

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

Přírodovědecká fakulta

Katedra fyzické geografie a geoekologie



**ODTOKOVÝ REŽIM V PRAMENNÉ OBLASTI VYDRY SE
ZAMĚŘENÍM NA HODNOCENÍ POVODŇOVÝCH EPIZOD**

RUNOFF REGIME IN THE VYDRA RIVER HEADSTREAM AREA WITH RESPECT
TO FLOOD EPISODES ASSESSMENT

Magisterská práce

Vypracoval: Bc. Jakub ČURDA

Školitel: Doc. RNDr. Bohumír JANSKÝ, CSc.

Praha, 2009

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně a že jsem všechny použité prameny řádně citoval. Svoluji k zapůjčení této práce pro studijní účely a souhlasím s tím, aby byla řádně vedena ve fondu knihovny.

V Praze dne 24. srpna 2009

.....
Jakub Čurda

Na tomto místě bych rád poděkoval především vedoucímu práce Doc. RNDr. Bohumíru Janskému, CSc. za odborné vedení při přípravě této práce. Velký díky patří i RNDr. Janu Kocumovi, RNDr. Michalu Jeníčkovi, RNDr. Juliusi Česákovi za velmi cenné odborné připomínky a rady. Můj velký dík patří i všem členům a studentům Katedry fyzické geografie a geoekologie, kteří se účastnili prací v terénu. Jmenovitě pak zejména Bc. Pavlu Hladíkovi, Bc. Janu Pospíšilovi, Mgr. Janu Jelínkovi, Bc. Milanu Prokšovi. Děkuji rovněž českobudějovické pobočce ČHMÚ za poskytnutá data. Zvláštní dík patří i mým rodičům, kteří mi svou všestrannou podporou vytvořili optimální podmínky pro zpracování této práce.

Odtokový režim v pramenné oblasti Vydry se zaměřením na hodnocení povodňových epizod

Abstrakt

Práce přináší a shrnuje poznatky o odtokovém režimu toků v pramenné oblasti Vydry, se zvláštním zřetelem na formování a průběh povodňových situací. Hlavní pozornost je soustředěna na objasnění závislosti extremity odtoku na fyzicko-geografických poměrech povodí jednotlivých toků. Zvláštní důraz je v tomto ohledu kladen na posouzení hydrologické funkce rašelinišť. Práce vychází z dat získaných více než tříletým monitoringem, který v této oblasti realizovala Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK v Praze.

Klíčová slova: hydrologie, Vydra, Šumava, povodeň, rašeliniště

Runoff regime in the Vydra River headstream area with respect to flood episodes assessment

Abstract

This diploma thesis summarizes knowledges about the Vydra river headstream area runoff regime with special respect to formation and course of flood situations. The main focus is concentrated on explanation of runoff extremity relation to physical-geographic conditions of each catchment. Special emphasis is in this term adverted to peatbog hydrological function assessment. Thesis is based on data acquired during more than three years field survey which was realized in this area by the Faculty of Science, Department of Physical Geography and Geoecology.

Key words: hydrology, Vydra River, Šumava mountains, flood, peatland

OBSAH

1. ÚVOD.....	9
1.1. Cíle práce	10
1.2. Struktura práce	11
2. ÚVOD DO PROBLEMATIKY	12
2.1. Definice povodně	12
2.2. Příčiny povodně	13
2.3. Vliv fyzicko-geografických podmínek na velikost extrémů povrchového odtoku	15
2.3.1. <i>Vliv morfometrických a morfologických charakteristik povodí na velikost extrémů povrchového odtoku</i>	15
2.3.2. <i>Vliv půdního pokryvu, geologických a hydropedologických charakteristik na velikost extrémů povrchového odtoku</i>	16
2.3.3. <i>Vliv lesních porostů na odtok a míru jeho extremity</i>	17
2.3.4. <i>Vývoj názorů na hydrologickou funkci rašelinišť a jejich vlivu na utváření extrémních hydrologických jevů</i>	18
2.3.5. <i>Stav výzkumu akumulace a vlivu tání sněhové pokrývky na extremitu odtoku</i>	19
3. VLASTNOSTI POVODŇOVÉHO MECHANISMU VYDRY	22
3.1. Výskyt povodní	22
3.2. Sezónální režim výskytu povodní	23
3.3. Povětrnostní příčiny vzniku povodní	26
3.3.1. <i>Určení povodňových typů povětrnostních situací</i>	26
3.3.2. <i>Atmosférické proudění při výskytu povětrnostních typů povodňových situací</i>	28
3.4. Prostorové rozložení příčinných srážek	29
3.5. Kategorizace povodní.....	31
4. FYZICKOGEOGRAFICKÝ PŘEHLED	35
4.1. Vymezení zájmového území.....	35
4.2. Geologická a hydrogeologická charakteristika	37

4.3 Morfologické parametry území.....	39
4.4. Půdní pokryv	42
4.5. Vegetace a krajinný pokryv	44
4.6. Antropogenní olivnění říční sítě.....	46
4.7. Klimatické charakteristiky	48
4.7.1. Teplotní poměry.....	48
4.7.2. Srážkové poměry	49
4.7.3. Větr.....	50
4.8. Výskyt rašelinišť	51
5. VSTUPNÍ DATA.....	54
5.1. Data získaná hydrometrováním toků	54
5.2. Datové řady z automatických hladinměřů a meteorologických stanic PřF UK.....	59
5.2.1. Zpracování dat	61
5.3. Data z limnigrafické stanice ČHMÚ Vydra-Modrava a data z meteorologických stanic ČHMÚ situovaných v blízkosti zájmového povodí.....	62
6. HYDROGRAFICKÁ CHARAKTERISTIKA.....	64
6.1. Tvarové vlastnosti povodí	64
6.2. Sklonitostní poměry povodí.....	67
6.3. Hustota říční sítě	68
7. ODTOKOVÝ REŽIM	70
7.1. Odtokové charakteristiky v profilu ČHMÚ Vydra-Modrava	71
7.1.1. Chod průtoků v průběhu dne.....	73
7.1.2. Chod průměrných měsíčních průtoků	75
7.1.3. Režim ročních průtoků.....	76
7.2. Odtokové charakteristiky Modravského a Roklanského potoka.....	77
7.2.1. Komparace průtoků s hodnotami průtoků ČHMÚ a problematika konstrukce měrných křivek.....	77
7.2.2. Chod průtoků Modravského a Roklanského potoka.....	79
7.3. Režim odtoku dílčích přítoků Modravského a Roklanského potoka	84

7.3.1. <i>Bilance průtoku jednotlivých toků ve vztahu k celkovému průtoku v profilu Výdra- Modrava</i>	86
8. HODNOCENÍ VYBRANÝCH EXTRÉMNÍCH EPIZOD	89
8.1. Kritéria výběru epizod a způsob identifikace dnů jejich průběhu	89
8.2. Povodeň 1.3.2008	90
8.2.1. <i>Hydrometeorologická situace</i>	90
8.2.2. <i>Nasycenost povodí a stav sněhové pokrývky</i>	91
8.2.3. <i>Hydrologická situace</i>	94
8.2.4. <i>Zhodnocení a kategorizace povodně</i>	98
8.3. Povodeň 18.4.2009	99
8.3.1. <i>Hydrometeorologická situace</i>	99
8.3.2. <i>Nasycenost povodí a stav sněhové pokrývky</i>	100
8.3.3. <i>Hydrologická situace</i>	102
8.3.4. <i>Zhodnocení a kategorizace povodně</i>	106
8.3.5. <i>Korelační analýza variability a extremity průtoků ve vztahu k fyzicko-geografickému prostředí</i>	107
8.4. Povodeň 7.12.2007	110
8.4.1. <i>Hydrometeorologická situace</i>	110
8.4.2. <i>Nasycenost povodí a stav sněhové pokrývky</i>	111
8.4.3. <i>Hydrologická situace</i>	112
8.4.4. <i>Zhodnocení a kategorizace povodně</i>	113
8.5. Průtokové vlny 23.6.2009 a 4.7.2009	116
8.5.1 <i>Hydrometeorologická situace</i>	116
8.5.2. <i>Nasycenost povodí a stav sněhové pokrývky</i>	120
8.5.3. <i>Hydrologická situace 23.6.2009</i>	121
8.5.4. <i>Hydrologická situace 4.7.2009</i>	124
8.5.5. <i>Zhodnocení situace</i>	127
9. DISKUZE	129
10. ZÁVĚR	134

POUŽITÉ ZDROJE	136
Literatura	136
Internetové zdroje.....	141
Mapové podklady a datové vrstvy GIS.....	142
SEZNAM PŘÍLOH.....	149

1. ÚVOD

Povodně představují přírodní katastrofu, která v našich geografických podmínkách působí největší škody na majetku a nejvyšší ztráty na životech. V souvislosti s výskytem extrémních povodňových událostí, které v posledních letech zasáhly území ČR, byla otevřena otázka potřeby řešení komplexu protipovodňové ochrany (Kocum a Janský, 2007a, b, 2008). V popředí zájmu společnosti se objevuje nová strategie zaměřená na postupné zvyšování retenční schopnosti krajiny. Otázkou však prozatím zůstává, do jaké míry je možno při aplikaci tohoto postupu snížit povodňové zatížení. Tato míra může být přitom významně ovlivněna specifiky fyzicko-geografického prostředí, měla by být tedy posuzována pro každé povodí zvlášť. Svá specifika mají rovněž protipovodňová opatření v pramenných oblastech toků (Kocum a Janský, 2007a, b, 2008).

Absolutní ochrana území před povodněmi však není reálná (Hladný, 2007). Povodně, pokud jde o jejich vznik, jsou neoddělitelnou součástí oběhu vody. Svými erozními, sedimentačními, transportními, mechanickými a jinými účinky představují zákonitý článek dlouhodobých vývojových procesů krajiny. Žádná povodeň přitom není svým projevem stejná. Mechanismy vzniku se u povodní téhož druhu mohou sice podobat, ale dynamika vyvolané situace v povodí má obvykle svá specifika. Pro budoucí zmírňování škod tedy vyplývá, že z každé povodňové situace je nutno rozšiřovat poznatky i zkušenosti, jak se před škodlivými důsledky těchto pohrom dokonaleji chránit. Studie posledních povodňových situací prokázaly, že bez důkladných znalostí regionálních příčin, které by osvětlily vznik a případné zesilování povodňových jevů, jakož i míru antropogenního ovlivnění odtoku z krajiny, a bez realizace interdisciplinárně a integrovaně pojatých opatření, nelze očekávat trvale platné snižování potenciálních ztrát (Hladný, 2007).

V rámci širšího projektu hydrologických výzkumů je na Katedře fyzické geografie a geoekologie Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy řešen dílčí úkol analyzující odtokový režim v pramenných oblastech Otavy. Pro zvýšení retenčního potenciálu zdrojových částí povodí Otavy je třeba podrobně analyzovat vliv fyzicko-geografických specifik povodí na formování odtoku, zejména pak hydrologickou funkci horských vrchovišť spočívající v detailním

porovnání odtokových režimů v povodích s rozdílným stupněm zrašelinění (Kocum a Janský, 2007a, b, 2008). Vhodné podmínky pro realizaci tohoto výzkumu poskytuje zejména povodí Vydry, které reprezentuje oblast s častým výskytem povodňových událostí a vysokou mírou heterogenity ve smyslu fyzicko-geografických aspektů.

1.1. Cíle práce

Cíle této práce je možno systematicky strukturovat do několika skupin:

1) Prvním cílem je analýza hydrologických dat ze státního profilu Vydra-Modrava. Ta by měla poskytnout bližší představu o základním charakteru a trendech v režimu odtoku zájmové oblasti z hlediska delšího časového období. Tyto poznatky by mohly napovědět o míře vodnosti monitorovaného období z dlouhodobého hlediska.

2) Druhá skupina cílů spočívá v analýze dat z experimentálních profilů PŘF UK. Ta je založena v první fázi na konstrukci měrných křivek průtoku s využitím datových podkladů získaných vlastním hydrometrickým monitoringem. V druhé fázi budou tyto křivky využity k analýze dat získaných z automatických hladinměřů provozovaných PŘF UK. Výsledkem těchto cílů by měl být ucelený pohled na režim páteřních i dílčích toků v zájmové oblasti, tedy v pramenné oblasti Vydry. Jedním z dílčích cílů je i určení míry vzájemné komparace dat ČHMÚ a dat získaných s využitím automatických hladinměřů provozovaných PŘF UK. Významným dílčím cílem je rovněž vytvoření představy o rozložení odtoku v zájmové oblasti na základě vzájemné odtokové bilance jednotlivých toků.

3) Cíle třetí skupiny jsou zaměřeny na popis a analýzu vybraných povodňových případů, které se vyskytly ve sledovaném území v období pozorování. Pozornost je soustředěna zejména na popis mechanismu vzniku a průběhu povodně v jednotlivých povodích. Významným cílem je snaha o nalezení souvislostí v průběhu a míře extremity povodně v závislosti na specifických fyzicko-geografických podmínkách v jednotlivých dílčích povodích. Zvláštní pozornost je v tomto ohledu soustředěna zejména na hydrologickou funkci rašelinišť.

Poznatky pramenící ze splnění těchto cílů mohou významnou měrou přispět k pocho-

pení povodňového mechanismu v pramenné oblasti Vydry. Svou roli mohou sehrát při návrhu a případné budoucí realizaci konkrétních opatření protipovodňové ochrany, souvisejících se zvyšováním retence území. Využití těchto poznatků by mohlo pomoci při budoucí implementaci vybraných profilů PřF UK v rámci varovného protipovodňového systému v povodí Otavy.

Původním záměrem práce byla rovněž analýza odtokových poměrů v epizodách sucha. Vzhledem k tomu, že se ve sledovaném období, jež je možno svým charakterem označit jako nadprůměrně vodné, nevyskytlo žádné období sucha, bylo po poradě se školitelem rozhodnuto, že pozornost bude dále věnována pouze povodňovým situacím.

1.2. Struktura práce

Práci můžeme dělit do 5 hlavních částí:

První část práce má za úkol seznámit čtenáře s používanými pojmy a se základní problematikou týkající se vlivu fyzicko-geografických vlastností na utváření povodňových událostí. Prostor je věnován i popisu povodňového mechanismu Vydry. Tato část je založena především na rešeršním zpracování příslušné světové i domácí odborné literatury, jež je v některých kapitolách doplněna o vlastní analýzy.

Následuje část věnovaná popisu vybraných fyzicko-geografických aspektů modelového povodí, která si klade za úkol přiblížit charakter přírodního prostředí zájmového území.

Třetí část práce je věnována popisu získání a zpracování podkladových dat, která jsou následně využita k analýze odtokového režimu jednotlivých sledovaných toků.

Samostatná část je pak věnována analýze vzniku a průběhu vybraných povodňových událostí v zájmovém povodí.

Následuje diskuse nad dosaženými výsledky v souvislosti s poznatky a předpoklady uvedenými v rešeršní části práce. V závěru jsou ve stručnosti shrnuty hlavní výsledky práce zejména s ohledem na jejich další využití

2. ÚVOD DO PROBLEMATIKY

Odborné literatury věnované problematice povodní je velké množství jak v České republice, tak i v zahraničí. Zvláště pak v kontextu výskytu velkých povodní na našem území v posledních letech bylo v tuzemsku publikováno množství článků a publikací s touto tematikou. Využití těchto odborných pramenů má však jistá omezení. V jednotlivých povodí se více či méně liší fyzicko-geografické podmínky, které tak mohou značnou měrou ovlivňovat příčiny i průběh povodně, a proto je možno brát do úvahy pouze obecně platné zkušenosti a poznatky, nejlépe pak jen ty, které mají vztah k řešené problematice v zájmovém území. Z těchto důvodů a vzhledem ke komplexnosti práce byla rešeršní část práce věnována definici základních pojmů, obecně platným zákonitostem příčin vzniku extrémních hydrologických jevů, vlivu fyzicko-geografických faktorů na jejich vznik a průběh, dále pak kategorizaci povodní pro povodí Otavy. Konkrétní poznatky ve vztahu k zájmovému území jsou dále řešeny v rámci dílčích kapitol.

2.1. Definice povodně

V České republice se ustálilo v povodňově ochraně pojetí, kterým se podle Zákona o vodách č. 254/2001 Sb. (2004) povodněmi rozumí „přechodné výrazné zvýšení hladiny vodních toků nebo jiných povrchových vod, při kterém voda již zaplavuje území mimo koryto vodního toku a může způsobit škody tím, že z určitého území nemůže dočasně odtékat nebo její odtok je nedostatečný, případně dochází k zaplavení území při soustředěném odtoku srážkových vod. Povodeň může být způsobena přírodními jevy, zejména táním, dešťovými srážkami nebo chodem ledu (přirozená povodeň), nebo jinými vlivy, zejména poruchou vodního díla, která může vést až k jeho havárii (protržení) nebo nouzovým řešením kritické situace na vodním díle (zvláštní povodeň).“.

Pro účely této diplomové práce se však vyvinula potřeba širší interpretace tohoto termínu:

Povodeň – chápe se nejen jako hydrologický jev, ale i jako označení případu vzestupu průtoku

charakterizovaném průtokovou vlnou daných parametrů.

Průtoková vlna - Dle ČSN 751400 jde o všechny průtokové excesy v korytě vodního toku, které se dají popsat objemem, kulminačním průtokem a tvarem povodňové vlny. Průtokové vlny, u nichž dojde k překročení průtočné kapacity koryta toku v důsledku náhlého zvětšení průtoku nebo zmenšení plochy průtočného profilu a voda začne zaplavovat přilehlý reliéf, se nazývají povodňovými vlnami. Pro potřeby této práce bude povodňová vlna definována jako průtoková vlna s kulminačním průtokem nad stanovenou hodnotou. Tato hodnota bude specifikována dále v úvodu konkrétních kapitol.

N-letá povodeň – povodňová vlna (průtoková vlna), jejíž kulminační průtok je v dlouhodobém průměru dosažen nebo překročen jedenkrát za N let.

2.2. Příčiny povodně

Z genetického hlediska můžeme ve vnitrozemských oblastech vymezit povodně podle zdroje zvýšeného odtoku na povodně dešťové, sněhové, smíšené, ledové a dále na specifické druhy povodní bez přímé vazby na meteorologickou situaci (Brázdil et al., 2005).

Naprostá většina povodní v ČR je způsobena srážkami, v zimním půlroce rovněž oteplením a následně vyvolaným táním sněhové pokrývky, zvláště je-li provázeno srážkami. Povodeň může být též vyvolána výskytem ledových jevů v tocích. Povodně převážně lokálního významu mohou být také způsobeny jinými specifickými příčinami. Tyto hlavní typy povodní je vhodné si alespoň v krátkosti představit.

Povodně dešťové - déle trvající regionální srážky, které zasahují plošně rozsáhlá území jsou zodpovědné za většinu velkých letních povodní (např. 1997, 2002) na území ČR (Hladný, 2007). Tento typ povodní postihuje malé řeky a potoky, ale i velké toky, které zaplavují rozsáhlé oblasti říčních niv až po několik dní. Intenzivní přívalové srážky, které se vyskytují v letních

bouřkách vzniklých na studených frontách, zasahují většinou plošně méně rozsáhlé oblasti a povodně jimi způsobené, které bývají nazývány jako bleskové, jsou většinou omezeny jen na určitý úsek toku. I když zasažená plocha není většinou příliš velká, rychlost proudění vody je v těchto případech obecně značná a má velkou ničivou sílu.

Povodně sněhové a smíšené - jsou také někdy označovány jako povodně zimního a jarního typu. Oteplení vyvolávající tání sněhové pokrývky je příčinou vzniku sněhových povodní. Velké povodně způsobené táním sněhu vznikají v zimním období, nejčastěji od prosince do dubna. Na území České republiky však tento typ povodní zpravidla nedosahuje větších N-letostí (Brázdi et al., 2005). Jsou-li tyto povodně doprovázeny srážkami, jak tomu často bývá, přičemž u velkých povodní v zimním půlroce (např. 2006) hrají dešťové srážky téměř vždy důležitou roli, jde o povodně smíšené. Tento typ je v našich podmínkách častější a z hlediska dosahované extremity nebezpečnější.

Povodně ledové - jsou spojeny s oteplením po období mrazů, kdy se vytvořil ledový pokryv vodních toků. Při jarní oblevě dochází k rozlámání ledu a jeho pohybu v toku. Na místech s mělkým dnem, nebo v místech zúžení koryta se unášené kry hromadí a vytváří ledové bariéry (www.chmi.cz). Za nimi se potom voda vzdouvá a zaplavuje okolí toku.

Povodně ze specifických příčin - nastávají např. přehrazením toku sesuvem půdy, masou horniny či sněhu. Může dojít též k poškození či protržení zvláště malých vodních nádrží a rybníků, ucpání mostních otvorů, propustků nebo koryta unášeným materiálem. Možné jsou taktéž záplavy ze zpětného vzduť, kdy vyšší hladina na hlavním toku způsobuje vzdouvání vody v dolních úsecích přítoků (Matějček a Hladný, 1999).

Vliv na vznik a vývoj povodní má celá řada dalších faktorů, které budou popsány v následujících kapitolách.

2.3. Vliv fyzicko-geografických podmínek na velikost extrémů povrchového odtoku

Extrémní hydrologické jevy zpravidla vznikají jako důsledek působení výjimečného průběhu určitých přírodních procesů, které jsou ovlivněny geografickými podmínkami a také činností člověka. Hlavní příčinou jejich extremity je nejčastěji výskyt abnormálních meteorologických situací a jimi vyvolaných jevů. Jak již bylo zmíněno, v přírodních podmínkách České republiky jsou hlavním činitelem, který rozhoduje o vodnosti toků, atmosférické srážky. Nepřímý vliv mají však i další klimatické faktory.

Na velikosti extrémů povrchového odtoku se však nemalou měrou podílí i řada dalších fyzicko-geografických faktorů, zejména charakter reliéfu, vegetace, pedologické, geologické, hydrogeografické a hydrogeologické poměry daného povodí (Kříž, Kolečka, 1999 In Štěpánková 2004).

2.3.1. Vliv morfometrických a morfologických charakteristik povodí na velikost extrémů povrchového odtoku

Charakteristika, která ovlivňuje především velikost objemu povodňové vlny, je plocha povodí. Pro vznik povodní je přitom rozhodující, jaká část z celkové plochy povodí byla zasažena deštěm, tzn. kolik procent povodí odvádí vodu ve stejný čas. Z hlediska povodňového ohrožení jsou na malých povodích charakteristické bleskové povodně z krátkých intenzivních přivalových dešťů (Štěpánková, 2004). Naopak řeky s velkým povodím stoupají v důsledku delší doby koncentrace především při vytrvalých deštích, které zasahují významnou část plochy povodí.

Doba, za kterou se v závěrovém profilu soustředí odtok z celého povodí, se bude prodlužovat s rostoucí plochou povodí, neboť tato doba se prodlužuje se zvětšující se hydraulickou vzdáleností od závěrového profilu a zkracuje se zvětšováním sklonu povodí. Mělo by tedy obecně platit, že na povodích se strmějšími sklony svahů a větším sklonem údolnice by měl

odtok probíhat rychleji a povodňová vlna by měla mít menší schopnost transformace (Šercl, 2007).

Další morfometrickou charakteristikou, která má vliv na velikost extrémů povrchového odtoku, je tvar povodí. Mezi nejpoužívanější prostředky k vyjadřování tvarových vlastností slouží charakteristika povodí nebo Gravelliův koeficient. Nebezpečnější z hlediska velikosti extremity odtoku a tvorby povodní jsou povodí vějířovitého tvaru. Vzhledem k tomu, že se v povodí zpravidla vyskytuje více toků s relativně stejnou délkou údolnice, může při zasažení celého povodí intenzivní srážkou docházet ke střetu povodňových vln v závěrovém profilu povodí. Naopak protáhlá povodí se vyznačují jedním dominantním tokem s podstatně kratšími přítoky, takže vlny postupující po hlavním toku se nemusí střetnout s kulminačními průtoky povodňových vln na přítocích (Šercl, 2007).

2.3.2 Vliv půdního pokryvu, geologických a hydrogeologických charakteristik na velikost extrémů povrchového odtoku

Vlastnosti půdního pokryvu a geologické poměry značně ovlivňují rozdělení odtoku ze srážek na povrchový a podpovrchový. Na území s více propustným povrchem se za vydatných srážek může vsáknout více vody do spodních horizontů, což přispívá k prodloužení doby koncentrace (retence) vody v povodí, a tím i ke zmenšení kulminačního průtoku povodně. Obecně málo propustný povrch vždy vede ke zkrácení doby koncentrace a ke zvýšení podílu povrchového odtoku na objemu povodně, zatímco příznivý efekt u více propustných půd se spíše projeví na povodích s menšími sklony svahů, kdy voda snáze zasakuje a proniká do hlubších půdních horizontů. Sklonitá území s dobře propustnými půdami, avšak s malou retenční schopností, mohou mít díky rychlému podpovrchovému odtoku relativně krátké doby koncentrace (Šercl, 2007).

