 m. (Královec, 2006). Mezi další typické tvary patří strukturní půdy, pseudokary a skalní hradby.

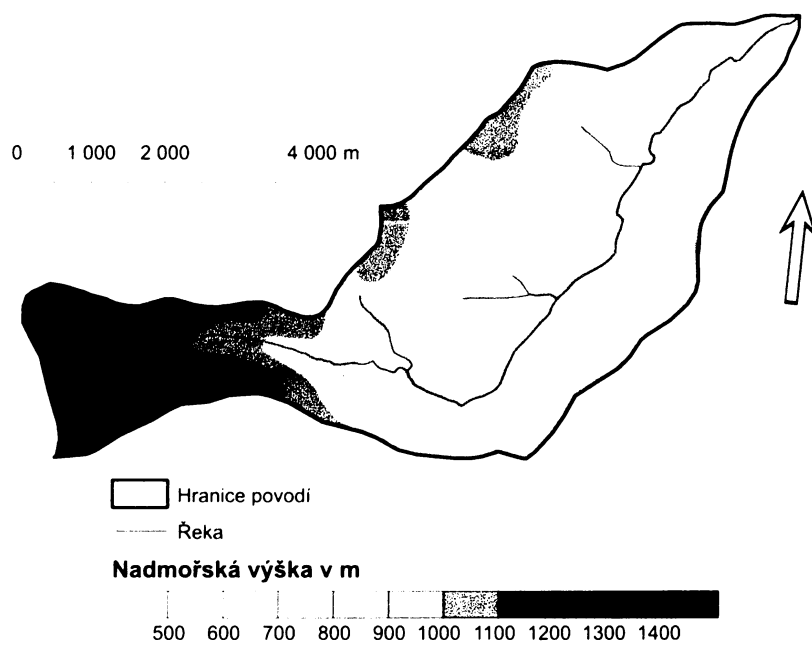
Obrázek č.5: Geomorfologické členění zájmové oblasti



Zdroj dat: ArcČr, Arcdata

Rozvodnice povodí Bílé Opavy probíhá po hřbetech a sedlech Hrubého Jeseníku. Samotný tok pak protéká hluboce zaříznutým údolím s příkrými svahy, jehož horní část je budována převážně rulami, dolní část pak břidlicemi a křemenci. Vznik této hluboké sníženiny byl podmíněn tektonickou činností v geomorfologickém vývoji oblasti. (Výzdvih ker a vznik zlomových linií oživil erozi vodních toků). Nesourodost hornin, jejich nepravidelné vrásnění a odlišná odolnost vůči vodní erozi způsobila značně nerovnoměrné vyhloubení dna i celého údolí. Takto na dně řečiště vznikají přirozené výškové stupně, jež Bílá Opava překonává řadou vodopádů, kaskádami a přejeji. Největší vodopád má výšku 7,9 m a řeka tímto vodopádem a na něj navazujícími přejeji překonává na úseku 40m výškový rozdíl 16,4m. Na obou březích při úpatí svahů se nacházejí skalní výchozy.

Obrázek č.6: Hypsografie v povodí Bílé Opavy.



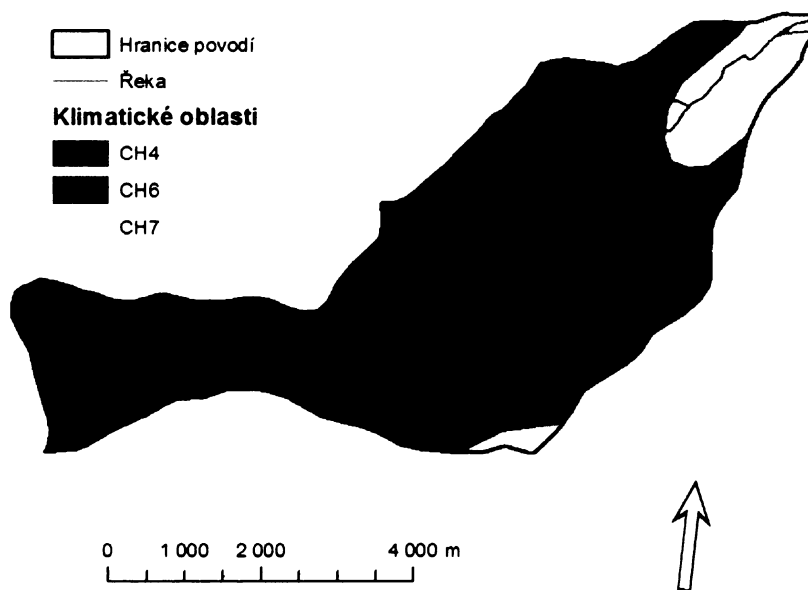
Zdroj dat: Arc ČR, Arc data

3.5 Klimatické poměry

Základní ráz klimatu je určen polohou zájmové oblasti v evropském mírném podnebném pásu se čtyřmi ročními dobami. Podnebí je dále ovlivněno poměrně vysokou nadmořskou výškou, expozicí svahů, lesnatostí i vodními poměry. V oblasti se setkává západní hranice kontinentálního klimatu s doznívajícími vlivy klimatu atlantického. Celkově se území vyznačuje značnou proměnlivostí počasí díky pestrému georeliéfu. Během roku většinou převládá vliv vzduchových hmot mírných šířek, krátkodobě se projevuje i vliv chladných arktických šířek od severu, či teplejších hmot z jihu. (Weissmannová, 2004).

3.5.1 Klimatické oblasti

Obrázek č.7: Klimatické oblasti v povodí Bílé Opavy



Zdroj dat: Digitalizováno dle. QUITTA (1971)

V povodí je dle E. Quitta (1971) zahrnuta pouze chladná klimatická oblast. Ve vrcholových oblastech území, především v okolí Pradědu jde o oblast CH4 s velmi krátkým, chladným a vlhkým létem a velmi dlouhou, chladnou a vlhkou zimou s velmi dlouhou sněhovou pokrývkou. Přejídná období jsou zde velmi dlouhá a chladná.

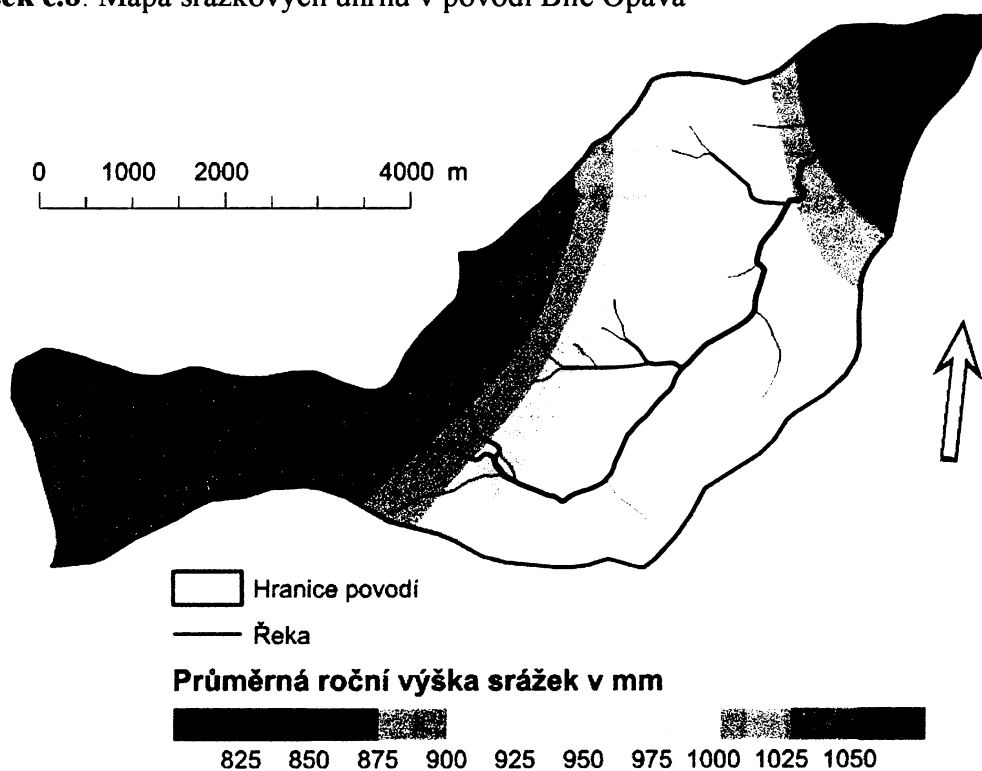
Ve většině povodí je zastoupena oblast CH6 s velmi krátkým až krátkým, mírně chladným, vlhkým létem a velmi dlouhou, mírně chladnou, vlhkou zimou s dlouhým trváním sněhové pokrývky. Přejídná období jsou dlouhá, chladná až mírně chladná.

Okrajové části povodí jsou zahrnuty v oblasti CH7 s velmi krátkým, mírně chladným, vlhkým létem a dlouhou, mírnou, mírně vlhkou zimou s dlouhou sněhovou pokrývkou. Přechodná období jsou zde dlouhá s mírně chladným jarem a mírným podzimem. Charakteristiky jednotlivých klimatických oblastí jsou uvedeny v příloze.

3.5.2 Srážky

Celkové množství srážek a jejich rozmístění je určeno především nadmořskou výškou oblasti, atmosférickou cirkulací vzduchu a lokální závětrnou či návětrnou polohou vůči dešťonosným větrům. Obecně v zimním půlroce (říjen – březen) dochází k hlavním přechodům frontálních systémů a tlakových níží s vrstevnatou oblačností a menšími celkovými úhrny. V letním půlroce (duben – září) převládá výstupní konvenční proděni, vzniká vrstevnatá až bouřková oblačnost a srážky jsou intenzivnější.

Obrázek č.8: Mapa srážkových úhrnů v povodí Bílé Opavy



Zdroj dat: Digitalizováno dle podkladů Povodí Odry, s.p.

Celkové rozložení úhrnů srážek v povodí je uvedeno na obrázku č.8. V nejnižších polohách při ústí Bílé Opavy se srážky pohybují od 800 do 900 mm a s nadmořskou výškou se zvyšují. V celé střední části, téměř 50% území, se roční srážkové úhrny pohybují od 900 do 1000 mm. V nejvyšších polohách se pak srážky pohybují nad 1000 mm, avšak mohou zde

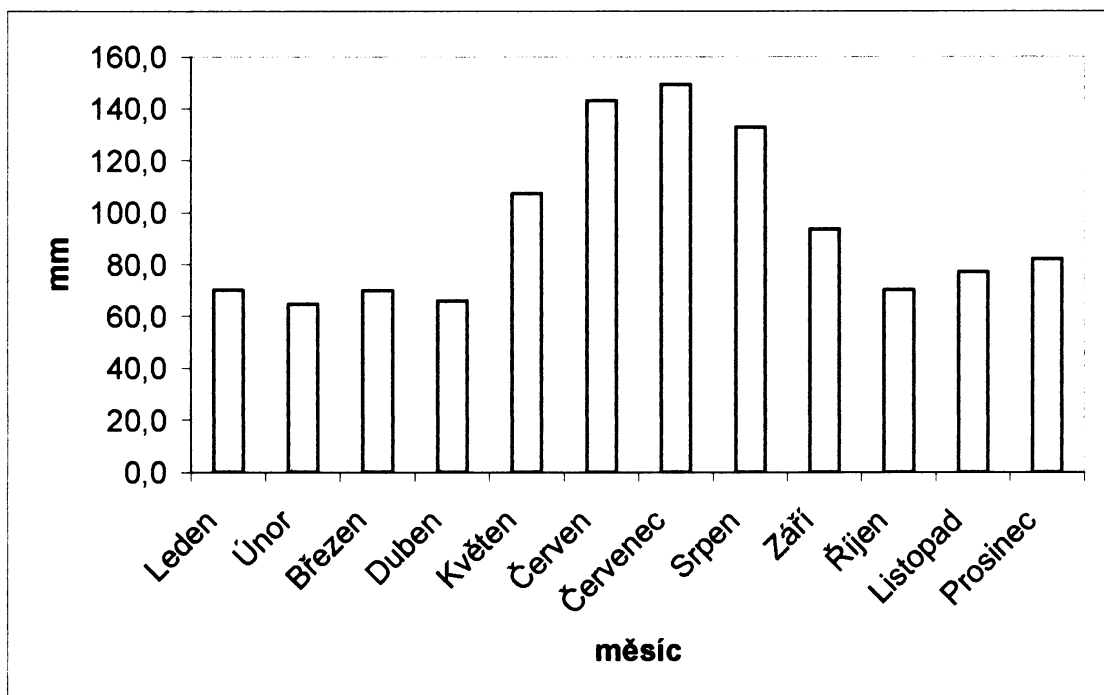
zaznamenat úhrny i přes 1100 mm za rok. Rozložení srážek je tedy závislé na nadmořské výšce a lokální expozici svahů. Obecně je západní část povodí srážkově bohatší.

V povodí Bílé Opavy se v současné době nachází pouze jedna klimatologická stanice – Karlova Studánka (780 m n. m., 50°4' s.š., 17°18' v.d., činnost zahájena 1.4.1999), která vypovídá o srážkových úhrnech ve střední části povodí. Výsledné hodnoty jsou dány údolní polohou a ve srovnání s pramennou oblastí nižšími nadmořskými výškami.

O chodu srážek ve vrcholových oblastech vypovídá profesionální stanice Praděd (1491 m n. m., 50°5' s.š., 17°14' v.d.), která však ukončila svou činnost v září 1997.

Mezi srážkově nejbohatší měsíce patří květen až srpen s průměrnými úhrny nad 100 mm měsíčně ve vrcholových oblastech, ve střední části pak kolem 90 mm měsíčně. Minimální úhrny přináší měsíce leden až duben a říjen. Měsíční chod srážek se však vyznačuje značnou rozkolísaností, např. v měsíci dubnu mohou být zaznamenány větší srážkové úhrny než v květnu. Letní srážky mají také často charakter bouřkových lijáků a přivalových dešťů. Pro odtok jsou také důležité regionální deště trvající 6 hodin až pět dní. Obecně tedy spadne nejvíce srážek na konci jarního a v letním období, minimální srážky pak v období zimním a na počátku jara. Maxima jsou v průměru dosahována v červenci, minima v únoru. Srážky jsou vázány především na přechody frontálních systémů a výskyt tlakových níží.

Obrázek č.9: Průměrné měsíční srážkové úhrny ve stanici Praděd (1961 – 1996)

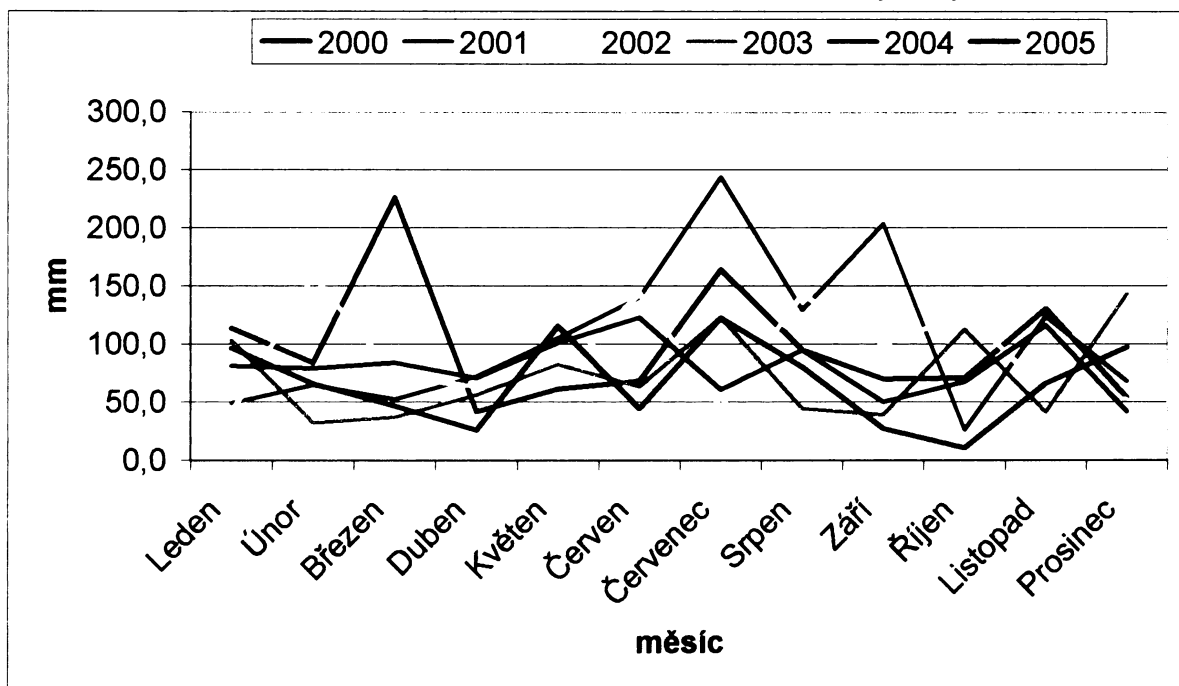


Zdroj dat: ČHMÚ

K nejdeštivějším létům dle dat ČHMÚ z klimatologických stanic v povodí Opavy (při srovnání s klimatologickými stanicemi Praděd a Karlova Studánka) patřily roky 1965-1968, 1977, 1980-1981 a 1996. Dále pak léta 2001 a 2002, které byly spojeny s povodněmi v letním období. Celkově však není neobvyklé, že srážkově bohatá léta střídají suchá období (rok 2003).

Rok 1997 se vyznačovala extrémními srážkami, které byly příčinou ničivých povodní. Na extrémních průtocích se projeví také vyšší úhrny srážek v předchozím roce, tzn. povodí bylo více nasyceno vodou. Za období 1.1.1997 – 30.8.1997 stanice zaznamenala celkově vyšší srážkové úhrny než je roční průměr za celé předchozí období. Příčiny jsou objasněny v kapitole extrémní průtoky.

Obrázek č. 10: Roční chod srážek na stanici Karlova Studánka ve vybraných letech



Zdroj dat: ČHMÚ

Srážky jsou důležitým zdrojem vodnosti řek a potoků v povodí Bílé Opavy. Roční chod srážek má tedy výrazný vliv na tvorbě odtoku. Na maximální úhrny srážek jsou vázány povodně a zvýšené průtoky.

