

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE
Přírodovědecká fakulta
Katedra fyzické geografie a geoekologie



**CHARAKTERISTIKA SRÁŽKO-
ODTOKOVÉHO REŽIMU PRAMENNÉ
OBLASTI OSTROVSKÉ BYSTŘICE**

**RAINFALL-RUNOFF REGIME IN THE
HEADWATER PART OF THE BYSTŘICE
RIVER BASIN**

Bakalářská práce

Kateřina ŠEDIVÁ

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně a že jsem všechny použité prameny řádně citovala.

Svoluji k zapůjčení této práce pro studijní účely a souhlasím s tím, aby byla řádně vedena ve fondu knihovny.

V Praze dne 27. května 2011

.....
Kateřina Šedivá

Poděkování

Na tomto místě bych chtěla poděkovat vedoucímu bakalářské práce RNDr. Michalu Jeníčkovi, Ph.D. za uvedení do problematiky, odborné vedení práce, pomoc při terénních měřeních, poskytnutí datových podkladů a za čas věnovaný úpravám práce.

Zadání bakalářské práce

Název práce

Charakteristika srážko-odtokového režimu pramenné oblasti ostrovské Bystřice

Cíle práce

Bakalářská práce si stanovuje následující cíle:

- 1) Zhodnocení vlivu vybraných fyzicko-geografických faktorů na odtokový režim v pramenných oblastech horských toků.
- 2) Analýza srážko-odtokového režimu pramenné oblasti ostrovské Bystřice v letech 2009-2010 na podkladě dostupných dat monitoringu a terénních měření v povodí.

Použité pracovní metody, zájmové území, datové zdroje

Bakalářská práce se zaměřuje na analýzu srážko-odtokového režimu v experimentálním povodí ostrovské Bystřice. Nejprve bude provedena obecná rešerše, ve které budou charakterizovány fyzicko-geografické faktory mající vliv na odtok vody z povodí. Rešerše se bude zaměřovat na pramenné oblasti horských toků. Dále bude provedena dílčí analýza srážko-odtokového režimu sledovaného povodí. Využita budou jednak data monitoringu katedry z hydrologických let 2009-2010 a také data vlastních terénních měření autorky. Data budou zpracována pomocí standardních statistických a geoinformačních metod.

Datum zadání: 10. 11. 2010

Jméno studenta: Kateřina Šedivá

Podpis studenta:

Jméno vedoucího práce: Michal Jeníček

Podpis vedoucího práce:

Charakteristika srážko-odtokového režimu pramenné oblasti ostrovské Bystřice

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá problematikou srážko-odtokového režimu a analýzou extrémních situací v pramenné části povodí ostrovské Bystřice.

Na začátku práce je zájmová oblast fyzicko-geograficky popsána a jsou zmíněny i vlivy jednotlivých faktorů na odtok. Obsah textu je dokumentován mapami. Charakteristiky srážko-odtokového režimu byly hodnoceny pomocí ukazatelů variability odtoku, které byly zpracovány ze získaných dat pomocí grafů čar překročení Q_d v hydrologických letech 2009 a 2010, dále byla pro jednotlivé roky sjednocena získaná data do M-denních průtoků. Výpočtem decilové odchylky byla zhodnocena míra variability odtoku. Rozložení měsíčních průtoků na Bystřici bylo v práci zobrazeno v hydrogramu a jejich variabilita v kruhových grafech zvlášť pro hydrologický rok 2009 i 2010. Pomocí statistických měr odtoku byla spočtena vyrovnanost odtoku, což bylo provedeno výpočtem koeficientu K_r a variačního koeficientu C_v . Na závěr byl odtokový režim doplněn výpočtem procentuální pravděpodobnosti překročení ročního odtoku. Podstatnou část práce tvoří zhodnocení vybraných extrémních událostí z hlediska jejich příčin a průběhu.

Extrémní situace byly konfrontovány se synoptickými situacemi, které během jejich průběhu přecházely přes naše území. Byly pomocí nich vysvětleny příčinné srážky a pomocí grafu byl znázorněn průběh každé situace.

Klíčová slova: srážko-odtokový režim, Bystřice, pramenné oblasti, povodně

Rainfall-runoff regime in the headwater part of the Bystřice River

Abstract

This bachelor thesis deals with the rainfall-runoff regime and analysis of extreme situations in the headwater part of the Bystřice River basin.

At first, the area of interest is described in physical and geographical terms and the influences of individual factors on the runoff are mentioned. The text content is documented by maps. The characteristic of rainfall-runoff regime is evaluated by means of runoff variability parameters. The variability is assessed by means of collected data using charts illustrating exceedance probability of average daily discharges in years 2009 and 2010. The flow variations are evaluated on the basis of decile deviations. The distribution of monthly discharges in the Bystřice River is displayed and the monthly flow variability is described in pie graphs separately for hydrological years 2009 and 2010. The monthly balance of the runoff is also evaluated by means of statistical measures of K_r and C_v coefficients. Finally, the runoff regime evaluation is completed with exceedance probability calculation of the mean annual discharge. The assessment of selected extreme events forms an important part of the thesis.

Extreme situations are compared with synoptic situations; it contributes to explain causal precipitations. All described situations are displayed in the graph.

Keywords: rainfall-runoff regime, Bystřice River, headwater parts, floods

OBSAH

1. Úvod.....	7
1.1 Úvod do problematiky	7
1.2 Cíle práce	7
2. Obecná charakteristika povodí a hydrologické extrémny	8
2.1 Fyzicko-geografická charakteristika povodí ostrovské Bystřice a vliv vybraných faktorů na odtok v pramenné části povodí	8
2.1.1 Lokalizace a rozloha povodí.....	8
2.1.2 Geologie a vývoj reliéfu.....	9
2.1.3 Charakteristika půdního pokryvu.....	10
2.1.4 Sklonitost svahu.....	10
2.1.5 Klimatické poměry.....	11
2.1.6 Větr.....	12
2.1.7 Množství slunečního záření	12
2.1.8 Množství srážek	13
2.1.9 Hydrologie oblasti	13
2.1.10 Využití ploch a vegetační pokryv	14
2.1.11 Ochrana přírody, flóra a fauna	15
2.2 Hydrologické extrémny vzniklé působením vybraných fyzicko-geografických faktorů....	16
2.2.1 Povodně	16
2.2.2 Extrémny sucha.....	17
3. Materiál a metody	19
3.1 Popis použitých dat a jejich zdroj.....	19
3.2 Popis metod práce s daty	19
4. Výsledky.....	22
4.1 Zhodnocení charakteristik odtoku	22
4.2 Rozbor extrémny situací	27
4.2.1 Průběh tání 31. 3. – 28. 4. 2009.....	27
4.2.2 Průběh tání 16. 3. – 10. 4. 2010.....	29
4.2.3 Průběh situace 3. – 9. 8. 2010	31
4.2.4 Průběh situace 26. 8. – 6. 9. 2010	32
4.2.3 Příčiny suchých období.....	33
5. Diskuze	34
5.1 Nejistoty spojené se zpracováním dat	34
5.2 Srovnávací analýza rozložení odtoku	34
5.3 Zhodnocení vlivu fyzicko-geografických faktorů na odtok	35
6. Shrnutí a závěry	36
7. Použitá literatura	37
8. Seznam obrázků	39
9. Seznam tabulek.....	40

1. Úvod

1.1 Úvod do problematiky

Každé povodí má určitý srážko-odtokový režim. Výška hladiny v tocích pak kolísá v závislosti na tom, jak se mění jejich dotace srážkami, táním sněhu a odtokem podzemní vody. Na základě měření lze vypočítat hodnoty průměrných měsíčních průtoků, které ukazují nerovnoměrnost v ročním odtoku. Lze tak vyzorovat režim odtoku a jeho charakteristické znaky.

Zejména horské toky mají odtok nevyrovnaný z důvodu zadržení vody ve sněhu po značnou část roku. Voda tedy odtéká později, a to v březnu až květnu. Vyšší jarní odtok je zásoben jednak vodou z již tajícího sněhu a jednak dešťovými srážkami. To pak může způsobovat zvýšené stavy hladin vodních toků – povodně. Naopak sucha nastávají převážně v letních a podzimních obdobích, kdy nedochází k tak silnému vypadávání srážek. V zimě je voda vázána ve sněhu a odtok na horských tocích je také nízký.

1.2 Cíle práce

V práci byly stanoveny následující cíle:

- 1) fyzicko-geografická charakteristika povodí Bystřice a vlivy na odtok
- 2) rozbor hydrologických extrémů způsobených vybranými fyzicko-geografickými faktory
- 3) zhodnocení variability odtoku pramenné části ostrovske Bystřice
- 4) analýza vybraných událostí na Bystřici

Podrobnější rozbor jednotlivých cílů a postup jejich vypracování viz kapitola 3. Materiál a metody.

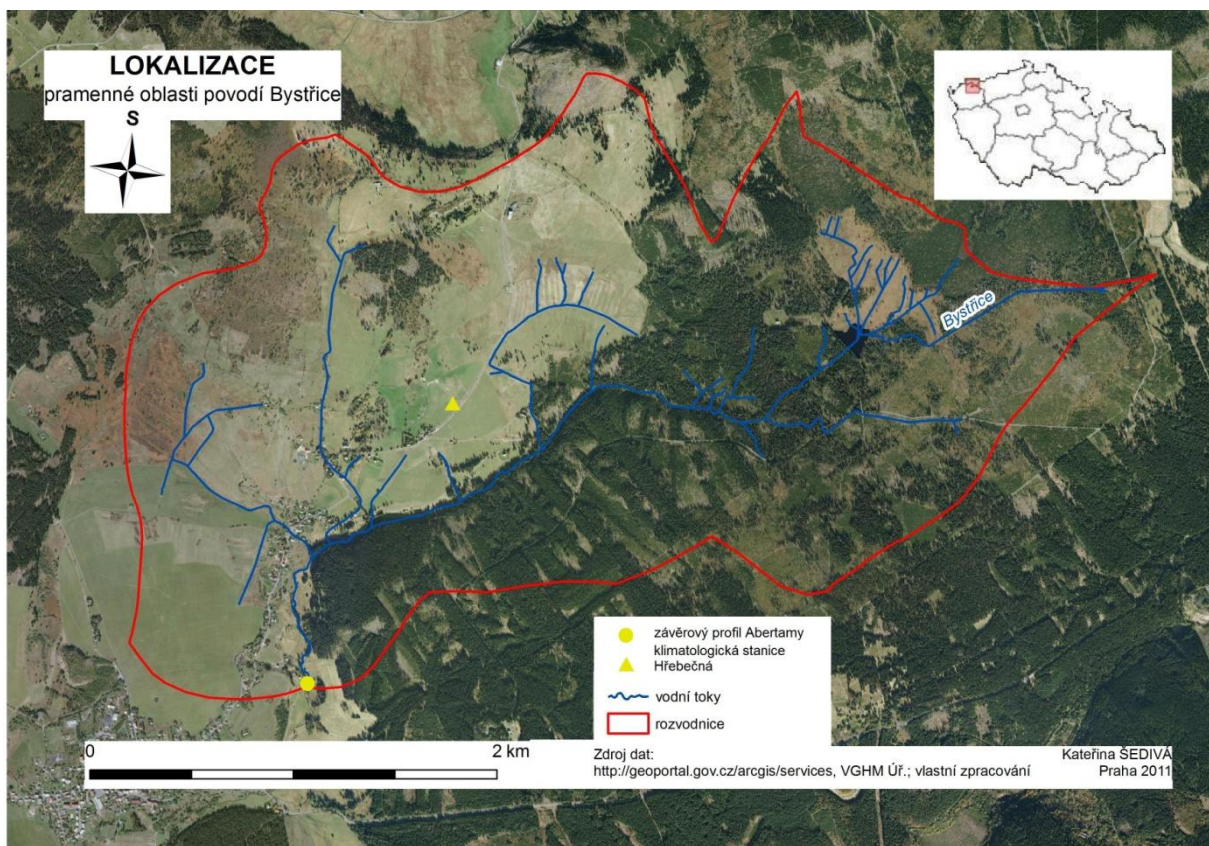
2. Obecná charakteristika povodí a hydrologické extrémny

2.1 Fyzicko-geografická charakteristika povodí ostrovské Bystřice a vliv vybraných faktorů na odtok v pramenné části povodí

2.1.1 Lokalizace a rozloha povodí

Bystřice pramení v Karlovarském kraji, severovýchodně od obce Hřebečná. Pramen nalezneme v rašeliništích západně od Božídarského Špičáku v nadmořské výšce 1 010 m n. m. (KČT – Karlovarsko 4, 2009). Její tok směřuje nejprve na jihozápad, u Abertam se tok obrací na jih a postupně až jihovýchod. Její vody zásobují obce Merklín, Hroznětín a Ostrov, nedaleko kterého se v nadmořské výšce 338 m zleva vlévá do Ohře na jejím 148,45 říčním kilometru.

V této práci je popisována pouze pramenná část povodí po Abertamy (obrázek 1), ve které se nachází klimatologická stanice Hřebečná.

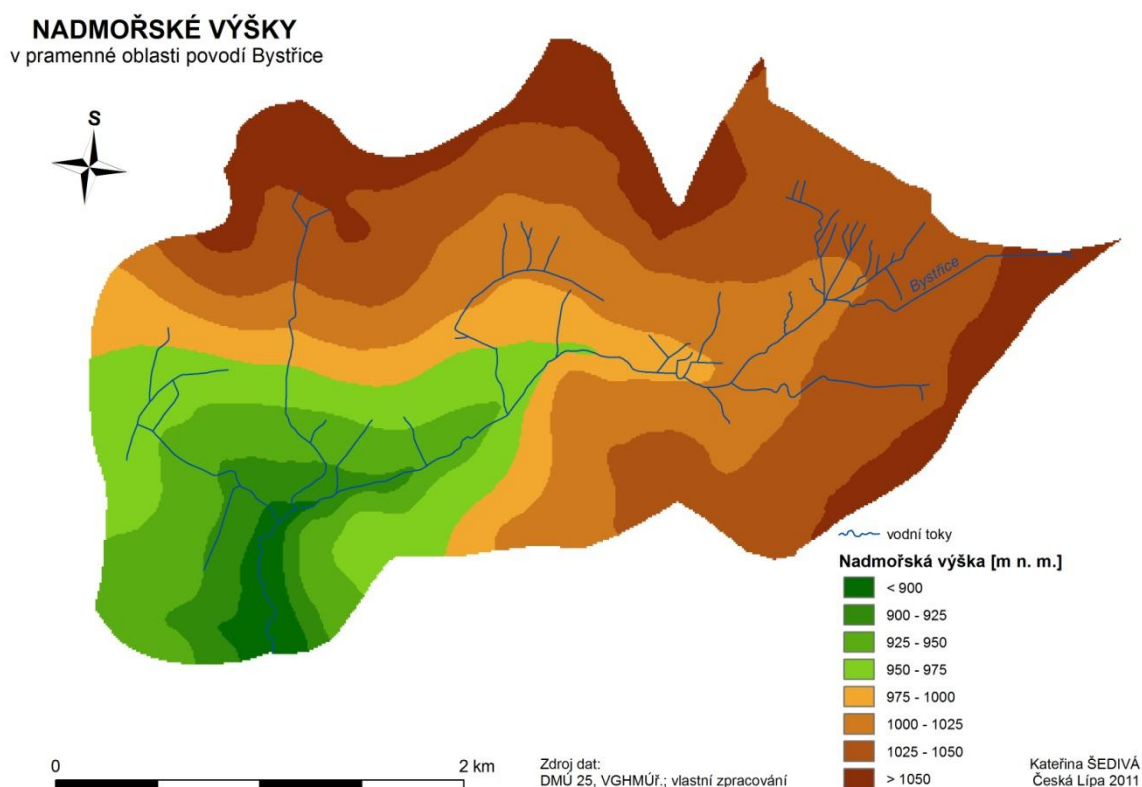


Obr. 1: Lokalizace pramenné oblasti povodí Bystřice

2.1.2 Geologie a vývoj reliéfu

Krystalinikum krušnohorské soustavy náleží do oblasti intenzivní variské tektogeneze při severním okraji Českého masivu (Škvor, 1975). Na vzhledu Českého masivu se však podílela i vulkanická činnost, která byla současná s horotvornými procesy alpského vrásnění v alpsko-karpatské oblasti. Alpínské procesy se odrazily vznikem tzv. saxonských zlomů a zlomových pásem, která místy vedla k průnikům magmat ze svrchního zemského pláště na povrch (Chlupáč a kol., 2002). Krušnohorské krystalinikum se skládá z různě metamorfovaných sedimentů prekambriického až staropaleozoického stáří (fylitů, svorů a pararul) a z migmatitů, ortorul a granitů. Pod celými Krušnými horami leží patrně souvislý granitický batolit (Petránek, 1993). Horninovým podložím jsou převážně svory a svorové pararuly metamorfního komplexu Krušných hor. Horniny jsou předpokládaného proterozoického a kambricko-ordovického stáří (Chlupáč a kol., 2002).