Testováním retenční schopnosti půdy v povodí horských pramenných oblastí Šumavy se zabývá Lichner et al. (2004). Z výsledků jejich měření vyplývá, že retenční kapacita půdy, tedy množství vody, které je půda schopna zadržet aniž by došlo k takovému zaplnění půdy vodou, které vyvolá povrchový odtok, je v těchto oblastech asi 60–90 mm (Tesař et al., 2001).

Ve stejném rozmezí 60–90 mm se pohybuje retenční kapacita půd například i v Krkonoších a Jizerských horách. Tím se dle jejich závěrů také vysvětluje, proč deště o úhrnu nad 60 mm v podmínkách krystalinika vyvolávají zpravidla povodně (Lichner et al., 2004).

2.3.3. Vliv lesních porostů na odtok a míru jeho extremity

Vliv lesů na vodu v krajině je mnohostranný. Projevuje se zejména v hydrologické bilanci, v režimu průměrných denních průtoků i ve velikosti povodňových průtoků. Úhrnný odtok z větších lesních celků je zpravidla nižší než celkový odtok z bezlesí. Je to dáno převážně podstatně vyšší intercepcí lesních porostů. Koruny stromů zachytí v našich podmínkách maximálně asi 45 % srážek. Z korun lesních porostů se zadržená srážková voda vypaří do ovzduší (Švihla, 2001).

Horské a podhorské lesní oblasti jsou i při poměrně vysokých hodnotách územního výparu zásobárnou vody, protože jsou to území s vysokými srážkami, které lesní porosty stačí zadržovat pro období sušší. Ve srovnání se zemědělskými pozemky zde odečte zpravidla menší objem vody v období s vyššími průtoky, ale vyšší objem vody v období s nižšími průtoky. Lesní půda je vynikající retenční nádrž podzemní vody. Pro vysokou infiltrační schopnost lesních půd se plošný povrchový odtok v lesích prakticky nevyskytuje. Povrchový odtok se tvoří jen v hydrografické mikrosíti. Tento proces přispívá k tomu, že lesní komplexy snižují velikost odtoků velkých vod a zvyšují velikost odtoků nižších (Švihla, 2001).

Literární údaje o vlivu lesů na povodňové průtoky jsou často nejednoznačné. Od tvrzení, že odlesnění nemá valný vliv na velikost velkých vod až po závěry, že odlesnění přinese jejich téměř katastrofické zvýšení (Blažková a Kolářová, 1994, Ven Te Chow, 1964). Podle Duba (Dub, 1957 in Švihla, 2001), který se touto otázkou obecněji zabýval v našich podmínkách, může na zalesněném povodí vzniknout maximální odtok o 50 % nižší než v povodích nezalesněných.

Nenahraditelnou vodohospodářskou funkci lesa potvrzují i výsledky měření Křováka et al. (2004), kteří zkoumají vliv lesních ekosystémů na hydrický režim krajiny přímo v zájmovém oblasti této práce, tedy v pramenné oblasti Vydry.

2.3.4. Vývoj názorů na hydrologickou funkci rašelinišť a jejich vlivu na utváření extrémních hydrologických jevů

Otázka vlivu rašelinišť na odtokový proces a vznik extrémních hydrologických epizod je dlouhodobě předmětem zájmu výzkumu katedry fyzické geografie a geoekologie Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy. Hydrologickou funkcí rašelinišť se zabývá mnoho autorů, jmenujme například Ferdu (1960, 1963), Janského a Kocuma (2007a, 2007b, 2008). V následující podkapitole bude proto věnována pozornost stručnému shrnutí současným poznatkům o hydrologické funkci rašelinišť.

Otázka vlivu rašelinišť na odtokový proces není doposud uspokojivě vyřešena. Rozmanité přístupy k této problematice shrnují Kocum a Janský (Kocum a Janský, 2008a). Tzv. „houbová teorie“, která byla v domácí i světové literatuře uznávána přibližně do 60. let 20. století, předpokládala, že rašeliniště mají schopnost zadržovat vodu při vysokých srážkách (povodňových průtocích) a v období sucha se naopak nadlepšováním průtoků podílejí na vyrovnávání odtoku. Od 70. let 20. stol. se objevují práce, které však tuto retenční funkci rašelinišť zpochybňují a doporučují snížení hladiny podzemní vody pomocí odvodnění jako jedinou možnost zvýšení jejich retenční kapacity. Tyto meliorační zásahy byly poté provedeny v řadě horských oblastí na území České republiky, včetně zájmové oblasti této práce. Problematika odvodnění, resp. hrazení původních melioračních kanálů odvodňujících rašeliniště, se od té doby stala podnětem pro široké diskuse v rámci zahraniční i tuzemské odborné literatury (Conway, Millar, 1960; Holden et al., 2001, etc.). Výsledky těchto prací prokázaly, že toky odvodňující rašeliniště mají značnou rozkolísanost průtoků a význam rašelinišť z hlediska vyrovnávání odtokového režimu byl v minulosti přeceňován. Při naplnění horských vrchovišť na plnou vodní kapacitu byl přitom registrován rychlý vzestup odtoků a rovněž při déletrvajícím období sucha se rašeliniště neprojevují hydrologicky pozitivně, tzn. nenapájejí vodní toky. Tyto práce naopak konstatují zlepšení hydrologického režimu toků po provedeném odvodnění a zkulturnění rašelinišť. Jako jednoznačně negativní je hodnocen vliv rašelinišť na kvalitu vody v tocích, přičemž intenzita znečištění souvisí s jejich rozlohou a kubaturou v povodí (Kocum a Janský,

2008a).

Problematika hydrologické funkce horských vrchovišť závisí na mnoha faktorech, především typu rašeliniště, jeho zdravotním stavu a míře antropogenního ovlivnění. K hodnocení jejich hydrologického režimu je proto třeba detailně posoudit vliv vybraných fyzicko-geografických faktorů v konkrétních lokalitách (Kocum a Janský, 2008a).

Z dosavadních výsledků výzkumu hydrologické funkce rašelinišť realizovaného PřF UK v povodí Vydry a Křemelné lze soudit, že variabilita odtoku je vyšší v případě profilů uzavírajících povodí s významným podílem zrašelinělých a rašeliništních půd než v závěrových profilech povodí s minimálním zrašeliněním. Z analýzy reakce odtoku na příčinnou srážku pak bylo zjištěno významnější zpoždění kulminace odtoku a tedy vyšší schopnost retence vody v povodí s výrazně nižším zastoupením rašelinišť (Kocum a Janský 2007a).

Výskyt a charakteristika rašelinišť v zájmovém území bude detailněji popsán v kapitole, která se věnuje fyzicko-geografickému přehledu zájmového území.

2.3.5 Stav výzkumu akumulace a vlivu tání sněhové pokrývky na extremitu odtoku

Mechanismus akumulace a tání sněhové pokrývky a jejího vlivu na formování odtoku, jakožto představitel významného prvku při zkoumání hydrologických procesů v krajině, je také jedním z předmětů výzkumu katedry fyzické geografie a geoekologie PřF UK. Bližšímu popisu měření sněhové pokrývky, charakteru její akumulace a procesu tání se v zájmovém území již věnoval Jelínek (2008) a Jeníček at al. (2008). Rozbor tání sněhu a jeho vlivu na formování odtoku je předmětem připravované diplomové práce Jana Pospíšila. Bližší popis problematiky přesahuje rámec této práce, je však vhodné nastínit alespoň základní formou vliv sněhové pokrývky na odtok a vznik extrémních hydrologických situací za využití dosavadních výsledků tohoto výzkumu.

Ve srážko-odtokovém procesu představuje sníh specifický druh srážek, který se nezapojuje okamžitě do odtokového procesu, ale až s určitým zpožděním při jeho tání. Toto zpo-

ždění je přitom velice rozmanité (Jelínek, 2008). Sněhová pokrývka navíc značně ovlivňuje i tvorbu odtoku ze srážek spadlých ve formě deště. Zatímco při nízké výšce sněhové pokrývky mohou dešťové srážky způsobit její úplné roztání, a zvýraznit tak odtokovou odezvu, vysoká vrstva naopak působí jako houba s výrazným retenčním potenciálem, který má na odtokovou odezvu brzdicí a tlumivý efekt (Hladný, 2006 in Jelínek, 2008). Srážkový úhrn tak v závislosti na jeho množství a na podmínkách, které panují ve sněhové vrstvě, může být touto vrstvou zcela pohlcen. Srážková voda tak zvýší vodní hodnotu sněhu, ale odtoková odezva v korytech toků je zanedbatelná či jí nelze vůbec zpozorovat (Jelínek, 2008).

Terenní měření charakteristik sněhové pokrývky v zájmovém území potvrdilo existenci znatelného rozdílu v množství akumulovaného sněhu zejména mezi otevřenými plochami a lesem, což je okolnost, kterou lze jen obtížně postihnout použitím výsledků měření prováděných běžně na meteorologických stanicích. Zároveň se ale ukázala i obrovská variabilita v množství sněhu na různých stanovištích obdobného charakteru ve srovnatelné nadmořské výšce. To svědčí o značné složitosti procesu akumulace sněhové pokrývky v prostoru a čase, který je ovlivňován značným množstvím faktorů (Kocum a Janský, 2008a).

Tání sněhu vlivem zvýšené teploty doprovázený často dešťovými srážkami představují v České republice nejčastější příčinu vzniku povodně. Analýze tání sněhu a jejího vlivu na vznik povodní v povodí Otavy se věnoval Vlasák (2000).

Jak již bylo zmíněno v předchozích kapitolách, z hlediska příčin vzniku se povodně dělí na povodně dešťové, sněhové a smíšené. Pro zařazení povodně do kategorie dle příčin vzniku je rozhodující zjištění vlivu tání sněhové pokrývky na vznik povodně. Toto určení nemusí být vždy jednoznačné, protože mnohdy nelze určit z jakých zdrojů byly jednotlivé složky odtoku plněny. Zároveň průběh čistě dešťové povodně může být v jarních měsících ovlivněn značným nasycením půdy v povodí po odtání sněhové pokrývky (Vlasák, 2008). Dělení povodní podle podílu tání sněhu na vodnosti je uvedeno v tabulce 1.

Povodně způsobené čistě táním sněhu po náhlém oteplení nedosahují na území České republiky zpravidla větších N-letostí (Brázdil et al., 2005). Častější a nebezpečnější je výskyt povodní smíšených.

U vzniku povodní spojených s táním sněhu lze v zásadě vyčlenit faktory předběžné a

faktory příčinné (Kakos et al., 2006). Předběžný faktor představuje vytvoření dostatečné sněhové pokrývky během zimního období, a to zejména v nižších a středních polohách. Vysoká sněhová pokrývka v horských oblastech je obecně méně citlivá na náhlá oteplení (vertikální členitost způsobuje postupný nárůst teplot v jednotlivých výškových pásmech, a zasahuje proto najednou menší území) (Jelínek, 2008). Vysoká sněhová pokrývka má navíc již zmiňovanou schopnost působit jako houba na případný výskyt dešťových srážek, a vysoká retenční kapacita tak tlumí odtokovou odezvu na tyto srážky.

Ve středních a nižších polohách je naopak oteplením většinou postiženo daleko rozsáhlejší území a obecně nižší výška sněhové pokrývky odtává rychleji, zejména je-li tání doprovázeno vypadáváním kapalných srážek (Kakos et al., 2006).

Příčinnými faktory sněhových a smíšených povodní je pak náhlé oteplení vyvolávající tání sněhové pokrývky. To může být navíc značně umocněno působením větru. U povodní smíšených navíc do celého procesu vstupuje vypadávání dešťových srážek. Ty jednak zvyšují celkové množství vody pro tvorbu odtoku a navíc výrazně urychlují tání samotné sněhové pokrývky (Jelínek, 2008).

Tabulka 1: Dělení povodní podle podílu tání sněhu na vodnosti

Typ povodně	Podíl tání sněhu (%)
Sněhové povodně	≥ 80
Smíšené povodně s převahou vlivu tání sněhu	$50 \leq < 80$
Smíšené povodně s převahou vlivu dešťových srážek	$20 \leq < 50$
Dešťové povodně	< 20

Zdroj: Vlasák (2008)

3. VLASTNOSTI POVODŇOVÉHO MECHANIS- MU VYDRY

Tato část práce má rešeršní charakter a jejím záměrem je podat základní popis charakteristik povodňového mechanismu řeky Vydry, za využití poznatků publikovaných v práci Vlasáka (2008), který se detailně věnuje rozboru povodňového mechanismu Otavy. Literární rešerše je přitom doplněna o vlastní analýzy výskytu povodní, s využitím dat průměrných denních průtoků ve stanici Vydra-Modrava, které pro období 1.11.1930 - 31.10.2008 (bez chybějícího období 1.11.1940 - 31.10.1948) poskytl ČHMÚ. Problematika využití průměrných denních průtoků k identifikaci povodní je diskutována dále v textu.

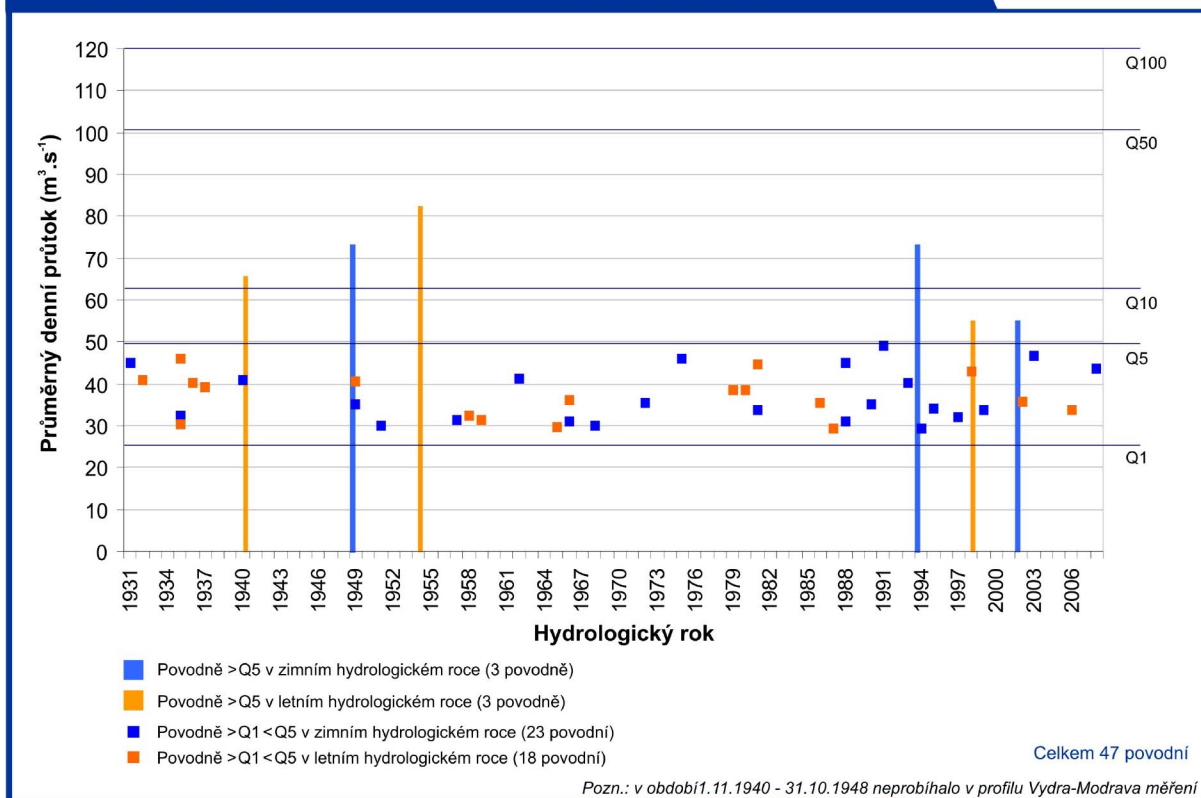
3.1. Výskyt povodní

Graf na obr 3.1. znázorňuje všechny známé povodně identifikované na základě souboru dat průměrných denních průtoků v období 1.11.1930 - 31.10.2008 ve stanici Vydra-Modrava s průměrným denním průtokem přesahujícím hodnotu 1-letého průtoku ($Q_1 = 29 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ - údaj ČHMÚ). Použití souboru průměrných denních průtoků s sebou však nese riziko neidentifikace krátkodobých zvýšení hladiny z letních přívalových lijáků, které mohly hodnotu 1-letého průtoku krátkodobě překročit, v denním průměru však jeho hodnoty nedosáhly. Rovněž dochází k významnému podhodnocení extremity dosaženého kulminačního průtoku. Pro účely této práce však nebyl k dispozici soubor dat denních maxim průtoku (kulminačních průtoků).

Patrné je zvýšení výskytu povodní s průměrným denním průtokem nad hranicí 5-letého průtoku ($Q_5 = 52 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ - údaj ČHMÚ) zejména v období od počátku 90.let. Naopak chudé na výskyt těchto povodní bylo nejmarkantněji období od druhé poloviny 50. do 90. let. Zajímavé je srovnání výskytu povodní v letní či zimní části hydrologického roku. Zatímco dle Vlasáka (2008) je na Otavě v profilu Písek patrná převaha zejména letních povodní, na Vydře je podíl letních ku zimním povodním prakticky rovnoměrný. Tento fakt však může být významně ovlivněn již zmíněným značně problematickým použitím souboru dat průměrných denních průtoků.

Výskyt malých povodní s průměrným denním průtokem mezi 1-letou a 5-letou vodou je z hlediska jejich časového výskytu více rovnoměrný. Patrný je však výrazný nárůst podílu zimních povodní v posledních 20 letech, kdy jde převážně o jarní povodně.

Obr. 3.1. Výskyt povodní ve stanici Vydra-Modrava (1931-2008)



Zdroj: data ČHMÚ průměrných denních průtoků ze stanice Vydra-Modrava v období 1.11.1930 - 31.10.2008, zpracování autor

3.2. Sezónní režim výskytu povodní

Sezónní režim povodní určuje, v které části roku je zvýšená pravděpodobnost výskytu povodně v daném povodí. Poznatky o regionalizaci sezonality výskytu maximálních průtoků mají mimořádný význam pro povodňovou ochranu z hlediska zatížení jednotlivých povodí povodňovým nebezpečím, pro poznávání mechanismu vzniku povodňových situací, rozvoj frekvenční analýzy k odvozování návrhových hydrologických veličin, hospodaření s vodou v nádržích a vůbec pro prohlubování znalostí o povodňovém režimu krajiny (Chalušová et al., 2007).

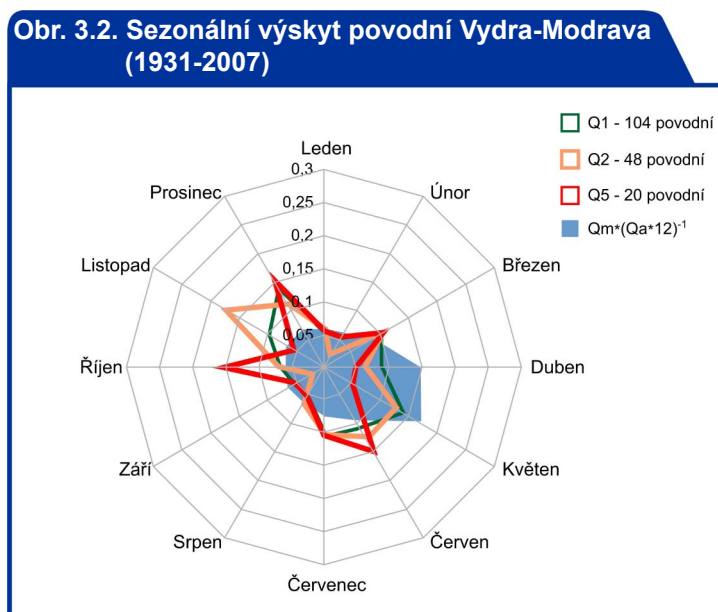
Poznatky o sezónním výskytu povodní v povodí Otavy byly již publikovány v práci Vlasáka (2008). Pro komplexnost této práce následuje shrnutí těchto poznatků se zřetelem na

povodí Vydry.

Jak již bylo zmíněno, pro účely této práce nebyl k dispozici soubor maximálních denních průtoku ze stanice Vydra-Modrava. Použitím průměrných denních průtoků by mohlo tedy docházet k neidentifikaci krátkodobých vzestupů hladin z letních přívalových lijáků a s tím spojeným fiktivním přesouváním citlivosti povodí směrem do jarních měsíců. Vzhledem k rešeršní povaze této části práce se proto přidržíme výsledků publikovaných Vlasákem (2008), který měl k dispozici soubor pozorovaných kulminačních průtoků.

Zmíněný autor k vyjádření prostorových odlišností v rozložení sezonality výskytu povodní využil metodu polárního grafu publikovanou Hladným (1995). Metoda polárního grafu je založena na grafické analýze růžicového grafu, kde průvodiče odstupňované vždy po 30° představují jednotlivé měsíce roku a jsou v nich vynášeny příslušné měsíční četnosti výskytu nebo hodnoty sledované veličiny.

Vlasák ve své práci do grafu (obr 3.2.) vynášel hodnoty sezonního indexu P_i , který byl vypočten jako podíl počtu povodní přesahujících v kulminaci prahový průtok Q v daném měsíci (v referenčním období) a počtu povodní přesahujících v kulminaci prahový průtok Q v celém roce (v referenčním období). Do polárního grafu byly zároveň vyneseny hodnoty podílu průměrného měsíčního průtoku Q_m na průměrném ročním průtoku Q_a , které označují rozložení celkového objemu odtoku v průběhu roku (hodnoty Q_m/Q_a byly vyděleny dvanácti, aby údaje mohly být zobrazeny na stejné stupnici jako sezonní index P_i). Grafický výstup byl pak



Zdroj: Vlasák (2008)

ještě pro úplnost doplněn počtem použitých záznamů v daném referenčním období (Vlasák, 2008).

Z polárního grafu je zřetelné, že roční chod povodní na Vydře vykazuje specifické znaky. Především zde narůstá podružné listopadové a prosincové maximum četnosti povodňových průtoků. V této části roku způsobují povodně převážně západní cyklonální situace, které doprovází silné proudění jihozápadního až západního směru s výrazným návětrným a závětrným efektem šumavského hřebenu.

Zvýšená četnost povodní v jarních měsících je predisponována velkým podílem plochy povodí s malou výškovou členitostí, která je příznivější pro rychlejší tání sněhu z relativně velké plochy. U povodí Vydry po Modravu je malá výšková členitost dána existencí geomorfologicky zarovnaného povrchu. Sněhová pokrývka se zde navíc pravidelně udržuje do pozdního jara, kdy může intenzita tání dosahovat poměrně vysokých hodnot a zároveň se zvyšuje možnost kombinace tání sněhu (případně jen nasycenosti povodí po odtání sněhu) se silným deštěm (Vlasák, 2008).

Mimo obecně platné vlastnosti povodňového mechanismu Otavy, lze za hlavní specifika sezonnálního režimu výskytu povodní na Vydře označit:

- Zvýšenou četnost povodní v podzimních měsících a na začátku zimy.
 - Zvýšenou četnost povodňových situací v době jarního tání (s maximem v měsíci květnu).
- Kulminační průtoky se však většinou pohybují do úrovně dvouleté vody.

3.3. Povětrnostní příčiny vzniku povodní

Z hlediska vzniku povodňových situací na území ČR ze srážek frontálního původu je podstatné, že jejich meteorologické příčiny se vytvářejí zpravidla v prostoru daleko od zájmového povodí. Atmosférická cirkulace, která je hlavním zdrojem proměny počasí, je v přízemní vrstvě pak ještě značně ovlivňována i fyzicko-geografickými poměry povodí. Jelikož tyto podmínky nejsou stejné, vyplývá z toho obecně, že každé povodí může být jinak citlivé na jednotlivé typy cirkulačních situací anebo na jejich postupnou kombinaci (Čekal, 2007). Pro pochopení komplexního mechanismu vzniku povodní v povodí Vydry je tedy nezbytná identifikace příčinných povětrnostních podmínek.