3.5.3 Teploty

Průměrná roční teplota se pohybuje ve vrcholových částech povodí okolo 2°C, v nižších polohách okolo 5 až 6°C, nejchladnějším měsícem je leden (minima dosahována na Pradědu a vrcholových částech, průměrná měsíční teplota zde klesá pod -6°C), nejteplejším

měsícem je červenec (maxima v nejnižších polohách, průměrná měsíční teplota se pohybuje mezi 13 – 14 ° C). Celkově nejdrsnější klima má oblast Pradědu, kde je možnost mrazů po celý rok a letní dny s teplotou vyšší než 25°C se téměř nevyskytují.

Roční chod teploty vzduchu je velmi proměnlivý. V dlouhodobém průměru teplota stoupá od poloviny ledna s několika kratšími návraty zimy (ochlazení v půlce února, na počátku března a na počátku dubna). Další chladná vlna se objevuje v květnu, její nástup je ale značně nepravidelný. Teploty vzduchu k ránu mohou klesat pod bod mrazu. Při jarních ochlazeních může docházet až k mrazovým kalamitám. Znatelné ochlazení, trvající do konce června, přináší studený vlhký vzduch z Atlantiku. Pokles teplot je zaznamenáván v září, občas s ranními mrazíky. Koncem září dochází ke zvýšení průměrných teplot s nižší teplotou během noci než ve dne. Mírné oteplení se objevuje koncem listopadu a koncem prosince.

Obecně je jarní období výrazně chladnější než zimní, vlivem promrzání půdy v zimním období a dlouhodobé sněhové pokrývky, která povrch ochlazuje.

Každoročně se v oblasti objevují inverze, kdy ve vyšších polohách je teplo a slunečno, zatímco v údolních polohách jsou v důsledku hromadění chladného vzduchu nižší teploty.

3.5.4 Další charakteristiky

Celé území patří do oblasti s dlouhým či velmi dlouhým trváním sněhové pokrývky. První sněžení se na Pradědu může objevovat již na počátku září (v ostatních vrcholových polohách dle atlasu podnebí ČR již koncem května), poslední koncem června (v ostatních vrcholových polohách v polovině října). Souvislá sněhová pokrývka ve vyšších polohách trvá v dlouhodobém průměru od 30.11 do 19.4, mocnost dosahuje svého maxima v únoru či březnu. Výška sněhové pokrývky a její vodní hodnota mají zásadní vliv na tvorbě odtoku v jarních měsících, kdy vzniká pravidelná jarní povodeň.

Obrázek č.11: Údolí Bílé Opavy v NPR Praděd



Zdroj dat: Autorka

V oblasti převládá západní, jihozápadní a severozápadní proudění. Vrcholové oblasti patří k největrnějším místům, zvláště pak pramenná oblast Pradědu. Průměrná rychlost větru je zde vyšší než 5 ms^{-1} . Nejnižší rychlosti větru jsou spojeny s letním obdobím, naopak v zimě může rychlost překročit 7 ms^{-1} . Směrem do nižších poloh pak síla i rychlost větru klesá. Ve vyšších polohách vítr často způsobuje škody prostřednictvím rozsáhlých polomů. Příkladem je devastace lesních porostů v údolí Bílé Opavy v roce 2004. (Obr. č.11)

3.6 Půdní poměry

Půdní poměry povodí Bílé Opavy jsou dány především odlišnou geologickou stavbou v různých částech povodí, georeliéfem, dlouhým geomorfologickým vývojem, klimatem, vodním režimem aj. Na většině území převládají dva půdní typy: kambizemě a podzolové půdy. Podél toku se v poměrně úzkém pruhu vyskytuje fluvizem.

Ve vrcholových částech povodí - v pramenné části Bílé Opavy - se ve velmi vlhkém a chladném klimatu na kyselých metamorfovaných horninách vyvinuly procesem podzolizace horské podzoly (podzoly kambické). Vývoj těchto mělkých až středně hlubokých půd je vázán na intenzivní vyplavování, kdy se ve velmi kyselém prostředí rozkládají prvotní minerály a oxidy železa i hliníku se přemísťují s dešťovou vodou do spodiny. Pod humusovým horizontem leží šedobílý horizont eluviální, který hlouběji přechází v okrový až rezivý horizont iluviální. (Tomášek, 2003). Tyto půdy jsou mírně propustné.

Ve vyšších polohách se na stejném podloží vyskytují rezivé půdy – kryptopodzoly, navazující na podzolové půdy. Vznikají vnitropůdním zvětráváním, doprovázeným uvolněním seskvioxidů, jenž ale nejsou přemísťovány. Pod humusovým horizontem leží rezivý iluviální podzolový horizont. Jedná se opět o půdy mírně propustné.

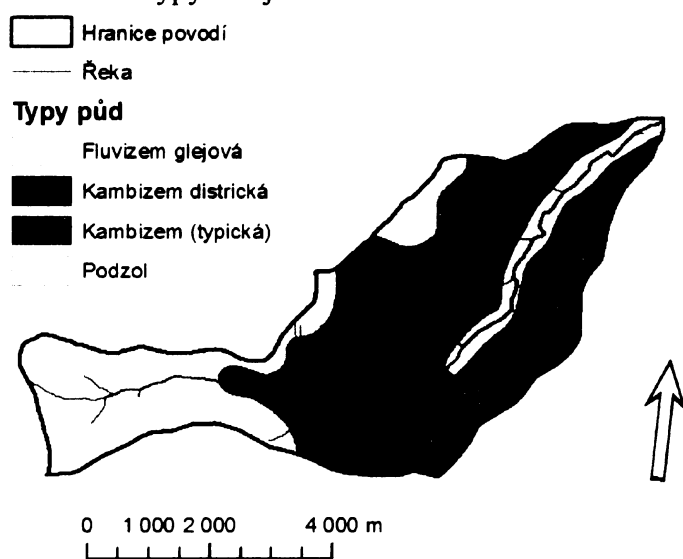
V nižších polohách jsou na kyselých stanovištích povodí zastoupeny kambizemě podzolované - dystrické, doprovázené kyselou kambizemí typickou. Jsou to mělké až středně hluboké půdy, místy značně skeletovité, mírně propustné. Společným znakem je hnědý až rezavě zbarvený kambický horizont (uložený pod poměrně mělkým humusovým horizontem) v němž probíhá vnitropůdní zvětrávání prvotních minerálů a uvolnění železa či hliníku. Dále zde dochází k procesu tvorby a přeměny jílu. Půdy mají vysokou pórovitost a dobrou vnitřní drenáž.

Fluvizem je nejméně zastoupeným půdním typem v povodí. Jsou vázány výhradně na nevápnité nivní uloženiny – říční a potoční náplavy. Vyplňují rovinatá dna říčních údolí. Jejich vznik byl periodicky přerušován akumulací činností vodního toku při záplavách, při

kterých byl na tvořící se půdu ukládán nový nános zeminného materiálu. Pod nevýrazným humusovým horizontem leží přímo matečný substrát (naplaveniny). Jsou to vývojově velmi mladé půdy, nízké až velmi nízké propustnosti. (Tomášek, 2003)

Půdy ovlivňují především přechod povrchového odtoku v podzemní, tzn. ovlivňují intenzitu vsakování do podloží hornin a zvětralin. Míra propustnosti půd je dána zrnitostí, strukturou, obsahem humusu, solí, stavem vlhkosti atd. (Netopil, 1987) V povodí Bílé Opavy převažují půdy mírné propustnosti, což sice přináší menší náchylnost půd k erozi, ale zároveň srážková voda hůře infiltruje do půdy.

Obrázek č.12: Půdní typy v zájmové oblasti



Zdroj dat: Digitalizováno dle Zprávy o charakterizaci povodí Odry, 2005

3.7 Biogeografie a krajinný pokryv

Z hlediska biogeografického členění České republiky náleží zájmová oblast povodí do provincie střeoevropských listnatých lesů, podprovincie hercynské, bioregionu Jesenického, který zabírá kromě geomorfologického celku Hrubý Jeseník také celky Kralický Sněžník, Rychlebské hory a část Zlatohorské vrchoviny.

Biota území je ovlivněna především starým, různorodým geologickým podložím (převažují kyselé krystalické břidlice a hlubinné vulkanity), na nichž se vyvinuly kyselé, na živiny nepřiliš bohaté půdy (Culek, 1996). Na celkové rozmanitosti, rozmístění potenciální přirozené vegetace a vytváření mozaiky nelesních typů náhradní přirozené vegetace se podílí také různost dalších ekologických podmínek, např. modelace reliéfu, klima či vliv člověka (Weissmannová, 2004).

Potenciální přirozená vegetace převážné části povodí odpovídá květnatým bučinám. V nižších polohách, převážně v oblasti východně od Karlovy Studánky, jde především o bučiny s kyčelnicí devítilistou (*Dentario enneaphylli* – Fagetum). Vyšší polohy, převážně západní část povodí (na oligotrofních podkladech), se pak vyskytují acidofilní bučiny a jedle (*Calamagrostio villosae* – Fagetum), které v nejvyšších polohách pokračují do přirozených třtinových smrčín (*Calamagrostio villosae* – Piceetum), místy s výskytem podmáčených rohovcových smrčín (*Mastigobryo* – Piceetum, *Sphagno* – Piceetum). Na něj navazuje přirozené subalpínské bezlesí - komplex společenstev kosodřevin a alpínské vegetace (Culek, 1996).

V dnešní vegetaci se na biotopech květnatých i smrkových bučin s klenem a jilmem v některých oblastech vyskytují druhotné smrčiny. Původní klimaxové smrčiny pralesovitého charakteru, které byly v Hrubém Jeseníku vyvinuty v polohách nad 1100 m n. m. (s výskytem tzv. jesenického smrku s úzkou válcovitou korunou a esovitě prohnutými větvemi) se zachovaly v údolí horního toku Bílé Opavy – NPR Praděd. Tyto zachovalé původní porosty jsou chráněny státem. (Oblast spadá pod CHKO Jeseníky, NPR Praděd, Přírodní rezervace Bílá Opava). Horní hranice lesa sahá do 1250 až 1300 m n. m. (Kunský, 1968). Zvláštností Jeseníků je absence autochtonní kleče. Horní hranice lesa tedy v nejvyšších polohách navazuje přímo na bezlesí alpínského charakteru (Culek, 1996). Území zahrnuje vegetační stupně od 4. bukového po 8. subalpínský.

Obrázek č.13: Naučná stezka Bílá Opava



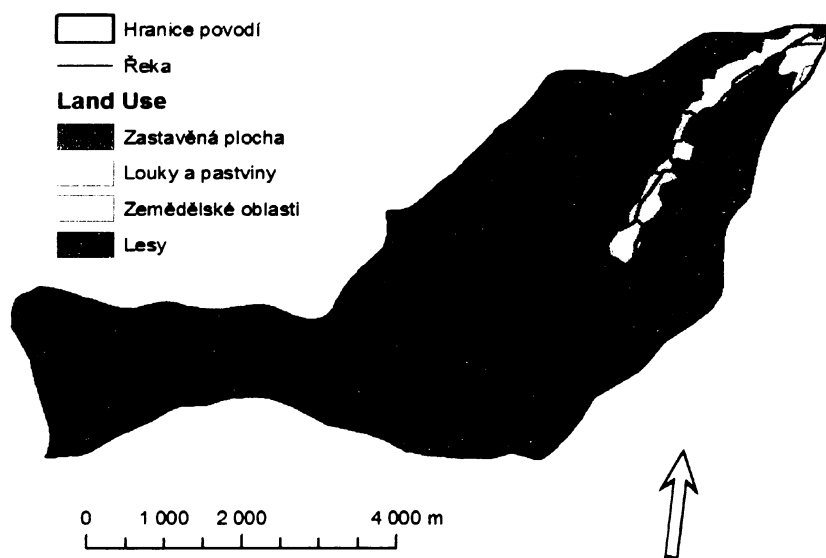
Zdroj dat: Autorka

V roce 2004 byla střední část údolí Bílé Opavy poničena velkou vichřicí, která vyvrátila smrkový porost na ploše více než 6 ha. Přestože narušila smrkový lesní komplex, umožnila nástup přirozeného smíšeného lesa smrku s klenem a bukem.

V rámci bioregionu je pak povodí zahrnuto ve fyto geografické oblasti oreofytikum (chladnomilná květena), obvodu České oreofytikum a fyto geografickém okresu 97 – Hrubý Jeseník. Na území převládají středoevropské horské druhy, např. třtina chloupkatá či žebrovice různolistá. V blízkosti Petrových kamenů rostou dva endemické druhy - lipnice jesenická a zvonek jesenický (Culek, 1996). Ze vzácných a chráněných druhů se v povodí vyskytují např. mléčivec alpský, stračka vyvýšená či oměj šalamounek.

Jesenický bioregion je charakterizován hercynskou horskou faunou montánního až subalpínského stupně. V povodí se vyskytuje řada druhů obratlovců: čolek karpatský, skorec vodní či celoevropsky ohrožený jeřábek lesní. Údolí Bílé Opavy patří z entomologického hlediska mezi nejcennější lokality České republiky, vyskytuje se zde přes 500 druhů brouků a 400 druhů motýlů, např. výskyt osenice mramorované či dřevobarvce bolševnikového. Pro společenstva alpských holí jsou charakteristické endemické druhy okáče horského či sudetského. Tekoucí vody patří do pstruhového pásma.

Obrázek č.14: Využití půdy v zájmovém území



Zdroj dat: www.merkur.nature.cz

Území má charakter krajiny s vysokým podílem lesních porostů, výrazná je dominance jehličnatých lesů, v nižších polohách se vyskytují segmenty lesa smíšeného. Celkově je 94 % procent ploch zalesněno. Přirozená lesní vegetace byla v několika oblastech nahrazena stanovišti nepůvodních kultur či přeměněna na louky a pastviny. Pole, louky a pastviny však nezabírají příliš velké rozlohy povodí – do 0,1% z celkové rozlohy, převážně jsou situovány do oblasti Ludvíkov – Vrbno pod Pradědem. Osídlení je pozdní, středověké a

vyšší polohy jsou bez trvalých sídel. Zástavba zabírá 1,4% z celkových ploch. Zemědělské oblasti jsou situovány v okolí Vrbna pod Pradědem a Ludvíkova a představují asi 4,3% plochy. Při srovnání využití ploch v letech 1990 a 2000 dochází pouze k menším, nevýznamným změnám.

3.8 *Hydrologie*

Tok Bílá Opava pramení na jižním svahu Pradědu (1491 m n. m.), konkrétněji v sedle mezi Pradědem a Petrovými kameny (1438 m n. m.) v nadmořské výšce kolem 1300 m n. m., a od pramene pak teče východním směrem. Po přibližně 2 km řeka vytváří výrazný stupeň (tzv. Velký vodopád) a protéká hluboce zaříznutým údolím, které opouští nad Karlovou Studánkou. Zde překonává umělý vodopád, výrazně se stáčí k severovýchodu a otevřenějším údolím pokračuje přes Ludvíkov k Vrbnu pod Pradědem kde asi po 13,5 km ústí v nadmořské výšce 544 m n. m do Střední Opavy.

Bílá Opava je nejmenší ze tří zdrojnic řeky Opavy a pravobřežním přítokem Opavy Střední. Jedná se o horský tok s velkým energetickým potenciálem, protékající zástavbou menších sídel v dolní části Hrubého Jeseníku. Vyznačuje se, především v horní a střední části, obvykle značným a nepravidelným sklonem, se značným pohybem splavenin a s náhlými změnami průtoků. Průměrný spád je téměř 5,5%. Průměrný roční průtok v ústí je $0,45\text{m}^3\text{s}^{-1}$ (Hydrologické poměry ČSSR I, 1965).

Na svém horním toku nad Velkým vodopádem má řečiště klidnější charakter, bez peřejí, místy vytvářející údolní nivu. Pro celou dolní část údolí až ke Karlově Studánce je charakteristická řada peřejí, kaskád a vodopádů, střídané tůněmi a občasné větvení toku do více ramen.

Bílá Opava je tokem šterkonosným, nacházející se blízko zdroji rozpadajících se hornin. Šterky jí procházejí již jako opracované valouny s velkým rozkyvem v rozměrech. Šterky jsou zachycovány úpravami – šterkovými přepážkami – pouze minimálně, dochází tedy k jejich přesunům do upravených částí toků, kde se usazují.

Na svém horním toku přijímá Bílá Opava 2 hlavní přítoky bystrinného charakteru – Ovčárenský a Pradědský potok, stékající z úbočí Pradědu a Vysoké Hole. Další přítoky jsou převážně plošné ze svahů údolí. Místně (především v oblasti Karlova Studánka – Ludvíkov) mají charakter dravých bezejmenných horských bystrin s krátkými nekapacitními koryty na úbočích hor, pramenících v nadmořských výškách okolo 1200 – 800 m n. m. (Povodí Odry, s.p.).

4 Hydrografické charakteristiky povodí

4.1 Základní charakteristiky povodí

Povodím Bílé Opavy rozumíme území, z něhož odtéká voda atmosférických srážek či voda akumulovaná ve sněhové pokrývce povrchovou i podzemní cestou do závěrového profilu (Netopil, 1984).

Předpokladem hydrologického rozboru je znalost základních vlastností povodí. Je charakterizováno geometrickými vlastnostmi, říční soustavou a dalšími fyzickogeografickými poměry. K první skupině řadíme nejdůležitější charakteristiku – plochu povodí, jeho tvar a vzrůst ve směru toku. K druhé skupině řadíme uspořádání říční sítě, hustotu říční sítě a její složení. K dalším poměrům pak řadíme především klimatické, orografické, půdní a geologické poměry, které jsou popsány v předchozích kapitolách (Dub, 1963).

Pro srážko-odtokové procesy má největší význam především tvar povodí a uspořádání říční sítě.

Plocha povodí – je nejvšeobecnější charakteristikou řeky. Má bezprostřední vliv na odtok a rozhoduje také o jeho velikosti. Plocha povodí Bílé Opavy má hodnotu 27,544 km² - jde tedy o malé povodí. O vývoji plochy povodí dává představu graf vývinu plochy povodí - kruhový, kde jsou vyjádřeny jednotlivé podíly levé či pravé plochy povodí na celkové ploše. (viz příloha).