Jako celek představují Krušné hory vyzdviženou kru krystalinika s jednostranným úklonem k SZ (Škvor, 1975). Krušné hory jsou tedy jednostranně ukloněným kerným pohořím. Na jihu je krušnohorské krystalinikum ohraničeno litoměřickým zlomem a vlastní Krušné hory jsou od mladších útvarů na JV odděleny krušnohorským zlomem (místy s výškou skoku až 800 m) (Petránek, 1993). Směrem na opačnou stranu do Německa jsou svahy mírnější. Starý plochý reliéf je porušen mladou hloubkovou erozí toků, podmíněnou výzdvihem Krušných hor (Škvor, 1975). Viz obrázek 2.



Obr. 2: Nadmořské výšky v pramenné oblasti povodí Bystřice

Geomorfologicky je povodí Bystřice začleněno do systému Hercynského, subsystému Hercynská pohoří, provincie Česká Vysočina, subprovincie Krušnohorská, oblast Krušnohorská hornatina a celku Krušné hory. Podrobněji pak zájmová oblast spadá do podcelku Klínovecká hornatina, okrsku Jáchymovská hornatina a podokrsku Abertamská hornatina (Balatka, Kalvoda, 2006). Nejvyšší vrchol podokrsku je Božídarský Špičák (1 115 m n. m.).

2.1.3 Charakteristika půdního pokryvu

Na území povodí jsou nejrozšířenější kambizemě dystrické, podzoly a kryptopodzoly, vyskytující se především na svažitém, horském reliéfu. V místech, kde se tyto půdy vyskytují, dochází k půdotvornému procesu podzolizace, což je intenzivní vyplavování seskvioxidů (Fe_2O_3 a Al_2O_3). Na těchto plochách je velmi nízká přirozená úrodnost (Tomášek, 2007).

V oblasti Božídarských rašelinišť se pak nachází organozemě, vznikající intenzivní akumulací slabě rozložených rostlinných zbytků v silně zvodnělém prostředí. Půdy jsou silně prosycené vodou, mají nedostatek minerálních látek a často velmi kyselou půdní reakci (Tomášek, 2007).

Podél toků se místy vyskytují fluvizemě. Tyto půdy se vytvářejí v nivách řek a potoků z povodňových sedimentů (Němeček a kol., 2011). Ve větší nebo menší hloubce se nachází hladina podzemní vody, která se při větším toku shodně pohybuje s hladinou vody v korytě (tzv. poříční voda). Proto lze u většiny fluvizemí pozorovat velké výkyvy hladiny podzemní vody během roku (Horník, 1986). Nivní půdy závisí na charakteru substrátu – mohou být tedy písčité až jílovité, se štěrkem i bez štěrku (Horník, 1986).

V oblasti nesouvislé městské zástavby se vyskytují gleje a pseudogleje. Pseudogleje jsou charakterizovány výskytem výrazného mramorovaného, redoximorfního diagnostického horizontu. Vytvářejí se buď z luvisemí či litogenně zvrstvených eventuálně nepropustných substrátů (Němeček a kol., 2011). Gleje mají oproti pseudoglejům typický zrašelinělý horizont akumulací organických látek (Němeček a kol., 2011).

S půdním typem souvisí i půdní druh. Ten je pro odtok srážkové vody velmi důležitý. Významnou roli hraje především zrnitostní složení půdy a s ním spojená schopnost nasáknout do sebe vodu. Ta a retenční schopnost půdy je u organozemí a fluvizemí velmi dobrá. U pseudoglejů patří k nepropustným substrátům především subtyp pelický a písčitojílovitý, které mají oba značný obsah jílu. Toto nepropustné podloží zadržuje srážkovou vodu, která se v místech se špatným odtokem dočasně hromadí v částech půdního profilu a ovlivňuje tak jeho dynamiku. Podzolové půdy mají sorpční vlastnosti velmi špatné (Tomášek, 2007). Jejich druh je jílovitopísčité, což vypovídá o tom, že srážkové vody se špatně vsakují a odtok probíhá především po povrchu. Jílovité půdy patří k těžko obdělávatelným půdám a podle Novákovy klasifikace půdních druhů odpovídá obsah jílovitých částic o průměru menším než 0,01 mm minimálně 45 % (Horník, 1986).

2.1.4 Sklonitost svahu

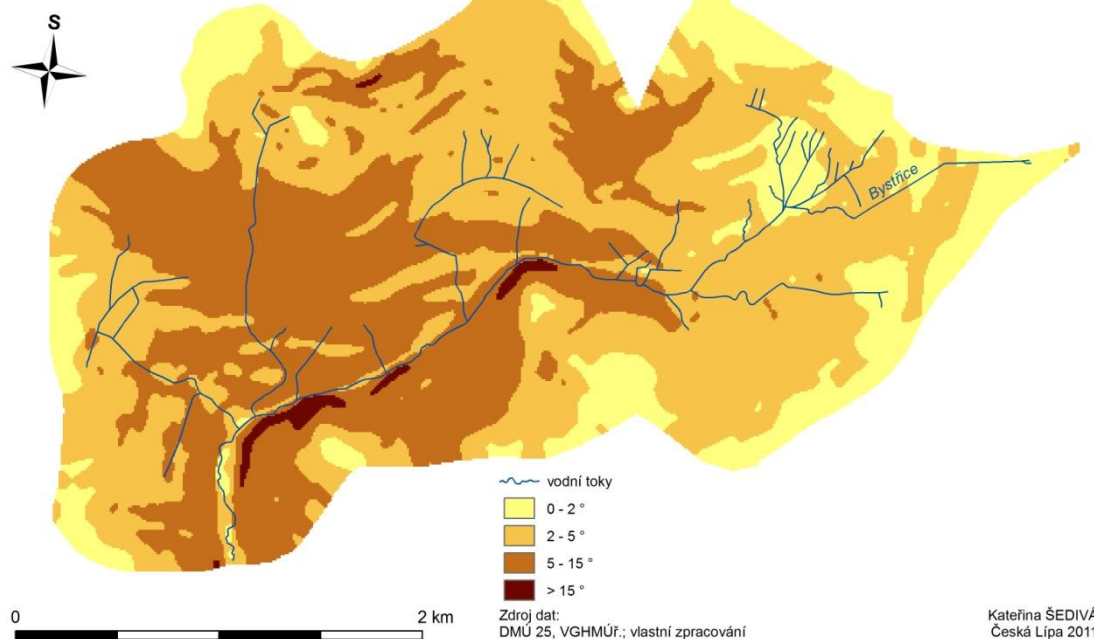
Sklonitostní poměry jsou v různých částech území jiné (obrázek 3). Náhorní část má především mírný sklon v rozmezí mezi 2-5°. V místech, kde je do podloží zaříznutý tok

Bystřice a jejích přítoků přechází sklon od mírného po střední 5-15°. Místy, převážně po levé straně toku, se vyskytují i výrazné svahy se sklonem větším než 15°.

Sklon svahu má výrazný vliv na odtok povrchové i podpovrchové vody a odnos materiálu. Čím je svah strmější, tím získává odtékající voda na rychlosti a tím i na síle, a tak lehčeji odnáší sedimenty a dochází k erozi. Odtok je tedy rychlejší na více sklonitých svazích, kdežto na rovinách je srážková voda zadržena a odtéká pomaleji.

SKLONITOST SVAHŮ

v pramenné oblasti povodí Bystřice



Obr. 3: Sklonitost svahů v pramenné oblasti povodí Bystřice

2.1.5 Klimatické poměry

Na ploše zájmového území se rozkládá region, pro který jsou typické následující charakteristiky: převládání průměrných denních teplot vzduchu nad 10 °C trvá v období do 120 dní za rok, průměrný úhrn ročních srážek přesahuje 650 mm a období sucha trvá do 30 dní (Moravec, Votýpka, 1998).

Köppenova klasifikace klimatu rozděluje světové klima na klimatická pásma A až E, v nichž se rozlišuje 11 typů a další podtypy na základě hodnot a vzájemných vazeb ročních a měsíčních úhrnů srážek a průměrů teplot (Tolasz, 2007). Podle té spadá tedy pramenná část toku do kategorie Dfc, což odpovídá boreálnímu klimatu. Písmeno D značí hranici teploty nejteplejšího a nejchladnějšího měsíce, f úhrn srážek v porovnání nejvlhčího letního a nejsuššího zimního měsíce a c vypovídá o průměrných teplotách nejteplejšího měsíce (Tolasz, 2007).

Další zařazení oblasti bylo provedeno podle klasifikace Atlasu podnebí Československé republiky 1958. Ta řadí zájmové území Bystřice oblast do mírně chladné oblasti s červencovými teplotami v rozmezí 12-15 °C (Tolasz, 2007).

2.1.6 Vítr

Vítr patří k nejproměnlivějším meteorologickým prvkům. Jde o veličinu, kterou určuje směr a rychlost. Oba parametry závisí na členitosti zemského povrchu a jeho pokrytí. Nejmenší drsnost povrchu má vodní hladina, větší louky a pole a největší odpovídá lesním porostům a městské zástavbě (Tolasz, 2007).

Oblasti nad 1 000 m n. m. se řadí k největrnějším oblastem v Česku. Řadí se k nim mimo jiné i Krušné hory. Dle Tolasze (2007) jsou v zájmovém území průměrné rychlosti větru mezi 6-8 m.s⁻¹. Dle hodnot měřených klimatologickou stanicí Hřebečná vychází průměrná rychlost větru v zájmovém území 2,59 m.s⁻¹. Naměřený směr větru odpovídá směrům, které uvádí Tolasz (2007), a to že proudění je převážně západní až severozápadní.

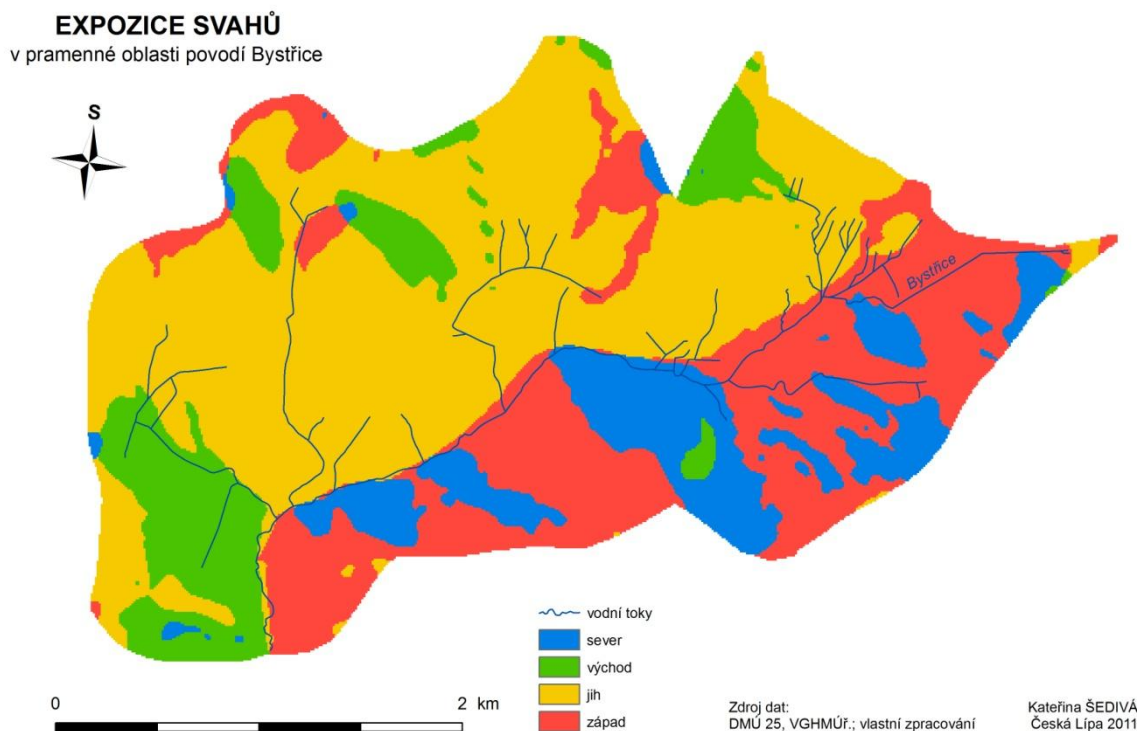
S rostoucí rychlostí větru při kladných teplotách se urychluje přenos tepla (advekcí) do vrstvy sněhu, a tím i její tání (Kopp, Němec, 2009). Odtávající voda ze sněhu může být tedy jednou z příčin jarních povodní.

2.1.7 Množství slunečního záření

Sluneční záření jsou elektromagnetické vlny vyzařované termojadernými procesy na Slunci a je rozhodujícím činitelem většiny atmosférických procesů, formuje globální klima, ovlivňuje životní prostředí a je i důležitým obnovitelným energetickým zdrojem (Tolasz, 2007).

Doba trvání slunečního svitu je časový interval mezi východem a západem Slunce, během kterého není sluneční kotouč zakryt oblačností nebo jinými překážkami. Ve zpracovávané oblasti je průměrný roční úhrn globálního záření 3 600 MJ.m⁻² (Tolasz, 2007).

Expozice svahů v zájmovém území je převážně jihozápadní až jihovýchodní (obrázek 4). Ta může být příčinou zvýšeného výparu nebo rychlejšího tání sněhové pokrývky. Důsledkem je prudší odtok na jaře či po letních srážkových událostech.



Obr. 4: Expozice svahů v pramenné oblasti povodí Bystřice

2.1.8 Množství srážek

Srážky v Česku jsou typické značnou prostorovou a časovou proměnlivostí, která je dána interakcí fyzikálních procesů jejich vzniku, atmosférické cirkulace a fyzicko-geografických charakteristik našeho území (Tolasz, 2007). Způsob vypadávání srážek se liší podle aktuálního období. V zimním půlroce (říjen – březen) jsou charakterizovány zpravidla menší intenzitou a delším trváním. Naopak v měsících letního půlroku (duben – září) mají srážky spíše kratšího trvání a větší intenzitu (Tolasz, 2007).

Průměrné roční úhrny srážek vypadávající na „náhorní plošině“ Krušných hor mají hodnoty 1 000-1 200 mm a pod nimi se pak nachází srážkový stín s nejnižšími hodnotami v republice pohybujícími se v rozmezí 450-500 mm ročně (Tolasz, 2007). I na tak malém území jakým je povodí Bystřice jsou znát rozdílné hodnoty srážek. Vyšší část povodí je zásobena srážkami více než oblasti v dolní části toku.

Na srážkách je závislý mimo jiné i termodynamický proces tání (Kopp, Němec, 2009). Srážky jsou tedy dalším z faktorů ovlivňující rychlost jarního odtoku a průtoku.