Povětrnostními příčinami povodní za využití hydrosynoptické analýzy se věnuje například Kakos (1985), Chalušová (2004) pro povodí Labe, Čekal (2005) pro povodí Ohře, pro povodí Otavy pak Vavruška (1989) a Vlasák (2008). Vlasák ve své práci popisuje povětrnostní příčiny vedoucí k povodím na Otavě v Písku na základě výskytu synoptických typů.

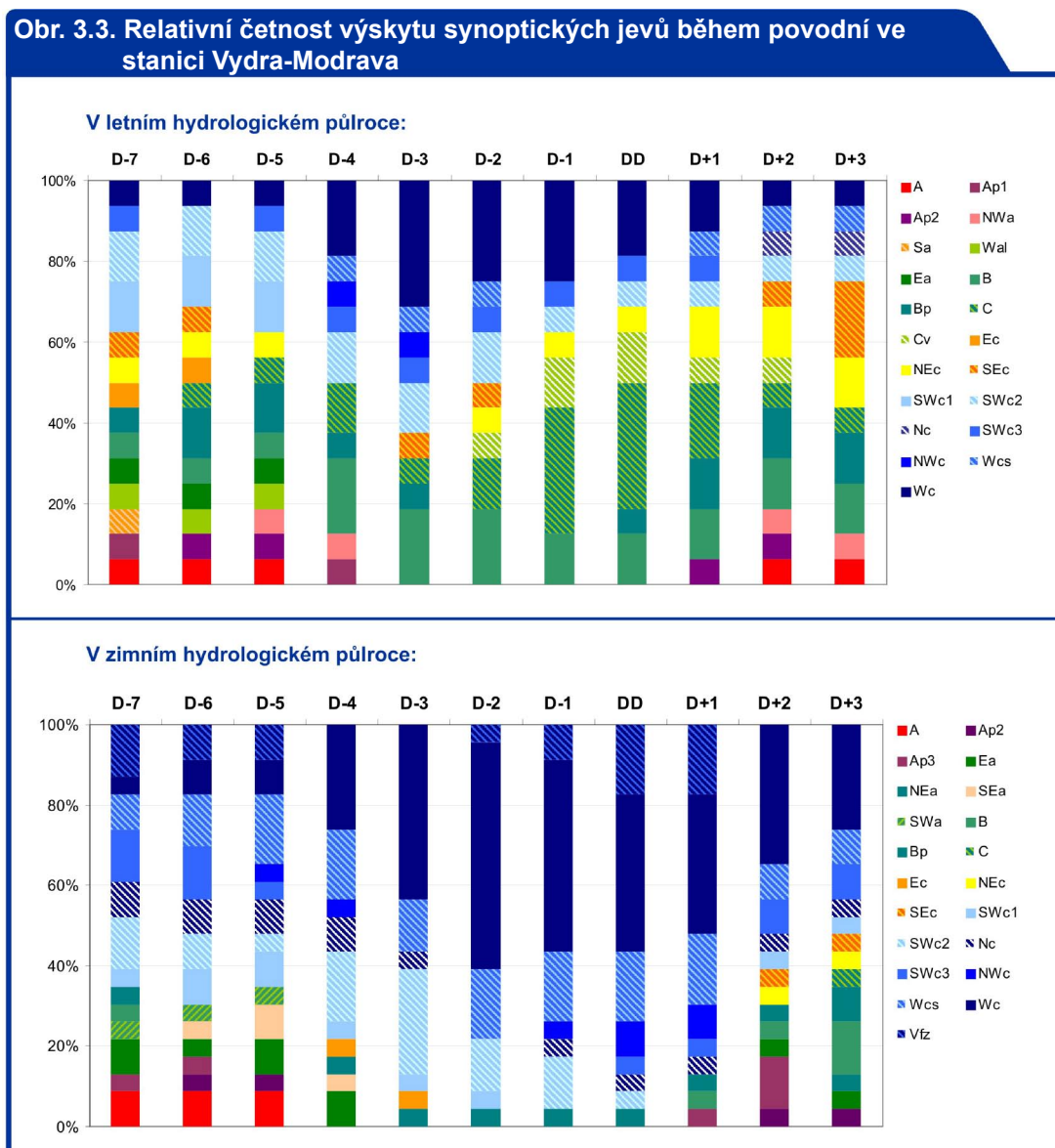
Samotný výskyt povětrnostního typu je jen slabým indikátorem vzniku povodní, protože většina meteorologických prvků, například množství srážek nebo teplota vzduchu, dosahují u jednotlivých typů značného rozptylu. Na druhé straně charakter proudění (především jeho směr) patří mezi prvky, které mají u jednotlivých typů menší rozptyl, a protože proudění ovlivňuje rozložení srážek, vytvářejí jednotlivé synoptické situace typické rozložení srážek, které ovlivňuje například tvar průtokové vlny povodní. Proto i jednoduché hydrosynoptické symptomy poskytují důležité informace nejen o pravděpodobnosti vzniku povodní, ale také o charakteru jejich vývoje (Vlasák, 2008).

3.3.1. Určení povodňových typů povětrnostních situací

K hodnocení základního charakteru atmosférické cirkulace byl použit Katalog cirkulačních typů (Brádka et al., 1961; Brádka, 1965), který popisuje celkem 28 typizovaných situací definovaných zejména na základě rozložení tlakových útvarů a směru proudění. Katalog obsahuje popis povětrnostních typů pro každý den od roku 1946 a je jednou ročně oficiálně

aktualizován. K dispozici je na internetových stránkách www.chmi.cz.

Povodňovým situacím vybraným na základě kritérií v kapitole 3.1. byl za využití tohoto katalogu přiřazen typ převládající příčinné situace. I přes možné zkreslení výběru povodní použitou datovou řadou průměrných denních průtoků je možno konstatovat, že četnost výskytu synoptických typů způsobujících povodně na Vydře v profilu Modrava (obr 3.3.) vykazuje výrazné sezónální rozložení. Zatímco v letním hydrologickém půlroce převládají cyklonální situace C, Cv, Nec a brázd nízkého tlaku B, Bp, v zimním půlroce je jasně rozpoznatelná výrazná dominance západní cyklonální situace, zejména Wc, Wcs, SWc3 a vchod frontálních zón Vfz (viz obr 5.3). Dle Vavrušky (1989) hraje při postupu těchto systémů (Wc, Wcs)



Zdroj: kalendář synoptických typů ČHMÚ (www.chmi.cz), zpracováno na podkladě 47 vybraných povodní (dle průměrného denního průtoků) ve stanici Vydra-Modrava v období 1.11.1930-31.10.2008, zpracování autor

významnou roli orografické zesilování srážek, které se projevuje nejvýrazněji v pohraničním pásmu Šumavy. Uvedené výsledky úzce korespondují se závěry, které pro povodí Otavy formuloval Vlasák (2008).

Platnost tvrzení uvedeného autora, že z hlediska výskytu uvedených synoptických typů před povodněmi na Otavě v Písku je u některých typů až několikanásobně vyšší pravděpodobnost jejich výskytu než pravděpodobnost vyplývající z jejich dlouhodobého výskytu, lze jasně přiřknout i povodí Vydry. Fakt, že v předstihu 7 dní před povodní je výrazně pestřejší spektrum výskytu synoptických typů než u dní D-2 a D-1, kde už se jasně prosazují uvedené dominantní typy, jen dokresluje jejich význam pro vznik povodně.

3.3.2. Atmosférické proudění při výskytu povětrnostních typů povodňových situací

Charakter proudění patří k povětrnostním projevům, které mají užší souvislost s výskytem synoptického typu, protože kategorizace synoptických typů je založena převážně na rozložení velkoprostorové cirkulace vzduchu. Proudění vzduchu ovlivňuje časoprostorové rozložení srážek, a je proto vhodným symptomem pro určení typu povodní (Vlasák, 2008).

Vlasák (2008) uvádí, že mezi analyzovanými povodněmi na Otavě v Písku se nevyskytla ani jedna, která by měla v době vypadávání příčinných srážek převládající směr proudění ze sektoru 80° - 190° a že četnost výskytu u ostatních směrů se výrazně koncentruje do intervalu 220° - 270° a 340° - 360° . Západní směry větru byly nejčastěji spojené se synoptickými typy Wc, Wcs a SWc3, dosahovaly vyšších rychlostí a byly dominantní u povodní v zimním hydrologickém půlroce. U některých letních povodní může být výrazný vítr ze západních směrů, převládá však směr ze severního kvadrantu. Spojen byl nejčastěji s výskytem synoptických typů C, Cv, NEc, B, a Bp a rychlosti větru byly relativně menší, i když vzhledem k dlouhodobému průměru taktéž výrazné.

3.4. Prostorové rozložení příčinných srážek

Prostorové rozložení srážkové činnosti je silně ovlivňováno fyzicko-geografickými vlastnostmi povodí. Nerovnoměrnost srážkových úhrnů je především výsledkem spolupůsobení morfologie terénu a cirkulace atmosféry při srážkově vydatných situacích. Za předpokladu, že povětrnostní podmínky způsobující povodně mají typické proudění, lze očekávat, že i rozložení příčinných srážek povodní, může vykazovat charakteristické symptomy.

Vlasák (2008) určil u každé jím hodnocené povodně na Otavě v Písku příčinné srážky o stejné době trvání. Rozborem dochází ke zjištění, že za příčinné srážky je optimální považovat jejich maximální dvoudenní úhrn spadlý v průběhu dní D-3 až DD.

Jeho přístup k určení jádra spadlých srážek byl založen na vymezení nejmenší možné oblasti, kde se koncentrovalo 50% z celkového objemu srážek spadlých na povodí Otavy. Ke každému jádru srážek byla navíc vypočtena hodnota míry koncentrace srážek, která se rovná podílu plochy jádra srážek na celkové ploše povodí.

Polohu jader příčinných srážek u analyzovaných povodní tentýž autor dává ještě do souvislosti se směrem a rychlostí větru naměřených ve stanici Churáňov ve dvou dnech, kdy příčinné srážky vypadávaly na povodí Otavy, neboť orografické zesilování srážek je spojeno se specifickými vlastnostmi povětrnostních situací, přičemž mezi nejdůležitější obecné parametry jejich vlastností patří rychlost a směr proudění vzduchu. Vliv proudění na prostorové rozložení srážek rozděluje do dvou (tří) skupin:

1) a) **Situace se silným prouděním z jihozápadu** (210° - 270° , rychlost větru větší jak $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). U těchto případů vzniká nejvýraznější orografický efekt a srážky jsou výrazně zesilovány na hraničním hřebeni Šumavy a jejich úhrny směrem do podhůří rychle klesají. Jádra srážek se koncentrují na malé ploše vrcholové Šumavy, mimo jiné právě i na zájmové povodí Vydry. S posunem směru větru od jihu k západu se jádro srážek posouvá stejným směrem a rozšiřuje se na povodí levostranných přítoků Otavy až po Horažďovice.

Do této skupiny patří téměř 90% hodnocených povodní v Písku, které se vyskytly v zimním hydrologickém půlroce, a 80% povodní, které měly jako příčinnou povětrnostní cha-

rakteristiku některou ze západních cyklonálních situací (Wc, Wcs, NWC nebo SWc2 a SWc3).

Ačkoliv pro vznik povodní na Vydře mohou tyto situace hrát významnou roli, na vzniku velkých povodní na Otavě v Písku nemají tyto případy příliš velký podíl, z důvodu transformace povodňové vlny na dolním toku a malého přítoku ze střední a dolní části povodí Otavy, které již leží ve srážkovém stínu. Tento přítok je v některých případech tak nevýznamný, že kulminační průtoky v Sušici převyšují kulminační průtoky v Písku.

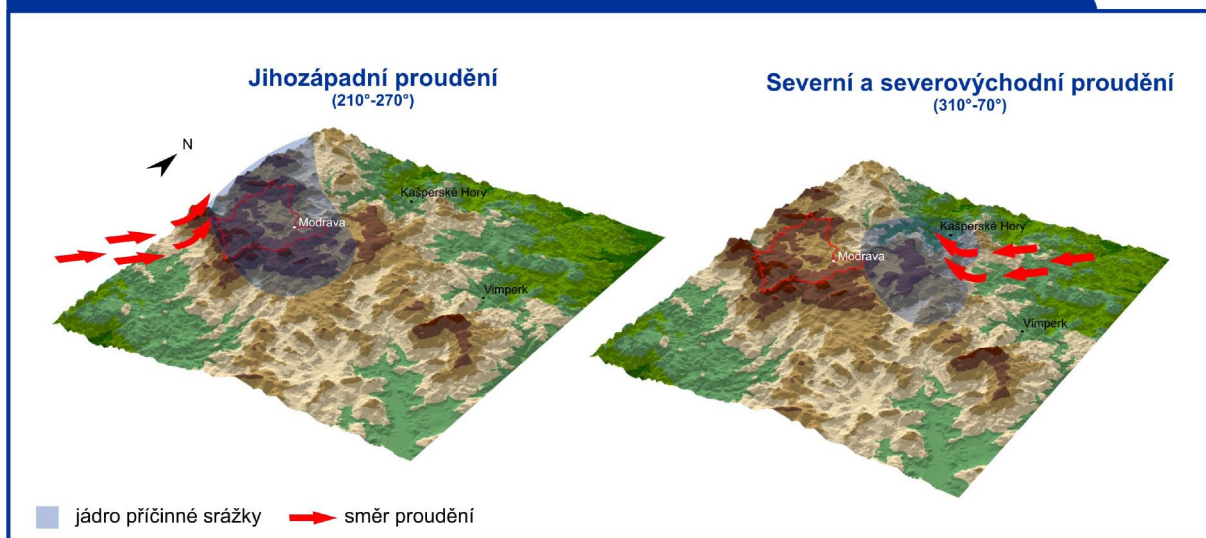
b) **Kategorie se stejným směrem proudění (jihozápad 210°-270°), ale průměrné rychlosti větru jsou menší než 5 m.s⁻¹.** Hlavní odlišností od předchozí skupiny je mnohem slabší srážkový orografický efekt. Rozložení srážkového pole je u těchto situací nerovnoměrné a koncentrace jader srážek není patrná.

2) Druhá skupina je charakteristická **prouděním ze severu a severovýchodu (310° - 70°)**. Povodním ovšem předcházely i povětrnostní situace, při kterých dochází v průběhu vypadávání srážek k přetáčení větru. Kromě změny směru větru se u těchto situací výrazněji mění i jeho rychlost, v průměru jsou rychlosti menší.

Jádro srážek se nejčastěji vyskytuje v oblasti mezi Kašperskými Horami a Vimperkem, neboť v této oblasti se při severním až severovýchodním proudění vytváří specifické návětrí, které se projevuje zesilováním srážek právě na úpatí vedlejšího šumavského hřebene (linie Libín-Boubín-Popelná hora). Povodí Vydry se díky tomuto jevu dostává do jisté závětrné pozice vůči tomuto proudění.

Schematické znázornění rozložení příčinných srážek vzhledem k povodí Vydry v závislosti na směru proudění lze sledovat na obrázku 3.4. Toto znázornění má pouze ilustrační charakter.

Obr. 3.4. Schematické znázornění rozložení jader příčných srážek vzhledem k zájmovému území povodí Vydry



Zdroj: DMT <geoportal.cenia.cz>, zpracování autor

3.5. Kategorizace povodní

Jak již bylo zmíněno, to které typy povodní v jakém časovém období převažují, se na tocích v ČR může lišit především vlivem klimatických charakteristik, jedinečností fyzicko-geografického prostředí, velikostí plochy povodí, variabilitou odtoku vody a její koncentrací v síti říčních koryt. Režimu a mechanismu povodní na vodních tocích v ČR se věnuje řada autorů, například Šercl (2007) a Chalušová (2004) v povodí Labe, Čekal (2005) v povodí Ohře. Povodňovému režimu Otavy, jehož součástí je i zájmové území povodí Vydry, pak zejména Vlasák (2000, 2008). Meteorologickým příčinám povodní na Otavě také Vavruška (1989).

Vlasák (2008) kategorizuje typy povodně na Otavě na základě analýzy sezónního výskytu, extremity a polohy jader příčných srážek historických povodní. Dělí je dále na letní a zimní typ dle jejich výskytu v teplé nebo studené polovině hydrologického roku. Na základě těchto parametrů definuje 9 typů povodní, u nichž popisuje nejpravděpodobnější výskyt povodní v rámci dané sezóny, typické povětrnostní příčiny podle výskytu příčných synoptických typů, směru a rychlosti proudění vzduchu a lokalizace v jaké části povodí se nejčastěji vyskytují maximální úhrny srážek. Jelikož je této klasifikace možno využít i pro povodí Vydry, je vhodné si dané typy povodní alespoň stručně přiblížit. Jednotlivé typy definuje Vlasák (2008) takto:

Velké letní povodně – tímto termínem jsou označeny povodně, které se vyskytly v letním hydrologickém půlroce a kulminačním průtokem překročily v Písku úroveň 10-leté vody. Typickým symptomem pro vznik tohoto typu povodně jsou zejména poloha tlakové níže v době vypadávání příčinných srážek jižně nebo jihovýchodně od povodí Otavy. Vznikají přitom jako následek plošně rozsáhlých srážek, které zasahují i okolní povodí. Patrná je přitom převaha vlivu příčinných srážek nad počátečními podmínkami v povodí. Rozložení příčinných srážek u těchto povodní je dosti rovnoměrné, stejně tak i rozložení maximálních odtokových výšek.

Velké zimní povodně - do této skupiny řadí Vlasák pouze jedinou povodeň (z prosince roku 1993). Příčinou povodně byly intenzivní srážky, které zasáhly nejen Šumavu, jak je u povodní v tomto ročním období obvyklé, ale celé povodí. Vliv na vznik povodně měla také sněhová pokrývka, která v polovině prosince dosahovala na Šumavě nadprůměrných hodnot.

Zimní povodně s výrazným podílem tání sněhu - do této kategorie byly zařazeny povodňové epizody, u nichž tání sněhu mělo zřetelně větší vliv na vznik povodně než dešťové srážky. Povětrnostní situace předcházející povodním je charakteristická silným západním nebo jihozápadním prouděním přinášejícím výrazné oteplení a srážky především do vrcholové části Šumavy. Dešťové srážky padaly do povodí v době, kdy už tání bylo v pokročilém stádiu a byla omezena retenční kapacita sněhové pokrývky. Tvar průtokové vlny vyniká pozvolným nárůstem průtoků s charakteristickým vlněním odpovídajícím dennímu chodu teploty a intenzitě tání sněhu. Pro nárůst průtoku nad kritickou mez jednoleté vody vlivem tání sněhu je potřeba minimálně tři dnů, kdy denní průměry teplot na celé ploše povodí výrazně překračují bod mrazu. Z výskytu a charakteru těchto povodní vyplývá, že při nadprůměrných zásobách sněhu v povodí Otavy je pravděpodobné, že při jarním tání dosáhnou na řece maximální vodní stavy povodňových stupňů, ale bez výrazného přispění dešťových srážek je riziko vzniku velkých povodní malé.

Zimní povodně s převažujícím vlivem dešťových, výrazně orograficky zesílených srážek - Příčinným synoptickým typem byly nejčastěji situace Wc, Wcs a NWc, při kterých přes povodí Otavy přecházely ve velmi silném západním proudění jednotlivé frontální systémy. Průměrné

denní rychlosti větru přesahovaly $5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Převládající směr větru pocházel vždy z úzkého sektoru $200^\circ - 270^\circ$. U povodní vázaných na tento typ povětrnostní situace se často stává, že dochází v krátkém sledu po sobě k opakování silných srážek, které jsou v obou případech spojené se stejnými meteorologickými příčinami. Dešťové srážky, které tvoří dominantní příčinu těchto povodní, byly výrazně orograficky zesílené a dosahovaly ve všech případech maxima na hraničním hřebenu Šumavy v oblasti náhorní plošiny kolem Kvildy a Modravy. Jádra největších srážek jsou u všech případů malá a jsou ostře vyhraněná na severovýchodních svazích Šumavy. Rozložení srážek způsobuje formování povodňové vlny z větší části na horní Otavě.

Zimní povodně s převažujícím vlivem dešťových, málo orograficky zesílených srážek - povodně v této skupině se na rozdíl od zimních povodní s výrazným orografickým zesílením srážek vyskytovaly i v druhé polovině zimního hydrologického půlroku. Jejich meteorologické příčiny charakterizuje západní proudění. Z rozložení jader srážek je patrné, že se vyšší úhrny srážek vyskytly i v podhůří Šumavy, k čemuž u předcházející kategorie nedošlo ani v jednom případě.

Letní povodně s orografickým zesílením srážek na vrcholové části Šumavy – v této kategorii jsou zařazeny povodně, které se vyskytly v letním hydrologickém půlroce a z rozložení srážek vykazují výrazné zesílení srážkové činnosti v centrální části Šumavy. Společným znakem je převládající směr proudění s výraznou západní nebo severozápadní složkou. Toto proudění zde však není vyvoláno pouze synoptickými typy západních cyklonálních situací, ale i příčinným synoptickým typem C, NEc, nebo B a Bp. Na rozdíl od ostatních letních povodní způsobených stejnými synoptickými typy, je u těchto případů poloha tlakové níže nebo brázdy v době vypadávání příčinných srážek situována západně nebo severozápadně. Proto se povodí Otavy dostávalo do severního až západního proudění, při kterém se vytvářelo orografické zesílení srážek typické spíše pro zimní povodně.

Letní povodně s orografickým zesílením srážek na severovýchodním úpatí Šumavy – vyskytují se v letním hydrologickém půlroce a maxima srážek dosahují na severovýchodních svazích Šumavy. Vydatné příčinné srážky souvisely s tlakovou níží anebo s brázdou nízké-

ho tlaku, které se pohybovaly v kritických dnech jižně nebo jihovýchodně od povodí Otavy. Atmosférické proudění, na ně vázané, mělo v naprosté většině severovýchodní složku. Srážky u těchto povodí byly plošně rovnoměrněji rozloženy než u západních cyklonálních situací.

Letní povodně bez orografického zesílení srážek - hlavním kritériem pro zařazení do této kategorie byla poloha jádra srážek v severní polovině povodí Otavy. Všechny povodně této skupiny se vykytovaly v nejteplejší části v období od konce května do začátku září. Přímá souvislost s určitým typem příčinné synoptické situace není u této kategorie zřejmá.

Letní povodně z bouřkového přívalu - tyto povodně se vyskytují hlavně na povodích, jejichž plocha se počítá v desítkách, maximálně stovkách kilometrů čtverečních. Protože povodí Otavy je příliš velké na to, aby bylo citlivé na povodně vzniklé následkem lokálních přívalových srážek. Vliv povětrnostních podmínek popsanych velkoprostorovou cirkulací vzduchu na vznik tohoto typu není určující, a proto ani není možné popsat typické meteorologické příčiny těchto povodí.

4. FYZICKOGEOGRAFICKÝ PŘEHLED

Cílem této kapitoly je podat ucelené informace a komplexní charakteristiku fyzicko-geografického prostředí pramenné oblasti Vydry. Zvláštní důraz je kladen zejména na složky, které největší měrou ovlivňující hydrologické poměry oblasti a mohou tak mít významný podíl na vzniku a průběhu povodní.

4.1. Vymezení zájmového území

Sledované území je situováno v centrální části Šumavy v oblasti tzv. Modravských plání. Z hydrologického hlediska je v širším pohledu součástí horního povodí řeky Otavy. Zájmová oblast je vymezena rozvodnicemi povodí Modravského a Roklanského potoka a jeho závěrovým profilem je limnigrafická stanice ČHMÚ Vydra-Modrava situovaná přibližně 100m za soutokem těchto toků (viz obr. 4.1.).

Za pramen řeky Vydry je konkrétně označován Luzenský potok, který pramení na severozápadním svahu vrchu Luzného v nadmořské výšce 1213 m. Soutokem Luzenského a Březnického potoka ($48^{\circ}58'7,13''\text{N}$, $13^{\circ}29'8,149''\text{E}$, údaje GPS) vzniká Modravský potok. Ten pak po přibližně 7,5 km soutokem s Roklanským potokem v obci Modrava ($49^{\circ}1'30,816''\text{N}$, $13^{\circ}29'47,473''\text{E}$), vytváří řeku Vydru. Po dalších zhruba 12 km vzniká soutokem Vydry a Křemelné u obce Čeňkova Pila řeka Otava.

Zájmová oblast je součástí NP Šumava a na straně SRN, kam částí zasahuje, navazujícího National Park Bayerischer Wald. Ze správního hlediska patří zájmové území k obci Modrava (největší část), Prášily, Horská Kvilda a obci Srní.