Tvar povodí – vyplývá z uspořádání říční sítě a má velký vliv při vzniku průtoku v řece po spadnutí srážek.

Nejjednodušším vyjádřením tvaru povodí je **charakteristika povodí α** – poměr průměrné šířky povodí \bar{S} k délce L . Délkou povodí rozumíme přímkovou vzdálenost mezi závěrovým profilem a nejvzdálenějším místem v povodí. Charakteristiku lze také počítat jako poměr plochy povodí F ke čtverci délky povodí L . Na základě této charakteristiky rozlišujeme povodí spíše protáhlého typu či vějířovitého typu.

$$\alpha = \frac{F}{L^2}$$

Hodnota charakteristiky α pro povodí Bílé Opavy - s délkou 13,5 km - je rovna **0,15**. Zájmové území má tedy protáhlý tvar, což je patrné i z běžného pohledu do mapových příloh.

O míře protáhlosti či kruhovosti povodí dává představu **Gravelliův koeficient K_g** , který je charakterizován jako poměr délky rozvodnice L_R daného povodí k obvodu kruhu o stejné ploše jako je plocha daného povodí.

$$K_G = \frac{L_R}{2\sqrt{F\pi}}$$

Přesné kruhové povodí má hodnotu Gravelliova koeficientu rovnu 1, s mírou protáhlosti narůstá také hodnota koeficientu. Pro povodí Bílé Opavy s délkou rozvodnice přibližně 29,1 km platí: $K_G = 1,56$. Tento údaj tedy svědčí o relativně značné protáhlosti povodí.

Také další **koeficient protáhlosti povodí** R_E , definovaný jako poměr průměru kruhu o ploše shodné se zájmovým povodím a délce povodí L.

$$R_E = \frac{2 \cdot \sqrt{\frac{F}{\pi}}}{L}$$

Koeficient nabývá hodnot od 0 do 1, nízké hodnoty svědčí o protáhlosti povodí. Pro povodí Bílé Opavy s délkou 13,5 km vychází hodnota: $R_E = 0,438$. Výsledek opět svědčí o protáhlosti povodí.

Pro horní povodí řeky Opavy jsou typická povodí vějířovitá. Přechodná a v malé míře také protáhlá povodí se vyskytují spíše u menších potoků a v pramenných oblastech. Protáhlé povodí Bílé Opavy je širší ve střední části, po výrazném ohybu Bílé Opavy u Karlovy Studánky, kde řeka přibírá několik přítoků. V dolní části se pak postupně zužuje k závěrovému profilu.

Tvar povodí má velký vliv na zadržení vody a formování odtoku. Protáhlá povodí jsou také poměrně nebezpečné z hlediska povodní. Důležitou roli přitom hraje postup těžiště intenzivních srážek. Postupuje-li jádro intenzivního deště od pramenů směrem k bráně povodí, nastávají maximální povodně. Naopak, postupuje – li těžiště srážek směrem k rozvodí, odtok pomalu narůstá.

Mezi další tvarové charakteristiky můžeme uvést např. **střední šířku povodí** \bar{s} , danou jako poměr plochy povodí F a délky povodí L. Pro povodí tak získáme hodnotu $\bar{s} = 2,04$ km.

Míra souměrnosti povodí je vyjádřena koeficientem souměrnosti K_{SP} . Souměrnost povodí udává, kolik plochy se nachází na levé a pravé straně toku.

$$K_{SP} = \frac{|F_L - F_P|}{F}$$

kde F_L je plocha na levé straně povodí a F_P plocha na pravé straně povodí. K_{SP} vyjde 1 v případě, nemá-li povodí pravou nebo levou část, naopak absolutně souměrné povodí bude mít koeficient roven 0.

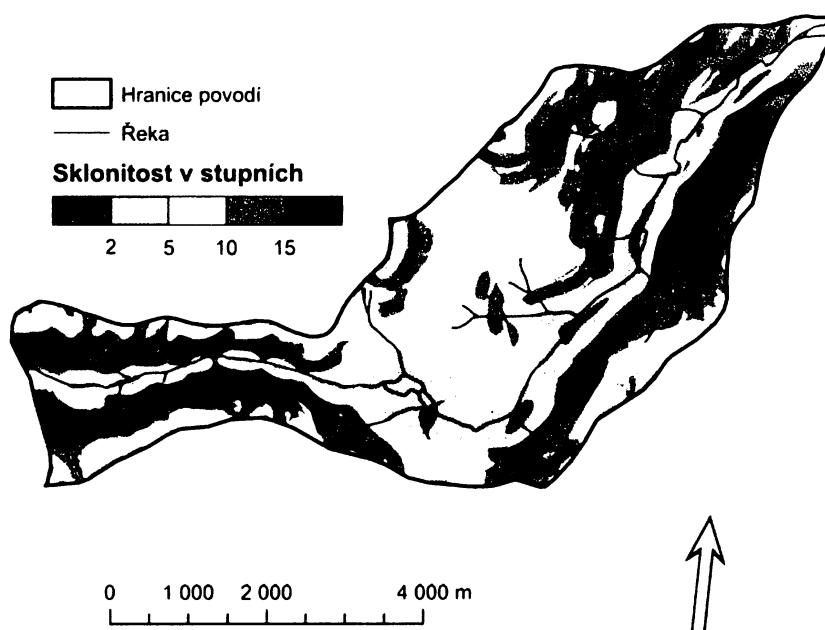
Pro povodí Bílé Opavy s hodnotami pravé části povodí 12,3 km² a levé části povodí 15,2 km² je: $K_{SP} = 0,105$, což vypovídá o poměrně značné souměrnosti.

Fyzickogeografické vlastnosti mají rozhodující vliv na intenzitu, plošné a časové rozložení srážek a odtoku.

Výškové a sklonové poměry mají vliv především na teplotu vzduchu, srážkové úhrny, vlhkost vzduchu atd. Základní údaje o těchto poměrech podává převýšení a průměrný sklon povodí. Charakteristické je také nejvyšší a nejnižší místo v povodí. Jak již bylo uvedeno nejvyšším místem je Praděd s nadmořskou výškou 1491 m n. m., nejnižším místem je ústí Bílé Opavy do Střední Opavy s nadmořskou výškou 554 m n. m. Oba body jsou situovány na rozvodnicích.

Převýšení Δh je určeno rozdílem nadmořských výšek nejnižšího a nejvyššího místa v povodí, tedy: $\Delta h = h_{\max} - h_{\min}$, pro povodí Bílé Opavy je $\Delta h = 937$ m.

Obrázek č.15: Sklonitostní poměry v povodí Bílé Opavy



Zdroj dat: DMÚ 1:25 000

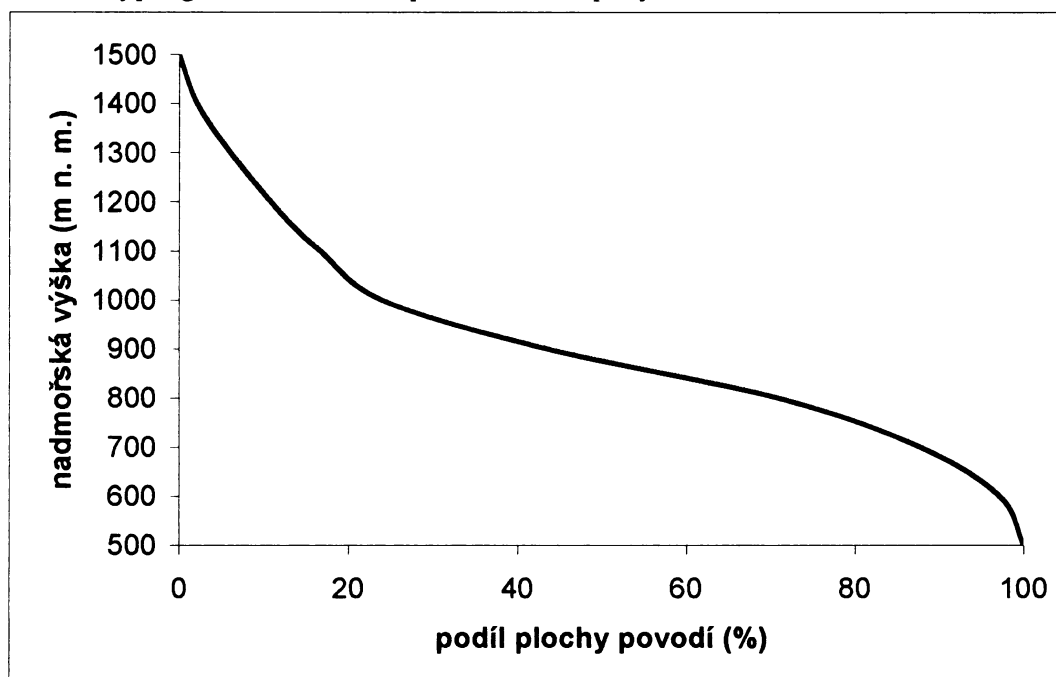
Dalším důležitým znakem je **průměrný sklon povodí I** . Pro výpočet byl použit vztah

$$I = \frac{h_{\max} - h_{\min}}{\sqrt{F}}$$

tedy podíl převýšení a odmocniny z plochy povodí F . V zájmovém povodí je hodnota průměrného sklonu $I = 178\text{‰}$. Vysoká hodnota této charakteristiky je dána především

značným převýšením pramenné a dolní části povodí, kdy se tok hluboce zařezává do horského masívu.

Obrázek č.16: hypsografická křivka v povodí Bílé Opavy



zdroj dat: DMÚ 1:25 000

Podíl ploch určitých výškových pásem na celkové ploše povodí je vyjádřen v tzv. hypsografické křivce. Vypovídá o vlastnostech reliéfu a lze z ní určit střední či typickou výšku povodí. Typickou výškou rozumíme nejčetnější výšku, nachází se v ní největší část plochy. V povodí leží 27% ploch v nadmořských výškách 800 až 900 m n. m., směrem do vyšších poloh plochy ubývá, např. v nadmořských výškách 900 až 1000 m n. m. leží pouze 16% území. Naprostá minima připadají na polohy nejvyšší nad 1400 m n. m. a zároveň nejnižší do 600 m n. m., jsou to necelá 3%.

O vlastnostech povrchu také vypovídá **koeficient reliéfu R_h** , který je určen jako podíl převýšení Δh a délky toku L :

$$R_h = \frac{h_{\max} - h_{\min}}{L}$$

V zájmovém povodí je koeficient roven **69,4**

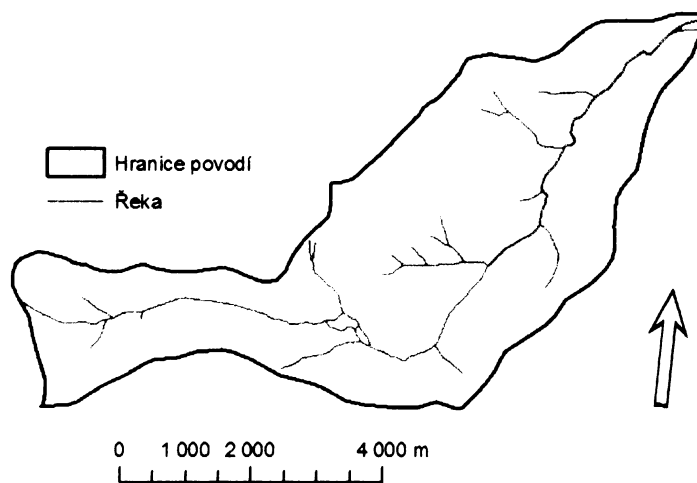
4.2 Základní charakteristiky říční sítě

Kombinací horotvorných pochodů, tektonické činnosti a erozní činnosti vzniká členitý terén s hlavními podélnými a podružnými příčnými sníženinami, s jednostranným souvislým

sklonem, ve kterých nejnižšími místy odtéká voda potoky a řekami do jiného toku, jezera či moře (Dub, 1963). Touto věky trvající činností tedy vzniká síť údolí a řek. Dnešní říční síť v povodí Bílé Opavy je výsledkem dlouhého geologického a geomorfologického vývoje zájmového území. Dnešní rysy reliéfu a říční soustava získávaly během třetihor, na modelaci se pak podílelo dynamické působení vody a změny klimatu během čtvrtohor.

K základním charakteristikám vodního toku – Bílé Opavy – patří jeho délka, stupeň vývinu, spád a střední sklon.

Obrázek č.17: Říční síť v povodí Bílé Opavy



Zdroj dat: VÚV T.G.M, vektorové vrstvy, 1:50 000

Délkou toku rozumíme vzdálenost od pramene po ústí toku, měřenou po střednici. Tato hodnota není stálá, neboť se mění postupnou činností a vývojem řeky. Také činnost člověka, především nová vedení tras koryta, vede ke změně celkové délky toku. Bílá Opava je hlavním tokem zájmového povodí o délce 13,5 km.

Stupeň vývinu toku je charakterizován jako poměr skutečné délky toku k přímé vzdálenosti pramene od ústí řeky. Pro Bílou Opavu je charakteristická hodnota **1,25**. Výsledek je dán především výrazným stáčením řeky v oblasti Karlovy Studánky k severovýchodu, jež je podmíněn tektonickou stavbou a geologickými poměry území, jde tedy spíše o křivolakost orografickou.

Spád toku je rozdíl mezi kótami dvou bodů na toku. Obvykle se udává spád toku mezi nejvyšším místem toku a místem, pro něž se spád hledá. Největší spád je rozdíl výšek mezi pramenem a ústím (Čermák, 1970). Pro Bílou Opavu je tento spád roven **746 m**.

Tok lze také popsat pomocí **středního sklonu**, který je dán poměrem rozdílu výšek ústí a pramene toku (spádu) k celkové délce toku. Jak již bylo dříve uvedeno, je střední sklon Bílé Opavy 5,5 %. Sklon dna ve směru proudění klesá. V horní části, kde jsou sklony dna velké převládá erozní činnost řeky, dochází k dalšími prohlubování a erozní modelaci údolí a řeka překonává několik výrazných stupňů. Ve střední a dolní části, po výrazném ohybu řeky je údolí otevřenější, sklon dna klesá o více než polovinu na 2,5 %, což se projevuje poklesem dynamických účinků řeky, dochází k transportu splavenin a v několika oblastech dolní části řeka vytváří říční nivu. Značný sklon bystřinných toků v povodí Bílé Opavy společně s vyššími úhrny srážek a nepropustným krystalickým podložím má za důsledek velké rychlosti a odtok stékající vody, což má vliv na tvorbě povodňových průtoků.

Říční soustava popisovaného povodí je tvořena hlavním tokem – Bílou Opavou - protékající hlavním údolím a tvořící hlavní osu povodí a několika bystřinnými přítoky, jejichž malá povodí se sklánějí směrem k hlavnímu údolí. Celkové uspořádání a charakter říční sítě je určen především geologickou stavbou, odolností hornin, směrem zlomů a puklin, tektonikou a erozní činností vody. Uspořádání říční sítě má v zájmovém území spíše charakter stromovitý – symetrický, kdy se přibližně stejné přítoky vcelku pravidelně střídají z obou stran. Uspořádání říční sítě má velký vliv na tvorbě povodňového průtoků. Díky oboustrannému, střídavému posilování hlavního toku je růst vodnosti a časové rozložení průtoků rovnoměrnější.

Ukazatelem, který objektivně a souhrnně vyjadřuje vliv některých hlavních činitelů odtoku, jako množství srážek, spádové poměry v povodí, propustnost půdy i druh rostlinné pokrývky, je **hustota říční sítě r** . Je určena podílem úhrnné délky toků $\sum L$ zkoumaného území (vyjádřeno v km) a plochy F tohoto území (v km^2):

$$r = \frac{\sum L}{F}$$

Povodí Bílé Opavy s délkou všech toků přibližně 26, 56 km má hustotu říční sítě $r = 1,072$. Přesnost výsledku je ovlivněna především druhem mapových podkladů, přesností a podrobností vstupních dat. Pro výpočet bylo využito databáze VUV v Praze, jemné členění vodních toků. Hodnota udává délku toku připadající na 1 km^2 příslušné plochy. Tato charakteristika v povodí Bílé Opavy je ovlivněna především celkovým hornatým charakterem území, nepropustným krystalickým podložím, zalesněním a značnými spádovými poměry. Roli zde hraje také fakt, že většina přítoků má plošný charakter. Obecně lze říci, že v hornatém a členitém území roste hustota říční sítě zvýšeným povrchovým odtokem a zvýšeným množstvím srážek (Dub, 1963).

5 Odtokový režim

5.1 Základní charakteristiky

Odtok vody z povodí vzniká účinkem tzv. efektivních (účinných) srážek, pod čímž rozumíme vodu atmosférických srážek nezachycenou intercepcí a dopadající na zemský povrch. Část těchto účinných srážek je infiltrována do půdy, kde zůstává v půdním profilu jako půdní vláhá nebo v zóně aerace, ze které vytéká a vytváří tak hypodermální odtok. Část infiltrované vody také zásobuje podzemní vodu v zóně saturace, z níž pak vytéká základní (bazální) odtok, který zásobuje povrchové toky vodou (Netopil, 1984). Zbylá část srážek, pokud se nevypaří, stéká po povrchu a vytváří tzv. povrchový odtok.

Po spadu srážek na plochu dochází nejdříve k plošnému povrchovému odtoku – roně, který zvyšováním objemu odtoku, rychlosti proudění, postupně přechází v odtok soustředěný v rýhách, brázdách až stržích, vzniklých erozní činností vody. Soustředěný povrchový odtok pak přechází v proudění vody v recipientech, vodních tocích, kde vytéká i spodní voda z vodonosných vrstev a společně opouští povodí.

Celkový odtok je tedy souhrnem všech složek odtoku procházejícího závěrečným profilem toku za daný časový interval. Jak bylo výše uvedeno, skládá se z několika složek. Ze základního odtoku - odtok podzemní vody - vyvolaný působením hydraulického gradientu z oblasti napájení do oblasti výtoku, z povrchového odtoku a odtoku hypodermického, který stéká do koryta toku, na níže položené území v bezprostřední vrstvě pod povrchem povodí, aniž by dosáhl k hladině podzemní vody (Slavík, Neruda, 2004).