2.1.9 Hydrologie oblasti

V Krušných horách jsou díky humidnímu klimatu a příhodnému reliéfu významnou oblastí z hlediska počtu vrchovištních jezer. Na hřebeni pohoří se nacházejí desítky vrchovišť, na nichž se vyskytuje velké množství vodních tůní (Janský, Šobr, 2003). K těm

patří i Božídarská rašeliniště (obrázek 5), která se nachází mezi Božídarským Špičákem a Mrtvým rybníkem. Božídarský komplex sestává z pěti částí více méně od sebe oddělených buď přirozeně, nebo uměle (Dohnal, 1965).

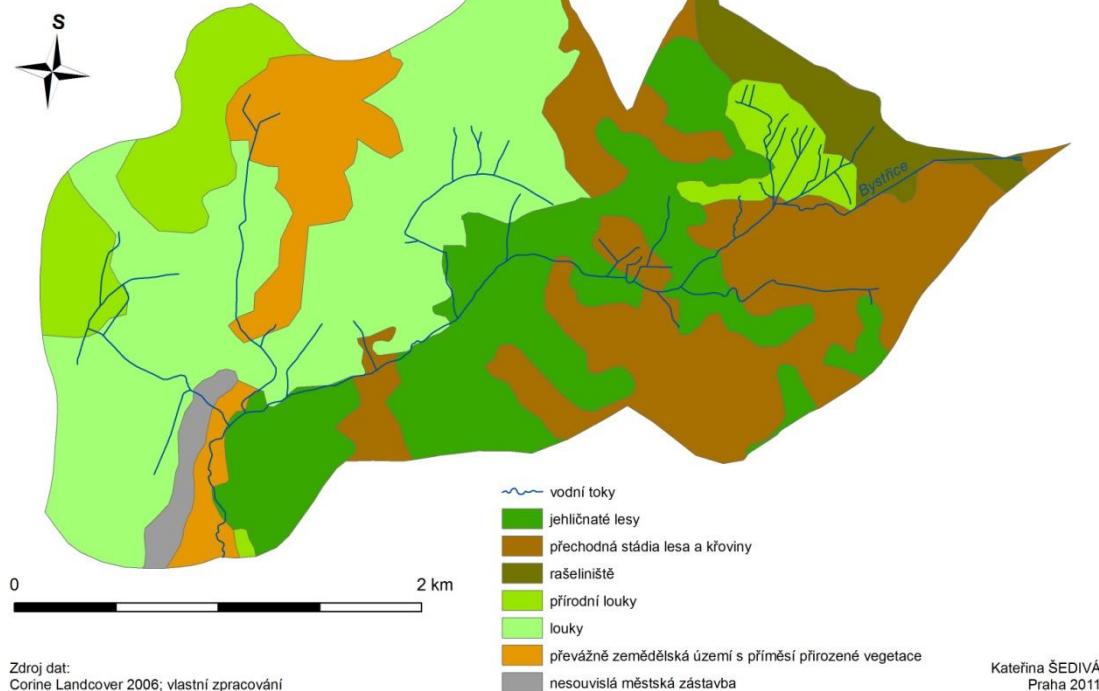
Bystřice tvoří levostranný přítok Ohře s délkou toku 27,8 km a odvodňuje povodí o rozloze 164,3 km² (Štefáček, 2008). Vodní tok má v řádovosti podle Strahlera (relativní řádovost) řád I., který se v průběhu toku mění na řády vyšší, ale absolutně je v III. řádu. Tvar říční sítě v povodí Bystřice je značně nesouměrný. Z levé strany má vodní tok mnohem více přítoků, jmenovitě např. Eliášův či Jáchymovský potok. Pravostranné přítoky jsou kratší, ale na jejich tocích se ve spodní části povodí vyskytují rybníky. Bystřice má i mnoho bezejmenných zdrojnic vody (KČT – Karlovarsko 4, 2009).

2.1.10 Využití ploch a vegetační pokryv

Krajinný pokryv je velmi důležitou součástí charakteristik srážko-odtokového režimu. Je závislý na horizontální členitosti prostředí a klimatických podmínkách. V zájmovém území převládají lesy a louky v horních polohách nad zemědělskými a nesouvislou městskou zástavbou ve spodních polohách povodí (obec Abertamy), viz obrázek 5.

Nejčastější pokryvem zájmového povodí jsou jehličnaté lesy a křoviny. Odtok ze zalesněných ploch je díky vegetaci mnohem menší než např. z polí a luk, protože vegetace brání dopadávání srážek na zem. Lesní porosty zadržují část srážek na povrchu listoví, větví a kmenů, kde podléhají výparu. Tato schopnost se nazývá intercepce a probíhá po celý rok (Netopil, 1984). Záleží samozřejmě na intenzitě srážek a druhu porostu (např. vyšší v jehličnatých než v listnatých lesích). Při větší intenzitě především dešťových srážek intercepce přestává probíhat a srážky dopadají na zem. Naopak sněhové srážky jsou zachyceny a na zem dopadají až se zvýšením teploty vzduchu nebo při přetížení dané vegetace. Odtok je tak negativně ovlivněn, protože část srážek se vypařuje zpět do ovzduší. Jiná část srážek odtéká z povodí se značným zpožděním.

KRAJINNÝ POKRYV v pramenné oblasti povodí Bystřice



Obr. 5: Krajinný pokryv v pramenné oblasti povodí Bystřice podle Corine 2006

2.1.11 Ochrana přírody, flóra a fauna

V severovýchodní části zájmového území se nachází Národní přírodní rezervace Božídarské rašeliniště. Rezervace byla vyhlášena v roce 1965 a 1987 na území o výměře 929,57 ha. Nadmořská výška rašelinišť je 954 – 1 115 m (Patzelt, 2010). Celé území spadá pod komplex Krušných hor, v nichž se nachází přes 30 maloplošných chráněných území.

Díky tomu, že jsou zde ve značné míře podzolové půdy, je zřejmé, že se zde vyskytují jehličnaté, a to zejména smrkové lesy (Tomášek, 2007). Pro nelesní vegetaci je zejména v NPR Božídarské rašeliniště charakteristické plošné rozšíření horských vrchovišť a rašelinných lad. Mezi zajímavé druhy patří např. ostřice bažinná (*Carex limosa*), rosnatka okrouhlolistá (*Drosera rotundifolia*), prha arnika (*Arnica montana*) a bříza zakrslá (*Betula nana*) (Patzelt, 2010).

Fauna je zastoupena také mnoha druhy. Mezi významné obratlovce lze zařadit např. tetřívku obecného (*Tetrao tetrix*), kosa horského (*Turdus torquatus*), čejku chocholatou (*Vanellus vanellus*), bekasinu otavní (*Capella gallinago*) nebo chřástala polního (*Crex crex*). Hojný je výskyt zmiže obecné (*Vipera berus*) a ještěrky živorodé (*Zootoca vivipara*). Mezi zvláštnosti horské vrchovištní fauny bezobratlých patří především střevlík Menetriesův (*Carabus menetriesii*), střevlík *Carabus nitens*, nosatec *Coeliodes nigratarsis* a žluťásek borůvkový (*Colias palaeno*) (Patzelt, 2010).

2.2 Hydrologické extrémny vzniklé působením vybraných fyzicko-geografických faktorů

2.2.1 Povodně

V České republice jsou povodně největší přímou hrozbou nebezpečí. Vznik povodní je ovlivněn několika faktory. Patří mezi ně nasycenost povodí, promrznutí půdy, výška a vodní hodnota sněhové pokrývky, které působí několik dnů až měsíců před povodní. Jiným typem jsou faktory meteorologické, které jsou často považovány za spouštěcí mechanismus povodně. Jedná se o dešťové srážky, kladné teploty vzduchu či rychlost větru, pokud se jedná o tání sněhové pokrývky (Hladný, Němec, 2006). Ke vzniku povodňového nebezpečí na větších povodích dochází zpravidla až poté, kdy je překročeno určité množství spadlých srážek, anebo až po určité délce trvání kladných teplot vzduchu (Matějček, Hladný, 1999).

Povodeň je charakterizována především průtokovou vlnou. Jedná se o přechodné zvětšení a následující pokles průtoků a vodních stavů, které se graficky znázorňují v podobě hydrogramu. Povodní se tedy myslí přechodné výrazné zvýšení hladiny vodních toků nebo jiných povrchových vod způsobené náhlým zvětšením průtoku nebo dočasným zmenšením průtočnosti koryta (Sklenář, 2007), při němž hrozí vylití vody z koryta a následné způsobení škod. Problematiku povodní řeší zákon o vodách. Obecně lze povodně rozdělit na dva typy podle vzniku, a to povodeň přirozenou a povodeň zvláštní. Zvláštní povodní se myslí povodeň způsobená zvláštními vlivy typu protržení hráze vodního díla, mimořádné vypouštění vodního díla apod. Co se týče přirozených povodní, tak rozeznáváme tři typy povodní, a to dešťové (z nich mohou vzniknout povodně bleskové), smíšené, při nichž je povodňová vlna způsobena tající vodou ze sněhu a zároveň doplněná o jarní srážky, a ledové, kdy se vzdouvá hladina toku v důsledku ledové zácpy. Povodně pocházející jen z tání sněhu se na našem území vyskytují jen zcela výjimečně. (Hladný, Němec, 2006).

Výskyt smíšených a ledových povodní se u nás omezuje pouze na období od prosince do první poloviny dubna. Na horských tocích se mohou vyskytovat i do pozdějších dob. Oproti tomu samostatné dešťové povodně mohou nastat kdykoliv v roce, a to i v letním období, kdy se v určitém povodí vůbec nevyskytuje sníh (Hladný, Němec, 2006).

Primární škody při povodni souvisejí s přímým účinkem vodního proudu, jehož silou jsou bořeny vodní stavby a stavební objekty v blízkosti toku a rozvodněnou řekou je unášeno množství různorodého materiálu. Pokud je povodeň spojena s odchodem ledu, škody narůstají také působením ledových ker. Případová studie Langhammera se Sitařem (2008) k tomu říká, že určité typy antropogenních úprav koryta (např. jezy, mosty, hráze) mají jen minimální dopad na celkový průběh extrémních povodní. Podobně výsledky studie Langhammera a Vilímka (2008) říkají, že antropogenní zkrácení vodních toků, úpravy řečiště a systematické odvodňování zemědělských oblastí mají jen omezený dopad na důsledky povodně, což ale platí zejména v případě extrémních povodní a v regionálním měřítku.

Zatímco v některých místech dochází při povodni k intenzivní erozi, jinde je unášený materiál ukládán (Brázdil, Kirchner, 2007). V případě intenzivních srážek či tání sněhu se na nezalesněných příkrých svazích v horských oblastech může vytvořit ničivý proud vody, bahna, štěrku a kamení, označovaný jako splaveninové povodně (Brázdil, Kirchner, 2007).

Na horských tocích, jako např. na ostrovské Bystřici hrozí spíše než srážkové povodně, povodně z jarního tání sněhu a jarních dešťů. Toto tání sněhu je též značně urychlováno čerstvým teplým prouděním vzduchu (Hladný, Němec, 2006). Díky tomu, že jsou svahy zájmového povodí obráceny JZ – JV směrem je odtok z něj ještě více podporován slunečním svitem. Zvýšený odtok při povodních je přímo úměrný erozní činnosti vody.

2.2.2 Extrémní sucha

Sucho jako nedostatek vody není hydrologicky jednoduché definovat. Každý organismus a každé prostředí považuje za stav sucha nějaké jiné podmínky. Z odborného hlediska jde o opačný extrém, než jsou povodně (Hladný, Němec, 2006). Sucho se může objevit kdekoli na Zemi a trvat může po neomezenou dobu (Kopp, Němec, 2009).

Stejně jako průběh povodní, tak, ač jen částečně, i průběh sucha ovlivňuje člověk. Naopak na rozdíl od povodní může být deficit vody způsoben lidskou činností, ale vznik povodní člověk ovlivňuje jen velmi zřídka. Důsledky antropogenních zásahů se obvykle projeví až s delším časovým posunem.

Podobně jako u povodní existuje i u sucha několik různých typů. Sucho se tedy nejčastěji hodnotí ze čtyř hledisek, a to meteorologického, agronomického, hydrologického a socioekonomického hlediska (Kopp, Němec, 2009). Meteorologické sucho je často definováno na základě odchylek úhrnu srážek od dlouhodobých průměrů. Přihlíží se především k četnosti výskytu a množství srážek, k teplotě a někdy i relativní vlhkosti vzduchu, slunečnímu záření a dalším veličinám, které výpar zesilují (Kopp, Němec, 2009). Meteorologické sucho je předpokladem vzniku sucha zemědělského, hydrologického, případně socioekonomického (Brázdil, Kirchner, 2007). Agronomické, neboli zemědělské sucho bývá spojováno s dopady meteorologického sucha v zemědělském sektoru. Ten je obvykle prvním hospodářským odvětvím, na něž následky sucha dolehnou. Jde tedy o to, že rostliny v důsledku vodního stresu sníží svůj růst a dochází ke snížení výnosů (Hladný, Němec, 2006). Dalším typem je hydrologické sucho, ke kterému dochází až tehdy, když přetrvává nedostatek srážek a klesá jak povrchový odtok, tak míra dotace podzemních vod. Situace se projeví poklesem vodní hladiny v tocích, nádržích, jezerech a klesne vydatnost pramenů. Tento typ sucha postihuje např. hydroenergetiku, zásobování pitnou vodou, rekreaci a vodní dopravu (Kopp, Němec, 2009). Poslední typ sucha se zabývá dopadem souhrnných následků předešlých typů sucha. Socioekonomické sucho nastává, když se nedostatek vody začne dotýkat lidí a když chod některého hospodářského odvětví je tím narušen (Kopp, Němec, 2009).

Každá epizoda sucha je unikátní nejen svým průběhem, ale i následky (Brázdil, Kirchner, 2007). Dopady jednotlivých epizod suchých období závisí kromě délky trvání a intenzity meteorologického sucha ještě na období výskytu a přijetí opatření ke zmírnění následků sucha (např. využití závlah, zvýšení průtoků z vodních rezervoárů apod.) (Brázdil, Kirchner, 2007). Kromě dopadů na zemědělství, kde nedostatek vláhy způsobuje značné škody, dochází díky nedostatečné vlhkosti půdy ke zhoršení půdního mikroklimatu a koloběhu živin, ztěžuje se obdělavitelnost a zvyšuje náchylnost k větrné erozi (Brázdil, Kirchner, 2007).

S ohledem na stále složitější infrastrukturu lidské společnosti platí, že jevy téže intenzity působí dnes větší škody, než tomu bylo v minulosti, tj. současná společnost se přes zkvalitňování předpovědí odpovídajících extrémů a lepších poznatků o nich stává paradoxně citlivější a zranitelnější (Brázdil, Kirchner, 2007).

Extremita suchých období je tím větší, čím déle toto období trvá a čím menší jsou zásoby podzemní vody na počátku tohoto období. Primární příčinou vzniku sucha je v podmínkách Česka bez výjimky deficit srážek v určitém časovém intervalu, jako např. v průběhu vegetačního období nebo v jeho části. Spolupůsobení ostatních meteorologických prvků může ovšem významně přispět k prohloubení důsledků tohoto jevu (Tolasz, 2007).

Ke kvantifikaci meteorologického sucha se mimo jiné charakteristiky používá standardizovaný srážkový index (SPI). Ten je přímo úměrný srážkovému deficitu a jeho hodnotu je možné snadno vyjádřit prostřednictvím pravděpodobnosti výskytu. SPI nabývá obvykle hodnot v rozmezí -3 až +3, přičemž záporné hodnoty indexu popisují období podprůměrných srážek. Souvislé období vymezené zápornými hodnotami SPI se označuje termínem epizoda sucha, přičemž platí, že SPI nabývá alespoň jednou v průběhu epizody hodnot menších než -1,0. Počátek každé epizody je dán měsícem, kdy SPI nabylo poprvé záporných hodnot, a konec epizody určuje návrat SPI do pásma hodnot kladných. Pomocí SPI je možné sledovat epizody sucha v různých časových intervalech, takže lze hodnotit sucho krátkodobé (s trváním v řádu týdnů), střednědobé (od 3 měsíců) i dlouhodobé (12 měsíců a déle) (Tolasz, 2007).