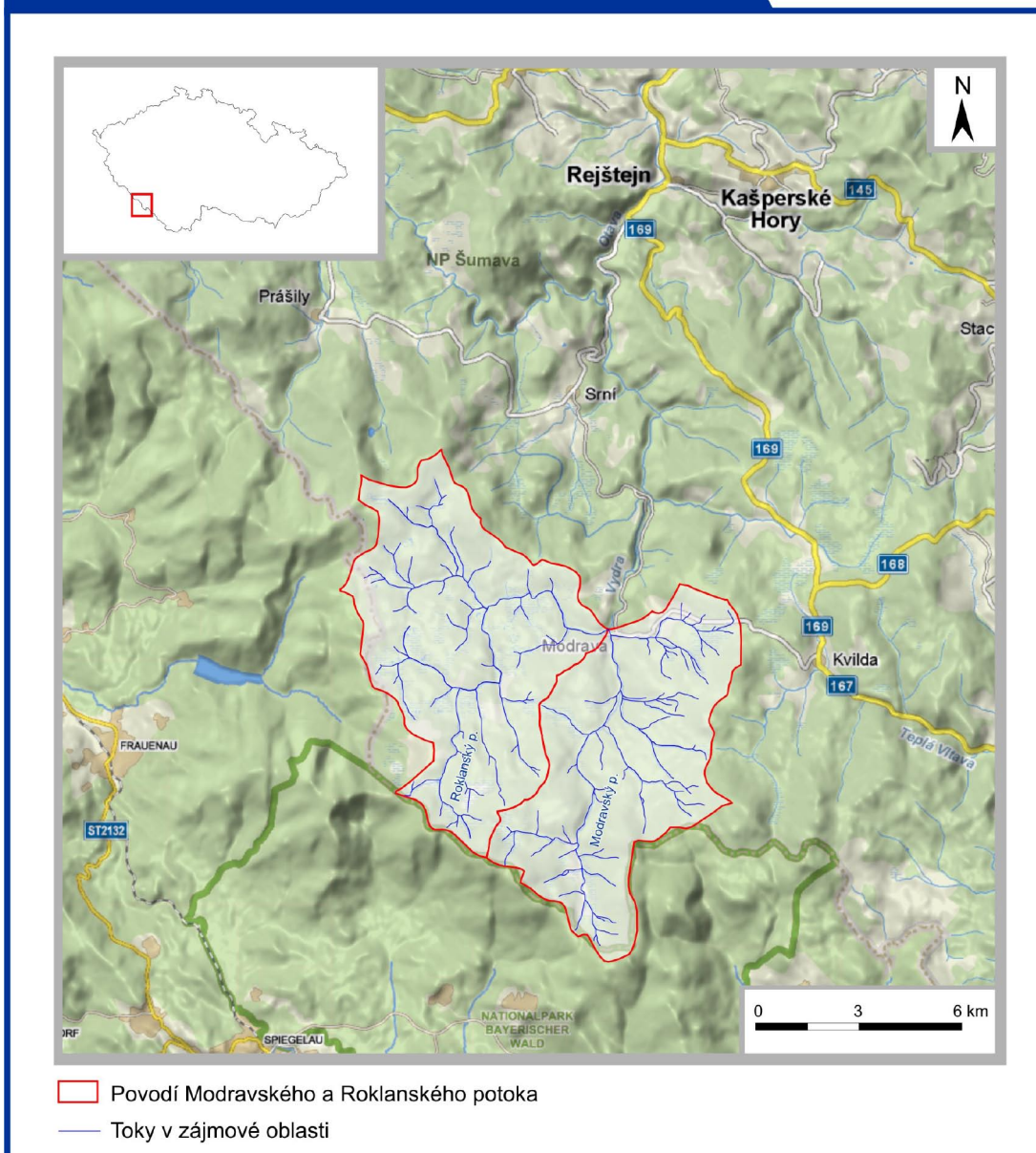
Vymezená oblast má plochu $89,675 \text{ km}^2$ (údaje z GIS vrstev VÚV DIBAVOD, ČHMÚ udává pro stanici Vydra-Modrava údaj $90,17 \text{ km}^2$), přičemž povodí Roklanského potoka zaujímá plochu $47,586 \text{ km}^2$, povodí Modravského potoka pak $42,089 \text{ km}^2$.

Území je značně zalesněno a ve větší míře bez osídlení. Z přírodního hlediska má velmi zachovalý ráz, který díky specifické flóře (zejména pak díky velkému podílu výskytu rašelinišť vrchovištního typu) a fauně patří k jednomu z nejcennějších nejen v rámci NP Šumava, ale i v

rámcí celé České republiky.

Hydrologické pořadí povodí Modravského potoka je 1-08-01-005, Roklanského potoka pak 1-08-01-013.

Obr. 4.1. Přehledová mapa zájmové oblasti



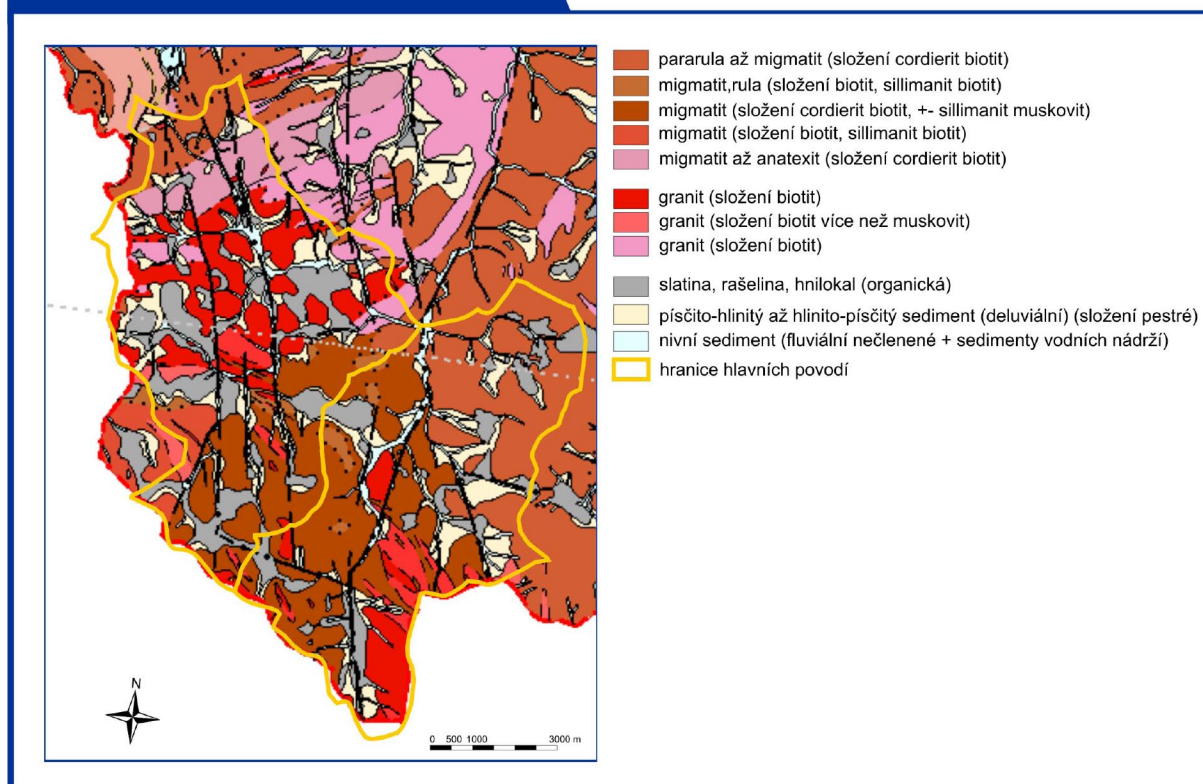
Zdroj: www.mapy.cz, GIS vrstvy VÚV, zpracování autor

4.2. Geologická a hydrogeologická charakteristika

Pro zhodnocení vlivu podloží na režim odtoku a vznik povodňových situací následuje stručná kapitola věnovaná geologické a hydrogeologické charakteristice zájmového území. Geologická stavba totiž společně s charakterem klimatu určují výsledek procesu zvětrávání a ovlivňují tak, zda se vytvoří propustné či nepropustné vrstvy podloží. Bližší popis geologické stavby povodí Modravského potoka byl již uveden v rámci bakalářské práce Čurdy (2007), popis povodí potoka Roklanského v práci Jelínka (2006).

Zájmové území leží v oblasti šumavského moldanubika. Moldanubický pluton je ve své šumavské větvi reprezentován několika většími granitovými intruzemi a množstvím drobnějších granitovitých těles v jejich okolí (www.npsumava.cz). Jak znázorňuje geologická mapa oblasti (obr. 4.2.), je zájmová oblast tvořena převážně migmatity (pararulami) a granity. Východní část zájmové oblasti charakterizuje výskyt migmatitů a pararul minerálního složení biotit, v západní části je pak četnější výskyt granitů a ploch rašelinišť převážně holocenního stáří. Spitzer a Bufková (2008) uvádí, že lokální výskyt žulových hornin na menších plochách

Obr. 4.2. Geologická mapa



Zdroj: Vektorizovaná geologická mapa ČR (1:50 000), ČGS (www.geology.cz), upraveno

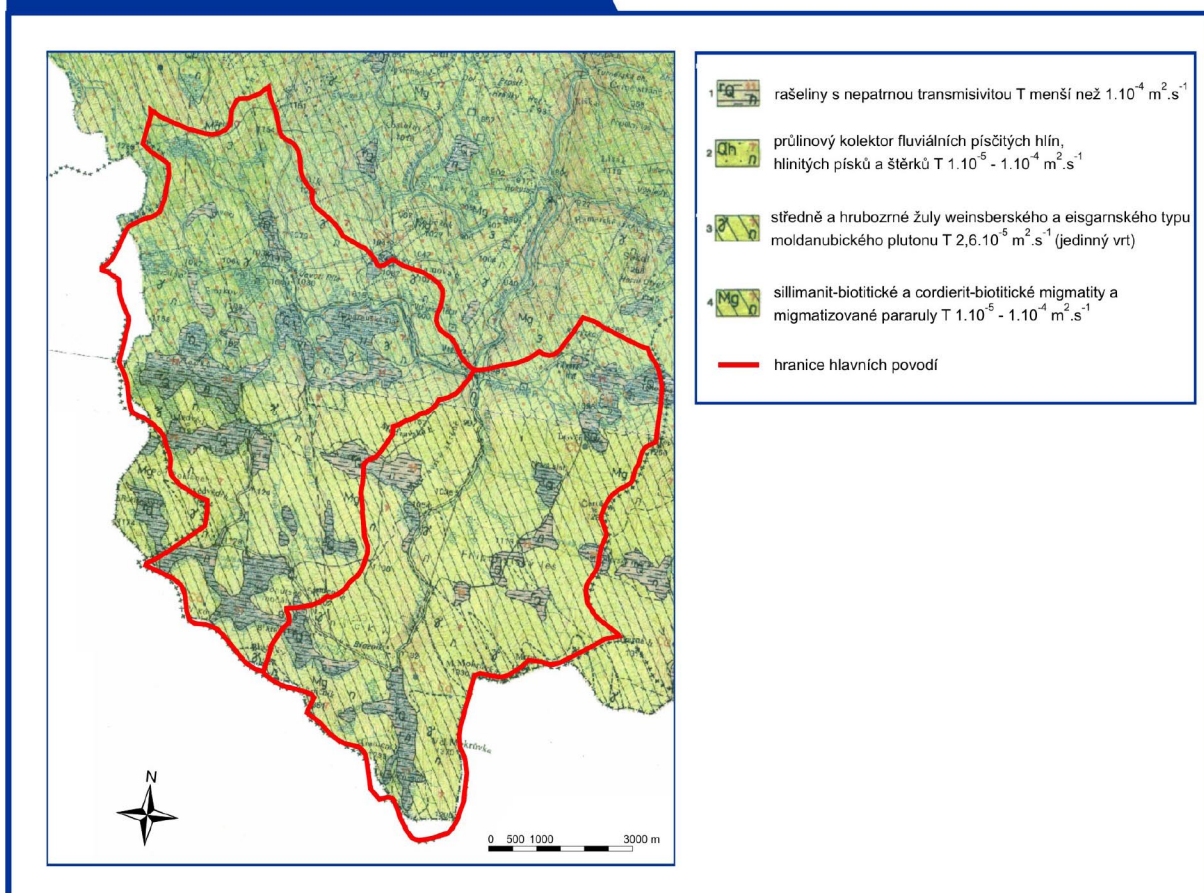
území je v oblasti dosti častý, i když není zachycen v běžných geologických mapách.

Blízké okolí toků je kopírováno sedimentačním materiálem pestrého minerálního složení všech zrnitostních druhů, převážně fluviálního charakteru.

Propustnost metamorfovaných hornin je různá. Málo propustné jsou zejména biotitické a cordieritické ruly, které zvětráváním poskytují málo propustné hlíny (Kočárek, 2005). O něco větší mají propustnost migmatizované ruly a granuly. Lepší propustností se vyznačují žulové a příbuzné hlubinné vyvěřeliny, které jsou prostoupeny sítí puklin a jejichž zvětralinny jsou písčité. Vydátnost vývěřů vody v krystaliniku je malá, obvykle jen řádově desítky vteřinových litrů. Podstatně větší vydátností se vyznačují pokryvné útvary, na Šumavě téměř výhradně čtvrtohorní. Jde o sedimenty svahové a zejména fluviální náplavy. Tyto horniny mají různou propustnost záležející zejména na jejich zrnitostním složení. Dobře propustné jsou štěrky, štěrkopísky a písky (Kočárek, 2005).

Na základě hydrogeologické mapy (obr 4.3.) lze většinu zájmové oblasti zařadit do

Obr. 4.3. Hydrogeologické členění



Zdroj: Hydrogeologická mapa ČR (1:50 000), ČGS (www.geology.cz), upraveno

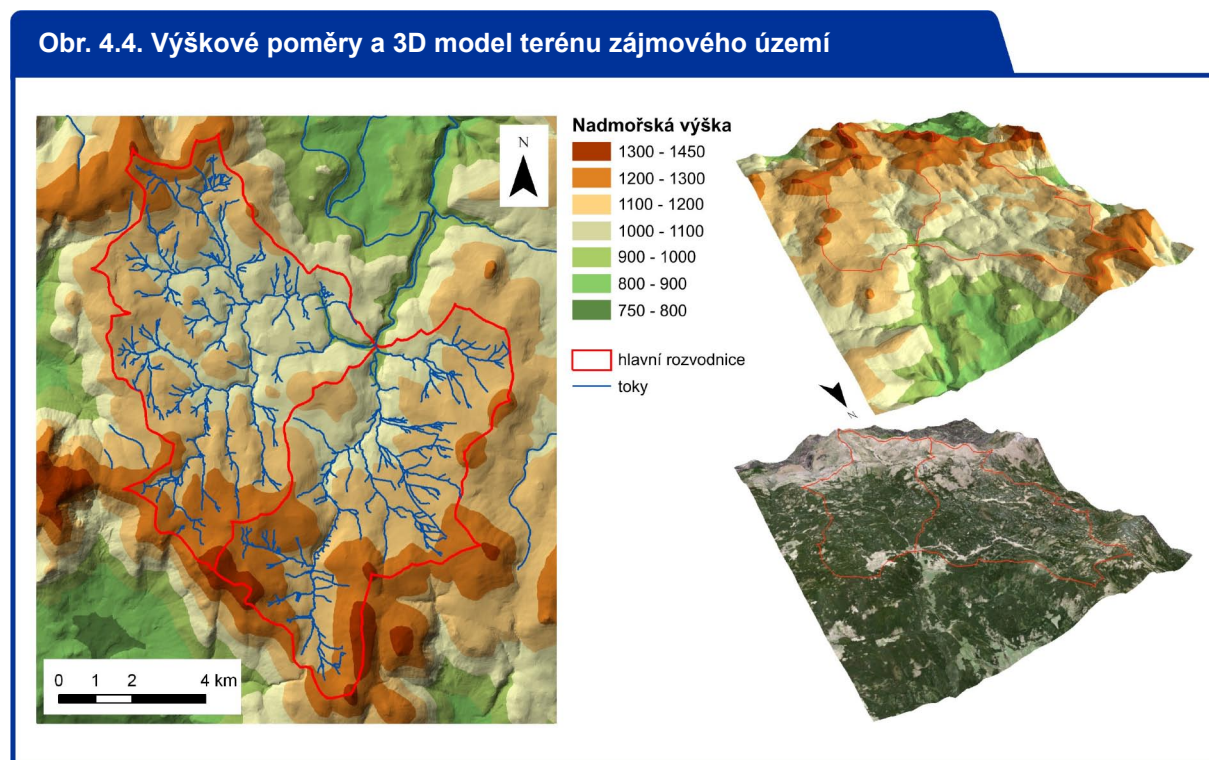
puklinového kolektoru, jehož transmisivita (průtočnost) je udávána v rozmezí $1 \cdot 10^{-5} - 1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. Nezanedbatelnou část povodí však zabírají také rašeliništní plochy, které se vyznačují minimální transmisivitou.

4.3 Morfologické parametry území

Povodí Vydry, jež náleží geomorfologickému podcelku šumavské pláně, se nalézá v nejvyšších partiích Šumavy a má charakter náhorní plošiny tvořené zarovnaným povrchem v nadmořské výšce nad 100 m n.m. Nad něj vyčnívají do výše přes 1300 m n.m. oblé vrcholky. Údolí jsou mělká a otevřená a vyplňují je často rašeliniště (Kočárek, 2005).

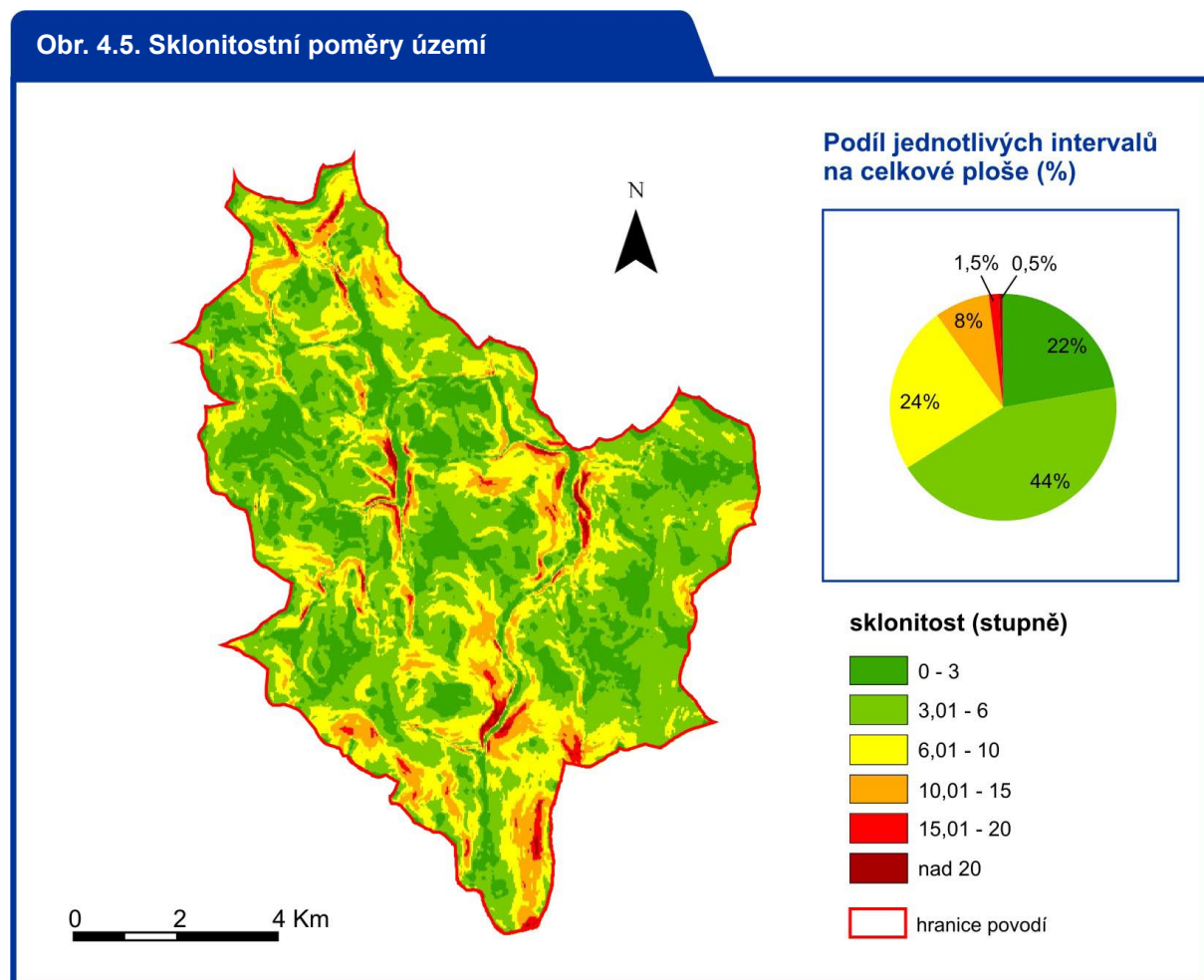
Nadmořské výšky zájmového území se pohybují od 977 m.n.m. (soutok Roklanského a Modravského potoka) do 1373 m n.m. (Luzný), průměrná nadmořská výška je 1140 m (údaje získané analýzou DMT). Výškové poměry území můžeme sledovat na obr 4.4.

Ačkoliv je zájmové území horským povodím, poloha v zarovnané části mu dává cha-



Zdroj: podkladové vrstvy <geoportal.cenia.cz>, zpracování autor

rakter plochého povodí. Tuto skutečnost dokládá také mapa sklonitostních poměrů (obr. 4.5.). Průměrný sklon svahů zájmové oblasti se pohybuje okolo 5,5° a 90% svahů dosahuje sklonitosti do 10°. Největší zastoupení má z hlediska četnosti interval 3-6°, naopak svahů se sklonem větším jak 25° je pouze 0,5%.

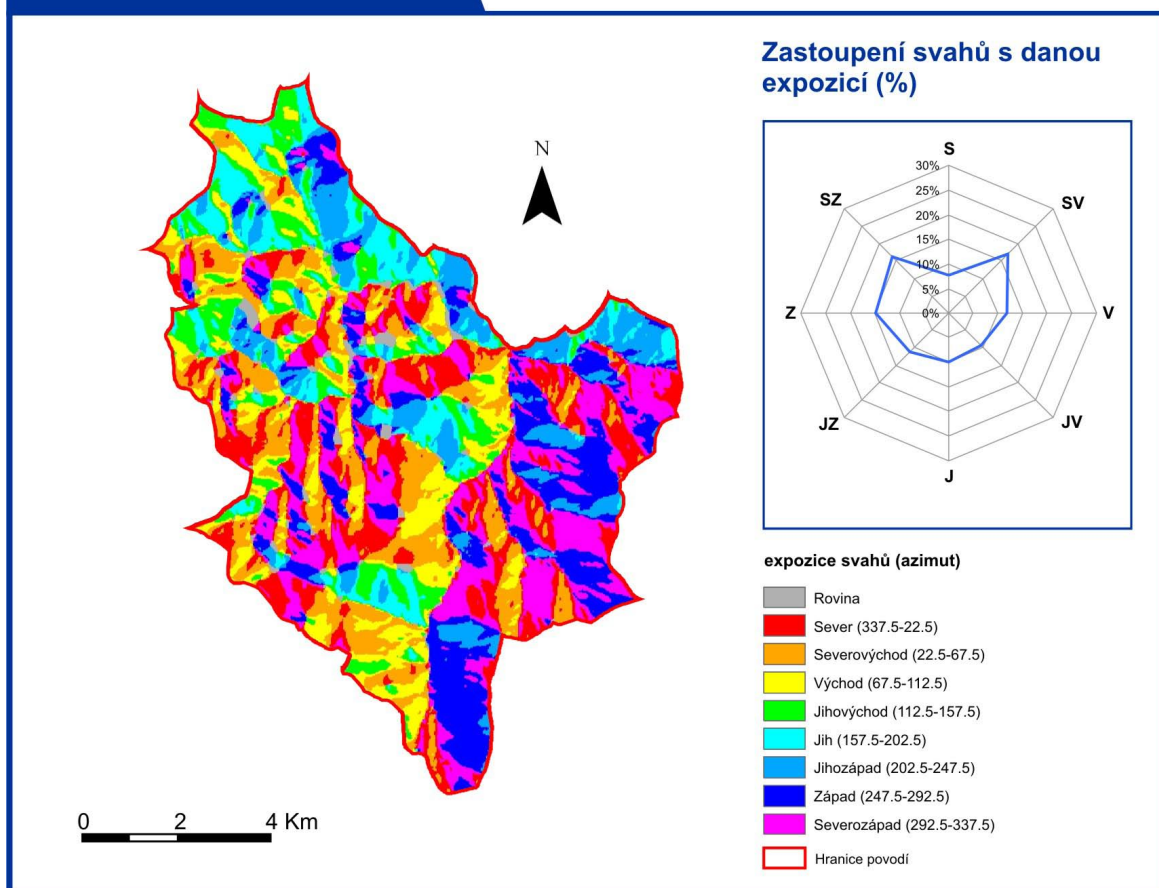


Zdroj: DMT podkladové vrstvy <geoportal.cenia.cz>, zpracování autor

Expozici svahů k jednotlivým světovým stranám, jež je důležitým faktorem z hlediska možného orografického efektu spojeného s výskytem srážek, znázorňuje mapa na obr 4.6. Největší procentuální zastoupení ve sledovaném území mají svahy exponované směrem na severovýchod, severozápad a západ.