Ukazatelem a časově posunutým výsledkem složitého procesu odtoku v povodí je průtok, který se mění s jistým časovým odstupem s vydatností vodních zdrojů, jako jsou déšť, tající sníh, prameny apod. Důsledkem je stálá změna průtoků v korytě (Dub, 1963). V souladu s kolísáním průtoků mění se také výšky hladiny toku. Pokud je tok hydraulicky spojen se zásobami podzemních vod, tok nevysychá, můžeme tedy říci, že působením řady faktorů se přerušovaný jev – srážky, jakožto kauzální příčina odtoku – mění na neustálý, nepřerušovaný a časově posunutý jev odtoku vody z povodí (Kemel, Kolář, 1980).

Následující kapitoly jsou věnovány charakteristikám odtokového režimu v povodí Bílé Opavy prostřednictvím základního popisu změn vodních stavů a vodního režimu toku Bílé Opavy. Dalším cílem je pak hledání vztahu mezi průtoky a odpovídajícími si vodními stavy, vedoucím k sestrojení konsumpční křivky. Pro zpracování této části byla využita hydrologická data – řada průměrných denních průtoků z vodoměrné stanice Ludvíkov, poskytnutá ČHMÚ, průměrné denní vodní stavy jsou převzaty z databáze záznamů

hladinoměru, nacházejícího se na řece Bílá Opava, nedaleko ústí řeky ve Vrbně pod Pradědem v nadmořské výšce okolo 590 m n. m. Dále jsou zpracovány výsledky měření průtoků, která proběhla v období listopad 2006 – červenec 2007. Všechny níže uvedené charakteristiky byly určeny z dat vodoměrné stanice Ludvíkov (číslo hydrologického pořadí: 2-02-01-009), nacházející se v dolní části povodí, na vodním toku Bílá Opava, ve vzdálenosti 3,7 km od ústí toku. Jde o objekt 2. kategorie, s nulou vodočtu v nadmořské výšce 616,31 m n.m. Stanice prováděla pravidelná měření průtoků v období: 1.11.1963 – 30.6.1997.

Znalost režimu průtoků je cestou k poznání procesu odtoku povodí ve vztahu k činitelům, kteří tento proces podmiňují. Znalost průtoků za delší časové období tedy umožňuje popsat rozdělení průtoků v průběhu zkoumaného období, v charakteristických obdobích (např. roční období) a určit jejich charakteristické hodnoty (průměry, extrémy).

Průtokem Q povrchových vod rozumíme objem vody, který proteče daným průtočným profilem za sekundu. Vyjadřujeme jej obvykle v m^3s^{-1} nebo ls^{-1} . Dlouhodobý průměrný průtok Q_a na vodoměrné stanici Ludvíkov (za pozorované období) je **$0,467 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$** .

Množství vody, které proteče průtočným profilem za vymezené delší časové období (den, měsíc, rok) nazýváme **protečené množství** nebo **objem odtoku O** a vyjadřujeme jej v m^3 či km^3 . Průměrný roční objem odtoku zjistíme násobením dlouhodobého průtoku Q_a a počtem vteřin za rok. Pro vodoměrnou stanici Ludvíkov je hodnota průměrného ročního objemu odtoku rovna **$14,73 \cdot 10^6 \text{ m}^3$** .

Specifický (poměrný) odtok q či jednotková vydatnost je množství vody odtékající za jednotku času z jednotky plochy povodí. Udává se v $\text{m}^3\text{s}^{-1}\text{km}^{-2}$ popř. $\text{ls}^{-1}\text{km}^{-2}$. Specifický odtok je pouze relativní, odvozená hodnota, která zcela nevystihuje složitý proces odtoku. Je dán podílem dlouhodobého průtoku Q_a a plochy povodí F . Pro stanici Ludvíkov a povodí Bílé Opavy platí: **$q = 16,96 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$** .

Odtokem rozumíme pohyb vody z povodí, ale také množství vody, které odeče za určitý čas z plochy. Vyjadřujeme ho v prostorové míře či jako **odtokovou výšku (H_0)**, která představuje vrstvu vody, která odtekla za určité časové období, rovnoměrně rozloženou na ploše povodí. Umožňuje porovnávat odtok s množstvím srážek spadlých na povodí za stejné období. Průměrná roční výška odtoku H_{0a} (mm) byla pro stanici Ludvíkov vypočítána jako podíl průměrného ročního objemu odtoku a plochy povodí Pro povodí Bílé Opavy je **$H_{0a} = O(\text{m}^3)/(F(\text{km}^2) \cdot 10^3) = 534,76 \text{ mm}$** .

K dalším základním charakteristikám odtoku patří **koeficient odtoku C** , nazývaný také odtokový součinitel. Je to číselná hodnota, která udává poměr mezi výškou odtoku a

srážek, tzn. určuje jaký podíl z množství spadlých srážek odtéká z povodí řekami (Netopil, 1984). Pro povodí Bílé Opavy je $C = H_0(\text{mm})/H_S(\text{mm}) = 55\%$.

Díky poměrně vysokým hodnotám specifického odtoku můžeme zájmové území charakterizovat jako oblast velmi vodnou. Značné hodnoty koeficientů jsou výsledkem řady faktorů a fyzickogeografických poměrů, především sklonitostních, geologických a geomorfologických, a jsou typické pro malá povodí v horských oblastech s velkými srážkovými úhrny.

5.2 Režim průtoků

Režimem průtoků rozumíme zákonitosti změn průtoků v čase, tzn. velikost a časové rozdělení průtoků, sled vodností v jednotlivých měsících, ročních obdobích či rocích. Změny vodního režimu jsou způsobeny a ovlivněny řadou fyzickogeografických činitelů. Ovlivňují nejen celkové množství vody, které je pro povrchový odtok k dispozici, ale také jeho časové rozdělení.

Mezi nejdůležitější faktory patří poměry klimatické – především chod srážek a výparu, reliéf - ovlivňující rychlost stékání a možnost vsaku, geologické poměry - určující propustnost povrchových vrstev, půdní poměry a vegetační kryt. Při tvorbě průtoků se také uplatňuje uspořádání říční sítě, velikost a tvar povodí. Základním faktorem ovlivňujícím průtokový režim je také zdroj vodnosti, který určuje typické vlastnosti režimu konkrétního vodního toku. V případě Bílé Opavy jsou hlavním zdrojem vodnosti atmosférické srážky, periodická sněhová pokrývka a v menší míře také podzemní vody, které vytváří bazální odtok. Přestože podzemní vody tvoří poměrně malou část celkového odtoku, jsou velmi důležité pro vyrovnanost režimu. Jsou zdrojem vodnosti v déletrvajících bezesrážkových obdobích. Obecně je podíl každého zdroje závislý na vlastnostech celého geografického prostředí.

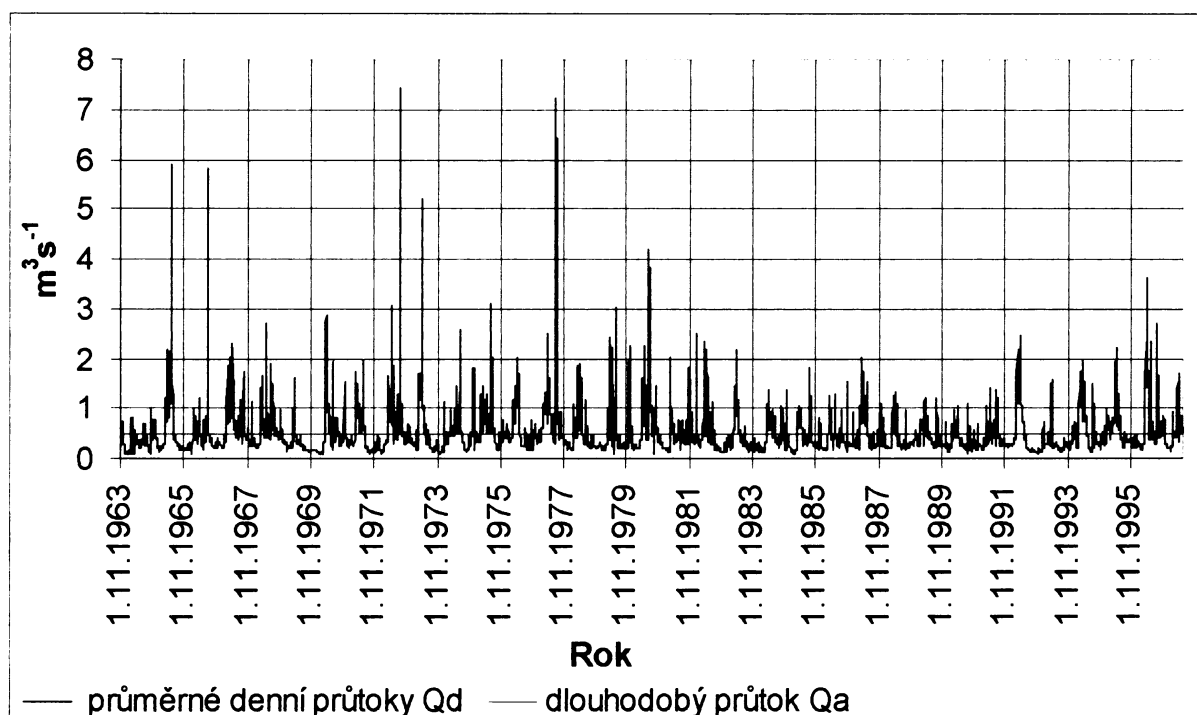
V následujícím textu jsou přiblíženy hlavní prvky režimu průtoků – velikost změn, četnost výskytu a časové rozložení změn a rozkolísanost průměrných denních, měsíčních a ročních průtoků.

5.2.1 Průměrné denní průtoky

Plynulou změnu denních průtoků nejlépe znázorňuje čára denních průtoků, ze které lze vyčíst velikost změn, jejich četnost a rychlost. Obrázek č.18 vystihuje chod průměrných denních průtoků za posledních 34 let (období 33 hydrologických let 1.11.1963 – 31.10.1996 a období 1.11.1996 – 30.6.1997). Průměrné denní průtoky se vyznačují velkou proměnlivostí během roku. Přestože dochází k neustálé změně průměrných denních průtoků, tyto změny

mají v určitých částech roku podobný charakter související především s proměnou klimatických činitelů (např. chod srážek, teploty vzduchu aj.). Obecně jsou průměrné denní průtoky menší v zimě, naopak větších hodnot pravidelně dosahují na jaře, při tání sněhové pokrývky. Avšak při srovnání jednotlivých let jsou průtoky ve zmíněných obdobích také dosti různé. Ve zbývajících částech roku se už většinou relativně ustálený charakter změn denních průtoků neprojevuje.

Obrázek č.18: Průměrné denní průtoky za období 1.11.1963 – 30.6.1997



Zdroj dat: ČHMÚ

Značná variabilita průměrných denních průtoků je především způsobena nepravidelnými letními přívalovými dešti, které vyvolávají náhlé zvýšení průtoků, či déle trvajících tzv. krajinnými dešti. Tyto maximální hodnoty se však vyskytují značně nepravidelně. Vysoké hodnoty průtoků jsou také spojeny s jarním táním sněhové pokrývky. Při srovnání denních průtoků v jednotlivých letech se maximální hodnoty pohybují od $0,99 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ po $7,4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Absolutní maximum průměrných denních průtoků za dobu pozorování bylo zjištěno 21.8.1972, $Q_d = 7,44 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Minimální průtoky nemají na celkovou rozkolísanost tak zásadní vliv. V pozorovaném období se pohybují od $0,071 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ po $0,22 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Obecně jsou spojeny s podzimem a zimními měsíci, kdy většina srážek vypadává ve formě sněhu, který se akumuluje na povrchu povodí a vodnost toku klesá. Absolutní

minimum průměrných denních průtoků za dobu pozorování bylo zjištěno 31.5. 1979, $Q_d = 0,071 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

Chod průměrných denních průtoků se tedy vyznačuje nepravidelností a rozkolísaností. V průběhu celého roku může docházet (např. vlivem srážkových událostí) k náhlým změnám a výkyvům.

V rámci jednotlivých hydrologických let je rozkolísanost průměrných denních průtoků dosti odlišná. Představu o celkovém rozkvyvu dává např. **variační rozpětí R**, též amplituda. Je charakterizováno jako rozdíl maximálního a minimálního průměrného denního průtoku v daném roce. Tato charakteristika však dává pouze hrubou představu.

Pro hodnocení celkové míry variability v daném roce je vhodnější využít statistických měr variability, neboť zohledňují různou vodnost řeky. **Variační koeficient Cv** je dán jako poměr směrodatné odchylky σ dlouhodobého průtoku Q_a o celkovém počtu členů n . S rostoucí hodnotou koeficientu vzrůstá variabilita souboru.

$$C_v = \frac{\sigma}{Q_a} = \frac{\sqrt{\frac{\sum (Q_d - Q_a)^2}{n}}}{Q_a}$$

Největší míru rozkolísanosti, tedy největší hodnoty variačního koeficientu i variačního rozpětí za sledovanou dobu vykazuje hydrologický rok 1.11.1976 – 31.10.1977, naopak nejmenší míru rozkolísanosti vykazuje hydrologický rok 1.11.1988 – 31.10.1989. Hodnoty ve vybraných letech jsou uvedeny v tabulce č.1.

Tabulka č.1: Základní charakteristiky variability

období	$R(\text{m}^3\text{s}^{-1})$	C_v
1.11.1976-31.10.1977	7,08	1,649
1.11.1986-31.10.1987	1,86	0,891
1.11.1988-31.10.1989	1	0,419
1.11.1963-31.10.1996	7,369	0,932

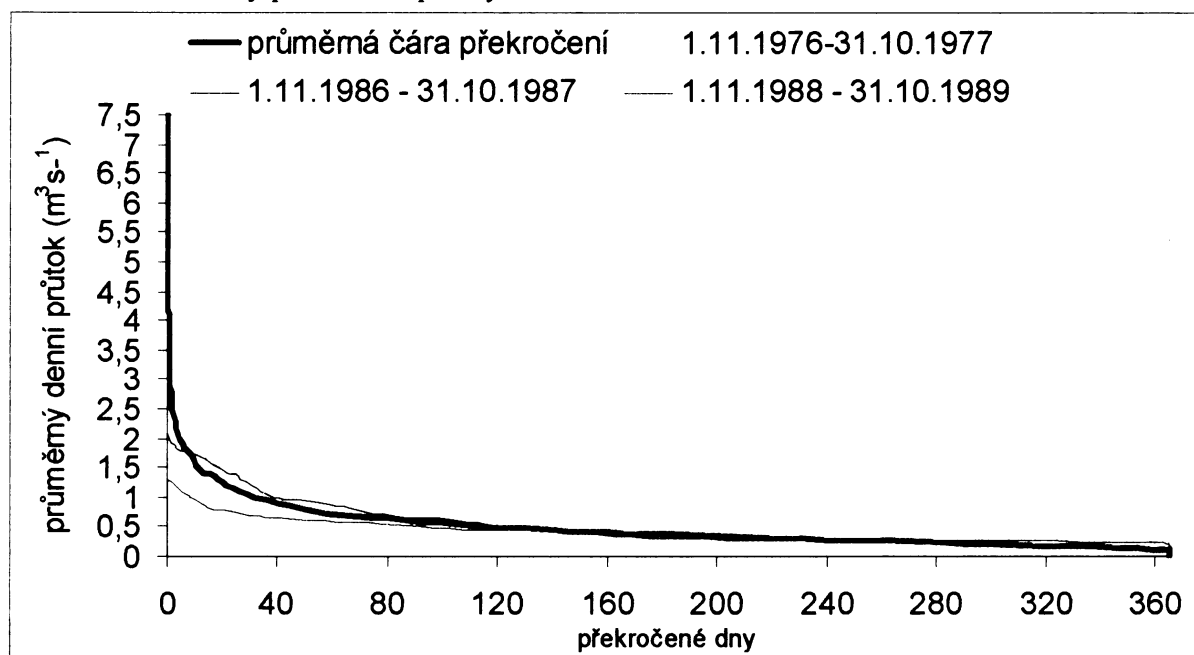
Zdroj dat: ČHMÚ, výpočet autorka

Rozkolísanost průměrných denních průtoků znázorňují také tzv. čáry překročení. Jedná se o sloupcové diagramy kumulativních četností průměrných denních průtoků, které byly dosaženy nebo překročeny M dní v roce. Takovýto průtok (dosažen nebo překročen M dní v roce) se nazývá M denní průtok. Čára překročení vyjadřuje také dobu, po kterou byla hodnota průtoků dosažena nebo překročena.

Zpracováním průměrných denních průtoků za sledované 33-leté období získáváme tzv. průměrnou čáru překročení. Její průběh vyjadřuje typické rozdělení denních průtoků v daném

profilu a charakterizuje tak režim vodního toku. Odvozuje se tak, že jednotlivým průtokům přisuzujeme překročení rovné aritmetickému průměru překročení jednotlivých let, tzn. základna má opět 365 dní. Na obrázku č. 19 jsou vedle průměrné čáry překročení uvedeny pro srovnání též čáry překročení let vyznačujících se minimální, maximální a průměrnou rozkolísaností (viz tabulka č. 2).

Obrázek č.19: Čáry překročení pro vybraná období



Zdroj dat: ČHMÚ, výpočet autorka

Z čar překročení je patrné, že téměř celý hydrologický rok 1976 – 1977 se vyznačoval nadprůměrnými hodnotami denních průtoků. Střední hodnota průtoků tohoto období $Q_{182,5} = 0,625 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Dlouhodobý průtok byl dosažen a překročen 246 dní v roce, dvojnásobek normálu pak v 75-ti dnech. Při srpnových povodních, které proběhly ve dvou vlnách, byly dosaženy extrémní průtoky větší než desetinásobek dlouhodobého průtoků. Průtoky nad $5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ však pro tento rok nejsou typické, mají povahu prudkých výkyvů a velmi krátkého trvání. Byly překročeny pouze ojediněle. Nejčastější hodnota průměrného denního průtoků byla $0,7 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

Hydrologický rok 1988 – 1989 se naopak vyznačoval kolísáním průtoků kolem $0,35 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ($Q_{182,5}$). Nadprůměrné hodnoty jsou spojeny s koncem února a jarními měsíci, kdy docházelo k tání sněhové pokrývky. Dvojnásobek normálu byl však překročen pouze v dubnu a během zvýšených srážek koncem srpna. Typický, nejčastější průtok v tomto období měl hodnotu $0,24 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Zbýlá část roku se vyznačovala nízkými průtoky.