Zájmové povodí se nachází v oblasti dostatečně zásobené srážkami, avšak oblasti sousední jsou v jeho srážkovém stínu. Pás Krušných hor, jehož je povodí Bystřice součástí, je tedy příčinou častých suchých období např. na Žatecku, kde jsou srážky nižší než 450 mm (Hladný, Němec, 2006). Totéž uvádí Tolasz (2007), který výpočtem SPI popsáním výše dokládá, že nejvyšší počet suchých epizod je mimo jiné na Žatecku (epizody přesahují v průměru 4 měsíce) a naopak k oblastem se sporadickým výskytem suchých epizod patří Krušné hory. Konkrétně zájmové území předkládané práce spadá do oblasti, kde se sucha vyskytují v průměru 2 měsíce. Jde o epizody krátké a nepřilíš intenzivní (Tolasz, 2007).

3. Materiál a metody

3.1 Popis použitých dat a jejich zdroj

Data, která jsou potřeba ke zpracování, jsou brána z několika zdrojů. Konkrétně je jako zdroj použita především klimatologická stanice Hřebečná a tlakový hladinoměr v závěrovém profilu v Abertamech, které spravuje Katedra fyzické geografie a geoekologie na PřF UK v Praze. Dále server ČHMÚ s volně přístupnými historickými daty synoptických situací a také limnigraf v Ostrově nad Ohří.

Klimatologická stanice Hřebečná je umístěna nad obcí Hřebečná v nadmořské výšce 950 m (viz obrázek 1). Od 12. prosince 2008 je na stanici měřen úhrn srážek, teplota a vlhkost vzduchu, teplota půdy a směr a rychlost větru. Od poloviny listopadu 2009 radiace a výška sněhu a nově od začátku hydrologického roku 2011 ještě vodní hodnota a teplota sněhu. Data jsou měřena v desetiminutovém intervalu.

V závěrovém profilu experimentálního povodí Bystřice v Abertamech je nainstalován hladinoměr měřící vodní stav. Také zde jsou data měřena po deseti minutách. Ze stanice Hřebečná i z Abertam byla zpracovávána data z hydrologických let 2009 a 2010.

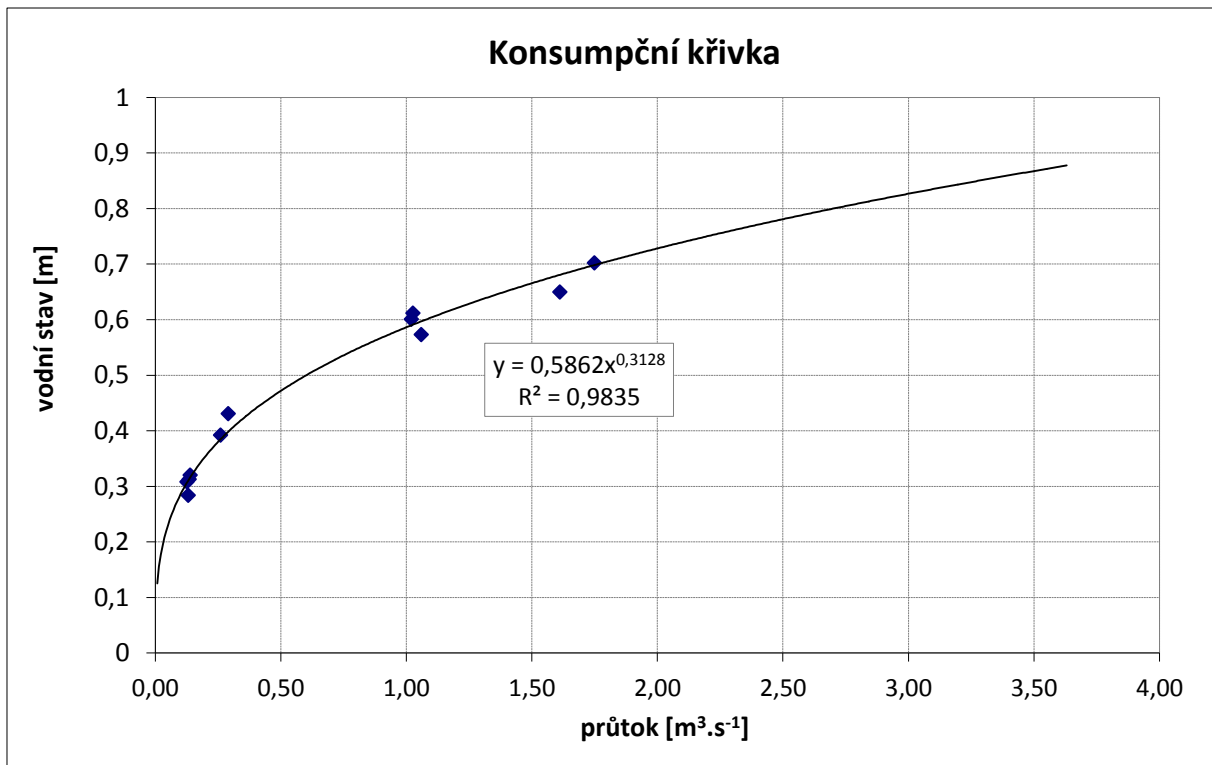
Na serveru Českého hydrometeorologického úřadu bylo potřebné najít záznam synoptických situací z let 2008 – 2010. Analýza těchto stavů je dostupná ze starých webových stránek ČHMÚ (Racko, 2008).

Průtočný profil v Ostrově nad Ohří zaznamenává průměrný denní průtok od listopadu 1999, tzn. od počátku hydrologického roku 2000. Tato data byla převzata z Povodí Ohře, s.p.

3.2 Popis metod práce s daty

Průtok je základní jednotkou pro odtok vody v říčním korytě. Jde o objem vody, které protéká za jednu sekundu příčným průřezem koryta řeky (průtočným profilem). Udává se v měrné jednotce $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (Netopil, 1984).

Nejprve byla použita data z hladinoměru v Abertamech. Ta byla na základě průběžně vytvářené konsumpční křivky (obrázek 6) přepočtena na průtok. Získaná řada desetiminutových průtoků Q byla seskupena do dnů a použita jako podklad pro analýzu charakteristiky odtoku.



Obr. 6: Konsumpční křivka v závěrovém profilu Bystřice – v Abertamech

Pro analýzu byly z dat zpracovány grafy čar překročení a tabulky m-denních průtoků pro oba zkoumané hydrologické roky. Dále byla variabilita odtoku hodnocena pomocí matematického výpočtu. Jako ukazatel variability byla zvolena decilová odchylka, jejíž hodnota je tím vyšší, čím je vyšší variabilita odtoku. Výpočet byl proveden podle vzorce (1):

$$D = \frac{Q_{30} - Q_{330}}{10}, \quad (\text{rovnice 1})$$

kde Q_{30} a Q_{330} jsou m-denní průtoky.

Pro zhodnocení rozložení měsíčních průtoků jsou v kapitole 4.4.1 uvedeny tabulky s měsíčními průtoky a zároveň srovnávací hydrogram pro oba roky.

Za celý rok byla variabilita znázorněna také v kruhovém diagramu, kde každá výseč znázorňuje jeden měsíc. Stejným způsobem jsou data shrnuta za celý hydrologický rok po ročních obdobích. Data jsou uvedena v procentech stejně jako v tabulce 2.

K výpočtu statistických měr variability Q_m byl použit koeficient K_r , který určuje vyrovnanost odtoku a variační koeficient C_m , který určuje variabilitu průtoků. Pro koeficient K_r byl použit následující vzorec (2):

$$K_r = \frac{\sum_{i=1}^{12} |(p_i - 8,3)|}{8,3}, \quad (\text{rovnice 2})$$

kde p_i je procentuální podíl Q_m a konstanta 8,3 vyjadřuje průměrný podíl každého z měsíčních odtoků ($100/12 = 8,3$). Výpočet koeficientu C_m podle vzorce (3):

$$C_m = \frac{\hat{\sigma}}{Q_a} = \frac{\sqrt{\frac{\sum (Q_m - Q_a)^2}{n}}}{Q_a}, \quad (\text{rovnice 3})$$

kde $\hat{\sigma}$ je směrodatná odchylka, Q_a dlouhodobý průměrný průtok, Q_m průměrný měsíční průtok a n počet členů řady, byl použit pro zjištění variability během dvou let, během nichž je prováděno měření v Abertamech.

Poslední výpočty zahrnující charakteristiku odtokového režimu vždy za celý hydrologický rok se týkaly pravděpodobnosti překročení výskytu Q_r , která umožňuje zhodnocení vodnosti jednotlivých roků. Pravděpodobnost byla počítána ze vztahu (4):

$$P\% = \frac{m - 0,3}{n + 0,4} * 100, \quad (\text{rovnice 4})$$

v němž m je pořadové číslo Q_r uspořádaných sestupně a n počet členů řady.

Po výpočtech následuje zhodnocení vybraných situací se značně zvýšeným průtokem. Příčiny jsou analyzovány pomocí řady synoptických dat a také pomocí koeficientu nasycenosti povodí neboli API. API zohledňuje obvykle 15-30 dnů srážek před kulminací dané situace a je jedním z nejhodnějších nepřímých ukazatelů nasycenosti povodí. Ukazatel se používá proto, že samotný základní průtok za určitých situací nepopisuje zcela přesně skutečnost, např. na horní části povodí může být půda značně provlhčena nedávnými intenzivními srážkami a přesto průtok v závěrovém profilu je nízký, protože povodí ještě nestačilo zareagovat a zvýšit průtok i v dolním profilu (Kemel, Kolář, 1980). Koeficient lze vypočítat podle vzorce (5):

$$API = \sum_{i=1}^n H_{si} * c^i, \quad (\text{rovnice 5})$$

kde index i značí pořadové číslo dne (počítáno nazpět od příčinného deště), c evapotranspirační konstantu, která je menší než 1 a pro naše poměry odpovídá 0,93, H_{si} je výška srážek na povodí v i -tém dni a n celkový počet uvažovaných dnů. Průběh vybraných situací je vždy názorně zobrazen v grafu a popsán.

U situací jarního tání nebyl počítán koeficient API, protože před danou událostí ležel v povodí sníh. Jednalo se tedy o pevné látkové skupenství a nedocházelo k nasycení povodí, výpočet by tedy neměl význam. Koeficient byl nahrazen výpočtem vodní hodnoty sněhu. Ta se vypočítá z rovnice (6):

$$SWE = 200 * m * \left(\frac{SCE_1}{SCE_2} \right), \quad (\text{rovnice 6})$$

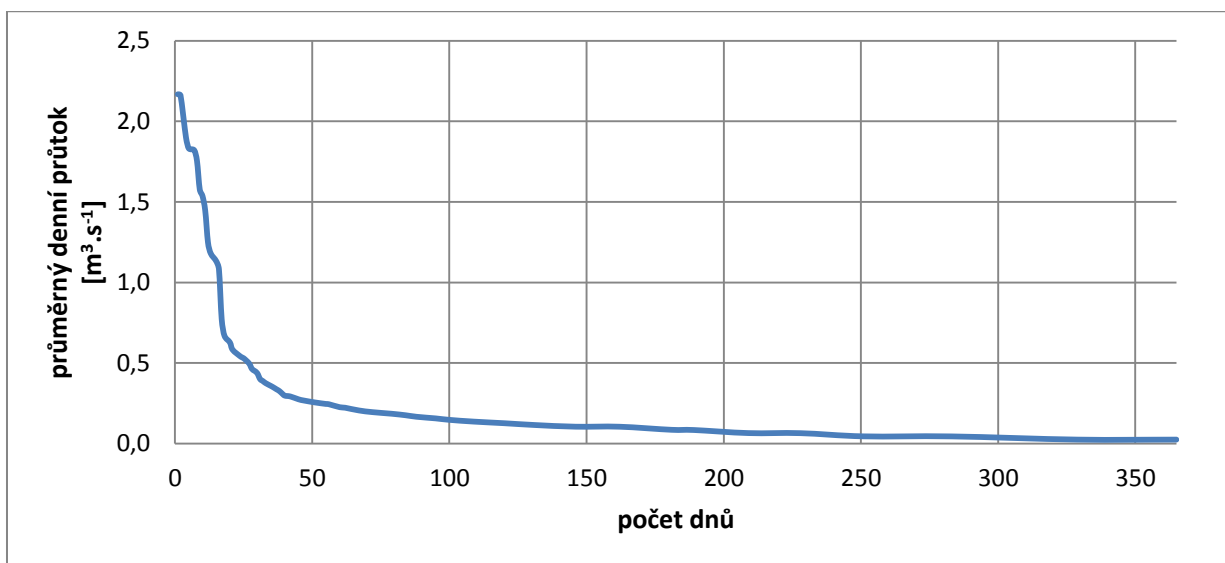
kde m je čistá hmotnost sněhu, která se násobí 200, aby se zjistila průměrná hodnota pro 1 m^2 . Tato naměřená hodnota odpovídá průměru odběrného sněhoměrného válce 50 cm^2 . Proměnná SCE_1 je průměrná výška sněhu v deseti bodech blízkých bodu, kde se měří odběrným válcem a SCE_2 je samotná výška sněhu ve sněhoměrném válci.

4. Výsledky

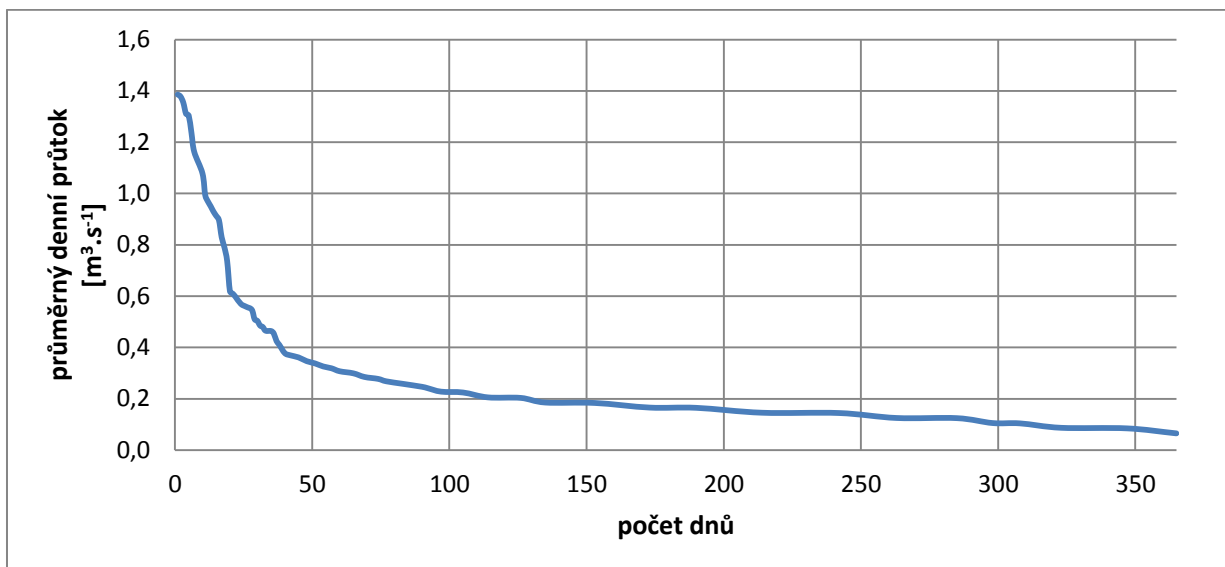
4.1 Zhodnocení charakteristik odtoku

Zhodnocení variability odtoku by bylo vhodnější provádět na větším souboru dat, v němž by byla delší časová řada průtoků. V daném případě lze pouze porovnat dva dané hydrologické roky.