K popisu výškových poměrů oblasti můžeme taktéž využít velmi vhodné znázornění podílu ploch jednotlivých výškových pásem na celkové ploše povodí. Tuto skutečnost vyjadřuje hypsografická křivka (obr 4.7.), vytvořená s pomocí DMT. Výškové poměry jsou přitom

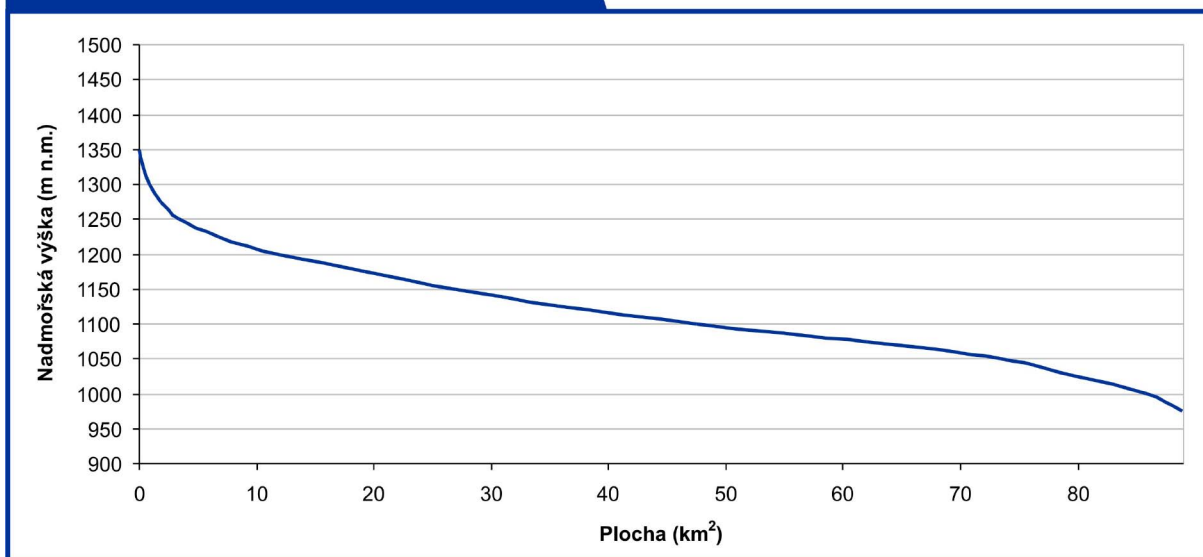
Obr. 4.6. Expozice svahů



Zdroj: DMT podkladové vrstvy <geoportal.cenia.cz>, zpracování autor

důležité převážně pro vznik povodní z tání sněhu, protože intenzita tání respektuje průběh izoterem a ty jsou obvykle zonální podle nadmořské výšky (Vlasák, 2000).

Obr. 4.7. Hypsografická křivka



Zdroj: DMT <geoportal.cenia.cz>, zpracování autor

4.4. Půdní pokryv

Půda hraje velmi významnou roli u srážko-odtokových charakteristik povodí. Svou roli hraje zejména v souvislosti s infiltrací a svými vlastnostmi tak ovlivňuje přechod mezi povrchovým a podzemním odtokem (Netopil, 1984).

Ve sledovaném území převládá podzol humusový na zvětralinách kyselých intruziv, pararul a migmatitů. Tento typ je charakteristický právě pro horské polohy s vyšší nadmořskou výškou a s vysokými ročními úhrny srážek. Říční síť je v zájmovém území relativně hustá a přirozená drenáž je snížena vzhledem k mělkému uložení propustnějších kvartérních vrstev. Vzhledem k tomuto faktu a k humidnímu charakteru podnebí je pro sledované území typický zejména výskyt rašelinistních půd vrchovištního typu (Tomášek, 2003). Nivy toků jsou tvořeny většinou rašelinohumózními gleji. Při vyšším stupni ulmifikace se pak jedná o gleje zrašelinělé. Půdotvornými substráty jsou hlavně nekarbonátové nivní a deluviofluviální uloženiny.

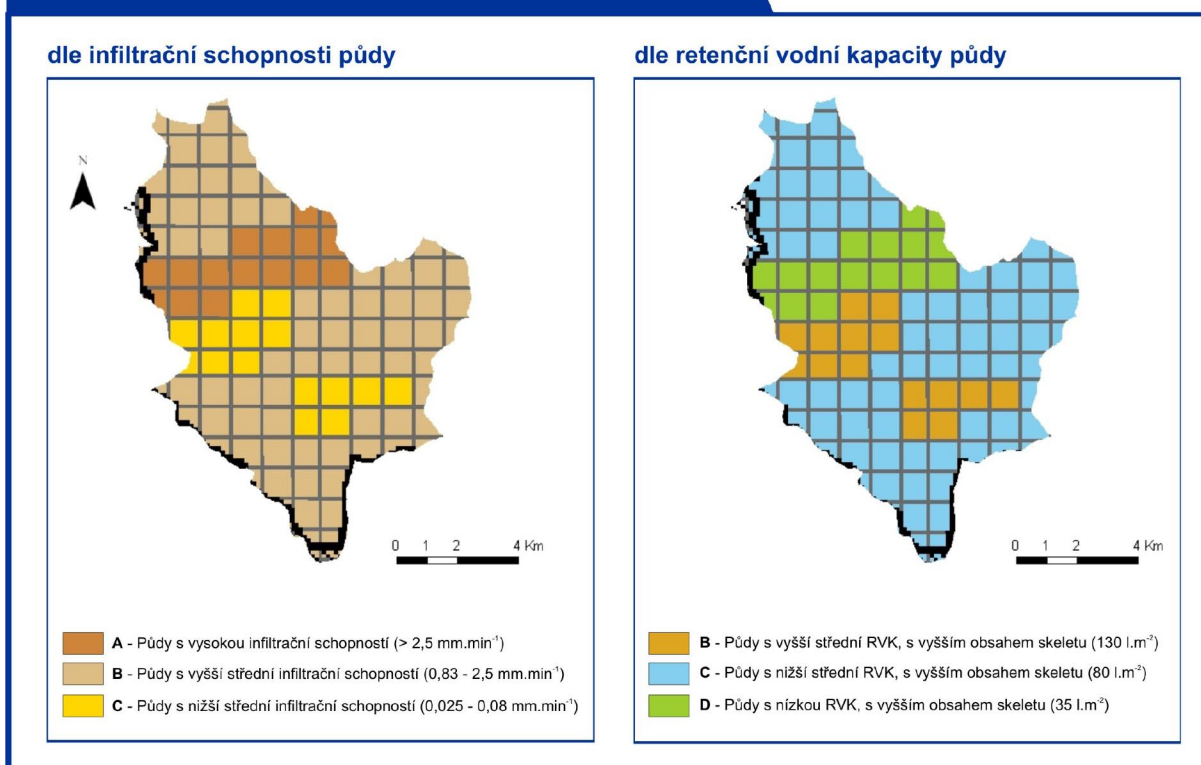
Šefrna (2004) uvádí, že mezi hlavní charakteristiky zájmového území patří poměrně velká kontrastnost půdních typů a jejich vyšší heterogenita jako důsledek rozdílné svažitosti. Jednotlivé půdy charakterizuje nízký stupeň vývoje, to znamená mělký až středně hluboký profil (do 60 cm) s hlavní kategorií skeletovitosti mezi 25-50%, který poměrně ostře přechází do matečné horniny a nebo jsou tyto půdy na nezvětralé hornině. Texturně se jedná o lehké až střední skeletovité půdy. Mezi hlavní odvozené půdní vlastnosti patří vysoká vsakovací rychlost a malá retenční schopnost, což zejména v kombinaci s vysokou svažitostí podmiňuje poměrně rychlý odtok srážkové vody v povrchových tocích. Z tohoto pohledu se jako extrémní urychlovače odtoku jeví vodou nasycené organozemě. I když organozemě mají obrovský retenční prostor pro vodu, kterou postupně uvolňují do toků, ve stavu vodního nasycení se jejich retenční prostor neuplatňuje. Výrazněji do odtokových poměrů směrem ke zrychlení odtoku vody zasáhly meliorační úpravy, především odvodnění zemědělských i lesních ploch otevřenými příkopy (Šefrna, 2004).

Pro konkrétnější popis hydrologických charakteristik půd v zájmovém území můžeme

využít kategorizaci půd do HSP (hydrologických skupin půd), kterou vypracoval VÚMOP. HSP vychází z půdních vlastností (infiltrační rychlosti a retenční vodní kapacity) a morfometrických charakteristik reliéfu (především sklonitosti). Tyto hodnoty jsou k dispozici v rastru 1x1 km v rámci celé ČR jako charakteristické hodnoty pro každý pixel. V rovinatém terénu je přitom velikost odtoku při extrémních srážkách řízena především velikostí infiltrace, kdy po určité době (dané časovým rozložením intenzit srážek) zpravidla dochází k plošnému povrchovému odtoku, ve sklonitém území hraje daleko větší roli retenční kapacita půdy a gravitační síly. Zpravidla jde o kombinaci těchto jevů. Dá se proto předpokládat, že velikost přímého odtoku bude za stejných možností infiltrace větší v území sklonitém než v rovinatém. Je třeba předeslat, že retenční vodní kapacita (RVK) půd je většinou v nepřímém vztahu k infiltrační způsobilosti, takže srážky dopadající na půdy s vysokou RVK jen pomalu vsakují a jejího plného využití nemusí být dosaženo, rozhodují o tom podmínky infiltrace (Šercl, 2005).

Obr 4.8. znázorňuje charakter půd zájmového území dle řazení ke kategoriím HSP. Převládají půdy s vyšší střední infiltrační kapacitou (sk. B) v ostrém kontrastu s typy půd s nižší střední infiltrační kapacitou (sk. C).

Obr. 4.8. Hydrologické skupiny půd v zájmové obalsti



Zdroj: rastrová mapa HSP VÚMOP, zpracování autor

4.5. Vegetace a krajinný pokryv

Vliv vegetace spojený s intercepcí představuje významný tlumicí faktor, který při normálním typu srážek výrazně modifikuje bilanci odtoku směrem k navýšení podílu srážkové vody zadržené v povodí. Dle druhového složení se uplatnění intercepce pohybuje podle různých autorů mezi 10-45%, nejvyšší je u jehličnanů. Dalším faktorem je vysoká schopnost nadložního humusu přijímat vodu a celkově vysoká evapotranspirace lesních porostů. Tyto pozitivně hodnocené vlastnosti se však mění s množstvím a délkou srážek exponenciálně a v určitém stupni nasycení se již neprojevují (Šefrna, 2004).

Z fyto geografického hlediska, v kontextu širších vztahů, leží celá Šumava v provincii středoevropské květenné oblasti temperátního pásma Evropy (www.npsumava.cz). Zájmové území však náleží do oblasti českého oreofytika (fyt. podokres 88b - Šumavské pláně), která vybočuje výskytem extrazonální chladnomilné horské květeny, v níž až na nepatrné výjimky chybí zastoupení teplomilných druhů. Zaujímá zde vegetační stupeň montánní až supramontánní.

Šumavské oreofytikum je charakterizováno smíšeným smrko-buko-jedlovým lesem, klimaxovými a podmáčenými smrčínami a jedlinami, oligotrofními jezery, ombrotrofními rašeliništi, horskými loukami a pastvinami (www.npsumava.cz).

Zcela jedinečný je vegetační komplex náhorních vrchovišť Šumavských plání, jehož rozsah nemá ve středoevropském měřítku obdoby. Podstatná část je koncentrována právě v pramenné oblasti Vydry. Živá náhorní vrchoviště jsou charakteristická vyvýšeným středem ložiska s rašelinnými jezírky. Dřevinný kryt tvoří převážně uzavřené porosty hybridní rašelinné kleče, ve střední živé části rašeliniště rozvolněné. Flóra rašelinišť není druhově příliš pestrá, řada pozoruhodných rostlin je však vázána pouze na tento typ společenstev.

Zájmové území svým charakterem reprezentuje přírodní zalesněnou krajinu bez sídelních struktur (obec Modrava). Míru lesnatosti některých dílčích povodí, která se v některých případech blíží i k hranici 100%, lze sledovat v tabulce 2. Je však nutno vzít do úvahy jistou generalizaci použitých podkladů (Corine Land cover 2006), jež může poskytovat zavádějící

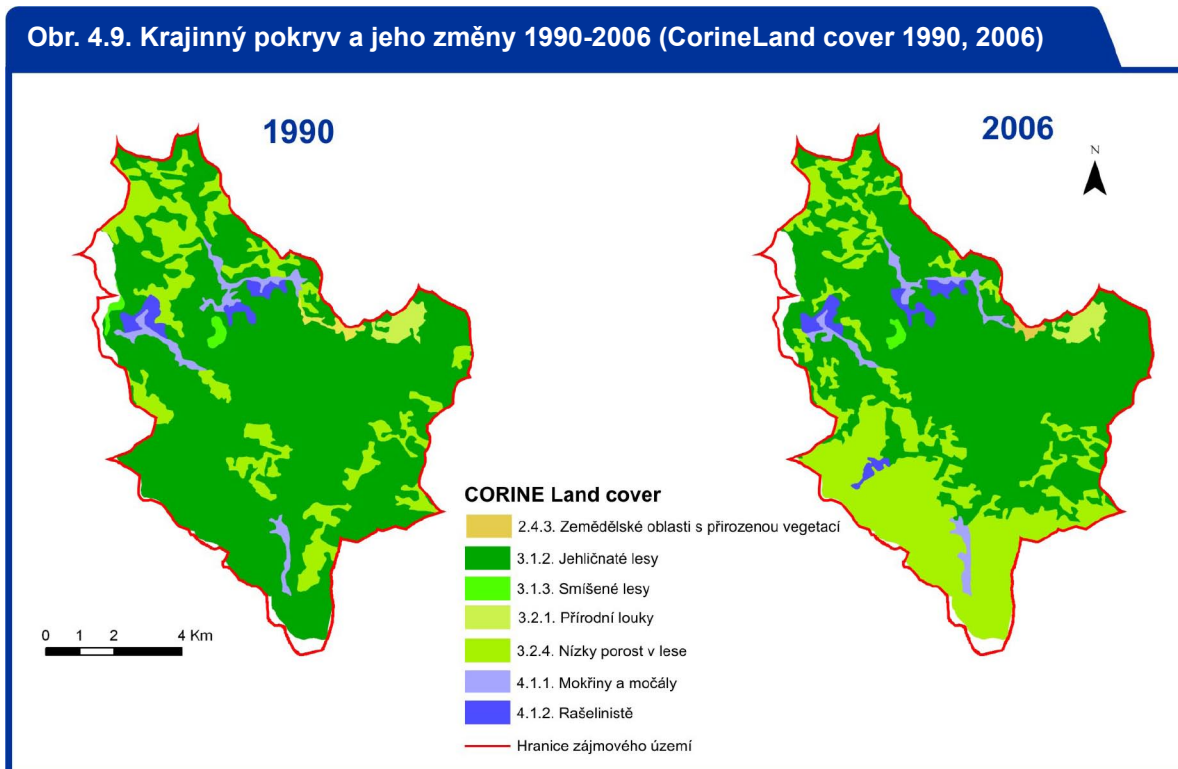
výsledky. Přírodně nejcennější lesní porosty byly v posledních letech výrazně narušeny kůrovcovou kalamitou, která v některých oblastech (Březník) vedla až k odlesnění velkých ploch (viz. obr. 4.9.) a k ovlivnění odtokového režimu řek (Vlasák, 2008). Vlivem odlesnění pro možné důsledky formování odtoku v zájmovém území se zabývá Hais (2008a, b), výskytem povodňových situací v minulosti v kontextu poškození lesů pak Šonka (2004). Zajímavostí pak je, že v pramenné oblasti Vydry v Modravském polesí je nejnižší hodnota výparu v lesích ČR a to 216 mm/rok (Švihla, 2001).

Tabulka 2: Podíl plochy lesů na celkové ploše vybraných povodí

Povodí	Lesnatost (%)	Povodí	Lesnatost (%)	Experimentální povodí	Lesnatost (%)
Vydra-Modrava	60,6	Ptačí p.	53,2	Rokytky k hladinoměru	58,1
Roklanský p.	62,8	Filipohuťský p.	85,6	Ptačí k hladinoměru	40,2
Modravský p.	58,1	Černohorský p.	83,2	Javoří k soutoku s Tmavým p.	70,5
Březnický p.	4,4	Rokytky	59,0	Roklanský p. hájenka	1,6
Luzenský p.	0,0	Tmavý p.	56,8		
Cikánský p.	94,5	Javoří p.	83,6		

Zdroj: podkladová data Corine Land cover 2006 <geoportal.cenia.cz>, zpracování autor

Zájmová oblast je s výjimkou ploch postižených kůrovcovou kalamitou bez významných změn ve vývoji využití ploch (obr 4.9.). Jako plošně nejvýznamnější změna krajinného krytu byl identifikován úbytek jehličnatého lesa v místě kůrovcové kalamity v okolí Březníku (Hais, 2004).



Zdroj: Corine Land cover 1990, 2006 <geoportal.cenia.cz>, zpracování autor

4.6. Antropogenní olivnění říční sítě

Vlivu přímé a nepřímé činnosti člověka na odtokový režim se věnuje řada autorů z různých oblastí světa. Dlouhodobými trendy ve vývoji srážko-odtokových vztahů zájmové oblasti, mimo jiné i v souvislosti s vlivem člověka na odtokové poměry, se zabývá například Kliment a Matoušková (Kliment a Matoušková 2005, 2007; Kliment et al., 2008). Z jejich závěrů vyplývá, že v povodí Vydry nebyly ve sledovaném období prokázány změny ve vývoji odtoku.

Antropogenní upravenost říční sítě představuje dle Langhammera (2004) významný činitel ovlivňující hydrologické poměry povodí. Zásahy člověka do trasy vedení toku, jeho podélného profilu, geometrie koryta a upravenosti jeho příčného profilu mají vliv na rychlost odtoku vody z povodí, na tvar odtokové vlny, časování odtokových vln z dílčích povodí, i na celkovou kapacitu říční sítě. Mimořádný význam má pak upravenost hydrografické sítě při extrémních hydrologických událostech, jakými jsou povodně. Řada antropogenních úprav negativně ovlivňuje průběh povodně, transformační a retenční schopnost zasaženého území a tím i celkové následky povodně. Na zrychlení odtoku vody při povodni má významný vliv zejména zkrácení říční sítě. To se projevuje urychlením postupu povodňové vlny, nárůstem rychlosti proudění vody v napřímených úsecích a ke zvýšení strmosti povodňové vlny a tím k nárůstu ničivé síly povodňové vlny v zasažených oblastech (Langhammer a Vajskebr, 2004).

Z výsledků mapování v souvislosti s komplexním vyhodnocením vlivu změn v krajině na průběh a následky povodně 2002 bylo zjištěno, že povodí Vydry zůstává v ohledu antropogenního zkrácení říční sítě prakticky bez zásahu. Z hlediska upravenosti podélného profilu toku (přítomnost umělých stupňů, jezů a drobných hrází v korytě, které mění podélný profil koryta) je zájmová oblast povodí Vydry úpravami také prakticky nedotčena a podíl upravených úseků nepřesahuje 5% úhrnné délky toku. Povodí Vydry dále vykazuje minimální upravenost koryt toků s více než 90% podílem délky úseků v přírodním nebo přírodě blízkém stavu (Langhammer, 2004; Langhammer a Vajskebr, 2004). Za jediný významnější zásah do hydrografické sítě tak lze označit odvodnění lesních pozemků prováděné v průběhu 19. a 20. století (Hais, 2004).

V souvislosti s antropogenním ovlivněním území v minulosti je nutno zmínit dnes již

nevyužívané akumulční nádrže využívané pro plavení dřeva tzv. klauzy. Tyto nádrže byly v zájmové oblasti hojně budovány v 18. a 19. století pro účely posílení vydatnosti toku při plavení dříví. V souvislosti s protipovodňovou ochranou se nabízí možnost obnovy těchto nádrží a jejich využití v podobě suchých či řízených poldrů, které by během extrémních epizod zadržely vodu a přispěly tak ke zmírnění piků povodňových vln. Posléze by byly postupně odpouštěny a neměly by tak větší dopad na biodiverzitu, či okolní vodní ekosystém. V rámci terénních měření byly vytipovány některé lokality a s využitím totální stanice byly měřeny jejich morfometrické parametry. Výsledky jsou průběžně zpracovávány a očekává se jejich využití při budoucím matematickém modelování odtoku.

Za všechny jmenujme alespoň ty nejznámější nádrže jako je Ptačí, Černoorská, Roklanská, Luzenská.

Foto 1. Hráz bývalé Roklanské nádrže



Foto autor 2009

Foto 2. Měření morfometrických parametrů Roklanské nádrže pomocí totální stanice

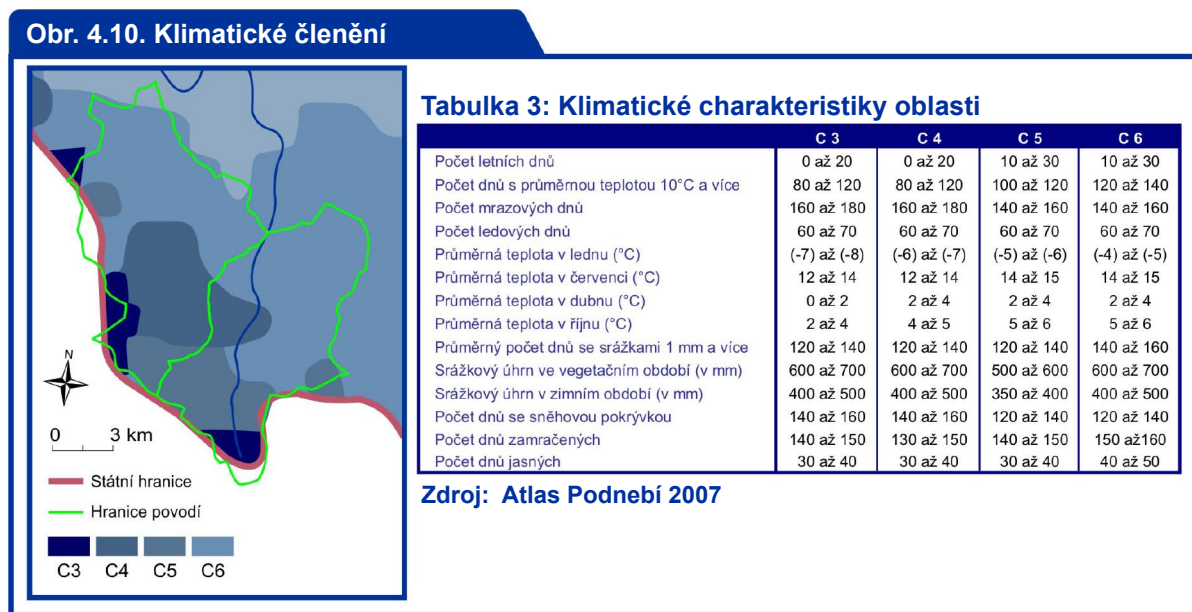


Foto Jan Kocum 2008

4.7. Klimatické charakteristiky

Při posuzování odtokového režimu oblasti hrají velmi důležitou roli klimatické poměry území, zejména chod a intenzita atmosférických srážek. Důležitý faktor je taktéž chod teploty, který má významný vliv na formování odtoku z tání sněhu. významným faktorem ovlivňující srážkové poměry oblasti je vítr, mimo jiné i pro případné ovlivnění rychlosti tání v případě přílivu teplého vzduchu.