Čára překročení průměrně variabilního roku 1986 – 1987 se tvarově nejvíce přibližuje průměrné čáře překročení. Normál byl překročen ve 103 dnech, což zhruba odpovídá průměrnému překročení. Stejně jako v nadprůměrném období byla nejčastěji naměřená hodnoty průtoku $0,24 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, střední hodnoty pak $0,3 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Vyšší průměrné denní průtoky se vyskytovaly během prosince a ledna (vyšší teploty vzduchu), od konce března byl zaznamenán postupný vzrůst vodnosti s maximy v polovině dubna a stálými nadprůměrnými vodnostmi v květnu a červnu (tání sněhové pokrývky spojené s vyššími srážkovými úhrny). S menšími výkyvy se pak od července vyskytovaly průtoky nízké, nepřekračující normál. Během září a října byl dlouhodobý průměrný průtok překročen pouze čtyřikrát.

Pro průměrnou křivku překročení je charakterické, že dlouhodobý průměrný průtok je překročen přibližně ve 130 dnech, tzn. v polovině roku. Dvojnásobek pak pouze ve 40 dnech. Průtoky nad $2,9 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ jsou překračovány v průměru 1 den v roce, průtok $1 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ pak zhruba 30 dní v roce. Nástup takovýchto vodností je většinou vyvoláván táním sněhové pokrývky či nepravidelnými letními dešti. Celkově je pro Bílou Opavu charakteristické střídání nižších stavů vodnosti s nepravidelnými náhlými povodňovými stavy. Za celkové období pravidelných měření se nejčastěji vyskytoval průtok $0,19 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$

Další charakteristikou vystihující míru rozkolísanosti je **decilová odchylka D**. Je to průměr odchylek jednotlivých sousedních decilů (hodnoty rozdělující uspořádanou řadu průtoků na 10 stejných částí). Výsledně je určena vztahem:

$$D = \frac{Q_{30} - Q_{330}}{10}$$

Vztáhneme-li decilovou odchylku k dlouhodobému průměrnému průtoku Q_a získáme tzv. **relativní variaci V**. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v tabulce. Pro „průměrný rok“ (pro nějž je sestavena průměrná čára překročení) je $D = 0,076 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, $V = 16,27\%$. Vyšší hodnota obou charakteristik odráží vyšší variabilitu.

Tabulka č.2: Míry rozkolísanosti průměrných denních průtoků ve vybraných letech

Období	$Q_{30} (\text{m}^3\text{s}^{-1})$	$Q_{330} (\text{m}^3\text{s}^{-1})$	$D (\text{m}^3\text{s}^{-1})$	V (%)
1.11.1976-31.10.1977	1,32	0,34	0,098	20,99
1.11.1986-31.10.1987	1,18	0,19	0,099	21,20
1.11.1988-31.10.1989	0,7	0,18	0,052	11,13

Zdroj dat: ČHMÚ, výpočet autorka

Obecně řečeno, denní průměrné průtoky se vyznačují značnou rozkolísaností avšak Bílá Opava je tokem s relativně menší mírou variability, což se projevuje v relativní

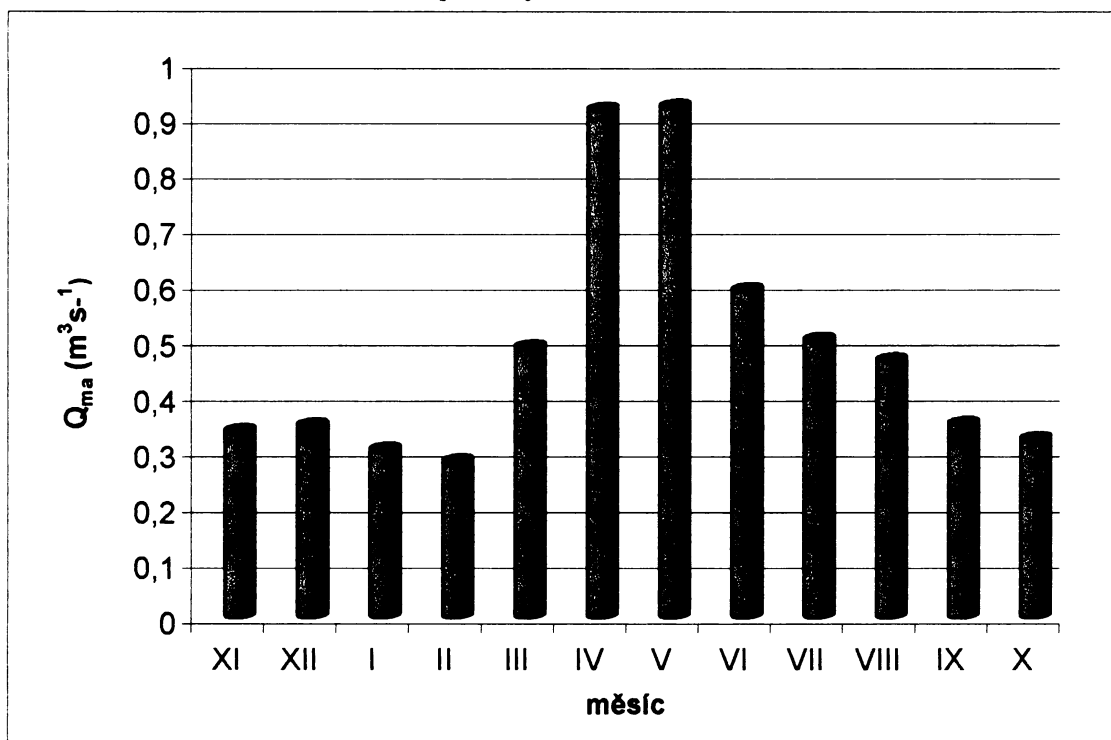
vyrovnanosti denních průtoků. Maxima mají charakter prudkých, velmi krátkých výkyvů. Za celé pozorované období se nejčastěji vyskytovaly hodnoty průtoků $Q_d = 0,19 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, střední hodnota pozorovaného období je pak $0,35 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Typické jsou tedy delší období nižších průtoků, přerušované relativně pravidelnou zvýšenou jarní vodností a nepravidelnými letními intenzivními dešti.

5.2.2 Průměrné měsíční průtoky

Rozdělení odtoku během roku, tzv. roční chod odtoku, je hodnocen na základě průměrných měsíčních průtoků. Průměrné měsíční průtoky charakterizují vodnost řeky v daném měsíci.

Obecně je rozdělení odtoku během různých let dosti odlišné, avšak stejně jako v případě průměrných denních průtoků existují určité společné charakteristické rysy tohoto rozložení, určené především klimatickými faktory, např. chodem srážek a teploty vzduchu, výparem a sněhovou pokrývkou.

Obrázek č.20: Průměrné měsíční průtoky za období 1.11.1963 – 31.10. 1996



Zdroj dat: ČHMÚ

Průměrný roční chod za celé období pozorování (33 hydrologických let) je vyjádřen pomocí dlouhodobých měsíčních průtoků Q_{ma} , které zároveň vystihují pravidelné tendence změn měsíčních vodností během roku. Projevuje se především zvýšení vodností v jarních

měsících v důsledku zvyšování teplot vzduchu a tání sněhové pokrývky, ve spojení s atmosférickými srážkami, a pokles vodnosti v druhé polovině zimy, kdy atmosférické srážky padají většinou ve formě sněhu a voda je vázaná ve sněhové pokrývce. Narozdíl od průměrných denních průtoků se v dlouhodobých měsíčních průtocích výrazně neprojevují krátkodobé přivalové deště (v jednotlivých letech však může jejich vliv být podstatně výraznější), především díky značné nepravidelnosti, různé intenzitě, krátké době trvání, vyššímu výparu a teplotě vzduchu.

Rozložení odtoku v jednotlivých letech může být dosti odlišné od průměrného roku – tzn. roku, jehož chod je charakterizován dlouhodobými měsíčními průtoky za jednotlivé měsíce. Stejná roční vodnost může být dosažena různým rozdělením v průběhu roku. Srovnání ročního chodu pro znázornění odchylek rozložení odtoku v každém roce a podprůměrnosti a nadprůměrnosti jednotlivých měsíčních průtoků pro 4 různé roky je uvedeno v příloze.

Lepším způsobem znázornění, umožňujícím srovnání různě vodných řek i různě vodných let, je vyjádření průměrného měsíčního odtoku jako procentuální podíl p celkového ročního odtoku. Pro průměrný rok jsou jednotlivé podíly uvedeny v tabulce.

Tabulka č.3: Procentuální podíly jednotlivých měsíců na celkovém odtoku

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$Q_{ma} (m^3 s^{-1})$	0,302	0,28	0,486	0,913	0,919	0,589	0,499	0,463	0,348	0,32	0,335	0,346
$p (%)$	5,21	4,83	8,38	15,74	15,84	10,16	8,60	7,98	6,00	5,52	5,78	5,97

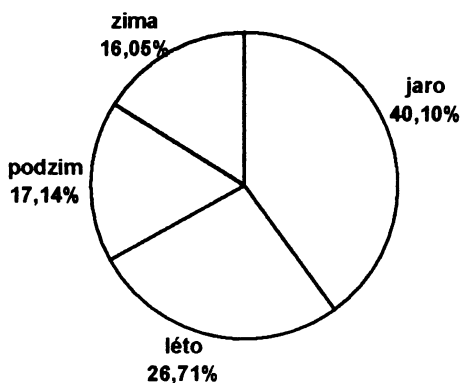
Zdroj dat: ČHMÚ, výpočet autorka

Roční chod odtoku lze také rozložit na roční období. Největší procentuální podíl připadá na jarní měsíce, kdy odečte 40% celkového odtoku. Jak již bylo zmiňováno, je tento fakt spojen s růstem teploty vzduchu, vyššími srážkovými úhrny a táním sněhové pokrývky, která se v tomto období uplatňuje jako hlavní zdroj vodnosti. Díky poloze povodí ve vyšších nadmořských výškách a horskému charakteru, který ovlivňuje chod klimatických činitelů, dochází k přesunům maximálních vodností na druhou polovinu jara. Duben a květen jsou z hlediska vodnosti velmi vyrovnané.

Na poměrně vysokých průtocích na počátku letního období, především v červnu, se projevují vyšší srážkové úhrny a doznívání odtávání sněhu z jarního období. (S rostoucí nadmořskou výškou se také prodlužuje doba trvání sněhové pokrývky). S rostoucí teplotou vzduchu v letním období pak roste výpar a evapotranspirace, dochází tedy k postupnému poklesu průtoků. Srážky ve formě přivalových dešťů se projevují dosti nepravidelně.

Jde tedy o mírně nevyrovnané roční rozložení odtoku. Naopak nejmenší podíl odtoku je zaznamenán během podzimního a zimního období. Od měsíce září dochází k postupnému poklesu průměrných průtoků až k minimálním hodnotám v druhé polovině zimy. Tento pokles souvisí především s ubýváním atmosférických srážek. V ročním rozložení hrají také roli vyšší nadmořské výšky v povodí, kdy dochází také (především v horských oblastech) k rychlejšímu poklesu teplot vzduchu a srážky mohou již poměrně brzo vypadávat ve formě sněhu. Při déletrvajících nízkých teplotách pak sníh zůstává akumulován na povrchu povodí a vodnost řek obecně klesá. Vyšší vodnosti v zimních obdobích jsou spojena především s vyššími teplotami vzduchu a táním sněhu, popř. srážkovými událostmi.

Obrázek č.21: Rozložení odtoku v ročních obdobích



Zdroj dat: ČHMÚ, výpočet autorka

Vyrovnanost odtoku lze také zjišťovat pomocí koeficientu Kr , vypočítaného ze vztahu

$$Kr = \frac{\sum |p_i - 8,3|}{8,3}$$

kde p_i jsou podíly jednotlivých měsíců na celkovém ročním odtoku a číslo 8,3 představuje průměrný podíl každého měsíce na odtoku. Koeficient nabývá hodnoty od 0 do 22, přičemž 22 značí maximálně nevyrovnaný odtok a 0 odtok ideálně rozložený. Pro Bílou Opavu (vodoměrná stanice Ludvíkov) je $Kr=4,1$ což svědčí o mírné nevyrovnanosti.

Variabilitu průměrných měsíčních průtoků lze zkoumat podobným způsobem jako průměrné denní průtoky, např. pomocí variačního koeficientu a variačního rozpětí (viz kapitola průměrné denní průtoky).

Pro zájmovou oblast a vodní tok Bílá Opava (stanice Ludvíkov) je typická hodnota: **$R = 0,639 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, C_v (pro průměrný rok) = 0,458.**

Variační rozpětí pro jednotlivé měsíce za období 1.11.1963 – 31.10.1996 bylo počítáno jako rozdíl největšího a nejmenšího průměrného měsíčního průtoku v řadách jednotlivých měsíců.

Variační koeficient byl počítán jako poměr směrodatné odchylky (průměrných měsíčních průtoků Q_m v daném měsíci od dlouhodobého průměrného měsíčního průtoku daného měsíce) a dlouhodobého průměrného měsíčního průtoku Q_{ma} . Hodnoty koeficientů udává tabulka č.4.

Tabulka č.4: Míry variability průměrných měsíčních průtoků

měsíc	C_v	$R (\text{m}^3\text{s}^{-1})$	měsíc	C_v	$R (\text{m}^3\text{s}^{-1})$
I	0,5	0,653	VII	0,691	1,73
II	0,455	0,596	VIII	0,818	1,82
III	0,535	0,983	IX	0,537	0,852
IV	0,321	1,15	X	0,32	0,528
V	0,473	1,74	XI	0,429	0,584
VI	0,477	1,56	XII	0,501	0,924

Zdroj dat: ČHMÚ, výpočet autorka

Největší míru rozkolísanosti pozorujeme v měsících červenci a srpnu. Hlavní vliv na variabilitu mají nepravidelné srážkové události, především přívalové a regionální deště, způsobující různou vodnost v jednotlivých letech. Uplatňuje se vliv dalších klimatických činitelů, především pak teploty vzduchu, související s výparem.

Duben a květen jsou průměrně maximálně vodné měsíce, tzn., že výskyt menších průtoků povede k nárůstu variačního rozpětí. Celkově se však vyznačují malou mírou variability, tzn., že nejde o příliš častý stav.

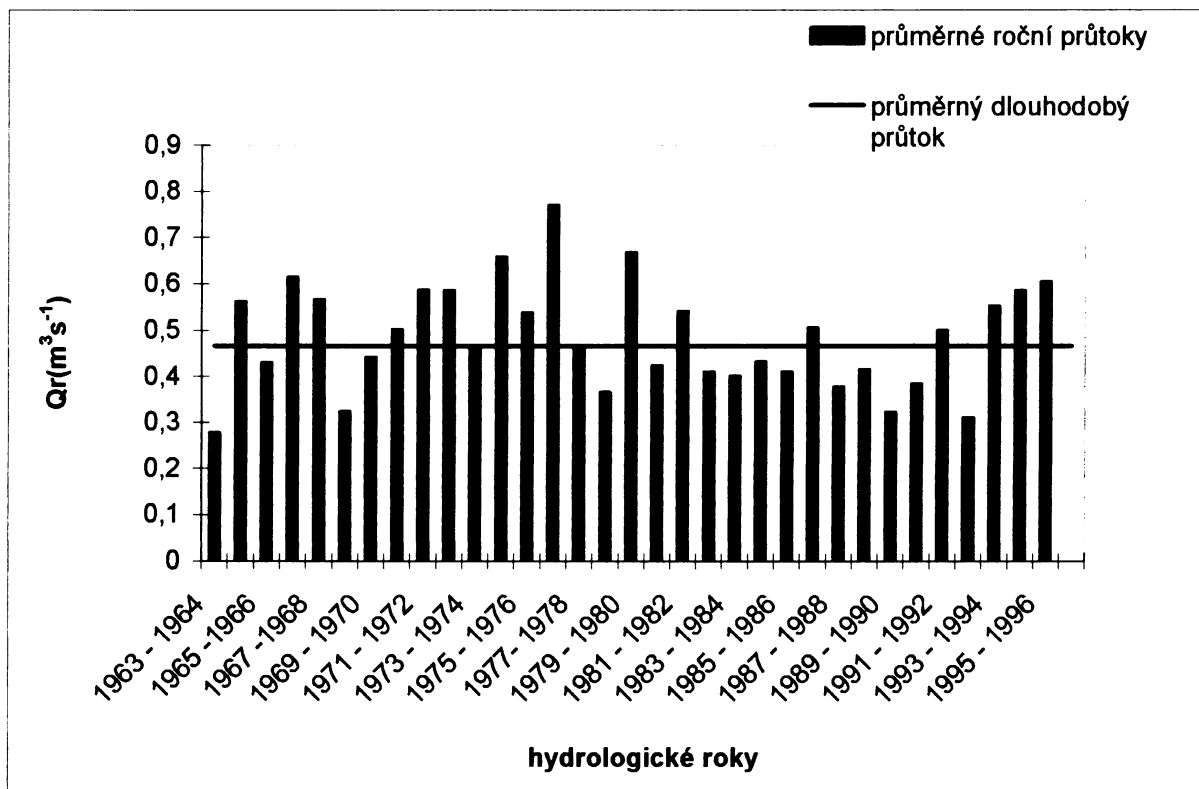
5.2.3 Průměrné roční průtoky

Průměrné roční průtoky charakterizují vodnosti vodního toku v jednotlivých letech. Jejich hodnoty kolísají v poměrně velkém rozpětí kolem dlouhodobého průměrného průtoku. Vodnost se mění především v závislosti na velikosti podílu hlavního zdroje napájení, v případě Bílé Opavy jde především o atmosférické srážky a vodu z tající sněhové pokrývky.