Srovnání bylo započato vykreslením čar překročení denních průtoků. Pro rok 2009 je čára strmější. Bylo tedy víc dní, kdy průtok nepřekračoval průměrné denní průtoky. Rok 2010 je rozdílný tím, že průtok klesal pomaleji.



Obr. 7: Čára překročení denních průtoků pro hydrologický rok 2009 v profilu Abertamy

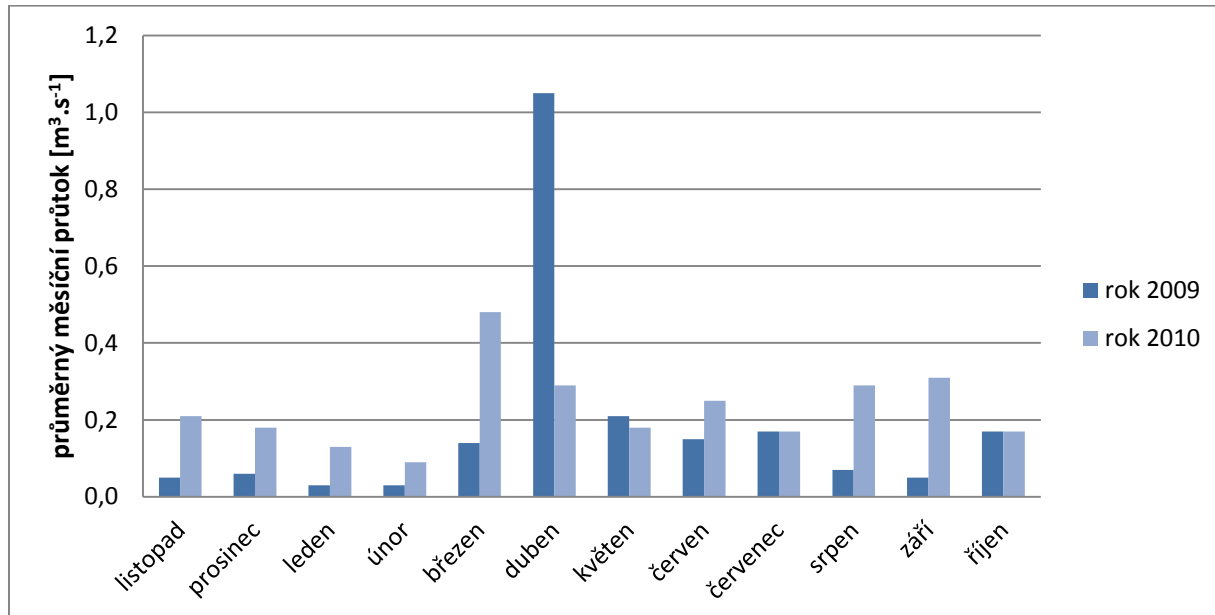


Obr. 8: Čára překročení denních průtoků pro hydrologický rok 2010 v profilu Abertamy

Tab. 1: M-denní průtoky pro hydrologické roky 2009 a 2010

Q_m 2009	průtok Q_m ($m^3 \cdot s^{-1}$)	Q_m 2010	průtok Q_m ($m^3 \cdot s^{-1}$)
Q ₃₀	0,44	Q ₃₀	0,50
Q ₆₀	0,23	Q ₆₀	0,31
Q ₉₀	0,17	Q ₉₀	0,25
Q ₁₂₀	0,13	Q ₁₂₀	0,20
Q ₁₅₀	0,11	Q ₁₅₀	0,18
Q ₁₈₀	0,09	Q ₁₈₀	0,17
Q ₂₁₀	0,07	Q ₂₁₀	0,15
Q ₂₄₀	0,05	Q ₂₄₀	0,14
Q ₂₇₀	0,04	Q ₂₇₀	0,13
Q ₃₀₀	0,04	Q ₃₀₀	0,10
Q ₃₃₀	0,03	Q ₃₃₀	0,09
Q ₃₆₀	0,02	Q ₃₆₀	0,07

Hodnota decilové odchylky ukazující variabilitu souboru podle denních průtoků je po oba roky stejná. Pro rok 2009 i 2010 je $D = 0,041 m^3 \cdot s^{-1}$. Avšak průměrné měsíční průtoky byly v roce 2009 téměř v každém měsíci nižší než v roce 2010 (obrázek 9). Vyplyvá z toho, že rok 2009 byl rokem sušším než rok 2010. Samotné průměry měsíčních průtoků nám vypovídají i o sezonalitě odtoku, která spadá do období jara (konkrétně měsíce březen až květen), kdy dochází k tání sněhové pokrývky. Graf jednotlivých kulminací (obrázek 15) při zvýšených stavech je umístěn v kapitole 4.2.



Obr. 9: Hydrogram Q_m pro profil Abertamy

Tab. 2: Měsíční průtoky v hydrologických letech 2009 a 2010

Rok 2009				Rok 2010			
Měsíc	Průměrný průtok [m ³ .s ⁻¹]	Podíl odtoku [%]	Součet ze srážek [mm]	Měsíc	Průměrný průtok [m ³ .s ⁻¹]	Podíl odtoku [%]	Součet ze srážek [mm]
listopad	0,05	2,29 %	*	listopad	0,21	7,64 %	83,2
prosinec	0,06	2,75 %	**0,6	prosinec	0,18	6,55 %	77,7
leden	0,03	1,38 %	25,3	leden	0,13	4,73 %	43,2
únor	0,03	1,38 %	103,1	únor	0,09	3,27 %	23,2
březen	0,14	6,42 %	105,1	březen	0,48	17,45 %	64,5
duben	1,05	48,17 %	40,5	duben	0,29	10,55 %	45,5
květen	0,21	9,63 %	133,2	květen	0,18	6,55 %	134,6
červen	0,15	6,88 %	74,6	červen	0,25	9,09 %	135,4
červenec	0,17	7,80 %	144,2	červenec	0,17	6,18 %	105,2
srpen	0,07	3,21 %	40,6	srpen	0,29	10,55 %	252,8
září	0,05	2,29 %	41,0	září	0,31	11,27 %	82,0
říjen	0,17	7,80 %	37,7	říjen	0,17	6,18 %	48,0

* pro listopad 2008 nebyla k dispozici data, protože začátek měření klimatologické stanice Hřebečná byl až 10. 12. 2008

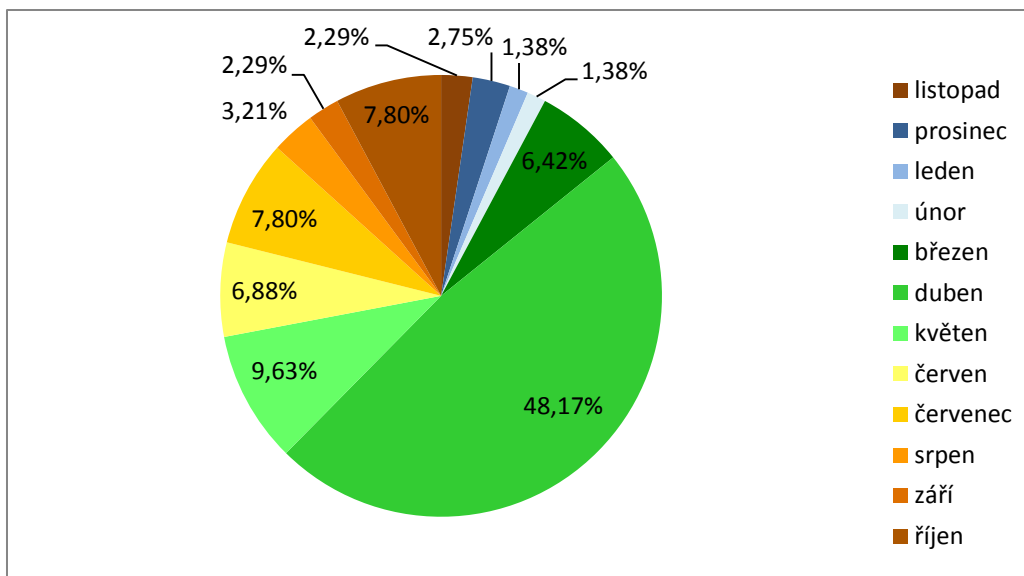
** tato hodnota neplatí pro celý měsíc, ale pouze od 10. 12. 2008 do 31. 12. 2008

Na základě tabulky 2 byly sestrojeny grafy na obrázcích 10 a 11, které znázorňují poměr odtoku mezi měsíci v roce.

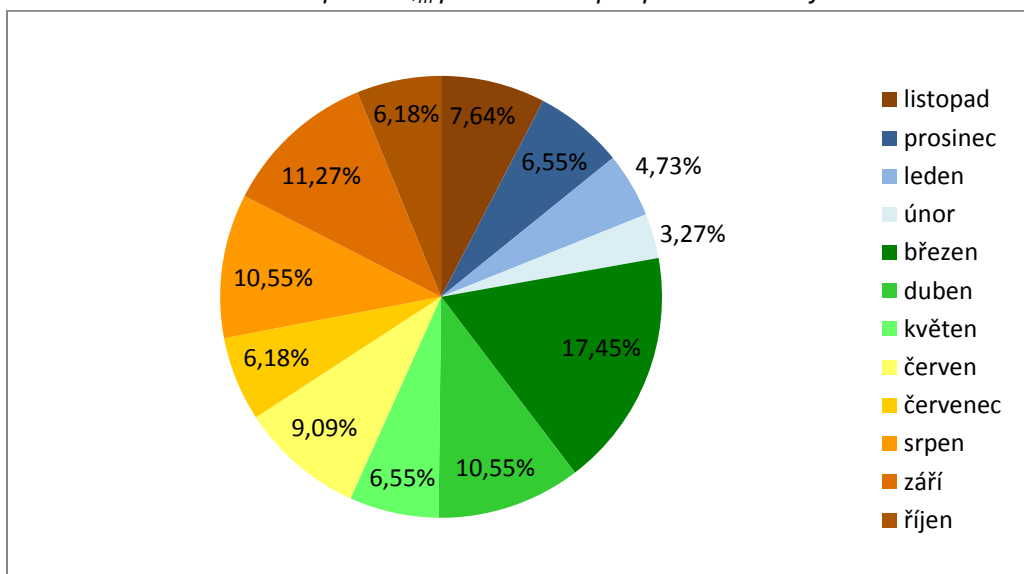
V roce 2009 zaujímá největší plochu výseč patřící k měsíci dubnu, což znamená, že v tomto období došlo k navýšení odtoku z povodí, a to díky jarnímu tání sněhových srážek. Naopak k výsečím s nejmenšími hodnotami patří měsíce z počátku roku, kdy byla veškerá srážková voda zadržena buď v ledu, nebo ve sněhu, a také z letních měsíců srpna a září, kdy bylo období sucha, a srážky byly minimální.

Rok 2010 má oproti minulému roku období odtávání sněhové pokrývky posunutě o měsíc dopředu, tedy na měsíc březen. To však nemění nic na tom, že na rozdíl od roku 2009 nebylo tání tak rychlé, ale protáhlo se až do měsíce dubna a odtok vody ze sněhu byl pozvolnější. Ale ani zbytek roku neměl tak nízké průtokové hodnoty jako rok 2009, a to z toho důvodu, že šlo o rok vodný a srážkami tedy byly dotovány všechny měsíce.

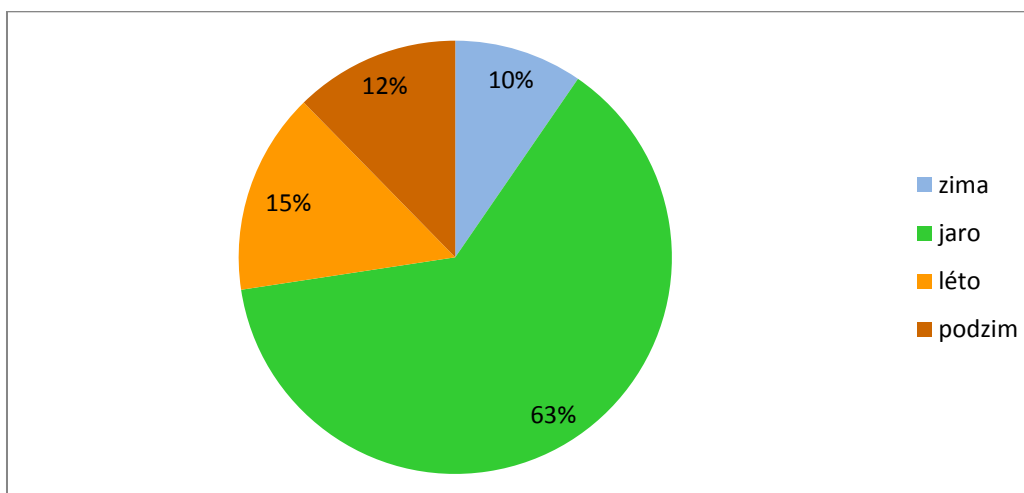
Co se týče obrázků 12 a 13, tak je z obou patrné, že hlavní odtok probíhá na jaře. V roce 2009 byl odtok po zbytek ročních období téměř vyrovnaný, avšak v roce 2010 se nejvíce odlišuje období zimy, kdy byl odtok minimální.



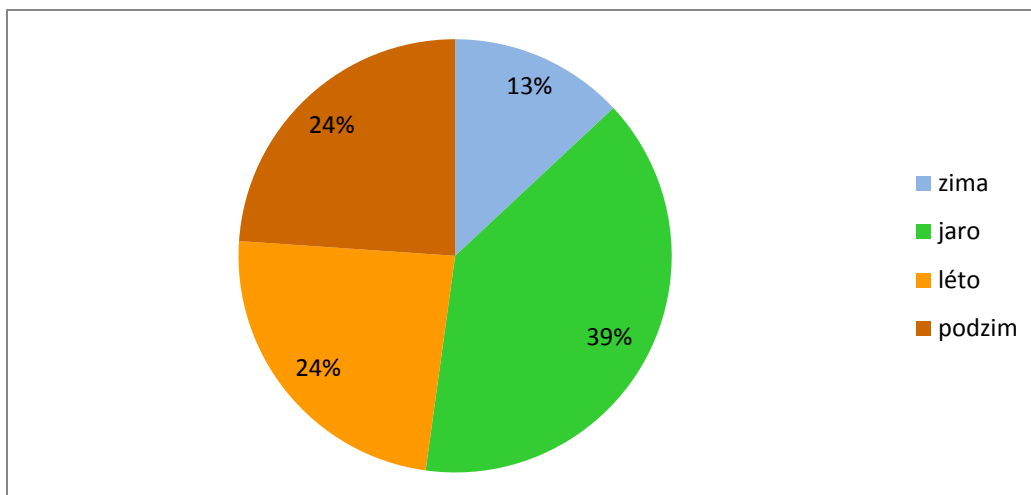
Obr. 10: Rozložení odtoku podle Q_m pro rok 2009 pro profil Abertamy



Obr. 11: Rozložení odtoku podle Q_m pro rok 2010 pro profil Abertamy



Obr. 12: Rozložení odtoku podle ročních období pro rok 2009 pro profil Abertamy



Obr. 13: Rozložení odtoku podle ročních období pro rok 2010 pro profil Abertamy

V práci je hodnocen také roční průtok. Respektive je hodnocena pravděpodobnost překročení ročního průtoku. Ta je vyjádřena v procentech a v závislosti na ní se určuje vodnost daného roku. Z výpočtu uvedeného v předešlé kapitole vyšlo, že rok 2009 byl málo vodný a rok 2010 vodný. Míra roční vodnosti se určuje podle tabulky 3.