Základní charakter klimatu je určen polohou území, nejvýznamnějšími klimatickými činiteli jsou především nadmořská výška a členitost terénu. Zájmové území náleží klimatické oblasti chladné (mírně chladný a chladný okresek). Dle Atlasu Podnebí (2007) (Quittovo členění) spadá zájmové území do klimatických oblastí C3, C4, C5 a C6 (zanedbatelnou částí plochy i do oblasti C7). Jejich rozložení a základní charakteristiky lze sledovat na obr. 4.10.



Zdroj: podkladová data Atlas Podnebí (2007), zpracování autor

4.7.1. Teplotní poměry

Zájmové území patří k jedné z nejchladnějších oblastí Šumavy s největším podílem plochy ve výškách nad 1000 m n.m. Podle Chábery (1987), v inverzních polohách ve výškách kolem 1050-1110 m n.m. činí průměrná teplota pouze kolem 3°C, okolní o 100-200 m výše vystupující horské vrcholy jsou vzhledem ke své ventilovanější poloze v průměru o několik

desetin stupně teplejší. Nejchladnějším měsícem je leden s průměrem -5°C ve výšce kolem 1100 m. Pod -6°C klesají průměry lednové teploty až ve výšce 1350 m, ale uvedené inverzní polohy mají rovněž lednový průměr chladnější než -6°C , ačkoliv jejich výška přesahuje jen o málo 1000 m (Modrava - $6,1^{\circ}\text{C}$). Fyzická zima, tj. dny, jejichž průměrná teplota je nižší nebo se rovná 0°C , začíná v této oblasti obvykle již koncem října a končí až koncem března nebo začátkem dubna (Březník, nadm. výška 1 167 m, začátek období 6. 11., konec období 4. 4., tj. 149 dní). V nejvyšší části Šumavy trvá tedy zima téměř 5 měsíců (Chábera, 1987). Obecně se tedy vytvářejí příhodné teplotní podmínky pro akumulaci sněhových srážek.

Datum nástupu denních průměrů 5°C je v centrální části Šumavy proti nižším polohám opožděno, neboť značné množství tepla se spotřebuje na tání sněhu. V druhé polovině dubna začíná nástup jarních teplot běžně ve výšce 900 m (na Modravě 2.května, na Březníku 4. května).

Denní průměry 10°C nastupují až ve druhé polovině května nebo počátkem června. Po vzestupu teploty v červnu vrcholí letní období denními průměry 12°C až 14°C mezi 20. a 30. červencem (Modrava $12,2^{\circ}\text{C}$, Březník $13,0^{\circ}\text{C}$) (Chábera a kol., 1987).

4.7.2. Srážkové poměry

Charakteru, chodu a rozložení srážek v oblasti centrální Šumavy a zájmového území se věnuje řada autorů, například Brázdil (1986), Chábera (1987), Lejsková (2000), Kubíček (2006), v kontextu formování sněhové pokrývky Jelínek (2008).

Zájmové území náleží do pásma takzvané návětrné části Šumavy a je jednou z nejdeštivějších oblastí nejen v rámci Šumavy, ale i celé ČR. Pohraniční pásmo Šumavy má při převládajícím jihozápadním a západním proudění charakter návětrné strany, zejména v zimním období (Chábera, 1987). Při západní situaci spadne v hraničním pásmu Šumavy přibližně pětkrát více srážek v porovnání s referenčními stanicemi středních Čech.

Příklady návětrné polohy jsou jedny z nejdeštivějších míst Šumavy - Modrava a Březník. Turistický průvodce Šumava (1986) uvádí pro Březník průměrný roční úhrn srážek 1438

mm, pro Modravu 1337 mm. Albrecht a kol. (2003) uvádí pro Modravu dokonce úhrny okolo 1500 mm, pro Březník 1600 mm. V podobných intervalech uvádí roční srážkové úhrny také Vlasák (2008). Atlas podnebí ČR (Tolasz et al., 2007) řadí zájmovou oblast do nejvyššího intervalu přes 1200 mm.

Turistický průvodce Šumava (1986) zmiňuje, že průměrně je v nejvyšších šumavských polohách celkem 170-190 srážkových dní v roce (asi v 50 dnech spadne více jak 10 mm srážek a třikrát do roka lze očekávat přívalové lijáky nebo silné sněžení v hodnotě 40–60 mm).

Srážky jsou během roku rozděleny relativně rovnoměrně, maxima připadají na červen a červenec, druhotná maxima na prosinec a leden (Kubíček, 2006). Z hlediska sezónního rozložení spadne v zimě přibližně 25 % a v chladném půlroce 49% celoročního množství srážek. Jarních srážek spadne v zájmovém území přibližně 20%, letních kolem 30% a podzimních asi 24%. Zimní čtvrtina z celoročního množství srážek zde spadne výhradně v podobě sněhu (Chábera, 1987). Sníh tvoří jednak zásobu vláhly pro prameny řek a potoků na jaře a v létě, jednak působí jako silná brzda pro nástup jarních teplot v těchto končinách.

Z hlediska směru a tahu bouřek (sledovaného ve stanici Churáňov v letech 1975-1989) vyplývá, že převládající směry bouřek a blyškavic jsou ze západu a jihozápadu. Z hlediska denního nástupu vyplývá, že většina všech bouřek nastává v odpoledních hodinách, od 12 do 16 hodin. Absolutní maximum je ve 14 hodin SEČ. Nejbouřlivější měsíc je červenec (Strnad, 2002 in Kubíček, 2006).

4.7.3. Vítr

V zájmové oblasti celoročně převládá jihozápadní a západní proudění (Kubíček, 2006). Další četnost je postupně zaznamenávána ze směru severozápadního a severovýchodního. Nejmenší podíl dlouhodobě dosahují větry vanoucí od jihovýchodu. V ročním chodu jsou největrnější letní měsíce, druhotně říjen.

Atlas podnebí ČR udává průměrnou roční rychlost přibližně na 6–8 m.s⁻¹. Albrecht (Albrecht a kol., 2003) uvádí, že nejvyšší průměrné rychlosti (5-8 m.s⁻¹) dosahuje vítr na volných nezalesněných konvexních plochách, naopak v uzavřených hlubších údolích se rychlost

větru pohybuje okolo 1-2 m.s⁻¹. V údolních polohách je proudění usměřováno podél hlavní osy údolí, v hřbetových polohách se mírně zvyšuje četnost směrů kolmých k ose hřbetu. Na některých místech se projevuje při jasném počasí místní cirkulace (Kubiček, 2006).

4.8. Výskyt rašelinišť

Vývoj názorů na hydrologickou funkci rašelinišť a jejich možný vliv na extremitu hydrologických jevů byl již popsán v kapitole 3.4. Popisu vzniku, vývoje, klasifikace a inventarizace rašelinišť v zájmovém území se již věnují jiní autoři, například Dohnal (1965), Pošta (2004), Spitzer a Bufková (2008). Bližší popis této tematiky by svým charakterem přesahoval rámec této práce, avšak rašeliniště představují významný fenomén vodního režimu sledovaného území, a proto je jejich výskytu v zájmové oblasti věnována následující kapitola.

Šumava je bezesporu nejvýznamnější oblastí výskytu vrchovištních rašelinišť v Česku. Největším vrchovištním komplexem na Šumavě jsou Modravské slatě (3615 ha), jejichž největší část leží právě v zájmovém území. Existence velkého množství slatí v centrální části Šumavy je dán humidním klimatem a vhodnou konfigurací terénu (Pošta, 2004).

V oblasti Modravských slatí se nachází čistá rašeliniště tzv. vrchovištního typu, jež jsou místním termínem označovaná též jako slatě. Je nutné připomenout, že pojem slatě nelze spojovat s pojmem slatina či slatiniště. Rašeliniště jsou většinou svahová a jsou nebo v minulosti byla zásobena převážně prosakující svahovou vodou nebo vodou z pramenů (Spitzer a Bufková, 2008). Důležitý význam pro utváření zdejších rašelinišť má zřejmě také časté střídání různých typů hornin, především rul, migmatitů a žuly. Lokální výskyt žulových hornin na menších plochách území je v oblasti dosti častý, i když není zachycen v běžných geologických mapách. Žulové horniny snadněji zvětrávají a usnadňují vznik vyhloubených tvarů a na puklinách a na kontaktu s rulami také umožňují výstup podzemní vody a větší zavodnění (Spitzer a Bufková, 2008).

V oblasti národního parku byla v minulosti mnohá rašeliniště odvodněna sítí meliorač-

ních kanálů. Odvodnění, které bylo prováděno již od konce 19. století, zde postihlo i jiné typy mokřadů včetně rozsáhlých celků podmačených lesních porostů (www.npsumava.cz). Hlavním cílem vysoušení mokřadů bylo zvýšení produkce dřeva v lesích, kultivace zemědělské půdy a také těžba rašeliny. Nejrasantněji byly přitom odvodňovány mokřady hlavně v 70. a 80. letech 20. století, kdy kanály byly již hloubeny s pomocí mechanizace.

V této souvislosti byl na území Národního parku Šumava v roce 1998 vyhlášen Program revitalizace šumavských mokřadů a rašelinišť. V rámci Programu jsou přehrazovány odvodňovací kanály systémem pevných dřevěných hrází, což má v důsledku přispět ke zvýšení hladiny podzemní vody a zabezpečení dlouhodobého vývoje přírodních ekosystémů. Klíčovou otázkou zatím zůstává, jak tyto úpravy ovlivňují retenční schopnost území při povodňových epizodách.

Jednou z prioritních oblastí programu pro období 2002-2010 bylo stanoveno území Modravských slatí. V současné době již byla provedena revitalizace například v horních částech povodí Roklanského a Novohuťského potoka, na Cikánských slatích a Černoorském močále, rašeliniště Nad Rybárnou nedaleko Javoří Pily, rašeliniště Schachtenfilz jižně od Javořího potoka (www.npsumava.cz).

Foto 3: Revitalizace Novohuťských močálů

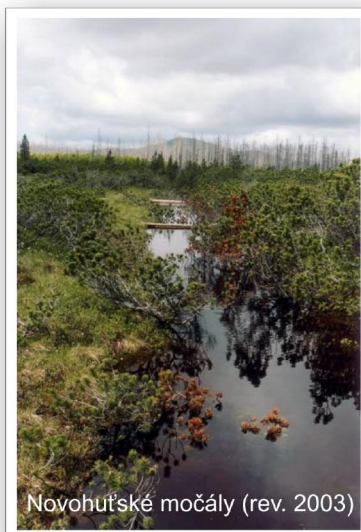


Foto 4: revitalizace Cikánských slatí

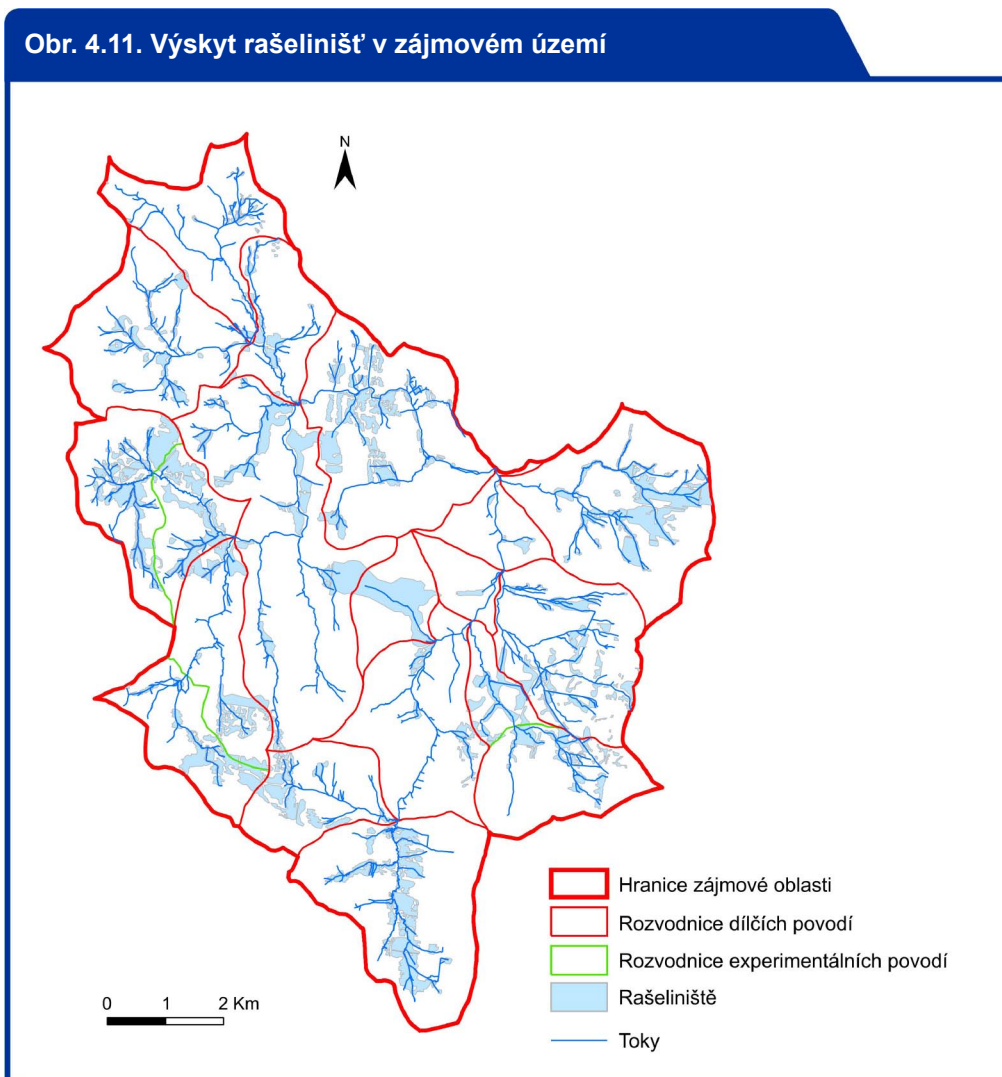


Foto 5: Hrazení odvodňovacích kanálů



Zdroj: <npsumava.cz>

Výskyt a přibližnou rozlohu rašelinišť v zájmovém území lze sledovat na obr. 4.11., podíl ploch rašelinišť na vybraných dílčích povodích pak vyjadřuje tabulka 4.



Zdroj: podkladová vrstva ZABAGED močály a bažiny, vrstva povodí a toků VÚV DIBAVOD, zpracování autor

Tabulka 4: Rozloha a podíl plochy rašelinišť na ploše povodí

Povodí	Plocha rašelinišť (km ²)	Podíl rašelinišť na ploše povodí (%)	Povodí	Plocha rašelinišť (km ²)	Podíl rašelinišť na ploše povodí (%)
Vydra-Modrava	11,628	13,0	Černohorský p.	0,783	12,9
Modravský p.	5,599	13,3	Březnický p.	0,507	14,9
Roklanský p.	6,029	12,7	Luzenský p.	1,099	14,0
Ptačí p.	0,916	16,6	Cikánský p.	0,673	31,0
Filipohuťský p.	1,291	16,4	Tmavý p.	0,112	2,3
Rokytká	1,541	24,8	Javoří p.	0,804	5,7
Experimentální Povodí			Plocha rašelinišť (km ²)		Podíl rašelinišť na ploše povodí (%)
Javoří p. k soutoku s Tmavým			0,432		6,8
Rokytká k hladinoměru			0,892		23,1
Ptačí p. k hladinoměru			0,489		12,0
Roklanský p. - hájenka			0,544		17,3

Zdroj: zpracováno v prostředí GIS z podkladových vrstev ZABAGED močály a bažiny, vstva toků a povodí VÚV DIBAVOD

5. VSTUPNÍ DATA

Analýza odtokového režimu povodí a rozbor formování povodňových vln u vybraných situací byla prováděna s využitím vstupních dat, které lze rozdělit do tří skupin:

- 1) Data získaná hydrometrováním průtoku ve vybraných profilech PŘF UK
- 2) Datové řady z automatických hladinoměřů a meteorologických stanic PŘF UK
- 3) Data z limnigrafické stanice ČHMÚ Vydra-Modrava a data z meteorologických stanic ČHMÚ situovaných v blízkosti zájmového povodí

5.1. Data získaná hydrometrováním toků

V rámci projektu VaV SM/2/57/05 byl na katedře Fyzické geografie a geoekologie PŘF UK řešen dílčí úkol analyzující odtokový režim v pramenné oblasti Vydry. Vzhledem k absenci stanic ČHMÚ v zájmové oblasti (měrný profil ČHMÚ se nachází až po soutoku Roklanského a Modravského potoka na řece Vydře), nebyla k dispozici žádná data o míře vodnosti jednotlivých toků. Z tohoto důvodu byl započat dne 6.12.2005 vlastní kontinuální terénní monitoring průtoků, spočívající v pravidelném provádění měření průtoků vybraných toků v zájmové oblasti hydrometrickou vrtulí. Záměrem bylo zejména sestavení měrných křivek průtoku, které by v kombinaci s pravidelným sledováním výšky hladiny vytvořilo představu o chodu a rozložení odtoku v povodí.

Z počátku byly monitorovány vybrané profily pouze na Roklanském a Modravském potoce (doplňkově byl monitorován i potok Filipohuťský), s cílem zjistit jejich podíl na celkovém průtoku Vydry v profilu Modrava. Při pracích v terénu byly tyto profily nejprve osazeny vodočty, které byly odečítány místním pozorovatelem 2xdenně (dopoledne a v podvečer). V průběhu roku 2006 byly měrné profily, na kterých probíhalo hydrometrické měření, rozšířeny o Ptačí potok a Rokytku. Realizována byla i týdenní měřicí kampaň v průběhu srpna 2006 (shodná kampaň proběhla rovněž i v roce 2007 a 2008), při níž bylo provedeno opakované hydrometrování průtoku významnějších toků v zájmové oblasti, za účelem jejich vzájemného

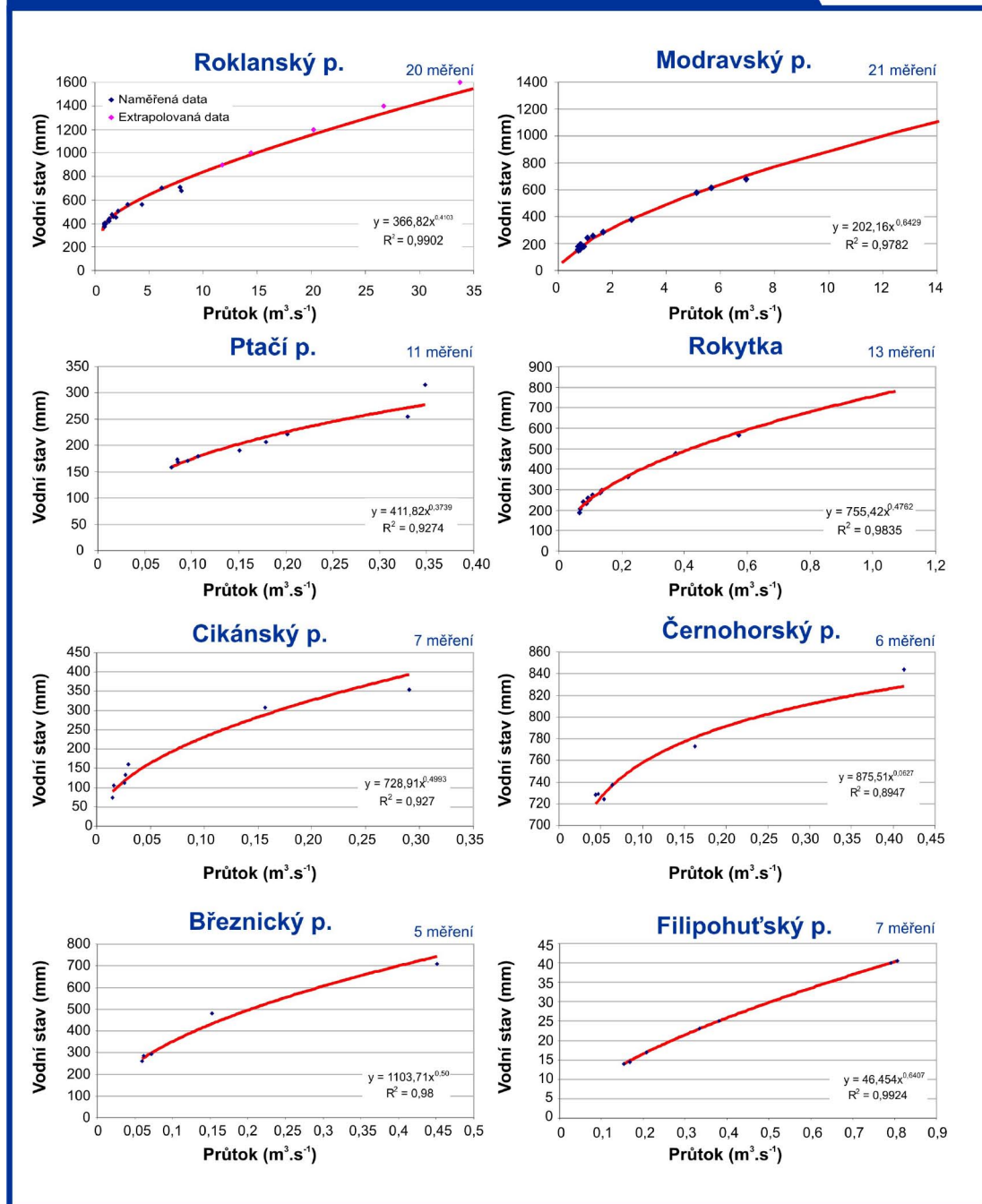
bilancování. V průběhu tohoto roku (2006) započala taktéž plánovaná instalace automatických hladinoměřů na Ptačím, Modravském, Roklanském potoce a Rokytee. V průběhu roku 2007 byl instalován hladinoměr také na Březnickém potoce, v roce 2008 následně na Cikánském, Černohorském, Javořím, Tmavém potoce a na horním toku Roklanského potoka v profilu nazvaném hájenka. Vzhledem k tomu, že pro instalaci automatických hladinoměřů bylo z technických důvodů často vybráno jiné umístění, než na kterém probíhal hydrometrický monitoring, nebylo možno využít zaznamenaných vodních stavů. V některých případech tedy nebylo možné data získaná hydrometrováním využít pro konstrukci měrné křivky průtoku v daném profilu. Z tohoto důvodu nebylo možno dosud pro některé měrné profily osazené automatickými hladinoměry sestavit odpovídající konzumpční křivky.

Při hydrometrických měřeních v daných profilech byla vyvíjena snaha o postihnutí všech oblastí průtoků (nízké i vysoké vodnosti). Tato měření však byla vzhledem k horskému charakteru toků často velmi obtížná. Zejména měření vysokých průtoků nebylo možno z technických důvodů, ale i z důvodu bezpečnosti měřících, v některých případech provádět. Data o velikosti průtoku jsou tedy pořízena jen v určitém rozsahu vodnosti, což může způsobovat problémy při aplikaci mimo tento rozsah. Spolehlivost jednotlivých konzumpčních křivek může být v konkrétních profilech rovněž značně ovlivněna charakterem koryta v úseku měrného profilu, kde často převažuje kamenité až balvanité dno. Do května 2009 bylo v zájmovém území provedeno přes 250 hydroemtrických měření.

Měrné křivky byly konstruovány v programu MS Excel za pomoci funkce spojnice trendu (ve všech případech byla jako nejvhodnější použita mocninná funkce). V případě některých profilů bylo při jejich konstrukci nutno vyřešit skutečnost, že spojnice trendu (konzumpční křivka) dosahovala v daném intervalu vysoké spolehlivosti, avšak v oblasti mimo tyto intervaly (zejména v oblasti vysokých průtoků) docházelo k výraznému nadhodnocení či naopak podhodnocení velikosti průtoku. Tento problém byl řešen za pomoci matematické extrapolace měrné křivky do oblasti vysokých průtoků. Tato skutečnost je dále popsána na příkladě Roklanského potoka v kapitole věnované odtokovým poměrům.

Výsledkem pravidelného hydrometrování průtoku ve vybraných profilech bylo sestavení 8 měrných křivek průtoku, které jsou vyobrazeny na obr 5.1.