Rozdílné vodnosti Bílé Opavy v různých letech jsou tedy způsobeny různými srážkovými úhrny během jednotlivých let, společně s vlivem dalších klimatických faktorů (chod teploty vzduchu, výpar aj.). V celkové závislosti ročních úhrnů srážek a odtoku se také projevuje vliv srážek za předešlé období (hydrologický rok). V podstatě je tak postihnuta menší či větší zavlaženost povodí a tím menší či větší ztráty v odtoku (Dub, 1963).

Velký vliv na celkovou rozkolísanost má rozdílná vodnost v jarním období (způsobena různými táními sněhu a různými srážkami). V předešlém textu bylo také řečeno, že k roční rozkolísanosti může přispívat také letní období, spojené s nepravidelnými dešti různé intenzity, které mohou ovlivnit celkovou vodnost jednotlivých let.

Obrázek č.22: Průměrné roční průtoky za hydrologické roky 1.11.1963 – 31.10.1996



Zdroj dat: ČHMÚ

Obrázek č.22. znázorňuje chod průměrných ročních průtoků na Bílé Opavě (zjištěných pro vodoměrnou stanici Ludvíkov za období 33 hydrologických let). Je patrné, že hodnoty průměrných ročních průtoků jsou dosti proměnlivé. Některé roky se vyznačují nadprůměrnou vodností jiné naopak nedosahují hodnot dlouhodobého průměrného průtoky. Maximální průměrný roční průtok $Q_r = 0,769 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ byl dosažen v hydrologickém roce 1.11.1976 – 31.10.1977, naopak minimální hodnota $Q_r = 0,278 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ byla zjištěna v hydrologickém roce 1.11.1963 – 31.10.1964 (první rok pozorování). Větších hodnot průměrných ročních průtoků bylo dosaženo v polovině let sedmdesátých, kdy do oblasti povodí spadly větší úhrny srážek, a to především v letech 1967 a 1968, následované větším srážkovým deficitem, který se projevoval i v následujícím období, přestože úhrny srážek byly průměrné. Maximální srážky jsou pak spojeny s rokem 1977 a 1981, která také z hlediska roční vodnosti patří k maximálně

vodným. Delší období s nižšími srážkami v letech 1989 – 1992 se na Bílé Opavě projevilo podprůměrnými hodnotami ročních průtoků.

Jednotlivé průtoky lze vyjádřit jako procentuální podíly normálu. Rozdělení let na průměrně, podprůměrně či nadprůměrně vodné na základě této charakteristiky není příliš objektivní. Procentuální podíly vybraných let uvádí tabulka č.5.

Hodnocení roční vodnosti řek je vhodnější provést pomocí tzv. pravděpodobnosti překročení P dle Čegodajeva. Výpočet je dán níže uvedeným vztahem, kde m je pořadové číslo sestupně uspořádané řady ročních průtoků a n počet let.

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

Na základě procenta překročení lze rozdělit jednotlivé roky na mimořádně vodné, vodné, průměrně vodné, málo vodné či mimořádně málo vodné rok. Příkladem mimořádně vodného roku je hydrologický rok 1.11.1976 – 31.10.1977 ($P = 2,1\%$), vodný byl např. hydrologický rok 1.11.1981 – 31.10.1982 ($P = 35\%$), málo vodné zase období 1.11.1987 – 31.10.1988 ($P = 82,93\%$) a mimořádně málo vodný rok představuje období 1.11.1963 – 31.10.1964 ($P = 97,9\%$)

Tabulka č.5-Procentuální podíly p a pravděpodobnost překročení P_{ε} vybraných let

Období	p (%)	P_{ε} (%)
1.11.1963 – 31.10.1964	59,64	97,9
1.11.1976 – 31.10.1977	164,71	2,1
1.11.1986 – 31.10.1987	108,30	41,02
1.11.1995 - 31.10. 1996	129,46	14,07

Zdroj dat: ČHMÚ, výpočet autorka

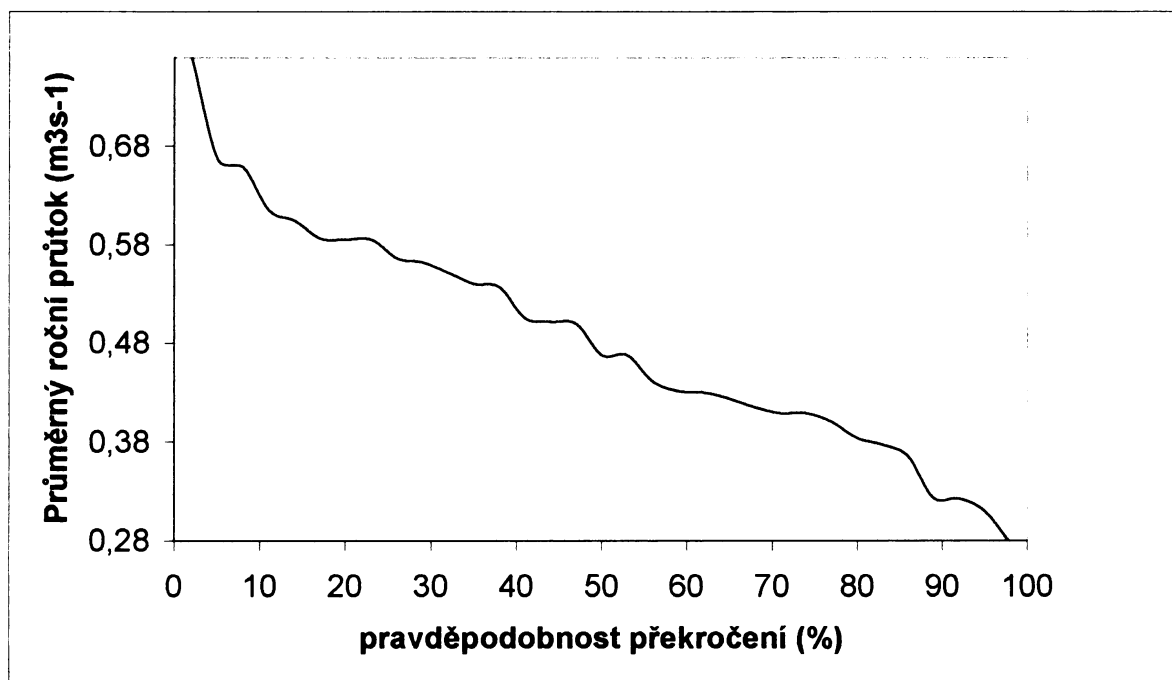
Ze zjištěných pravděpodobností překročení za sledované období byla pro řeku Bílou Opavu sestrojena čára pravděpodobnosti překročení. Křivka je však sestrojena z nepříliš dlouhé řady hodnot. Pro zjišťování hodnot průměrných ročních průtoků, které jsou vzácnějších z hlediska pravděpodobnosti překročení, je nezbytné čáru extrapolovat do oblasti malých nebo velkých procent překročení. (Kemel, Kolář, 1980)

Pro řadu průměrných ročních průtoků lze také hodnotit průměrnou dobu opakování N tzn. počet let, během kterých byla daná hodnota průtoku dosažena nebo překročena v dlouhodobém průměru pouze jednou. Výraz P je vypočtená pravděpodobnost překročení.

$$N = \frac{100}{P \%}$$

Příkladem: $Q_{10} = 0,62 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, $Q_{20} = 0,667 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, $Q_{50} = 0,769 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

Obrázek č.23: Křivka pravděpodobnosti překročení



Zdroj dat: ČHMÚ, výpočet autorka

5.2.4 Extrémní průtoky

Pod pojmem extrémní průtoky rozumíme průtoky minimální a maximální, které také charakterizují hydrologický režim toku.

5.2.4.1 Maximální průtoky

Maximálním průtokem rozumíme největší průtok ve sledovaném průtočném profilu za dané období. Vlivem silných vydatných dešťů, táním sněhu a ledu či umělým zásahem můžeme na toku pozorovat přechodné, ale výrazné zvýšení průtoků a hladiny. Ke vzduť vodní hladiny však také může docházet bez zvyšování průtoků, např. vlivem zatarasení koryta toku a snížení jeho průtočnosti. Přechodné zvětšení průtoků a následný pokles se nazývá průtoková vlna. Voda, která nemůže rychle odtéct, se vylévá z koryt a způsobuje záplavy často velkých rozměrů. Jestliže dochází ke značnému vzrůstu průtoků a maximální hodnoty, tzv. kulminační průtoky, jsou mimořádné, má průtoková vlna charakter povodně a je nazývána povodňová vlna. Obecně povodní rozumíme výrazné zvýšení hladiny toku, způsobené náhlým zvětšením průtoků nebo dočasným zmenšením průtočnosti koryta. (Netopil, 1984) Dle příčin vzniku rozeznáváme povodně dešťové, sněhové a smíšené.

Každá povodňová vlna má svůj počátek, tzv. patu povodně, kterým rozumíme okamžik, kdy dochází k rychlému zvyšování hladiny. Konec povodně nastává s poklesem

hladiny na počáteční stav. Doba trvání je tedy čas mezi počátkem a koncem povodně. Charakter povodňové vlny je dán kalendářním výskytem nejčastějších povodní, objemem průtokových vln, typickým časovým průběhem a vrcholem povodně.

Povodňové stavy řeky Bílé Opavy (vodoměrná stanice Ludvíkov) jsou ovlivňovány řadou faktorů. Zásadní vliv má geologická stavba, půdní kryt a vegetační kryt a celkový charakter povodí, především jeho velikost, tvar a hustota říční sítě. K dalším patří např. zásoby podzemních vod, režim nástupu vyšších teplot vzduchu, přívalové deště, maximální denní úhrny srážek, intenzita srážek a předchozí zavláženost povodí. V zájmové oblasti dochází vlivem nepropustnosti podloží, reliéfu a nepříznivým sklonitostním poměrům k minimálnímu vsaku srážkových vod a k rychlému odtoku vody z povodí.

Typické povodňové stavy jsou vázány na jarní období. Souvisí se vzrůstem teploty vzduchu a odtáváním sněhové pokrývky. Často je odtávání doprovázeno srážkami, které mohou rychlost i intenzitu odtávání značnou mírou ovlivnit. (Bezsrážkové odtávání je charakterizováno vyrovnanějším chodem průtoků, kdy pokrývka odtává postupně). Jarní povodně mají charakter náhlého zvýšení průtoků, s rychlým dosažením kulminačního průtoků, následným pozvolným déletrvajícím poklesem (při zachování zvýšených průtoků) a opětovnou kulminací. Nejčastěji se povodňové stavy vyskytují v dubnu a v květnu. Poměrně často se udržují relativně vysoké průtoky po celé dva měsíce, pouze s menšími, krátkými výkyvy. Dalším, v předchozím textu zmíněným, charakteristickým povodňovým obdobím jsou letní měsíce, kdy povodňové stavy vznikají především z přívalových dešťů. Pro letní období je také charakteristický růst termické konvekce související s tvorbou bouřkových oblaků. Typická je krátká doba trvání a rychlá kulminace. V letním období se také mohou projevat déletrvající tzv. krajinné deště, podmíněné výskytem cyklon, kdy se průtoky udržují ve vysokých hodnotách po delší období.

Po ukončení vydatných dešťů ustává povrchový odtok a průtok celkově klesá. Někdy však zvýšené hladiny podzemních vod mohou způsobovat větší vodnosti řek a to i po relativně delší období. Vzrůst a tvorba povodňových průtoků je také závislá na směru postupu intenzivních dešťů. Dochází – li k postupu srážek směrem k rozvodnici, odtok pozvolna narůstá a tvorba povodňových průtoků je plynulejší. V opačném případě nastávají maximální povodně. V případě rovnoměrného rozdělení srážek v povodí dojde ke zvýšení vodního stavu a voda odtéká postupně. Zvýšené vodnosti trvají déle, do doby než proteče voda z horní části povodí.

Zimní sněhové povodně nejsou pro povodí Bílé Opavy příliš typické.

Všeobecně jsou dešťové povodňové stavy způsobeny vysokými úhrny vypadlých srážek, jež jsou spojeny s oblastmi cyklon a brázd nízkého tlaku vzduchu, termickou konvekci či přechodem atmosférických front.

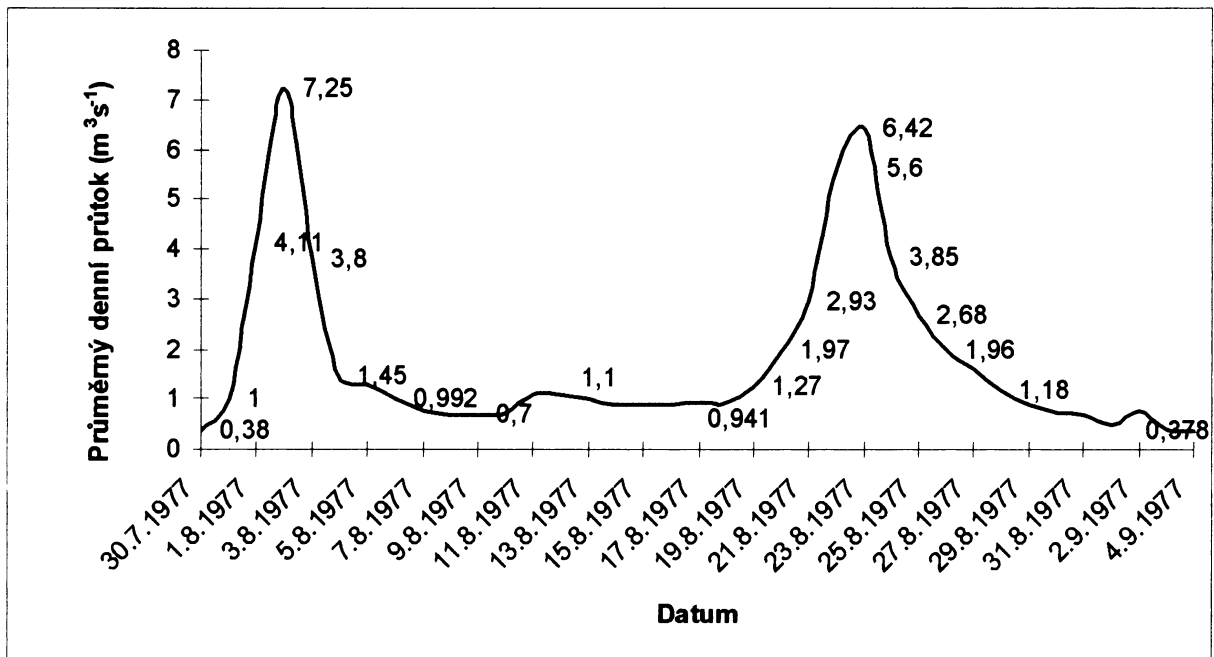
Povodně v červenci 1997 byly zapříčiněny extrémními srážkami, které měly zprvu charakter bouřkových lijáků. První vlna srážek způsobená přechodem teplotně asymetrické cyklony přes území ČR k severovýchodu, byla orograficky zesilována na severovýchodních svazích Jeseníků. Povodí se vyskytovalo v oblastech s nejvyššími úhrny srážek. Druhá vlna srážek byla vyvolána splynutím 2 frontálních systémů (rozdílných teplot) postupujících k severovýchodu, vytvořením tlakové níže a zesílením výstupných pohybů v této tlakové níži na severovýchodních svazích. Srážkoměrná stanice Vidly, nacházející se v blízkosti povodí Bílé Opavy, vykazovala srážkové úhrny přes 300 mm za dva dny (www.chmi.cz).

Ke kulminaci na Bílé Opavě došlo 7.7.1997, přibližně ve stejnou dobu jako na Černé, a Střední Opavě. Díky tomuto faktu bylo Vrbno pod Pradědem postiženo záplavami ve velkém rozsahu. Byla likvidována zástavba podél řek. Po ukončení povodní byla provedena kapacitní úprava toku.

Průběh letní povodňové vlny (letní srážková povodeň) v roce 1977 v profilu vodoměrné stanice Ludvíkov je znázorněna na obrázku č.24.

Dobou opakování povodně N je počet let, v jejichž průběhu je hodnota průtoku dosažena nebo překročena v dlouhodobém průměru jednou. Způsob výpočtu je objasněn v kapitole roční průtoky.

Obrázek č.24: Povodňová vlna na Bílé Opavě v roce 1977



Zdroj dat: ČHMÚ

Povodňové vlny mohou mít různý tvar, velikost i rozpětí, v závislosti na celé řadě faktorů. Jednoduché povodně mají jen jedno maximum a trvají obvykle krátce (epizodické přívalové deště), naopak velké a složité povodně mohou trvat dlouhou dobu a vyznačují se několika maximy (jarní tání).

5.2.4.2 Minimální průtoky

Minimálními průtoky rozumíme výrazně nižší průtoky než je dlouhodobý průměrný průtok Q_a . Základními charakteristikami malých vod jsou:

absolutní minimální průtok - vůbec nejnižší zjištěný průměrný denní průtok $Q_d = 0,071 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

průměr ročních minim - $Q_{\min} = 0,134 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

voda 355 denní - $Q_{355} = 0,18 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (pro „průměrný rok“)

voda 364 denní - $Q_{364} = 0,1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (pro „průměrný rok“)

medián řádu ročních minim $Q_{\min} = 0,132 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

Období malých průtoků, také režim malých vod, se vyskytuje po bezsrážkovém období, kdy ustává povrchový odtok. a významnou část vodnosti řeky tvoří podzemní vody. Nejdůležitějšími faktory působícími na režim malých průtoků jsou faktory klimatické, biologické, geologické a hydrogeologické. Povodí Bílé Opavy se vyznačuje nepříznivými hydrogeologickými vlastnostmi, nepropustným podložím, velkou sklonitostí, což neumožňuje přílišné obohacování zásob spodních vod. Malé průtoky jsou spojeny s druhou polovinou zimy. Z klimatických faktorů ovlivňujících režim malých vod je nejdůležitější teploty vzduchu, která má rozhodující vliv na ostávání sněhové pokrývky a tedy chod odtoku z ní. Vliv reliéfu se projevuje vzrůstem atmosférických srážek s nadmořskou výškou. Rozhoduje také stupeň zařezanosti koryta do vodonosných vrstev. Rozdílné hodnoty minimálních průtoků jsou výrazně ovlivňovány celkovou vodností během roku. Např. pro hydrologický rok 31.10.1976 – 1. 1.1977 je $Q_{355} = 0,3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, což převyšuje průměr ročních minim dvakrát. Období, kdy alespoň po dobu 3 dnů byl průměrný průtok nižší nebo dosáhl hodnoty 355 ti denního průtoky je nazváno jako suché období. Příkladem suchého období je měsíc říjen roku 1992.