Tab. 3: Míra roční vodnosti (Netopil, 1984)

p %	Slovní	Symbolické
	označení míry roční vodnosti řeky	
0 - 10	mimořádně vodný rok	MV
11 - 40	vodný rok	V
41 - 60	průměrně vodný rok	P
61 - 90	málo vodný rok	S
91 - 100	mimořádně málo vodný rok	MS

Tab. 4: Pravděpodobnost překročení Q_r

rok	p %	vodnost
2009	70,83	S
2010	29,17	V

O vyrovnanosti odtoku v jednotlivých letech vypovídá hodnota koeficientu K_r . Za předpokladu ideálně vyrovnaného odtoku v průběhu roku bude $K_r = 0$, za předpokladu maximálně nevyrovnaného, kdy celoroční množství odteče za jediný měsíc a po dobu 11 měsíců řeka vyschne, bude $K_r = 22$ (Netopil, 1984). V roce 2009 byl koeficient roven 9,88. Šlo tedy přibližně o středně vyrovnaný rok, což je vidět i na obrázku 9. Velká část vody odtekla v dubnu, ve zbytku roku byl podíl odtoku podstatně menší.

Jiný případ je rok 2010, kdy byl koeficient K_r roven pouze 4,15. I z obrázku 11 je patrné, že měsíční odtok byl oproti předešlému roku vyrovnanější a jeho podíl v jednotlivých měsících velmi podobný.

Další z hodnotících koeficientů je variační koeficient C_m . Vyšší hodnota variačního koeficientu vyjadřuje větší variabilitu a naopak nižší hodnota menší variabilitu (Netopil, 1984). Jedná se o variabilitu celého souboru dat. Vzhledem k tomu, že pro daná data je $C_m = 0,99$ lze říci, že soubor je velmi proměnný. Je však nutné si uvědomit, že se jedná o řadu dat, která je zaznamenávána zatím pouze dva roky.

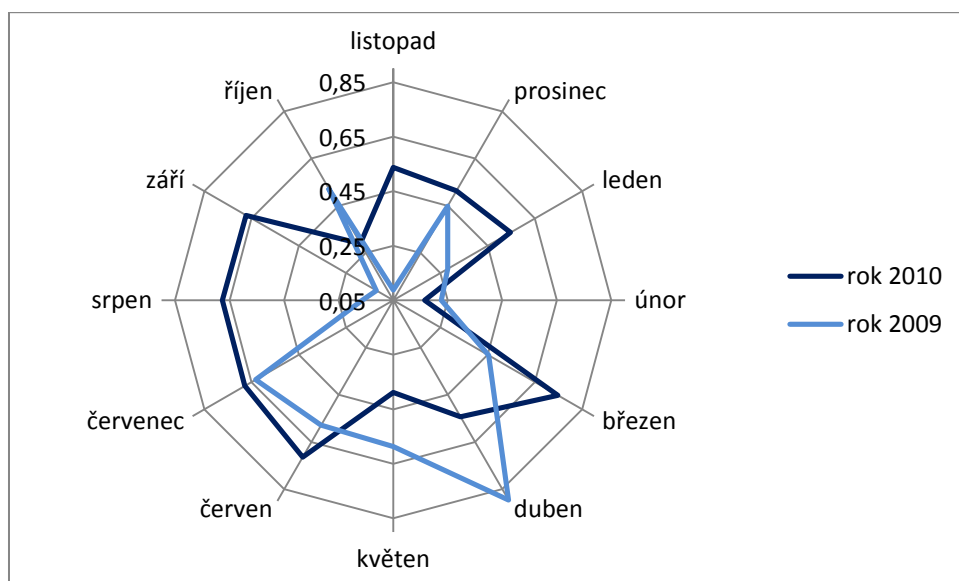
4.2 Rozbor extrémních situací

V další části jsou vybrány extrémní události na daném toku. Jedná se buď o výjimečně nízké, nebo naopak vysoké průtoky. Jejich příčiny jsou vysvětleny pomocí synoptických dat a průběh vysokých průtoků je i více zpracován.

Z roku 2009 jsou za velmi vodné měsíce považovány duben a částečně i říjen. Naopak v lednu a únoru byl stav velmi nízký. V roce 2010 byly vybrány měsíce březen, kdy došlo k jarnímu tání a také srpen a září, kdy byl stav zvýšený. Nejsušším měsícem je v tomto roce únor, avšak průtoky zdaleka nedosahovaly tak nízkých hodnot jako předešlý rok.

Porovnání vybraných zvýšených stavů představuje obrázek 14. Pro obrázek 14 byly vždy vybrány kulminační hodnoty průtoků a ty byly zaneseny do grafu. V měsících, kdy došlo ke dvěma událostem, byla zohledněna pouze ta s vyšším kulminačním průtokem. Z grafu je tedy vidět celkové rozložení zvýšení hladin během roku.

Je také nutné poznamenat, že ani jeden z níže uvedených zvýšených stavů hladiny Bystřice neměl, dle Povodňových zpráv Povodí Ohře, charakter povodně. Důležité povodně v roce 2009, které se v Povodí Ohře udály, proběhly v červenci na území povodí Kamenice a Ploučnice (Eger, Renger, Klečka, 2009). Za rok 2010 lze v Povodňových zprávách najít zmíněný pouze srpen a září, kdy došlo k velice ničivým povodním vlivem přívalových dešťů na území severních a severozápadních Čech (Klečka, Tanajewski, Renger, 2010). V zájmovém území však také nešlo o ničivou povodňovou situaci, ale opět pouze o zvýšení hladiny toku vlivem dešťů.



Obr. 14: Nejvyšší měsíční kulminace [$m^3 \cdot s^{-1}$] v pramenné části povodí Bystřice

4.2.1 Průběh tání 31. 3. – 28. 4. 2009

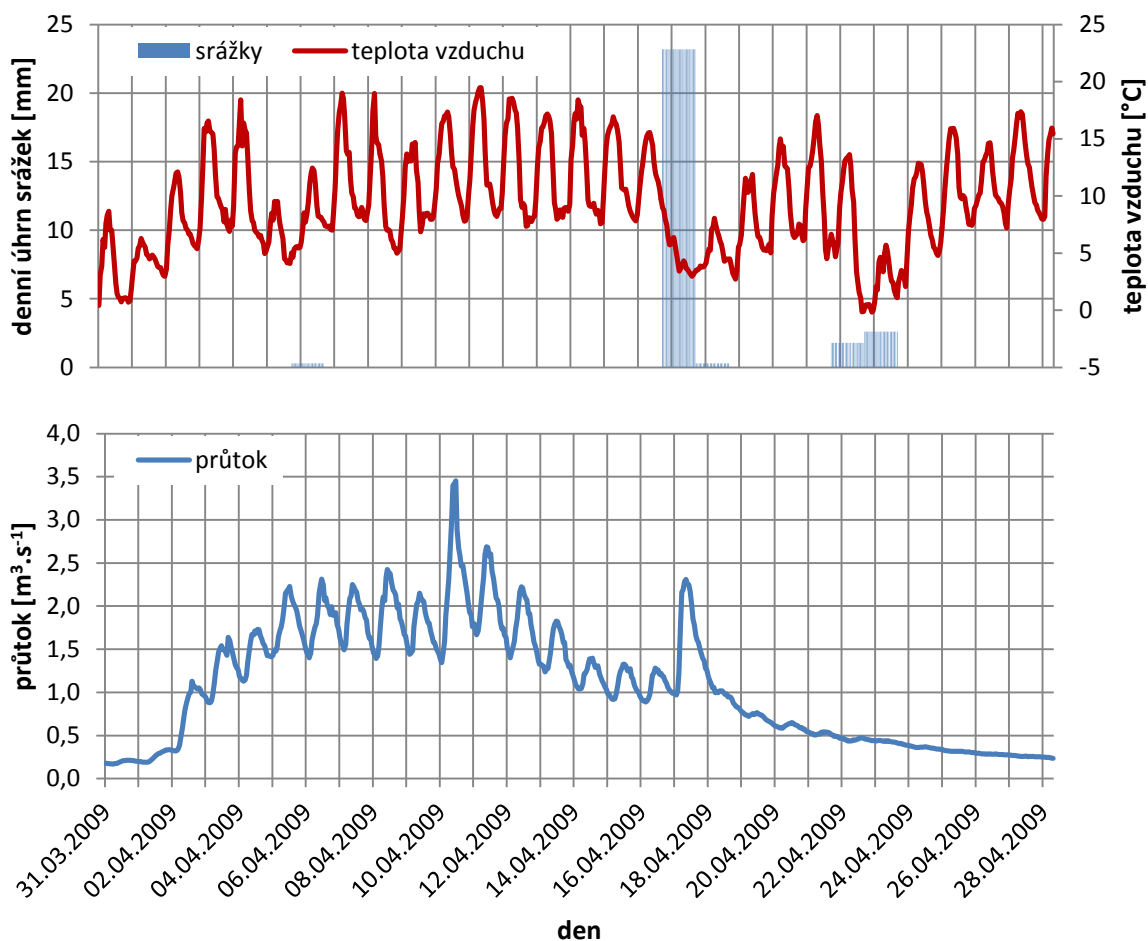
Zvýšený stav v období 31. 3. – 28. 4. 2009 byl způsoben převládajícím anticyklonálním prouděním, které nad územím České republiky převládalo téměř po celý měsíc. Měnil se pouze jeho směr. V začátku měsíce převládala synoptická situace typu A (anticyklóna nad střední Evropou). Za této situace na jaře převládá sice studená advekce

vzduchu, ale i teplá je dosti častá. Srážky se na jaře nevyskytují a teplotní odchylky na horách jsou vždy kladné (Brádka, Dřevíkovský, Gregor, Kolesár, 1961). Větší srážky, které napomohly k tání sněhu, přinesla pak zhruba v polovině měsíce brázda postupující přes střední Evropu (Bp). Dubnové povětrnostní situace se i dále v měsíci vyvíjely tak, že se srážky vyskytovaly jen mírné a ojediněle a teploty měly na horách větší kladné odchylky. Došlo tedy k tání sněhu a tudíž i ke zvýšení hladiny toku (obrázek 16).

Ke kulminaci povodňové vlny došlo 10. dubna 2009 v 18:00, kdy byl naměřen průtok $3,45 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Koeficient nasycenosti povodí nemá, v případě jarního tání, význam počítat, protože srážky, které by do něj byly zahrnuty byly sněhové a nedocházelo tedy k nasycení povodí. Důležitějším ukazatelem je v tomto případě vodní hodnota sněhu (SWE), která je definována jako výška vody v mm, která vznikne po roztátí sněhu v konkrétním místě. Tato hodnota však neodpovídá přesně popisované situaci. Byla získána při terénním měření, které probíhalo 24. 3. 2009, a v tabulce 5 se jedná o průměrnou hodnotu ze 46 měrných bodů, které byly v povodí zvoleny. SWE 402,6 mm koresponduje se stavem sněhu týden před začátkem tání a je tedy pouze orientační.

Tab. 5: Přehled hodnot pro tání 31. 3. – 28. 4. 2009

Datum kulminace	10. 4. 2009
Velikost kulminace	$3,45 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
Velikost příčinné srážky	23,2 mm
SWE (24. 3. 2009)	402,6 mm
Příčinná povětrnostní situace	Bp



Obr. 15: Úhrn srážek a teplota vzduchu na stanici Hřebečná, hydrogram průtoku v profilu Abertamy od 31. 3. 2009 do 28. 4. 2009

4.2.2 Průběh tání 16. 3. – 10. 4. 2010

Dalším extrémně zvýšeným stavem hladiny se vyznačoval březen 2010. V tomto měsíci šlo opět o jarní tání ze sněhu, avšak obohacené o srážky jak sněhové tak i dešťové. Teploty měly na začátku měsíce ještě spíše záporný charakter, ale od 17. března začaly převládat situace SWa (jihozápadní anticyklonální situace), SWc₂ (jihozápadní cyklonální situace č. 2), Sa (jižní anticyklonální situace) a SWc₁ (jihozápadní cyklonální situace č. 1), pro něž je pro všechny typická teplá advekce vzduchu a odchylky teplot jsou kladné a vysoké (Brádka, Dřevíkovský, Gregor, Kolesár, 1961). Co se týče konkrétních situací, tak např. při situaci SWa sněhová pokrývka klesá nebo mizí, ale pochází z předešlých situací a totéž platí i pro situaci SWc₂ a Sa. Pro situaci Sa jsou také typické slabé srážky z mrholení, přičemž v západních Čechách se projevují ve 20-30 % dní. U situace SWc₁ na celém našem území převládá polojasno (Brádka, Dřevíkovský, Gregor, Kolesár, 1961), z čehož vyplývá, že svahy jsou více osluněné a sněhová vrstva tedy rychleji odtává.

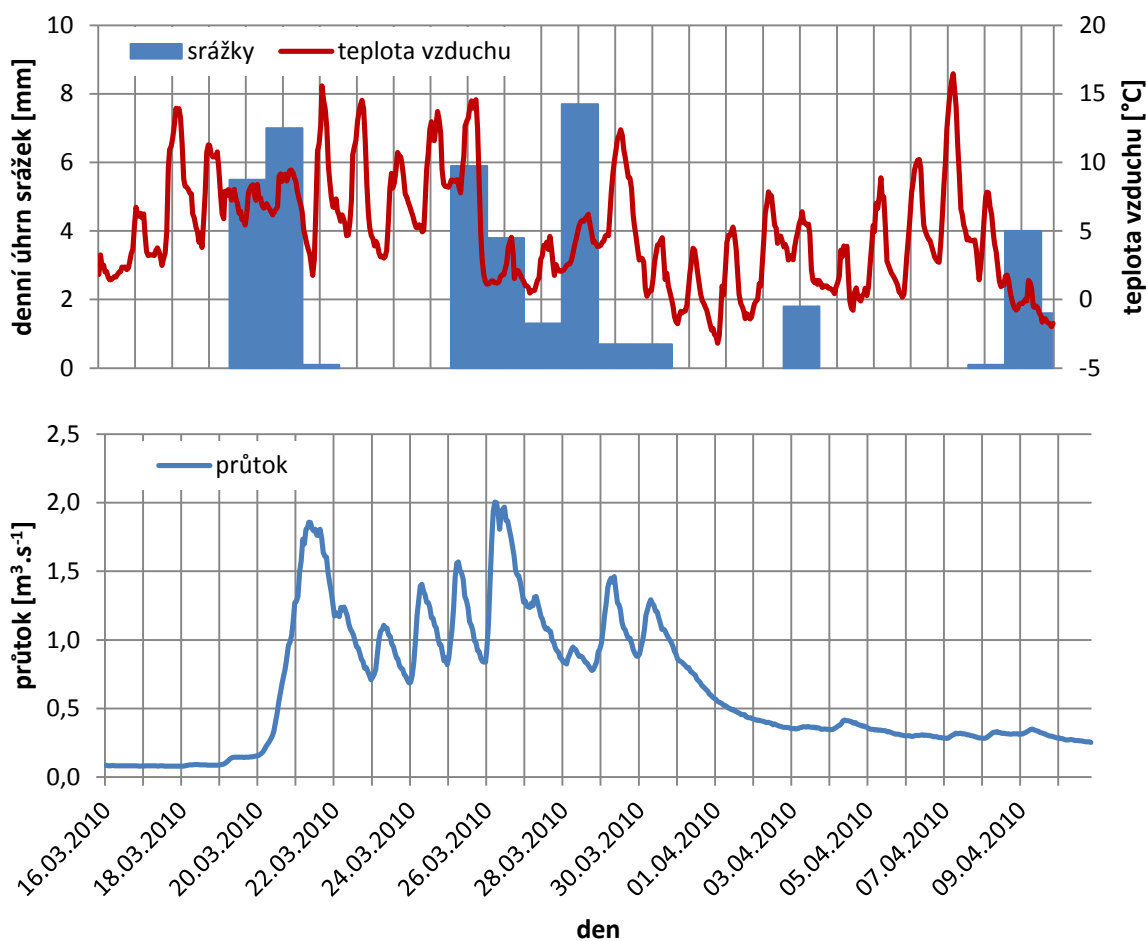
Konkrétně situace NWc (severozápadní cyklonální situace) přinesla březnové zvýšení teploty vzduchu, k němuž se později přidaly i srážky o velikosti 5,5 mm způsobené situací

SWC₂ (obrázek 17). Za kulminační průtok byl považován průtok $2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ dne 26. března 2010 mezi 16:00 a 17:00 (tabulka 6).