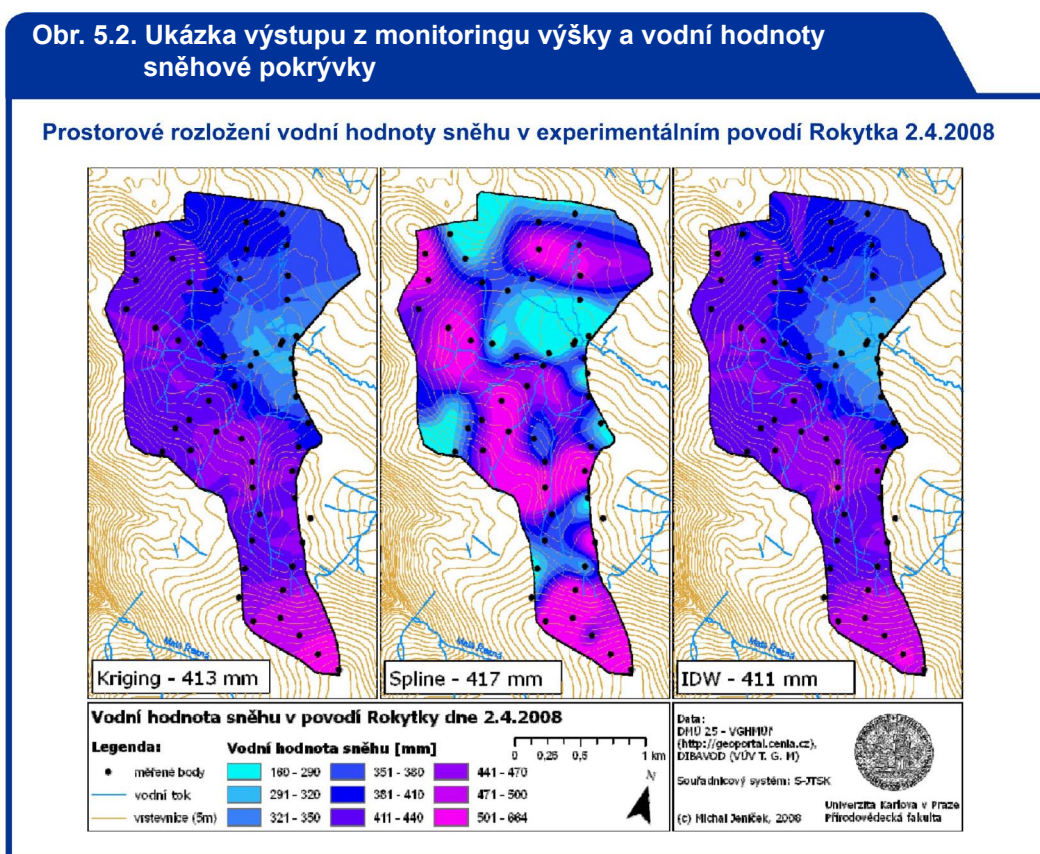
Obr. 5.1. Měrné křivky průtoku monitorovaných toků



Zdroj: vlastní měření

V souvislosti s vlastním monitoringem realizovaným KFGG PřF UK je třeba zmínit i několik zimních kampaní (v sezónách 2006/2007, 2007/2008, 2008/2009), které se zaměřovaly na objasnění procesu akumulace a tání sněhové pokrývky v zájmové oblasti, zejména pro účely budoucího matematického modelování odtoku. Měření bylo prováděno jako případové studie v experimentálních povodích Rokytká a Ptačí potok. Měřena byla výška a vodní hod-

nota sněhové pokrývky. Výsledky tohoto monitoringu byly již prezentovány v rámci práce Jelínka (2008) a jsou předmětem připravované diplomové práce Pospíšila. Bližší popis metodiky a výsledků svým charakterem překračuje rámec této práce. Vzhledem k tomu, že povodně související s táním sněhové pokrývky představují v zájmovém území nezanedbatelný prvek, jsou některá dílčí data využita i v této práci při posuzování počátečních podmínek povodí při hodnocení vybraných povodňových situací. Pro ukázkou je uveden vybraný výstup z těchto měrných kampaní (obr. 5.2.)

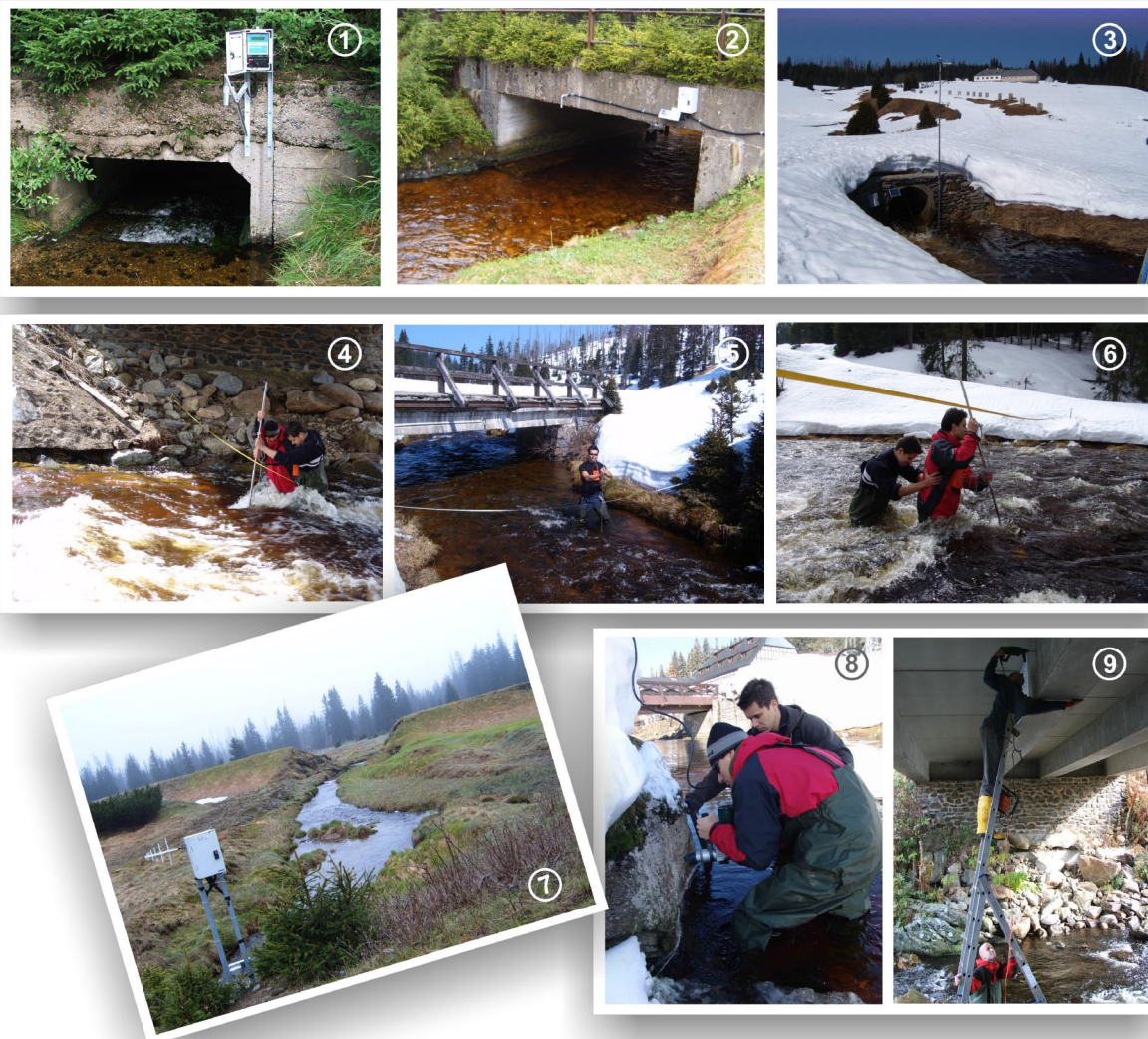


Zdroj: Zpracování Michal JENÍČEK 2008, vlastní měření

Foto 6. Měření výšky a vodní hodnoty sněhu v povodí Rokytky v sezoně 2007/2008



Foto Jan Kocum



- ① Foto 7: Automatický hladinoměr na Ptačím potoce. Foto autor 2007
- ② Foto 8: Automatický hladinoměr Javoří a Tmavý potok. Foto autor 2009
- ③ Foto 9: Automatický hladinoměr a meteorologická stanice Březník. Foto autor 2009
- ④ Foto 10: Hydrometrování Modravského potoka dne 18.4.2006. Foto Jan Kocum
- ⑤ Foto 11: Kontrolní hydrometrování Luzenského potoka 12.4.2009. Foto autor (na snímku)
- ⑥ Foto 12: Hydrometrování roklanského potoka 18.4.2006. Foto Jan Kocum
- ⑦ Foto 13: Automatický hladinoměr Roklanský p.-hájenka. Foto autor 2009
- ⑧ Foto 14: Instalace vodočtu na Roklanském potoce 28.11.2006. Foto Jan Kocum
- ⑨ Foto 15: Instalace automatického hladinoměru na Modravském potoce. Foto Jan Kocum 2006

5.2. Datové řady z automatických hladinoměřů a meteorologických stanic PŘF UK

Vzhledem k absenci stanic ČHMÚ či státního podniku Povodí Vltavy bylo pro potřeby detailního výzkumu v pramenné oblasti Vydry nutno vytvořit vlastní monitorovací síť, která by umožnila sledovat formování povodňových vln při hydrometeorologických příčinných situacích a jejich následnou analýzu. V rámci projektu VaV SM/2/57/05 byla v zájmové oblasti od roku 2006 postupně budována síť 9ti automatických monitorovacích stanic (monitorováno je 10 toků). Jejich lokalizace v rámci povodí je uvedena na přehledové mapě říční sítě (obr. 6.1.) v kapitole 6. této práce.

Kontinuální monitoring výšky hladin je založen především na systému automatických měřících zařízení od firmy Fiedler-Mágr. Sestava je složena z řídicí a registrační jednotky typu M4016-G3 a ultrazvukového či tlakového snímače s připojením příslušného měřícího kanálu (Česák et al., 2008). Jednotka je navíc doplněna o GSM modul (kromě stanice Javoří a Tmavý potok) pro telemetrický přenos dat sítí GPRS na internetový server. Automatický transfer dat na server umožňuje operativní prohlížení, editaci a konfiguraci měřených hodnot i parametrů včetně operativního řešení nastalé extrémní hydrologické situace a kontrolu funkčnosti celých měřících sestav. Odesílání dat probíhá v pravidelném intervalu nebo při dosažení limitních či strmostních (gradientních) hodnot. Síť stanic je možné použít i jako varovný systém zasíláním až 30 nastavitelných SMS pro každý záznamový kanál nezávisle na ostatních. Přístroje provádí kontinuální měření v intervalu 10 minut s přesností na 1 mm. Data jsou po přenosu dále zálohována na serveru výrobce, na kterém mají oprávnění klienti umožněn nejen přístup k datům, ale i k vybraným parametrům (Česák et al., 2008).

Měření hladiny vodních toků je prováděno dvěma základními metodami spojení řídicí záznamové jednotky a měřícího čidla. První je kombinace měření ultrazvukovými čidly (UZ) s rozsahem 0,1-1,3 m, 0,1-3 m nebo 0,2-6 m (Česák et al., 2008). Ty jsou používány na tocích s velkou rychlostí proudění vody a vysokou unášecí schopností s významným nebezpečím poškození. Snahou je přitom pro instalaci využívat mostní konstrukce či jiné hydrotechnické

úpravy v korytě, čímž se snižují finanční náklady na montáž. Výhodou tohoto spojení je bezkontaktní sledování výšky hladiny toku a nízká energetická náročnost, která umožňuje dlouhodobý monitoring bez výměny baterií. Nevýhodou tohoto systému je nereálné snížení měřených hodnot hladiny při přímém oslunění ultrazvukového čidla v důsledku jeho neodpovídajícího zahřátí vůči okolní aktuální teplotě vzduchu. Tento fakt je zohledňován při instalacích nových přístrojů doplněním stávajících sestav stínícími prvky tak, aby byla tato chyba měření co nejvíce eliminována. Jako vhodné stínící prvky se osvědčily solární panely, které slouží vzhledem k obtížné dostupnosti mnoha profilů především pro dobíjení akumulátorů.

Druhou kombinací je spojení řídicí jednotky s tlakovým čidlem, jež je instalováno přímo do toku. Princip měření je založen na změně hydrostatického tlaku vodního sloupce. Těmito čidly byly osazeny toky s menší unášecí rychlostí, či měrné profily, kde není možné instalovat ultrazvukové snímače. Výhodou těchto čidel je reálné měření hodnot výšky hladiny při teplotních změnách vody. Určitou potenciální nevýhodou je možnost poškození či destrukce během povodňových průtoků (Česák et al., 2008).

Další kapitolou je využití stanic měřících vybrané meteorologické prvky, které vhodně doplňují nedostatečné pokrytí stanicemi v rámci sítě ČHMÚ. V zájmové oblasti je instalována kompletní meteorologická stanice na Březníku (měrné kanály: teplota a vlhkost vzduchu ve výšce 2 m, pyranometr (sluneční radiace přímá i odražená), anemometr (rychlost a směr větru), srážkoměr s vytápěním pro zimní provoz, přízemní teplota vzduchu (+ hydrologické charakteristiky Březnického potoka)), doplněná člunkovým srážkoměrem SR03 na Rokytce (vzhledem k faktu, že však není vybaven vyhříváním je na zimní období vždy odinstalován) pro monitoring úhrnu dešťových srážek s přesností 0,1 mm v intervalu 10min. Tyto stanice umožňují přesnější a preciznější analýzu srážko-odtokových procesů v povodí.

Po zavedení základní monitorovací sítě sledování výšky hladiny vodních toků byly stávající profily postupně opatřeny dalšími měřícími kanály, které výrobce nabízí, a které jsou kompatibilní v rámci systému. Především se jedná o monitoring vývoje pH, konduktivity, redox či rozpuštěného kyslíku (Česák et al., 2008).

5.2.1. Zpracování dat

Pro databázové zpracování souboru dat bylo využito programu MS Excel. Za datum datové uzávěrky práce byl zvolen 17.7.2009 v 0:00, kdy byla data stažena ze serveru společnosti Fiedler-Mágr. Délka datové řady se vlivem postupné instalace měřicí techniky u jednotlivých toků liší, počátek měření u každého toku je uveden v tabulce 5.

Tabulka 5: Celkový přehled automatických měřících stanic

	Tok	Lokalita	Měření hladiny	Měření teploty	Solární napájení	Telemetrický přenos	Srážky	Vítr (směr, rychlost)	Vlhkost	Radiace	Měří od
Roklanský p.	Roklanský p.	Modrava	UZ	vzduch	ne	ano	ne	ne	ne	ne	18.9.2006
	Roklanský p.	Roklanská hájenka	UZ	vzduch	ano	ano	ne	ne	ne	ne	14.5.2008
	Rokytká	Rokytecké slatě	UZ	vzduch	ano	ano	ano	ne	ne	ne	14.7.2006
	Javoří + Tmavý potok p.	Javoří pila	UZ + tlak	vzduch/voda	ano	ne	ne	ne	ne	ne	28.5.2008
Modravský p.	Modravský p.	Modrava	UZ	vzduch	plán	ano	ne	ne	ne	ne	29.10.2006
	Plací p.	Plací nádrž	UZ	vzduch	ano	ano	ne	ne	ne	ne	14.7.2006
	Černohorský p.	ústí	Tlak	voda	ne	ano	ne	ne	ne	ne	19.8.2008
	Cikánský p.	ústí	Tlak	voda	ne	ano	ne	ne	ne	ne	20.5.2008
	Břežnický p.	Břežník	Tlak	voda	ano	ano	ano	ano	ano	ano	25.9.2007 (hladinoměr) 14.5.2008 (srážkoměr)

Zdroj: Česák et al. 2008, doplněno, upraveno

Data byla exportována ve formátu .dta a vzhledem k množství údajů o vodním stavu (řádově přes 100 000 u každého toku) a řádkovému omezení programu MS Excel probíhal export dat pro každý tok postupně po jednotlivých letech.

V první fázi zpracování dat byl na základě funkčního předpisu odvozené konzumpční křivky daného profilu přiřazen jednotlivým vodním stavům odpovídající průtok. Následně došlo k revizi počtu záznamů v jednotlivých profilech. Data byla pro kontrolu vždy ještě vynešena do grafu, což umožnilo po jeho prostudování odhalit výpadky měření či anomálie v datové řadě. Chyby v záznamu měření prováděných v kroku deseti minut, byly z důvodu korektnosti výsledků vynechány. Rovněž byly po vzájemném posouzení datových řad v podobě grafu identifikovány anomálie průtoků, například zámrz v zimním období, přičemž tato období byla rovněž vynechána. Délka, časový výskyt a charakter výpadků v měření hladinoměrných stanic se v jednotlivých profilech liší, u většiny toků však tvoří jen zanedbatelný podíl. Ze souboru revidovaných a zkompletovaných dat měření v kroku deseti minut byly následným zpracováním vytvořeny řady průměrných hodinových a denních průtoků.

Hodinové průtoky byly spočteny jako aritmetický průměr měření v desetiminutových intervalech během předcházející hodiny. Průměrný hodinový průtok např. pro 12:00 konkrétního

dne byl spočítán jako průměr měřených hodnot hladinoměrem v termínech 11:10–12:00.

Denní průtoky byly spočteny jako průměr hodinových průtoků konkrétního dne. Průměrný denní průtok např. pro 18.4.2009 tak byl spočítán jako průměr hodinových průtoků od 1h 18.4.2009 po 24h 18.4.2009 (respektive 0h 19.4.2009).

Obdobným způsobem byla zpracována i data ze srážkoměrů a meteorologické stanice PřF UK.

Hodinový úhrn srážek byl spočten jako suma měření v kroku deseti minut během předcházející hodiny. Hodinový úhrn srážek např. pro 12:00 konkrétního dne byl spočten jako suma naměřených hodnot srážkoměrem v termínech 11:10–12:00 (značí tedy konec akumulace).

Denní úhrny srážek byly spočteny jako suma hodinových úhrnů srážek v době od 8h do 7h následujícího dne. Denní úhrn srážek např. pro 18.4.2009 tak byla spočten jako suma hodinových úhrnů srážek od 8h 18.4.2009 do 7h 19.4.2009.

Pro úplnost je nezbytné uvést, že časové údaje v záznamu měření jsou **uváděny ve středoevropském čase**. Letní čas se v přístroji nezavádí.

5.3. Data z limnigrafické stanice ČHMÚ Vydra-Modrava a data z meteorologických stanic ČHMÚ situovaných v blízkosti zájmového povodí

Pro analýzu odtokových charakteristik a vlastností povodňového mechanismu Vydry poskytla ČHMÚ datovou řadu průměrných denních průtoků ze stanice Vydra-Modrava v období 1.11.1930 - 31.12.2008 (bez chybějícího období 1.11.1940 - 31.10.1948). Pro porovnání vlastních dat o průtoku Vydry v Modravě při konkrétních povodňových situacích, s údaji o průtoku Vydry v profilu ČHMÚ ve stejném období, poskytlo ČHMÚ hodinové průměrné průtoky u vytipovaných extrémních událostí v hydrologickém roce 2007 a 2008. U stejných událostí byla rovněž poskytnuta data o hodinových úhrnech srážek ve stanici Filipova Huť. Pro určení

sněhových poměrů a stupni nasycení povodí v době 30 dní před příčinnou hydrometeorologickou situací byla poskytnuta data o výšce sněhové pokrývky, vodní hodnotě sněhu a denního úhrnu srážek ve stanici Filipova Huť.

Data hodinových průtoků a vodního stavu ve stanici Vydra-Modrava a hodinový úhrn srážek ve stanici Filipova Huť u povodňových situacích v roce 2009 byla stažena v daných termínech z internetové stránky hlásné a předpovědní služby ČHMÚ (<http://hydro.chmi.cz/hpps/>).

6. HYDROGRAFICKÁ CHARAKTERISTIKA

Možnost ovlivnění velikosti extrémů povrchového odtoku morfometrickými a morfologickými vlastnostmi povodí byla již v obecném kontextu popsána v rešeršní části práce. Pro bližší pochopení odtokových poměrů a fungování povodňového mechanismu v pramenné oblasti Vydry je žádoucí věnovat alespoň krátkou pozornost popisu tvarových a sklonitostních poměrů zájmové oblasti včetně dílčích povodí.

Jak již bylo popsáno ve fyzicko-geografickém přehledu, zájmovým územím práce je pramenná oblast povodí Vydry (povodí Modravského a Roklanského potoka), přičemž závěrovým profilem je profil ČHMÚ Vydra-Modrava (Pozn.: v práci je využíváno pro výpočty plochy povodí po soutok Roklanského a Modravského potoka. Vzhledem k tomu, že stanice ČHMÚ je situována přibližně 100m po soutoku, údaje o velikosti plochy se mírně liší. Pro účely této práce je můžeme považovat za zanedbatelné).

6.1. Tvarové vlastnosti povodí

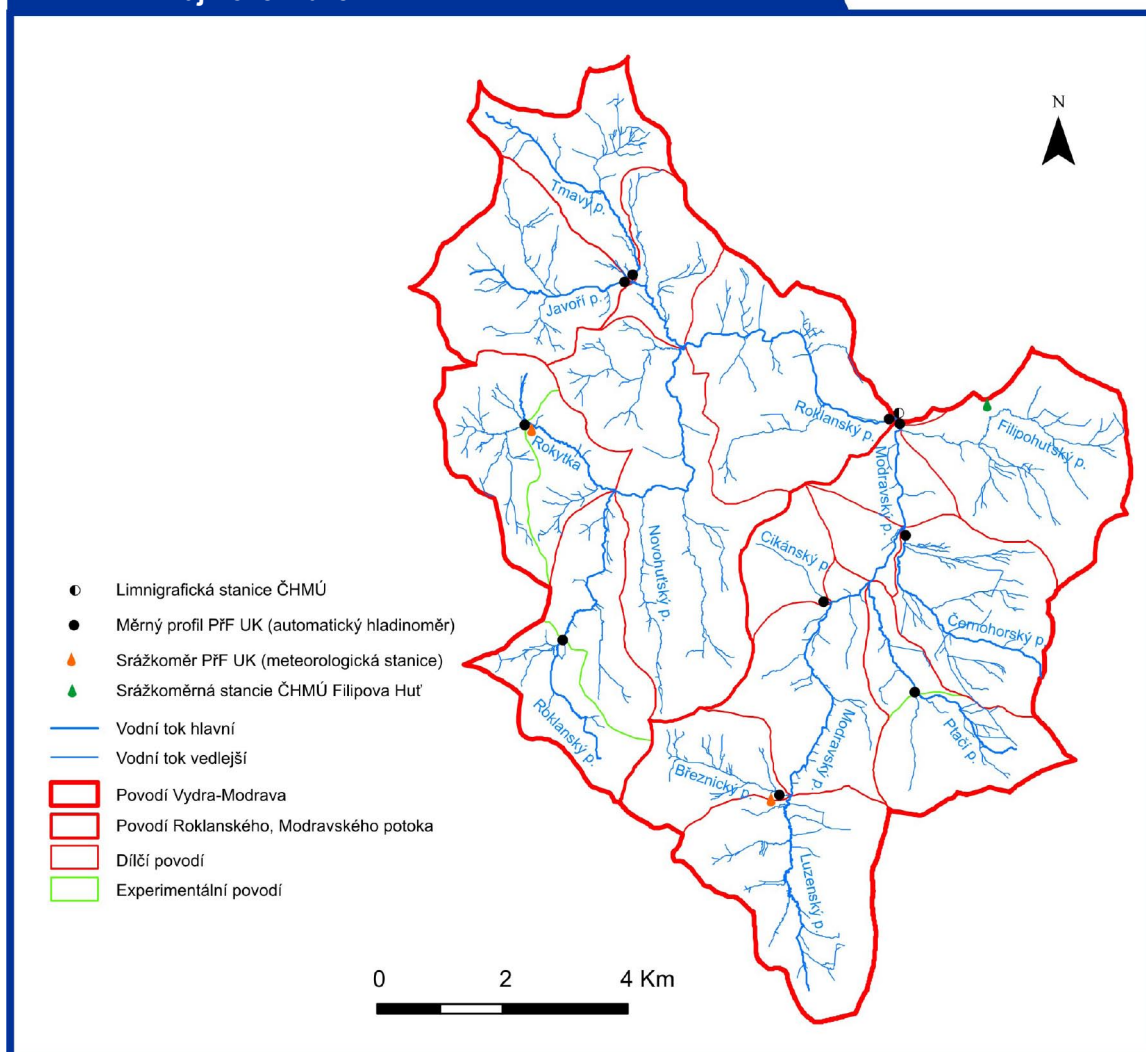
Rozloha, spád a tvar povodí a charakteristiky sítě vodních toků jsou parametry určující dobu koncentrace povodňové vlny v povodí. Čím menší je povodí, tím kratší jsou také odtokové cesty a tím kratší je i doba koncentrace. Pro vznik povodní je přitom rozhodující, jaká část z celkové plochy povodí byla zasažena deštěm, tzn. kolik procent povodí odvádí vodu ve stejný čas. Nejrychleji stoupá voda toků v plošně malých, kopcovitých povodích, v nichž při bouřkách prší na celém jejich území. Tento fakt můžeme vzhledem k celkové rozloze a charakteru povodí vztáhnout jako charakteristiku i pro zájmové území Vydry.