6 Změny vodních stavů

V předešlých kapitolách věnovaných průtokům bylo řečeno, že průtok je časově posunutým výsledkem odtoku v povodí, který se mění s jistým časovým odstupem s vydatností vodních zdrojů. Neustálá změna průtoků vede také k neustálému kolísání hladin toku. Tyto změny výšek jsou konečným a poměrně nápadným ukazatelem velmi složitého procesu odtoku vody z povodí (Dub, 1963).

V následujícím textu jsou zpracovány průměrné denní vodní stavy za období 1.12.2006 – 31.7.2007, zjištěné nově zavedeným hladinoměrem na Bílé Opavě, nacházející se nad ústím do Střední Opavy, v blízkosti Vrba pod Pradědem, cca 1 km, v nadmořské výšce 590 m n. m. Jde o automatický přístroj pro zápis vodních stavů, který pravidelně odečítá výšky hladin dle nastaveného časového kroku (10 minut). V důsledku velmi krátkého období pozorování mají níže uvedené výsledky pouze informativní charakter a mohou být podkladem pro další práce. Není také možno vyvozovat dlouhodobé zákonitosti změn vodních stavů.

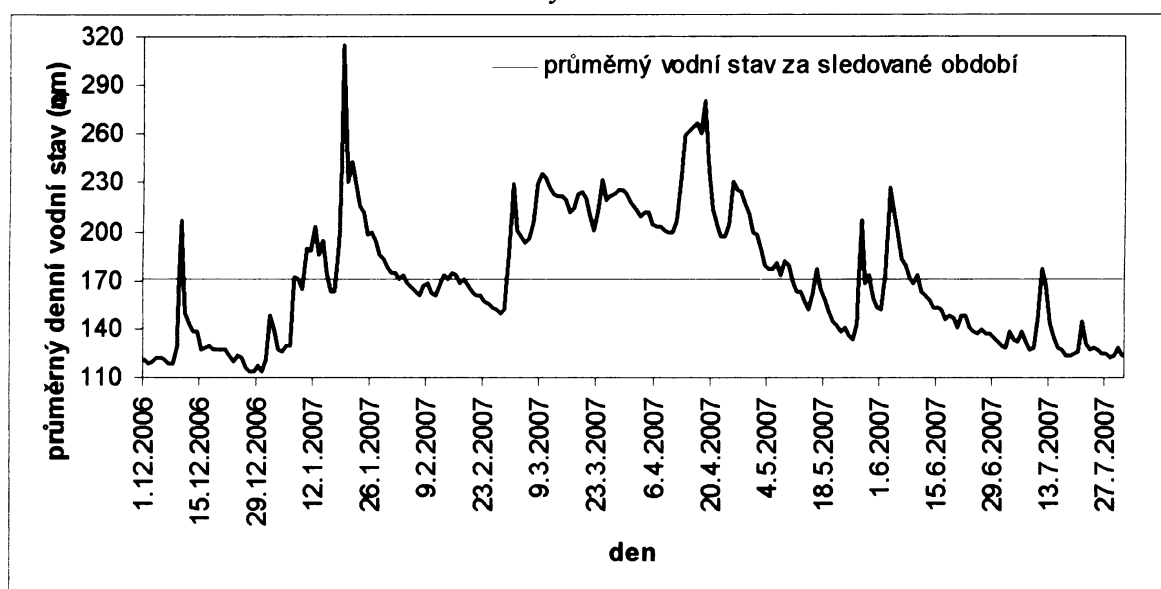
Vodním stavem H rozumíme svislou vzdálenost vodní hladiny od pevně zvoleného bodu - nuly vodočtu. Hodnota tedy udává relativní výšku hladiny. Vodní stavy jsou nejjednodušší charakteristikou vodního toku a nepřímým ukazatelem okamžikového stavu odtokového procesu v daném povodí. Obrázek č.25 znázorňuje chod průměrných denních vodních stavů za sledované období. Je patrné, že hodnoty se vyznačují značnou rozkolísaností. Hodnoty a změny průměrných denních vodních stavů jsou ovlivňovány řadou faktorů, především proměnlivostí průtoků (popsáno v předešlém textu) a fyzickým stavem koryta řeky. Vyšší vodní stavy byly zaznamenány v polovině ledna, což může být způsobeno poměrně vysokými průměrnými denními teplotami, spojenými s táním sněhové pokrývky v povodí a změnou průtoků. Pokles v druhé polovině zimy je zřejmě spojen s nízkou vodností řeky (nižší srážkové úhrny, většina srážek ve formě sněhu, voda akumulována na povrchu povodí ve sněhové pokrývce). Jarní zvýšení vodních stavů odráží zvýšenou vodnost spojenou s táním sněhové pokrývky, doprovázené srážkami. Výkyv v polovině května je zapříčiněn malou vodností řeky, způsobenou nižšími srážkovými úhrny, vyšší teplotou vzduchu podmiňující větší výpar. Uvedené příčiny platí také pro plynulý pokles vodních stavů od poloviny června, narušovaný menšími výkyvy vodností ve spojitosti s dešti.

V daném sledovaném období byla maximální hodnota průměrného denního vodního stavu zaznamenána **19.1. 2007 (H = 315 mm)**, hodnota minimální pak **27.-28.12.2006 a 31.12.2006 (H=114mm)**. V rámci desetiminutových měření během dne bylo maximum naměřeno rovněž **19.1.2007 (H = 432 mm, 05:30)**, minimum **30.12.1986 (H=98mm, 03:20)**

Představu o celkové rozkolísanosti podává tzv. hydromodul – rozdíl maximální a minimální hodnoty vodního stavu. Pro průměrné denní vodní stavy je toto rozpětí rovno **201 mm**, z hlediska absolutního minima a maxima je hodnota rozpětí **334 mm**.

K dalším charakteristikám rozložení průměrných denních vodních stavů patří střední vodní stav – **167 mm** a nejčastější vodní stav – **129 mm**

Obrázek č.25: Průměrné denní vodní stavy za období 1.12.2006 – 31.7.2007

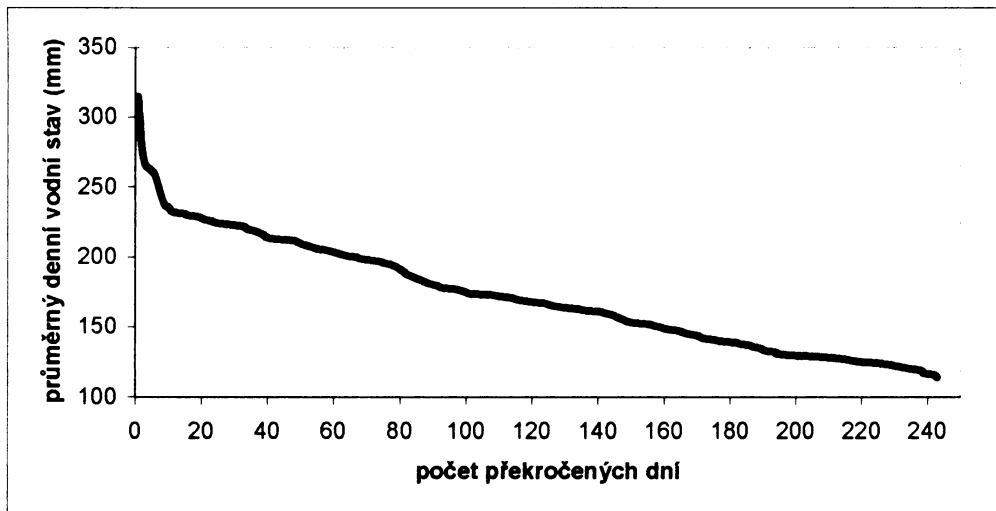


Zdroj dat: Databáze hladinoměru na Bílé Opavě

Rozkolísanost vodních stavů lze také vyčíst z křivky překročení – analogická křivka k čáře překročení průměrných denních průtoků (viz kapitola denní průtoky). Z dané křivky lze také vypočítat jak dlouho v daném roce trval daný vodní stav a stavy vyšší. Čára překročení je standardně konstruována pro 365 dní, avšak z důvodů krátké doby pozorování byla z naměřených hodnot sestrojena informativní čára překročení za sledované období 243 dní, charakterizující rozkolísanost sledovaného souboru. Z čáry překročení lze také vyvozovat M-denní vodní stavy, tzn. vodní stavy, které byly dosaženy nebo překročeny M dní v roce – pro sestrojenou křivku pouze M dní ve sledovaném období. Např. $H_{30}=223\text{mm}$, $H_{100}=175\text{mm}$, $H_{220}=125\text{mm}$. Z hlediska hodnocení průměrných měsíčních vodních stavů lze pozorovat zvýšené hodnoty v jarních měsících březnu a dubnu, v menší míře pak také v lednu. Naopak podprůměrný měsíční vodní stav ve srovnání s ostatními měsíci vykazuje červenec. Příčiny zvýšených hodnot průměrných vodních stavů jsou uvedeny výše. Průměrné denní vodní stavy v březnu se celkově vyznačovaly menšími hodnotami a lehké zvýšení hladin v půlce měsíce se co do velikosti rovnalo pouze průměrným stavům v březnu a dubnu.

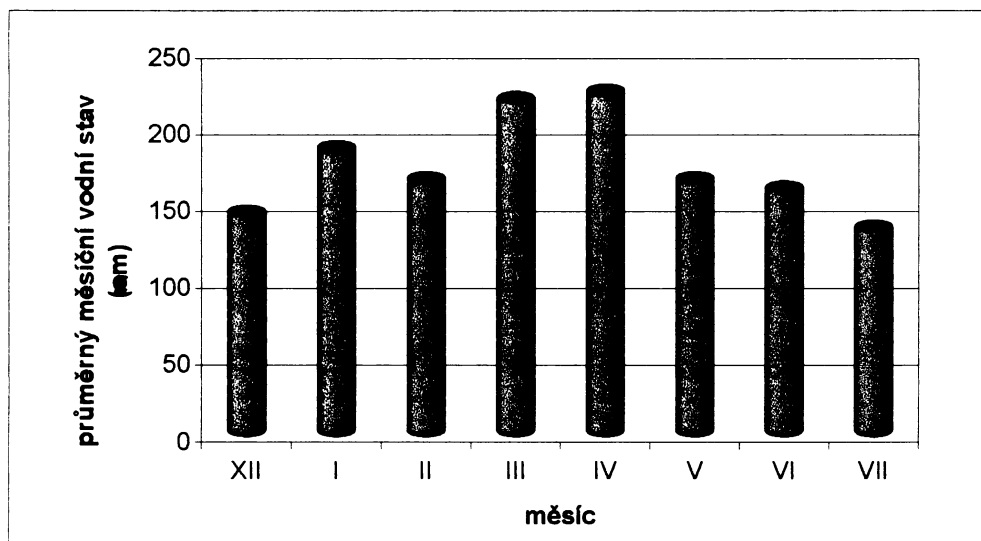
Rozkolísanost (vyjádřená jako rozdíl maximálních a minimálních hodnot průměrných měsíčních stavů) je charakterizována hodnotou:88,604 mm. Má zde však pouze informativní charakter.

Obrázek č.26: Křivka překročení vodních stavů za období 1.12.2006 – 31.7.2007



Zdroj dat: Databáze hladinoměru na Bílé Opavě

Obrázek č.27: Průměrné měsíční vodní stavy

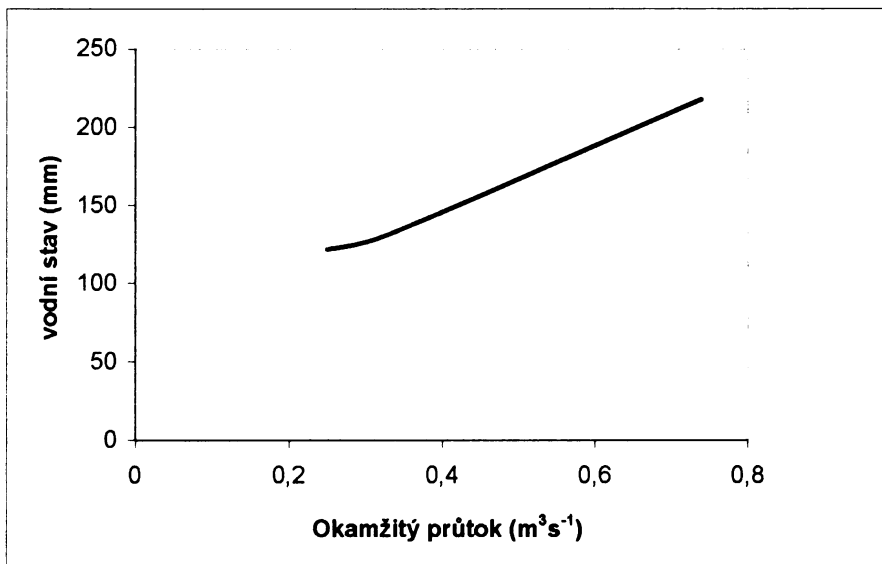


Zdroj dat: Databáze hladinoměru na Bílé Opavě

Aby bylo možné pro jakýkoliv vodní stav pozorovaný (v určitém profilu) na Bílé Opavě určit odpovídající průtok, je důležité sestavit konsumpční křivku, vyjadřující závislost průtoků na vodním stavu. Na Bílé Opavě proběhla celkově 3 měření okamžitých průtoků a vodních stavů, která tvoří základ pro konstrukci konsumpční křivky. V budoucnu bude dalším měřením průtoků docházet k postupnému zpřesňování. Správnost takto určené závislosti

(průtoků na vodním stavu) je ovlivněna především přesností vstupních dat a vlivem neustálých změn probíhajících v korytě řeky.

Obrázek č.28: Základ pro konstrukci konsumpční křivky



Zdroj dat: Měření na Bílé Opavě

7 Diskuse

Přesnost dosažených výsledků je ovlivněna především podrobností vstupních dat, dostupností literatury, mapových podkladů a údajů o srážkách a průtocích v zájmovém povodí.

Kvalita zpracování hydrografických a fyzickogeografických charakteristik je tedy dána především již zmíněnou podrobností literatury a vstupních mapových podkladů. Většinou byla využívána různá mapová díla o měřítcích 1:25 000 se základním intervalem vrstevnic 5 m, což se může projevit ve zkreslení výstupních dat, především charakteristik terénu. Studium digitálních podkladů o měřítcích 1:25 000 a 1:50 000 zase působí určité zkreslení v měření délek a ploch, které jsou dále zahrnuty v hodnotách počítaných hydrografických koeficientů.

Problémové je díky předchozímu také vedení dílčích rozvodnic jednotlivých potoků v rámci povodí Bílé Opavy, které ovlivňuje přesnost nárustu plochy povodí ve směru toku. Otázkou je také aktuálnost všech zdrojů a především literatury, která je základem celé práce. Není proto vyloučeno, že v práci nejsou zahrnuty všechny aktuální změny v krajině.

Charakteristika režimu odtoku je ovlivněna především časovým rozpětím řady průměrných denních průtoků. Zcela zásadně se projevuje fakt, že poskytnutá data nezahrnují poslední desetiletí, kdy docházelo k proměnám přírodních poměrů i k proměnlivému vlivu všech faktorů ovlivňujících srážkoodtokový proces. Také tvar křivky překročení nemusí úplně vystihovat současnou situaci. Průměrná denní data nejsou zcela nejvhodnější pro popsání extrémních průtoků a tvorbě povodňových vln, lépe využitelná by byla data podrobnější, např. hodinová. Poznání srážkoodtokového procesu v povodí Bílé Opavy je také omezeno výskytem jediné vodoměrné stanice na toku, nepodávající dostatečné informace o stavech v horní části povodí.

Nejdůležitějším faktorem ovlivňujícím popis režimu srážek je aktuálnost a podrobnost vstupních dat. V povodí se vyskytuje pouze jedna srážkoměrná stanice, která nepodává dostačující informace o celkovém chodu srážek v povodí, zvláště pak ve vyšších nadmořských výškách. Také nedostatečně dlouhá řada pozorování neumožňuje vyvozování zásadních závěrů. Údaje ze srážkoměrné stanice Praděd (do roku 1997) neumožňují srovnání s řadou aktuálních dat. Vždy tak tedy byla postihnuta pouze určitá část povodí, nevypovídající o rozdílném chodu srážek v různých výškových oblastech. Interpolace dat také nepodává nej přesnější výsledky. V letech 1997 – 1999 zůstalo povodí zcela bez pravidelných měření srážek.

Poskytnuté údaje o vodních stavech nejsou díky velmi krátké době pozorování zcela využitelné, neumožňují vyvozování závěrů a jsou úkolem do budoucna.

Závěrem je také nutno zmínit chyby způsobené lidským faktorem, ať už při zpracování dat či praktickém měření, kdy se projevují další vlivy jako např. stav měřících přístrojů.

8 Závěr

Veškeré poznatky zjištěné v předchozích kapitolách lze shrnout následovně:

Zájmové území je poměrně malým, protáhlým, ale symetricky uspořádaným povodím se značným sklonem, který je způsoben velkým převýšením pramenné a dolní části povodí. Západní část je z geologického hlediska součástí jednotky desenské klenby a je tvořena převážně rulami, východní část náleží k vrbenské skupině a je budována především křemenci a břidlicemi. Koryto Bílé Opavy je podmíněno tektonicky. Díky vodní erozi, spolu s účinky sněhu a dešťových srážek, je údolí toku hluboce zaříznuto v masivu Hrubého Jeseníku. Geologické poměry spolu s klimatem a georeliéfem ovlivňují půdní kryt zájmového území, který se významnou měrou podílí na tvorbě odtoku. Propustnější půdy spolu s nepropustným podložím a značným sklonem reliéfu vedou k rychlému odtoku vody z povodí. Vliv na celkový odtok má také vegetační kryt, především lesní porosty, které pokrývají 94 % území.

Na tvorbě průtoků se podílí uspořádání říční sítě, v zájmové oblasti spíše stromovité, dochází tedy ke střídavému posilování hlavního toku, což se projevuje především na formování povodňových průtoků. Přitoky mají často plošný charakter nebo jde o dravé bystřiny.