I u této situace došlo k nahrazení ukazatele API vodní hodnotou sněhu. Rozdíly oproti situaci při loňském tání jsou dva. Prvním je množství měrných bodů, které se zmenšilo na 10, a z nich byl tvořen průměr. Druhou odlišností je počet měření, která v terénu proběhla. V tabulce 6 jsou uvedeny průměrné hodnoty z každého měření pro utvoření představy o změně vodní hodnoty sněhu během procesu odtoku ze sněhové pokrývky. Ta se s ubýváním výšky sněhu logicky zmenšuje, protože se v povodí začínají objevovat místa s již zcela odtátou sněhovou pokrývkou. Opět zde platí, že měření nekorespondují se počátečním dnem události.

Tab. 6: Přehled hodnot pro tání 16. 3. – 10. 4. 2010

Datum kulminace	26. 3. 2010
Velikost kulminace	$2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
Velikost příčinné srážky	5,5 mm
SWE (18. 3. 2010)	263 mm
SWE (24. 3. 2010)	161 mm
SWE (30. 3. 2010)	90 mm
Příčinná povětrnostní situace	SWC ₂



Obr. 16: Úhrn srážek a teplota vzduchu na stanici Hřebečná, hydrogram průtoku v profilu Abertamy od 16. 3. 2010 do 10. 4. 2010

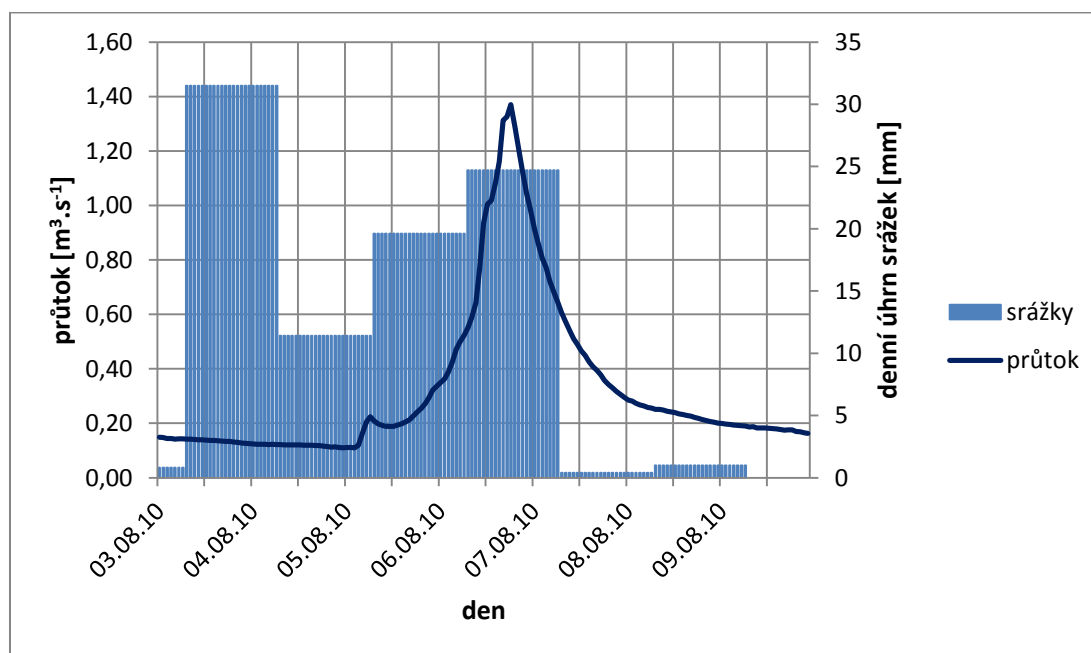
4.2.3 Průběh situace 3. – 9. 8. 2010

Již během července se na našem území vyskytovaly četné srážky, které byly převážně způsobeny převládajícím cyklonálním prouděním (Racko, 2008). Při přechodu brázdy nízkého tlaku nad střední Evropou (B) na konci zmíněného měsíce došlo k vypadávání srážek, které lze považovat za příčinu a začátek období se zvýšeným průtokem. Průtoková odezva trvala zhruba jen deset dní (obrázek 18). Kulminace nastala 7. 8. 2010, kdy byla hodnota průtoku $1,37 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Vzhledem k délce trvání povodně šlo pouze o krátkodobou událost. Koeficient nasycenosti povodí spočtený ke dni 3. 8. 2010 byl roven 47,22 mm (tabulka 7). Co se týče brázdy nad střední Evropou, tak je pro ni typické, že se uplatňuje závětrří Krušných hor v oblasti táhnoucí se směrem k Mělníku a jsou zde menší srážky (Brádka, Dřevíkovský, Gregor, Kolesár, 1961). Ty vypadávají na návrší zmiňovaných hor.

Rozdíl oproti předchozím uvedeným zvýšeným stavům byl především v typu povodně. V srpnu jakožto letním měsíci jsou vodní toky zásobeny srážkovou vodou, avšak u předchozích dvou povodní bylo nutno brát v úvahu kromě srážek ještě teplotu. Ta, pokud se v zimním období začne zvyšovat, dochází k tání a povodním, aniž by nutně musela probíhat srážková činnost. Kladným teplotám napomáhají v tání i další vlivy. Těmi může být již zmiňovaná expozice svahů, působení větru a také vegetační pokryv.

Tab. 7: Přehled hodnot pro povodeň 3. – 9. 8. 2010

Datum kulminace	7. 8. 2010
Velikost kulminace	$1,37 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
Velikost příčné srážky	11,4 mm
API	47,22 mm
API spočten ke dni	3.8.2010
Příčinná povětrnostní situace	Bp



Obr. 17: Průběh povodně 3. – 9. 8. 2010

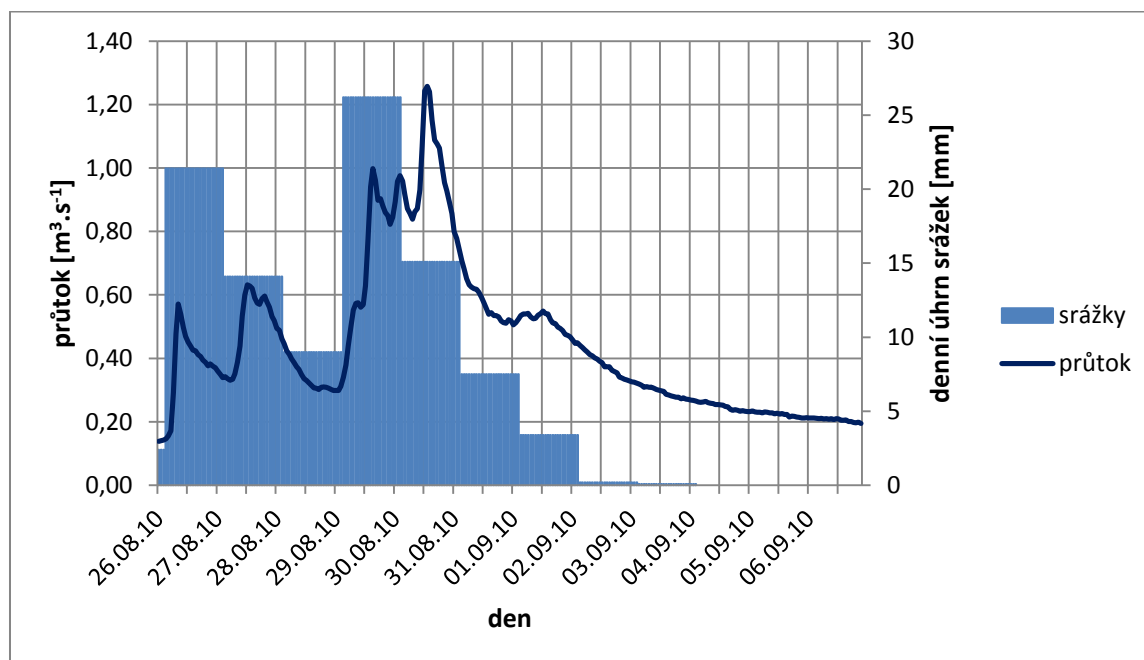
4.2.4 Průběh situace 26. 8. – 6. 9. 2010

Během srpna pokračovalo převažující cyklonální proudění nad Českou republikou, které přinášelo četné srážky. Ke konci srpna došlo znovu ke krátkodobému zvýšení hladiny Bystřice. Příčinnou synoptickou situací byla SWC₂, která přinesla srážky, jež se výrazněji projeví na měřených průtocích. V letních měsících je pro tuto situaci typické, že studené fronty mají pomalejší postup, a tak slábne vliv orografie. V tomto období převládají konvektivní srážky (Brádka, Dřevíkovský, Gregor, Kolesár, 1961). Nejvyšší srážky, ke kterým došlo den před kulminací, byly způsobeny synoptickou situací C (cyklóna ve střední Evropě). Pro tu je charakteristické velké množství srážek v létě i v zimě. Jak zmiňují Brádka, Dřevíkovský, Gregor a Kolesár, tak Krušné hory samy mají větší srážky. S přelomem měsíce přišla v září situace NEc, která již nepřinesla tak vysoké srážky a průtok začal opět poklesávat (obrázek 19).

Kulminace nastala 31. srpna 2010 průtokem 1,26 m³.s⁻¹. Zvýšený průtok se navrátil do normálních hodnot 7. září 2010. Nasycenost povodí odpovídala 62,14 mm (tabulka 8).

Tab. 8: Přehled hodnot pro povodeň 26. 8. - 6. 9. 2010

Datum kulminace	31. 8. 2010
Velikost kulminace	1,26 m ³ .s ⁻¹
Velikost příčinné srážky	21,4 mm
API	62,14 mm
API spočten ke dni	26.8.2010
Příčinná povětrnostní situace	SWC ₂



Obr. 18: Průběh povodně 26. 8. - 6. 9. 2010

4.2.3 Příčiny suchých období

Suchá období na studovaném toku nastávají obvykle během zimy, kdy jsou srážky vlivem chladného počasí zadržovány ve formě sněhu a ledu na povrchu a jejich odtok probíhá až v pozdějších obdobích. Během doby, za kterou jsou brána data, došlo také ke dvěma nízkým průtokům v období podzimu, ale obě události spadaly do hydrologického roku 2009.

Nejméně vodnými měsíci byli leden a únor roku 2009, což potvrzují obrázky 9, 10 a 11. I vzhledem k synoptickým situacím a ročnímu období je tato situace poměrně zřejmá. Pro většinu situací, které nad územím České republiky převládaly, je typická sněhová pokrývka. Ta při situaci Nc na horách ještě vzrůstá. Při situaci NEc (severovýchodní cyklonální situace) sníh leží v zimě téměř ve všech dnech a na jaře občas ještě i v dubnu (Brádka, Dřevíkovský, Gregor, Kolesár, 1961). Dalšími zmiňovanými situacemi byly průtoky na začátku a ke konci hydrologického roku. V obou případech šlo tedy stejné roční období, a to podzim. První období nízkého stavu lze uvažovat od 23. 11. 2008 do 5. 12. 2008. Nejnižší průtok nastal 28. 11. 2008 a odpovídal hodnotě $0,026 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Došlo k němu při dlouhodobém trvání synoptických situací, při kterých nedochází k vypadávání srážek. Konkrétně šlo o situace Bp, následně jednodenní Ap₂ (putující anticyklóna) a poté opět situace B (brázda nízkého tlaku nad střední Evropou). U druhé podzimní situace šlo jen o krátkodobý pokles hladiny pod hodnotu 0,2 m, která byla pro rok 2009 zvolena jako stěžejní ukazatel suchého období. K poklesu došlo během 28. 9. 2009 a 29. 9. 2009; poté byla výška hladiny opět nad zmiňovanou hodnotou 0,2 m. Nejnižší průtok nastal 28. 9. 2009 při přechodu západní anticyklonální situace a odpovídal hodnotě $0,033 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

V roce 2010 také patřil k nejméně vodným měsícům únor. Ovšem ve srovnání s průtokem z loňského roku se nejednalo o tolik „suchý“ měsíc. Nejdéle převládající synoptickou situací byla Ec (východní cyklonální situace), která je podle Brádka, Dřevíkovského, Gregora a Kolesára většinou na celém území doprovázena sněžením. Sněhová pokrývka ve většině případů vzrůstá.

5. Diskuze

5.1 Nejistoty spojené se zpracováním dat

Při hodnocení výsledků práce je důležité brát zřetel na vznik chyb, které mohly objevit už při sběru dat, nebo také při jejich následném zpracování.

U dat získávaných staničním měřením je potřeba počítat s různými poruchami a výpadky v měření. Na příklad u srážkoměru umístěného v klimatologické stanici Hřebečná dochází k jeho ucpání a poté nedochází k měření srážek vůbec nebo je naměřena menší hodnota srážek. Po vyčištění srážkoměru zadržené srážky odtečou naráz a v řadě dat je díky tomu vysoký úhrn srážek, ačkoli k žádným nemuselo dojít.

Chyba ve zpracování dat mohla vzniknout především při doplnění datové řady průměrného průtoku v Abertamech. Tlakový hladinoměr sem byl umístěn a začal zaznamenávat data 21. listopadu 2008 ve 13:15 hodin. Bylo nutné doplnit data ze začátku hydrologického roku. Údaje o průtoku byly odvozeny pomocí konsumpční křivky, která je průběžně vykreslována. Výchozí úvaha byla taková, že stanice v Ostrově nad Ohří je do jisté míry závislá na stanici v Abertamech. Pomocí lineární závislosti byl vypočten koeficient determinace, jehož hodnota vyšla $R^2 = 0,8573$, což výchozí domněnku jen potvrzuje, ale přesto závislost není stoprocentní a data odpovídají skutečnosti jen přibližně.

5.2 Srovnávací analýza rozložení odtoku

Základem odtoku z povodí v našich poměrech jsou srážky, které jsou na celém povodí rozloženy nerovnoměrně. Platí, že čím je větší povodí, tím větší mohou být rozdíly (Čermák, 1966). Pro posuzování stavu vodní složky v krajině je důležité znát celou řadu informací o odtokovém procesu. Konkrétně jde o takové otázky jako je množství vody ze spadlých srážek, jaká část srážky infiltruje a obohacuje podpovrchový odtok, jak ovlivňuje odtok evapotranspirační cyklus a nasycenost půdy atp. (Novotná, 1995). Pramenné oblasti jsou oblíbené téma výzkumu, protože jsou považovány za poměrně jednoduše strukturované. Jednoduchá struktura ale neznamená, že samotný systém je také jednoduchý (Symader, Krein, 1998).

Při srovnání rozložení odtoku v zájmovém území je důležité si uvědomit, že bereme v úvahu pouze dva roky, což je pro takovéto závěry velice krátká doba a je těžké z ní získat reprezentativní výsledky. Dokládá to i to, že v každém roce bylo hlavní odtokové období rozloženo do jiné části roku. Hydrologický rok 2009 byl málo vodný a odtok převažoval v měsíci dubnu, kdy se odtoku účastnila tající voda ze sněhové pokrývky. Oproti tomu rok 2010 byl rokem vodným. Srážky, které spadly ve formě sněhu, se na odtoku podílely tentokrát již v březnu. Rozdílný je i odtok ve zbytku roku, kdy jsou hodnoty vyšší než v předchozím roce.