Největší vliv na režim odtoku mají srážkové události a jarní tání sněhové pokrývky. Vyšší srážkové úhrny vykazují vrcholové části povodí nad 1000 m n. m, severozápadní část je srážkově bohatší než část jihovýchodní. Maxima přináší květen až srpen, minima leden až duben a říjen.

Celkově je režim odtoku mírně nevyrovnaný, vlivem zvýšeného odtoku v jarních měsících. V jarním období také pravidelně nastávají vyšší vodnosti díky tání sněhové pokrývky, které může být doprovázeno srážkami. Vyšší průtoky jsou zaznamenávány i v letním období za přívalových či regionálních dešťů. Minimální průtoky jsou obecně spojeny se zimním obdobím, kdy srážky vypadávají ve formě sněhu a voda je akumulována na ploše povodí ve sněhové pokrývce.

Povodňové stavy jsou reakcí na zvýšené úhrny srážek, jarní tání sněhové pokrývky, popř. jejich kombinaci. Ohrožována je zástavba v okolí toku a město Vrbno pod Pradědem, kde se stékají všechny tři zdrojnice řeky Opavy.

9 Seznam použitých zdrojů

9.1 Literatura

Atlas podnebí česka. Praha 2007, 255 s.

Bosch, O. (2005): Povodí Odry. ANAGRAM s.r.o., Ostrava, 323 s.

Bretschko, G., Helešic, J., Kubíček, F. (1995): The ecological importace of river bottom.
Masarykova univerzita, Brno, 172 s.

Buzek, L. (1990): Přírodní podmínky ostravsko-karvinské oblasti. Ostravská univerzita,
Ostrava, 116 s.

Culek, M. (1995): Biogeografické členění České republiky. ENIGMA, Praha, 347 s.

Čermák, M. (1970): Aplikovaná hydrologie. HMÚ, Praha, 156 s.

Farský, I. (2005): Obecná fyzická geografie. Univerzita J.E.Purkyně, Ústí nad Labem, 97 s.

Demek, J. (1992): Neživá příroda. Muzejní a vlastivědná společnost, Brno, 242 s.

Demek, J. (1978): Obecná geomorfologie. Academia, Praha, 240 s.

Dub, O. (1963): Hydrológia, hydrografia, hydrometria. SNTL, Praha, 528s.

Dub, O. (1971): Minimální odtok z malých povodí. In: Hydrologické poměry malých povodí.
SVTS, Bratislava, str. 3-16.

Hydrologické poměry ČSSR 1965 - 1970 sv.I-III. Hydrometeorologický ústav, Praha

Hlubocký, B. (1971): Hydrologické podklady pro malá povodí. In: Hydrologické poměry
malých povodí. SVTS, Bratislava, str. 50 - 62.

Herber, V. (1990): Statistické metody v hydrologii. Masarykova Univerzita, Brno, 120 s.

Kaňok, J. (1997): Antropogenní ovlivnění velikosti průtoků řek povodí Odry po profil Kozle.
Ostravská Univerzita, Ostrava, 185 s.

Kemel, M., Kolář, V. (1980): Hydrologie. ČVUT, Praha, 292 s.

Kohoutek, F., Houser, M., Davídek, B. (1990): Československé řeky – kilometráže. Olympia,
Praha, 363 s.

Král, V., Korčák, J., Haufler, V. (1960): Zeměpis Československa. NČAV, Praha, 666 s.

- Královec, V. (2005): Hodnocení srážkoodtokových poměrů v povodí Opavy. Bakalářská práce UK PřF KFGG Praha, 86 s.
- Kříž, V., Kupčo, M., Sochorec, R. (1979): Měření průtoků. SNTL, Praha, 147 s.
- Kříž, V. (2004): Moravskoslezský kraj – klimatické a hydrologické poměry. Ostravská univerzita, Ostrava, 43 s.
- Kulhavý, Z., Kovář, P. (2000): Využití modelů hydrologické bilance pro malá povodí. VÚMOP, Praha, 123 s.
- Kunský, J. (1968): Fyzický zeměpis Československa. Státní pedagogické nakladatelství, Praha, 537 s.
- Květ, R. (1978): Minerální vody Severomoravského kraje. Ústřední ústav geologický, Praha, 1978.
- Muller, V. : (1192): Vysvětlivky k souhrnu geologických a ekologických víceúčelových map přírodních zdrojů. ČÚG, Praha, 38 s.
- Netopil, R. (1984): Fyzická geografie I. SPN, Praha, 173 s.
- Netopil, R. (1972): Hydrologie pevnin. SPN, Praha, 273 s.
- Poruba, Z. (1962) Vysvětlivky k přehledné geologické mapě ČSSR 1:200 000. Ústřední ústav geologický, Praha, 178 s.
- Quitt, E. (1971): Klimatické oblasti Československa. Studia geographica 16, Geografický ústav ČSAV, Brno, 82 s
- Řehánek, T., Kříž, V. (2002): Cvičení z hydrologie. Ostravská Univerzita, Ostrava, 54 s.
- Řehoř, F. (1998): Přehled historické geologie a regionální geologie České republiky. Ostravská Univerzita, Ostrava, 117 s.
- Slavík, L., Neruda, M. (2004): Vodní režimy v krajině. Univerzita Jana Evangelisty Turkyňe, Ústí nad Labem, 134 s.
- Tomášek, M. (2003): Půdy České republiky. Česká geologická služba, Praha, 68 s.
- Weissmannová, H. (2004): Ostravsko. AOPK ČR, Praha, 454 s.

9.2 Mapové podklady

Přehledná geologická mapa ČSSR 1:200 000. NČSAV, Praha 1962

Základní geologická mapa ČSSR 1:25 000 (list 14- 244 Karlova Studánka). ČÚG, Praha 1976.

Mapové přílohy k publikaci Hydrologické poměry ČSSR 1965 - 1970 sv.I-III.

Hydrometeorologický ústav, Praha

Základní vodohospodářská mapa České republiky 1:50 000 list 14 – 24 Bělá pod Pradědem, 15 – 13 Vrbno pod Pradědem.

Turistická mapa KČT č.55: Hrubý Jeseník. Olympus, Praha 2006

Základní hydrogeologická mapa 1: 50 000, list 14 – 24 Bělá pod Pradědem

Digitální model území 1:25 000, CENIA, Praha.

Mapa potenciální přirozené vegetace ČR 1:500 000, Český úřad zeměměřičský, Praha 1997

9.3 Internetové zdroje

<http://geoportal.cenia.cz>

<http://www.pod.cz/>

<http://merkur.nature.cz>

<http://heis.vuv.cz>

<http://www.chmi.cz/>

<http://www.ochranaprirody.cz/>

<http://www.geology.cz/extranet>

<http://www.jeseniky-praded.cz/chko/bo/bo.htm>

10 Seznam obrázků, tabulek a příloh

10.1 Seznam Obrázků:

Obr. č.1: Rozložení srážkových úhrnů v povodí Bílé Opavy.

Obr. č.2: Přehledová mapa povodí Bílé Opavy

Obr. č.3: Geologická mapa povodí Bílé Opavy

Obr. č.4: Údolí Bílé Opavy v NPR Praděd

Obr. č.5: Geomorfologické členění zájmové oblasti

Obrázek č.6: Hypsografie v povodí Bílé Opavy.

Obrázek č.7: Klimatické oblasti v povodí Bílé Opavy

Obrázek č.8: Mapa srážkových úhrnů v povodí Bílé Opava

Obrázek č.9: Průměrné měsíční srážkové úhrny ve stanici Praděd (1961 – 1996)

Obrázek č. 10: Roční chod srážek na stanici Karlova Studánka ve vybraných letech

Obrázek č.11: Údolí Bílé Opavy v NPR Praděd

Obrázek č.12: Půdní typy v zájmovém území

Obrázek č.13: Naučná stezka Bílá Opava

Obrázek č.14: Využití půdy v zájmovém území

Obrázek č.15: sklonitostní poměry v povodí Bílé Opavy

Obrázek č.16: hypsografická křivka v povodí Bílé Opavy

Obrázek č.17: Říční síť v povodí Bílé Opavy

Obrázek č.18: Průměrné denní průtoky za období 1.11.1963 – 30.6.1997

Obrázek č.19: Čáry překročení pro vybraná období

Obrázek č.20: Průměrné měsíční průtoky za období 1.11.1963 – 31.10. 1996

Obrázek č.21: Rozložení odtoku v ročních obdobích

Obrázek č.22: Průměrné roční průtoky za hydrologické roky 1.11.1963 – 31.10.1996

Obrázek č.23: Křivka pravděpodobnosti překročení

Obrázek č.24: Povodňová vlna na Bílé Opavě v roce 1977

Obrázek č.25: Průměrné denní vodní stavy za období 1.12.2006 – 31.7.2007

Obrázek č.26: Křivka překročení vodních stavů za období 1.12.2006 – 31.7.2007

Obrázek č.27: Průměrné měsíční vodní stavy

Obrázek č.28: Základ pro konstrukci konsumpční křivky

10.2 Seznam tabulek

Tabulka č.1: Základní charakteristiky variability

Tabulka č.2: Míry rozkolísanosti průměrných denních průtoků ve vybraných letech

Tabulka č.3: Procentuální podíly jednotlivých měsíců na celkovém odtoku

Tabulka č.4: Míry variability průměrných měsíčních průtoků

Tabulka č.5-Procentuální podíly p a pravděpodobnost překročení P_ε vybraných let

10.3 Seznam příloh

Příloha č.1: charakteristiky klimatických oblastí dle Quitta

Příloha č.2:Roční chod odtoku ve vybraných letech

Příloha č.3: Bílá Opava V Karlově Studánce

Příloha č.4: Bílá Opava v Ludvíkově

Příloha č.5: Rozdělení ploch dle nadmořských výšek

Příloha č.6 : Výsledky jednotlivých měření na Bílé Opavě

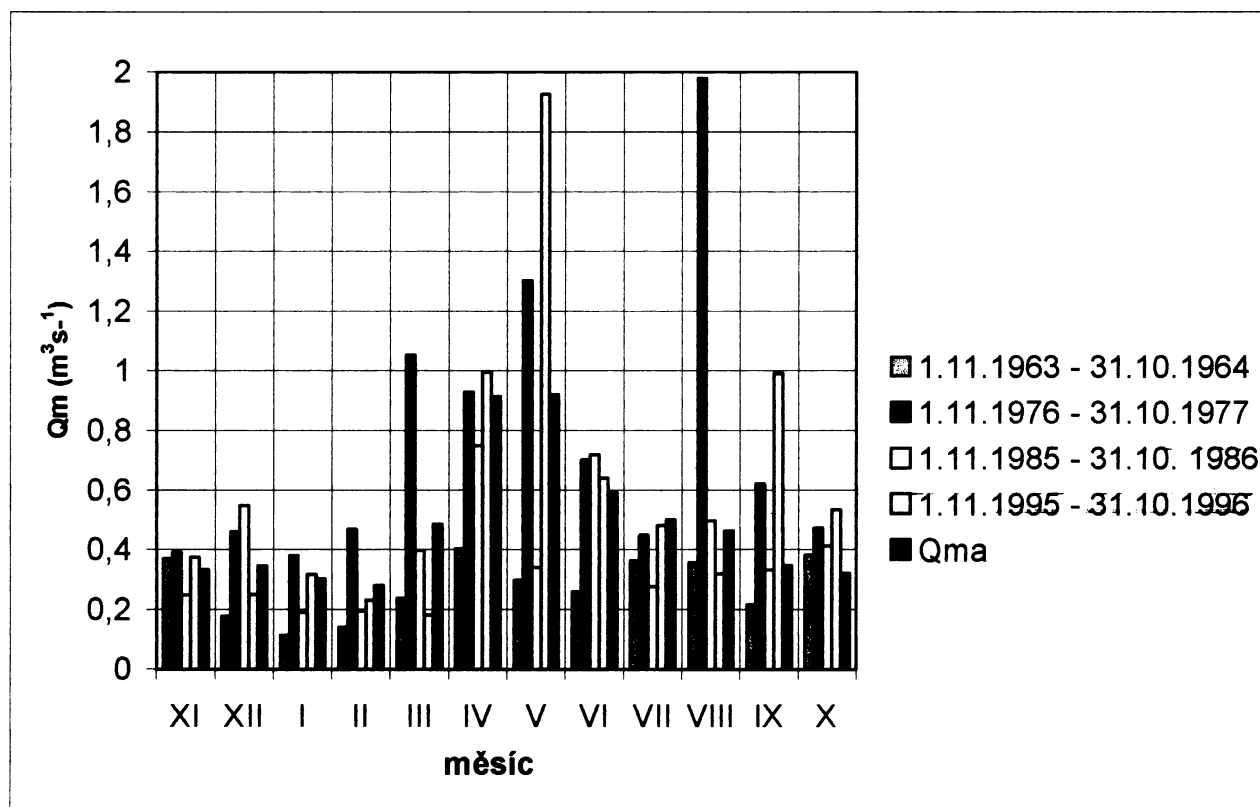
Přílohy

Příloha č.1: charakteristiky 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

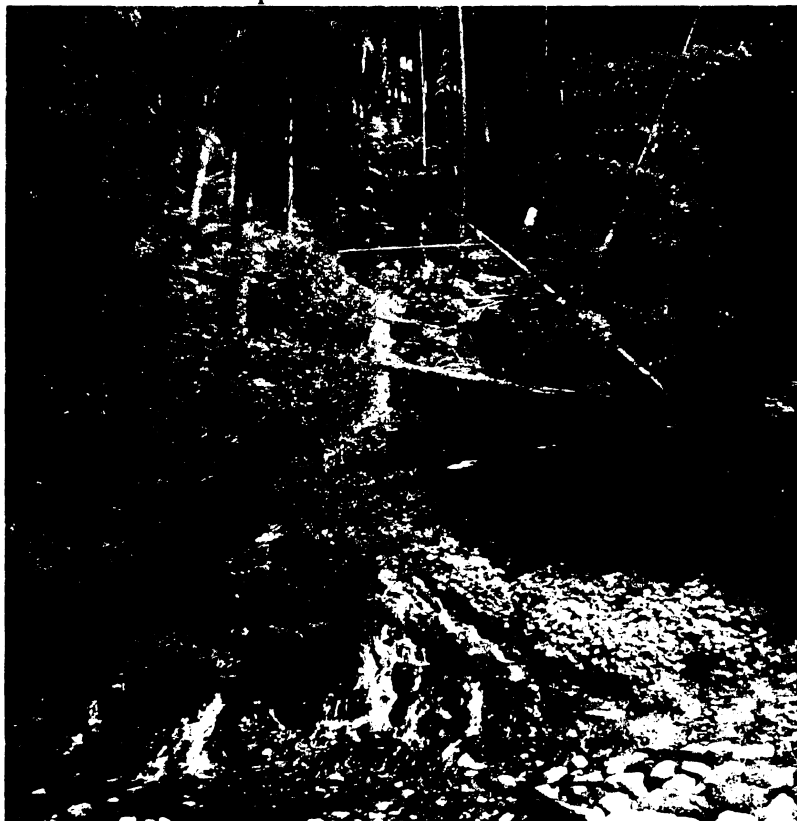
Zdroj dat : Quitt, E. (1971): Klimatické oblasti Československa

Příloha č.2:Roční chod odtoku ve vybraných letech



Zdroj dat: ČHMÚ, zpracování autorka

Příloha č.3: Bílá Opava V Karlově Studánce



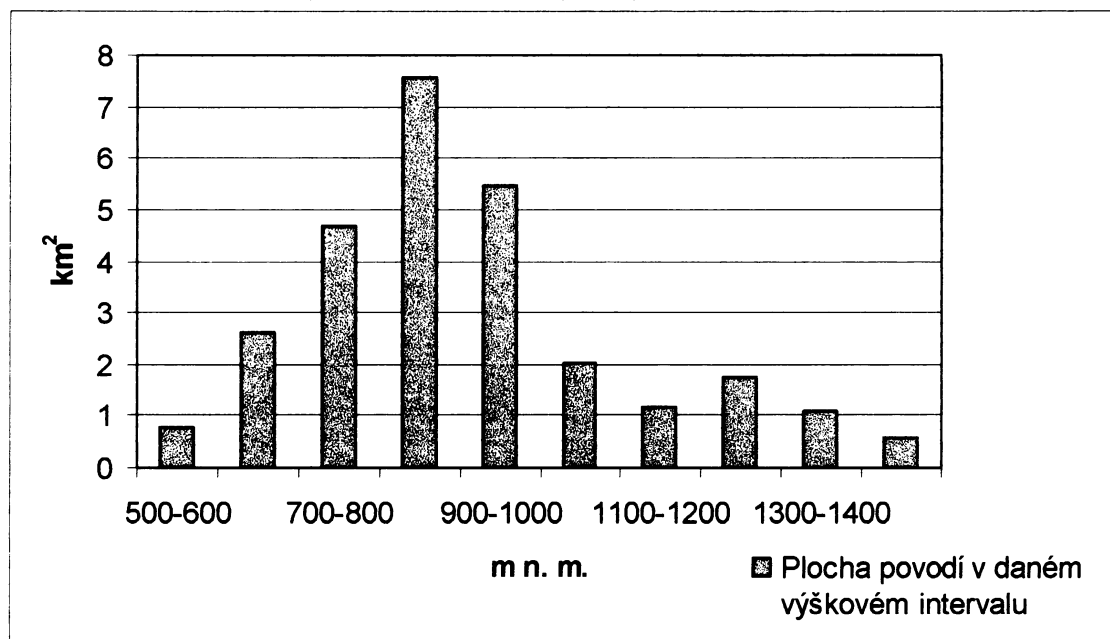
Zdroj dat: autorka

Příloha č.4: Bílá Opava v Ludvíkově



Zdroj dat: autorka

Příloha č.5: Rozdělení ploch dle nadmořských výšek



Zdroj dat: ARCdata, ArcČR

Příloha č.6 : Výsledky jednotlivých měření na Bílé Opavě

Datum	Q (m ³ s ⁻¹)	H(mm)
29.11.2006	0,327	131
16.3.2007	0,739	218
17.7.2007	0,25	122

Zdroj dat: Přímá měření