Přiřazení režimu odtoku řek zájmovému území vodního toku není tedy úplně jednoznačné. Každý rok by odpovídal jinému režimu. Rok 2009 odpovídá režimu, kdy hlavním zdrojem vodnosti je tající sníh. Proti tomu rok 2010 má mnoho odtékající vody i

z dešťových srážek, a to převážně v období léta. Obecně lze však říci, že pro modelové povodí je typický jarní odtok a povodně z tajícího sněhu.

Co se týče samotných jarních povodní, tak jejich dopad může být mnohem delší, než trvá samotná povodeň. Je to z toho důvodu, že voda většinou pomaleji ustupuje. Podle S. Budhakooncharoen (2004) má účinek degradace velmi dlouhodobý dopad na ekosystémy. Langhammer s Vilímkem (2008) v závěru své práce říkají, že je důležité poukázat na negativní vliv intenzivního zemědělského využití záplavových území v nížinných oblastech, které brání účinnému zachování a transformaci povodňové vlny. Podle Jeníčka a Němečkové (2008) je možné snížit míru zranitelnosti území například propracovaným systémem krizového řízení nebo realizací vhodných protipovodňových opatření. Při vyšetřování vzniku povodní na Bystřici byla použita typizace synoptických situací, kterou uvádí Racko (2008) volně dostupnou na serveru ČHMÚ a je každoročně doplňována.

5.3 Zhodnocení vlivu fyzicko-geografických faktorů na odtok

O režimu odtoku rozhodují především vlastnosti prostředí, kde k odtoku dochází. Jak bylo zmíněno v kapitole 2, tak množství odtoku je ovlivněno nejvíce klimatickými, územními, půdními a biologickými poměry povodí. Všechny faktory se vzájemně doplňují a závisí na mnoha aspektech. Některé svým vlivem odtok zvyšují a jiné snižují.

U letních povodní je převážná většina způsobena dlouhotrvajícími dešti místně zesílenými konvektivními přívaly. Současné synoptické analýzy prokázaly, že mimořádné srážky bývají spojeny s výstupnými pohyby vzduchu, k nimž dochází termickou konvekcí se vznikem bouřkových oblaků, při orografických návětrných efektech, dále proděním v oblasti cyklon i brázd nízkého tlaku a při výzkumných procesech v prostoru atmosférických front (Matějček, Hladný, 1999).

Příčinná povětrnostní situace byla vybrána vždy pro ten den, kdy byl podle záznamu z klimatologické stanice Hřebečná nejvyšší srážkový úhrn. Ze zpracování extrémních situací v pramenné oblasti Bystřice lze vidět, že povodně jsou způsobeny především příčinnými srážkami typu Bp a SWc₂. Tyto situace mají společný typický výskyt tlakové níže nebo brázd nízkého tlaku poblíž území České republiky. Výsledky studie Schlütera a Schädlera (2010) ukazují, že srážky mohou být docela citlivé na malé změny synoptických situací se změnami v řádu 20 % pro maximální denní srážky a že typy synoptických situací hrají důležitou roli. Z historického hlediska byla téměř polovina povodní v Krušných horách způsobena podobnou meteorologickou situací, přičemž šlo o studené severní proudění (Pevná, 2010).

Spolu se vzdušnými masami se přes území České republiky přesouvají i oblasti vysokého a nízkého tlaku vzduchu, které k nám proudí ze západu od Atlantiku. Pohyblivé, místy slábnoucí, nebo naopak silící tlakové níže s sebou přinášejí vzduchové masy, s nimiž přicházejí deště, které zesilují díky vzduchu, jenž stoupá podél hor (návětrný efekt). V zimě přinášejí tyto povětrnostní situace sníh, jenž se vyskytuje v závislosti na nadmořské výšce a teplotě. Pokud je proděním jihozápadní jedná se naopak o oblevu (Kotěra, 2007).

Tyto vzdušné proudy neovlivňují jen naše území, ale i např. severní a západní Evropu. Cattiaux et al. (2010) potvrzuje, že pro zimu 2009/2010 byl charakteristický záznam přetrvávající negativní fáze severo-atlantické oscilace (NAO), která způsobila několik závažných studených vln přes severní a západní Evropu.

6. Shrnutí a závěry

V rámci této bakalářské práce byl hodnocen srážko-odtokový režim pramenné části povodí ostrovské Bystřice. V první části studie byla provedena fyzicko-geografická analýza celé oblasti. Bylo zjištěno, jaký vliv mají jednotlivé složky krajiny na odtok a jak jej zbrzdí či urychlují. Jedná se o několik faktorů, které se vzájemně prolínají. Patří mezi ně velikost a sklon povodí, délka toku, tvar a nadmořská výška povodí, typ krajinného pokryvu a jeho využití a průměrný úhrn srážek. Díky tomu, že tyto parametry ovlivňují odtok, lze říci, že nepřímo ovlivňují i vznik povodní a odtok během nich.

Další částí studie byla analýza extrémních situací na toku. Jedná se především o povodňové situace. Ty mohou na území České republiky nastat kdykoliv během roku. Povodně v zájmovém území pochází převážně z tajícího sněhu na jaře, tzn. v období března a dubna. Což také odpovídá tomu, že typ odtokového režimu Bystřice je typický pro horské sněhové oblasti, v nichž dochází k tání sněhu na jaře. Tento režim nabývá maximálních průtoků v rozmezí měsíců březen až květen a naopak minimálních na konci zimy. Během roku je ale také možné zvýšení průtoků díky srážkové činnosti. Chod povodní závisí na chodu synoptických situací, které se vyskytují nad naším územím.

Varování před povodněmi má na starosti několik povodňových orgánů a je v zájmu všech, aby postupoval vývoj předpovědních modelů, které uvažují meteorologické podmínky a hydrologické procesy, jež mohou vést k extrémním událostem. Díky propracovanému systému by bylo možné vyvarovat se špatným dopadům na prostředí.

Pro lepší vyhodnocení srážko-odtokového režimu by bylo dobré pokračovat v dalších měřeních a analýzách a zohlednit tak režim v odstupu několika let. Další měření by mohla více napomoci k lepšímu sestavování modelů odtoku z povodí a díky tomu i lepší interpretaci dat.

7. Použitá literatura

- BALATKA, B., KALVODA, J. (2006): *Geomorfologické členění reliéfu Čech*. Kartografie Praha, Praha, 79 s.
- BRÁDKA, J., DŘEVÍKOVSKÝ, A., GREGOR, Z., KOLESÁR, J. (1961): *Počasi na území Čech a Moravy v typických povětrnostních situacích*. Hydrometeorologický ústav, Praha, 32 s.
- BRÁZDIL, R., KIRCHNER, K. a kol. (2007): *Vybrané přírodní extrémny a jejich dopady na Moravě a ve Slezsku*. Masarykova univerzita, Brno, 431 s.
- BUDHAKOONCHAROEN, S. (2004): *Rainfall estimate for flood management using meteorological data from satellite imagery*. Engineering, Construction, and Operations in Challenging Environments: Earth & Space 2004, s. 215-222.
- CATTIAUX, J., VAUTARD, R., CASSOU, C., YIOU, P., MASSON-DELMOTTE, V., CODRON, F. (2010): *Winter 2010 in Europe: a cold extreme in a warming climate*. Geophysical research letters, Vol. 37, s. 1-5.
- ČERMÁK, M. (1966): *Hydrologické prognózy*. Státní pedagogické nakladatelství, Praha, 104 s.
- DOHNAL, Z., KUNST, M., MEJSTŘÍK, V., RAUČINA, Š., VYDRA, V. (1965): *Československá rašeliniště a slatiniště*. Československá akademie věd, Praha, 332 s.
- EGER, P., RENGGER, T., KLEČKA, V. (2009): *Zpráva o povodni 07/2009*. [online]. [cit. 2011-4-25]. Dostupné z URL: <http://www.poh.cz/profilfirmy/povodnovezpravy/Zprava_o_povodnove_situaci_2009_7.pdf>
- HLADNÝ, J., NĚMEC, J. (Eds.) (2006): *Voda v České republice*. Consult, Praha, 255 s.
- HORNÍK, S. a kolektiv (1986): *Fyzická geografie II*. SPN, Praha, 319 s.
- CHLUPÁČ, I. a kolektiv (2002): *Geologická minulost České republiky*. Academia, Praha, 436 s.
- JANSKÝ, B., ŠOBR, M. a kol. (2003): *Jezera České republiky*. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, katedra fyzické geografie a geoekologie, Praha, 199 s.
- JENÍČEK, M., NĚMEČKOVÁ, S. (2008): *Modelování vlivu současných a historických změn krajinného pokryvu na odtokový režim*. PŘF UK, Praha, s. 113-123
- KEMEL, M., KOLÁŘ, V. (1980): *Hydrologie*. ČVUT, Praha, 292 s.
- KLEČKA, V., TANAJEWSKI, M., RENGGER, T. (2010): *Zpráva o povodni 08/2010*. [online]. [cit. 2011-4-25]. Dostupné z URL: <http://www.poh.cz/profilfirmy/povodnovezpravy/Zprava_o_povodnove_situaci_2010_08.pdf>
- KLEČKA, V., TANAJEWSKI, M., RENGGER, T. (2010): *Zpráva o povodni 09/2010*. [online]. [cit. 2011-4-25]. Dostupné z URL: <http://www.poh.cz/profilfirmy/povodnovezpravy/Zprava_o_povodnove_situaci_2010_09.pdf>
- Klub českých turistů (2009): *Krušné hory – Karlovarsko. Soubor turistických map 1 : 50 000*. TRASA, spol. s r. o., Praha
- KOPP, J., NĚMEC, J. (Eds.) (2009): *Vodstvo a podnebí v České republice*. Consult, Praha, 255 s.

- KOTĚRA, J. (2007): *Geografický přehled východního Krušnohoří*. [online]. [cit. 2011-5-18]. Dostupné z URL: <http://www.vychodnikrusnohori.org/uploads/media/Band2_CZ_gesamt_01.pdf>
- LANGHAMMER, J., SITAR, J. (2008): *Modelling the impact of anthropogenic modifications to river channels on the course of extreme floods. Case study: August 2002 flood, Blanice River basin, Czechia*. *Geografie*, 113 (3), s. 237-252
- LANGHAMMER, J., VILÍMEK, V. (2008): *Landscape changes as a factor affecting the course and consequences of extreme floods in the Otava river basin, Czech Republic*. *Environmental Monitoring and Assessment*, 144, s. 53-66
- MORAVEC, D., VOTÝPKA, J. (1998): *Klimatická regionalizace České republiky*. Karolinum, Praha, 87 s.
- NĚMEČEK, J. a kolektiv (2011): *Taxonomický klasifikační systém půd České republiky*. ČZU, Praha, 94 s.
- NETOPIL, R. (1984): *Fyzická geografie I*. SPN, Praha, 272 s.
- NOVOTNÁ, M. (1995): *Srážko-odtokové poměry v povodí Klíčavy*. PřF UK, Praha, Bakalářská práce, 88 s.
- PATZELT, Z. (2008): *Ministerstvo životního prostředí*. [online]. [cit. 2010-12-23]. Dostupné z URL: <<http://www.cittadella.cz/europarc>>
- PETRÁNEK, J. (1993): *Malá encyklopedie geologie*. JIH, České Budějovice, 246 s.
- PEVNÁ, H. (2010): *Vliv vegetace na akumulaci a tání sněhové pokrývky*. PřF UK, Praha, Bakalářská práce, 56 s.
- RACKO, S. (2008): *Typizace povětrnostních situací pro území České republiky*. [online]. [cit. 2011-3-6]. Dostupné z URL: <<http://old.chmi.cz/meteo/om/mk/syntypiz/kalendar.html>>
- SCHLÜTER, I., SCHÄDLER, G. (2010): *Sensitivity of Heavy Precipitation Forecasts to Small Modifications of Large-Scale Weather Patterns for the Elbe River*. *J. Hydrometeorol*, 11, s. 770-780.
- SKLENÁŘ, P. (2007): *Protipovodňová ochrana a její organizace*. [online]. [cit. 2011-5-16]. Dostupné z URL: <http://toky.fsv.cvut.cz/Predmety/VTO/ke_stazeni/prednasky/14/14_2.pdf>
- SYMANDER, W., KREIN, A. (1998): *Runoff generation proces in a small limestone basin of the southern Eifel mountains*. *Hydrology, Water Resources and Ecology in Headwaters*, IAHS Publ. no. 248, s. 291-296.
- ŠKVOR, V. (1975): *Geologie české části Krušných hor a Smrčín*. Ústřední ústav geologický, Praha, 119 s.
- ŠTEFÁČEK, S. (2008): *Encyklopedie vodních toků Čech, Moravy a Slezska*. Baset, Praha, 743 s.
- TOLASZ, R. (2007): *Atlas podnebí Česka*. Český hydrometeorologický ústav a Univerzita Palackého Olomouc, Praha, 255 s.
- TOMÁŠEK, M. (2007): *Půdy České republiky*. Česká geologická služba, Praha, 68 s.
- VGHM Úř. *Digitální model území 25*, Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad, Geografická služba Armády České republiky

8. Seznam obrázků

Obr. 1: Lokalizace pramenné oblasti povodí Bystřice	8
Obr. 2: Nadmořské výšky v pramenné oblasti povodí Bystřice	9
Obr. 3: Sklonitost svahů v pramenné oblasti povodí Bystřice.....	11
Obr. 4: Expozice svahů v pramenné oblasti povodí Bystřice.....	13
Obr. 5: Krajinný pokryv v pramenné oblasti povodí Bystřice podle Corine 2006	15
Obr. 6: Konsumpční křivka v závěrovém profilu Bystřice – v Abertamech.....	20
Obr. 7: Čára překročení denních průtoků pro hydrologický rok 2009 v profilu Abertamy	22
Obr. 8: Čára překročení denních průtoků pro hydrologický rok 2010 v profilu Abertamy	22
Obr. 9: Hydrogram Q_m pro profil Abertamy	23
Obr. 10: Rozložení odtoku podle Q_m pro rok 2009 pro profil Abertamy	25
Obr. 11: Rozložení odtoku podle Q_m pro rok 2010 pro profil Abertamy	25
Obr. 12: Rozložení odtoku podle ročních období pro rok 2009 pro profil Abertamy	25
Obr. 13: Rozložení odtoku podle ročních období pro rok 2010 pro profil Abertamy	26
Obr. 14: Nejvyšší měsíční kulminace [$m^3 \cdot s^{-1}$] v pramenné části povodí Bystřice.....	27
Obr. 15: Úhrn srážek a teplota vzduchu na stanici Hřebečná, hydrogram průtoků v profilu Abertamy od 31. 3. 2009 do 28. 4. 2009.....	29
Obr. 16: Úhrn srážek a teplota vzduchu na stanici Hřebečná, hydrogram průtoků v profilu Abertamy od 16. 3. 2010 do 10. 4. 2010.....	30
Obr. 17: Průběh povodně 3. – 9. 8. 2010.....	31
Obr. 18: Průběh povodně 26. 8. - 6. 9. 2010.....	32

9. Seznam tabulek

Tab. 1: M-denní průtoky pro hydrologické roky 2009 a 2010	23
Tab. 2: Měsíční průtoky v hydrologických letech 2009 a 2010	24
Tab. 3: Míra roční vodnosti (Netopil, 1984).....	26
Tab. 4: Pravděpodobnost překročení Q_r	26
Tab. 5: Přehled hodnot pro tání 31. 3. – 28. 4. 2009.....	28
Tab. 6: Přehled hodnot pro tání 16. 3. – 10. 4. 2010.....	30
Tab. 7: Přehled hodnot pro povodeň 3. – 9. 8. 2010.....	31
Tab. 8: Přehled hodnot pro povodeň 26. 8. - 6. 9. 2010.....	32