Významný vliv na velikost extrému povrchového odtoku má taktéž tvar povodí. Mezi nejpoužívanější prostředky k vyjadřování tvarových vlastností slouží Gravelliův koeficient (K_g), charakteristika povodí (α) a koeficient protáhlosti povodí (Re). Na základě hodnot těchto koeficientů spočtených pro hlavní i dílčí povodí zájmové oblasti (viz. tabulka 6), lze všechna povodí hodnotit z hlediska jejich tvaru jako vějířovitá, mezním hodnotám charakteristiky povodí α pro zařazení do této kategorie se nejvíce přibližují, a tím i největší protáhlost z hod-

nocených povodí vykazují Tmavý a Ptačí potok. Právě povodí vějířovitého tvaru jsou z hlediska velikosti extremity odtoku a tvorby povodní nejnebezpečnější. Je to způsobeno tím, že se v povodí zpravidla vyskytuje více toků s relativně stejnou délkou údolnice a při zasažení celého povodí intenzivní srážkou tak může docházet ke střetu povodňových vln v závěrovém profilu povodí. Odtokové vlny z tohoto typu povodí bývají strmé a krátké.

Stupeň vývoje toku (koeficient křivolakosti) nabývá u sledovaných toků, vzhledem k charakteru území nízkých hodnot a toky jsou tak poměrně přímé, bez výrazného meandrování. Tento fakt však může opět negativně ovlivnit rychlost odtoku z povodí. Nejvyšších hodnot koeficientu a tím i největší míry křivolakosti dosahuje potok Roklanský, nejnižších pak Cikánský potok (tabulka 6). Grafické znázornění říční sítě zájmové oblasti, včetně dílčích povodí a vyznačených měrných profilů a stanic můžeme sledovat na obr 6.1.

Obr. 6.1. Znázornění říční sítě a lokalizace měrných profilů v zájmovém území



Zdroj: podkladová data povodí a toků VÚV DIBAVOD, upraveno, zpracování autor

Tabulka 6: Tvarové a sklonitostní vlastnosti povodí

Tvarové vlastnosti	Vydra (Modrava)	Modravský potok	Roklanský potok	Plací potok	Filipohuťský potok	Rokyška	Černoohorský potok	Březnický potok	Luzenský potok	Čikánský potok	Tmavý potok	Javorí potok	Javorí k soutoku s Tmavým p.	Rokyška k hladinoměru	Plací k hladinoměru	Roklanský p. hájenka
Plocha povodí (km ²)	89,675	42,089	47,586	5,507	7,867	6,208	6,090	3,415	7,864	2,174	4,770	14,150	6,349	3,866	4,070	3,137
Délka toku (km)	11,69	11,690	14,728	4,321	4,865	3,041	4,076	2,497	4,106	1,610	4,190	4,685	3,034	0,858	2,143	2,588
Úhnná délka toku (km)	218,046	97,302	120,744	13,072	17,650	18,937	23,861	8,239	16,478	1,792	15,508	40,536	16,582	12,376	9,144	7,279
Délka rozvodnice (km)	52,226	33,225	36,962	12,000	12,144	11,238	9,928	7,952	12,027	6,847	12,661	18,702	11,211	10,436	8,444	9,381
Charakteristika povodí	0,937	0,440	0,649	0,293	0,520	0,545	0,451	0,446	0,584	0,615	0,297	0,507	0,505	0,550	0,539	0,415
Graviliův koeficient	1,556	1,445	1,512	1,443	1,222	1,273	1,135	1,214	1,210	1,310	1,636	1,403	1,255	1,498	1,181	1,495
Stupeň vývoje toku (koeficient křivolakosti)	1,265	1,265	2,031	1,214	1,415	1,284	1,258	1,282	1,315	1,041	1,169	1,293	1,158	1,084	1,165	1,296
Koeficient protáhlosti	0,959	0,748	0,909	0,611	0,814	0,833	0,758	0,753	0,862	0,885	0,615	0,804	0,802	0,837	0,829	0,727
Sklonové vlastnosti																
Nejvyšší kóta povodí (m n.m.)	1373	1373	1367	1330	1255	1220	1240	1370	1373	1200	1311	1255	1255	1220	1330	1367
Nejvyšší kóta toku (m n.m.)	1213	1213	1257	1217	1162	1107	1184	1260	1213	1092	1284	1105	1105	1107	1217	1257
Nejnižší kóta povodí (m n.m.)	974	974	974	1036	981	1075	1010	1135	1135	1055	1035	1015	1035	1090	1125	1175
Nejnižší kóta toku (m n.m.)	974	974	974	1036	981	1075	1010	1135	1135	1055	1035	1015	1035	1090	1125	1175
Převýšení povodí (m)	399	399	393	294	274	145	230	235	238	145	276	240	220	130	205	192
Spád toku (m)	239	239	283	181	181	32	174	125	78	37	249	90	70	17	92	82
Střední sklon toku (‰)	20,44	20,44	19,21	41,88	37,29	10,52	42,68	50,06	19,00	22,99	59,43	19,21	23,08	19,81	42,93	31,68
Střední sklon povodí (‰)	42,13	61,50	57,03	125,24	97,84	58,20	93,20	127,16	84,87	98,35	126,46	63,80	87,31	66,12	101,62	108,63
Průměrný sklon svahů (stupně)	5,483	5,825	5,181	5,318	4,292	3,719	4,341	5,838	7,387	4,178	6,177	5,671	5,096	3,724	5,807	5,535
Hustota (km/km ²)	2,432	2,312	2,537	2,374	2,244	3,034	3,918	2,412	2,095	0,825	3,251	2,865	2,612	3,201	2,247	2,320
Doplňkové údaje																
Plocha rašelinišť	11,628	5,599	6,029	0,916	1,291	1,541	0,783	0,507	1,099	0,673	0,112	0,804	0,432	0,892	0,489	0,544
Podíl rašelinišť %	13,0	13,3	12,7	16,6	16,4	24,8	12,9	14,9	14,0	31,0	2,3	5,7	6,8	23,1	12,0	17,3
Lesnatost plocha	54,321	24,449	29,872	2,930	6,734	3,660	5,069	0,152	0,000	2,054	2,709	11,825	4,476	2,248	1,636	0,049
Lesnatost podíl %	60,6	58,1	62,8	53,2	85,6	59,0	83,2	4,4	0,0	94,5	56,8	83,6	70,5	58,1	40,2	1,6

Zdroj: podkladová data vrstvy VÚV DIBAVOD, zpracování autor

Charakteristika povodí – plocha povodí/ průměrná vzdálenost od ústí k nejvzdálenějšímu bodu povodí (věřivový tvar pro povodí menší jak 50 km² $\alpha > 0,26$, pro povodí větší jak 50 km² $\alpha > 0,2$)

Graviliův koeficient KG - délka rozvodnice/obvod kruhu o stejné ploše jako je plocha povodí

Stupeň vývoje toku – skutečná délka toku/přímková vzdálenost od pramene k ústí

Koeficient protáhlosti povodí - průměr kruhu o stejné ploše jako je plocha povodí/délka povodí

Převýšení povodí - rozdíl mezi maximální a minimální nadmořskou výškou v povodí

Spád toku - rozdíl mezi maximální a minimální nadmořskou výškou toku

Střední sklon povodí – spád toku/délka toku

Střední sklon povodí – převýšení povodí/ druhá odmocnina plochy povodí

Hustota říční sítě- délka všech vodních toků/celková plocha povodí

6.2. Sklonitostní poměry povodí

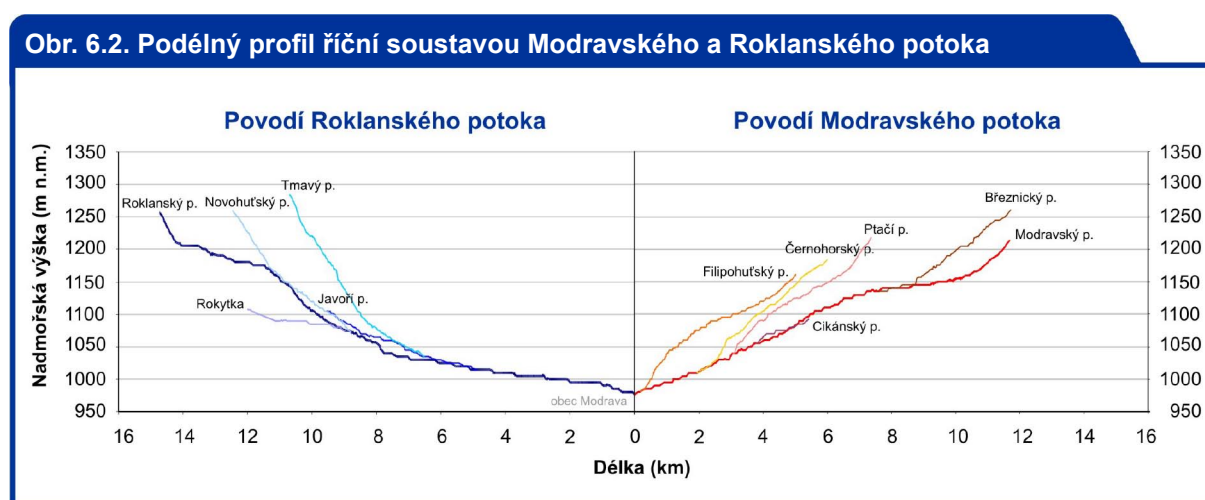
Doba, za kterou se v závěrovém profilu soustředí odtok z celého povodí se zkracuje se zvětšováním sklonu povodí. Na povodích se strmějšími sklony svahů a větším sklonem údolnice by měl odtok probíhat rychleji a povodňová vlna by měla mít menší schopnost transformace (Šercl, 2007).

Ačkoliv je zájmové území svou povahou horským povodím, poloha v zarovnané části mu dává charakter poměrně plochého povodí. Tuto skutečnost nám již dokumentovala mapa sklonitostních poměrů na obr. 4.5. ve fyzicko-geografickém přehledu území. Průměrný sklon svahů zájmové oblasti je 5,5° a 90% svahů dosahuje sklonitosti do 10°. Největší zastoupení má interval 3-6°, naopak svahů se sklonem větším jak 25° je pouze 0,5%.

Nadmořské výšky zájmového území se pohybují od 974 m.n.m. (soutok Roklanského a Modravského potoka) do 1373 m.n.m. (Luzný), přičemž průměrná hodnota je 1140 m.n.m.

Nejvyšších průměrných sklonů povodí dosahují povodí Ptačího, Březnického a Tmavého potoka, tedy povodí toků odvodňujících nejvyšší partii zájmové oblasti s nadmořskou výškou přesahující 1300 m.n.m. Tyto toky zároveň dosahují nejvyšších průměrných sklonů toku. Nejvyšší průměrný sklon toku má Tmavý potok (59,43 ‰), nejnižšího sklonu pak dosahuje Rokytka (10,52 ‰). Porovnání sklonitostních poměrů jednotlivých toků říční sítě je nejlépe patrné z podélného profilu říční sítě (obr. 6.2.)

Je dobře patrné, že Modravský potok a jeho přítoky mají obecně vyšší sklony než toky



Zdroj: zpracováno v prostředí GIS na podkladě DMT <geoportal.cenia.cz>, zpracování autor

soustavy Roklanského potoka. To v souvislosti s menší délkou toku Modravského potoka vede k obecnému předpokladu, že odtok bude rychleji probíhat právě z povodí tohoto toku.

6.3. Hustota říční sítě

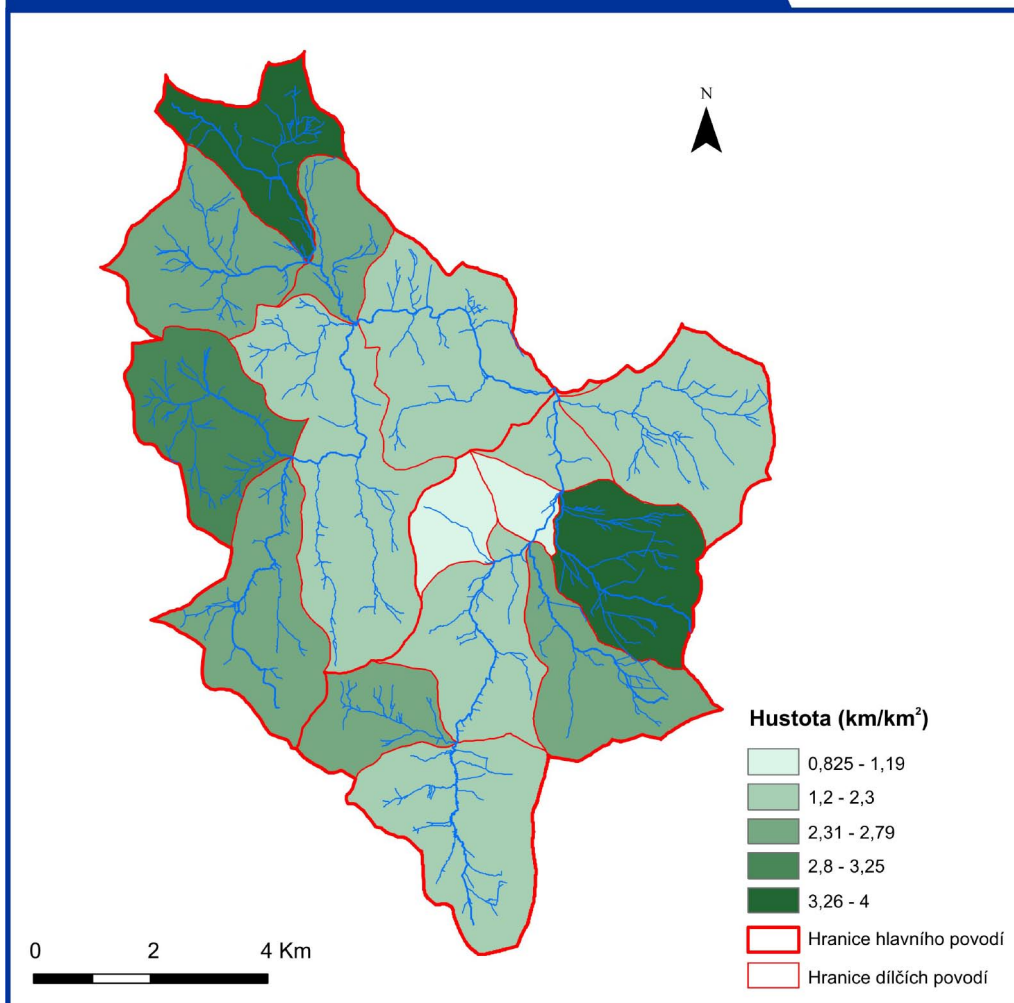
Důležitou popisnou charakteristikou povodí je taktéž hustota říční sítě. Ta je jedním ze základních ukazatelů vyjadřující celkovou schopnost krajiny odvádět vodu spadlou srážkami a je tak jedním z významných ukazatelů velikosti povrchového odtoku.

Je třeba vzít v úvahu fakt, že výpočet této charakteristiky je výrazně závislý na použitých vstupních podkladech, především na generalizaci vodních toků. Pro výpočet byly používány aktuální data databáze VÚV DIBAVOD. Ve skutečnosti se v důsledku generalizace mohou hodnoty lišit, pravděpodobně budou ještě vyšší.

Hodnota hustoty říční sítě povodí Vydry ve sledovaném území je 2,432 km/km² a lze ji tak označit v širším kontextu povodí Otavy (průměrná hustota říční sítě: Otava 1,36km/km², Vltava 1,24 km/km² – zdroj VÚV) za jednu z nejvyšších. V rámci zájmového území dosahují největší hustoty povodí Černoohorského potoka, Tmavého potoka a Rokytky, všechny s hodnotami hustoty vyššími než 3km/km², přičemž v tomto intervalu hustoty je pouze 0,8% plochy povodí Otavy. Z obr 6.3. je dobře patrná vyšší hustota říční sítě v hraničních částech povodí, která charakterem reliéfu představují nejvyšší polohy zájmové oblasti a směrem do středu zájmové oblasti, kde má již reliéf spíše charakter zarovnaného povrchu hustota říční sítě klesá.

Z výše uvedených faktorů lze opět usuzovat, že zájmová oblast svým charakterem predisponuje krátkou dobu koncentrace a rychlý odtok. Je však třeba vzít v úvahu množství dalších faktorů, které povrchový odtok výrazně ovlivňují.

Obr. 6.3. Hustota říční sítě



Zdroj: podkladová vrstva povodí a toků VÚV DIBAVOD, zpracování autor

7. ODTOKOVÝ REŽIM

V předchozích kapitolách byly popsány fyzicko-geografické charakteristiky povodí a faktory, které mají nejvýznamější vliv na formování a průběh odtoku. Odtokový režim řek vytvářejí dlouhodobé (roční, sezónní..) a krátkodobé (denní, hodinové..) výkyvy vodních stavů, průtoků, změny tvaru a průběhu říčního koryta apod. Časové rozložení odtoku z povodí souvisí se zdroji vodnosti řek. Těmi jsou v pramenné oblasti Vydry zejména voda z dešťů, z periodické sněhové pokrývky a podzemní voda. Podíl každého z nich může být rozličný a svým způsobem proměnlivý (Netopil, 1984).

Cílem této kapitoly je poskytnout ucelený pohled na odtokové poměry v zájmové oblasti. Kapitulu můžeme strukturovat do tří dílčích částí:

1) První část bude věnována charakteristice odtokového režimu v profilu Vydra-Modrava. K tomuto rozboru bude využito dat denních průměrných průtoků z období 1.11.1930 - 31.10.2008 (bez chybějícího období 1.11.1940 - 31.10.1948) z limnigrafické stanice ČHMÚ Vydra-Modrava, která je závěrovým profilem zájmového území.

2) Ve druhé části bude věnována pozornost zhodnocení odtokových charakteristik Modravského a Roklanského potoka, s využitím dat získaných automatickými hladinoměry PŘF UK a dat získaných hydrometrickým monitoringem. Hladinoměry jsou situovány na obou jmenovaných tocích v těsné blízkosti jejich soutoku. Nedílnou součástí této podkapitoly je i zhodnocení odtokové bilance těchto dvou toků ve vztahu k závěrovému profilu ČHMÚ Vydra-Modrava a určení vzájemné datové komparace s daty ČHMÚ.

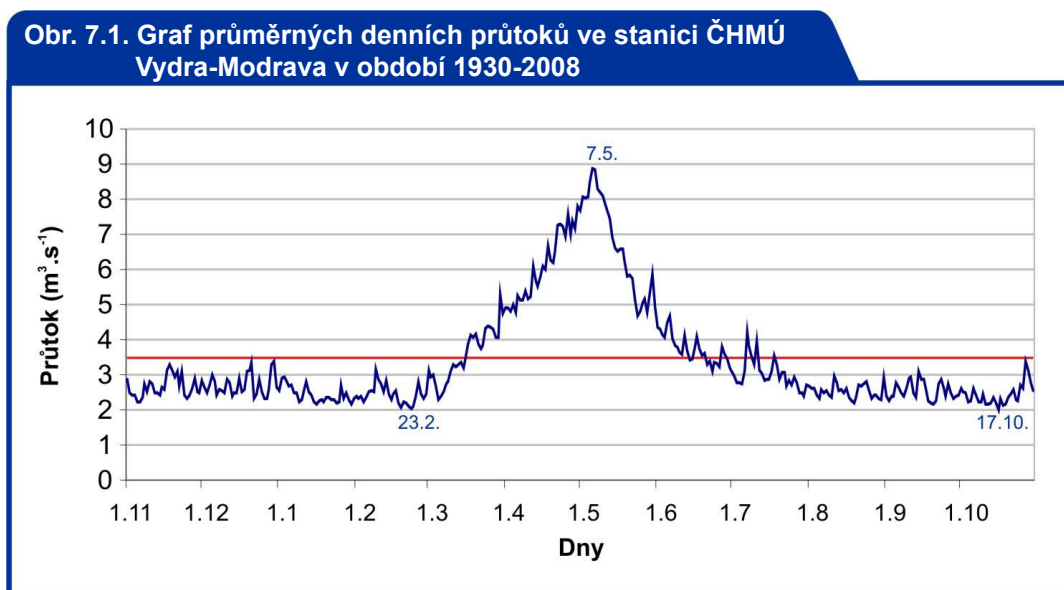
3) Třetí část bude věnována bilancování odtokových poměrů vybraných dílčích přítoků Modravského a Roklanského potoka ve vztahu k celkové vodnosti těchto toků. Využito bude dat získaných z automatických hladinměřů PŘF UK instalovaných v měrných profilech těchto přítoků. Pozornost bude věnována i na zhodnocení míry jejich variability v průběhu roku.

7.1. Odtokové charakteristiky v profilu ČHMÚ Vydra-Modrava

Odtokové poměry v profilu ČHMÚ Vydra-Modrava byly již částečně analyzovány v rámci bakalářské práce Čurdy (2007) a Jelínka (2006).

Vyhodnocením grafu chodu průměrných denních a měsíčních průtoků (obr. 7.1. a obr. 7.3.) lze označit odtokový režim jako jednoduchý, s výrazným maximem v době jarního tání sněhu. Nadprůměrné míry vodnosti z hlediska denního i měsíčního průtoku je dosahováno od března do června. Maxim v rámci roku je přitom dosahováno v dlouhodobém průměru na počátku května. Vůbec nejvodnějším dnem je z dlouhodobého hlediska 7. květen. Průtokových minim je naopak dosahováno na konci února a druhotně v říjnu.

Variabilita průměrných denních průtoků je nejvyšší v období jarního tání sněhu, pozorovat však lze i rozkolísanost v letním období způsobenou větší četností výskytu intenzivních dešťových srážek. Na variabilitě průměrných měsíčních průtoků v letním období se tato skutečnost však neprojevuje. Je to patrně zapříčiněno krátkou dobou trvání těchto dešťových epizod, které se projeví spíše jen v hodnotách denního průtoků.



Zdroj: data průměrných denních průtoků ČHMÚ Vydra-Modrava za období 1.11.1930-31.10.2008 (bez chybějícího období 1.11.1940-31.10.1948), zpracování autor

Průměrný průtok Q_a za období 1.11.1930-31.10.2008 (bez chybějícího období 1.11.1940-31.10.1948) pro stanici Vydra-Modrava je **3,406** m^3/s^{-1} . Další vypočtené odtokové charakteristiky jsou uvedeny tabulce 7. Nejvyšší zaznamenané vodní stavy a nejvyšší dosažené průměrné denní průtoky za dobu pozorování jsou uvedeny v tabulce 8 (pozn.: data o velikosti kulminačních průtoků nebyly pro účely této práce k dispozici).

Tabulka 7: Vybrané odtokové charakteristiky a charakteristiky variability v profilu Vydra-Modrava (1931-2008)

	Vydra-Modrava ČHMÚ
Dlouhodobý průměrný průtok Q_a ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	3,406
Minimální průměrný denní průtok ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	0,20 (16.2.1963)
Maximální průměrný denní průtok ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	82 (8.7.1954)
Specifický odtok (l/s/km^2)	37,982
Roční objem odtoku (km^3)	0,107
Odtoková výška (mm)	1199
Medián	2,30
Rozptyl	13,256
Decilová odchylka D (Q_d)	0,624
Variační koeficient C_v (Q_d)	1,069
Variační koeficient C_v (Q_m)	0,414
Koeficient variability K_r (Q_m)	3,792

Zdroj: data průměrných denních průtoků ČHMÚ Vydra-Modrava za období 1.11.1930-31.10.2008 (bez chybějícího období 1.11.1940-31.10.1948)

Tabulka 8: Nejvyšší zaznamenané vodní stavy a průměrné denní průtoky Vydra-Modrava (1931-2008)

Datum	VS (cm)	Datum	Q_d ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)
21.12.1993	226	8.7.1954	82
9.7.1946	205	13.4.1949	73
12.8.2002	202	21.12.1993	72,9
8.7.1954	192	31.5.1940	65,3
28.10.1935	182	21.3.2002	55,1
15.9.1998	178	15.9.1998	54,9
28.12.1948	175	18.11.1990	49

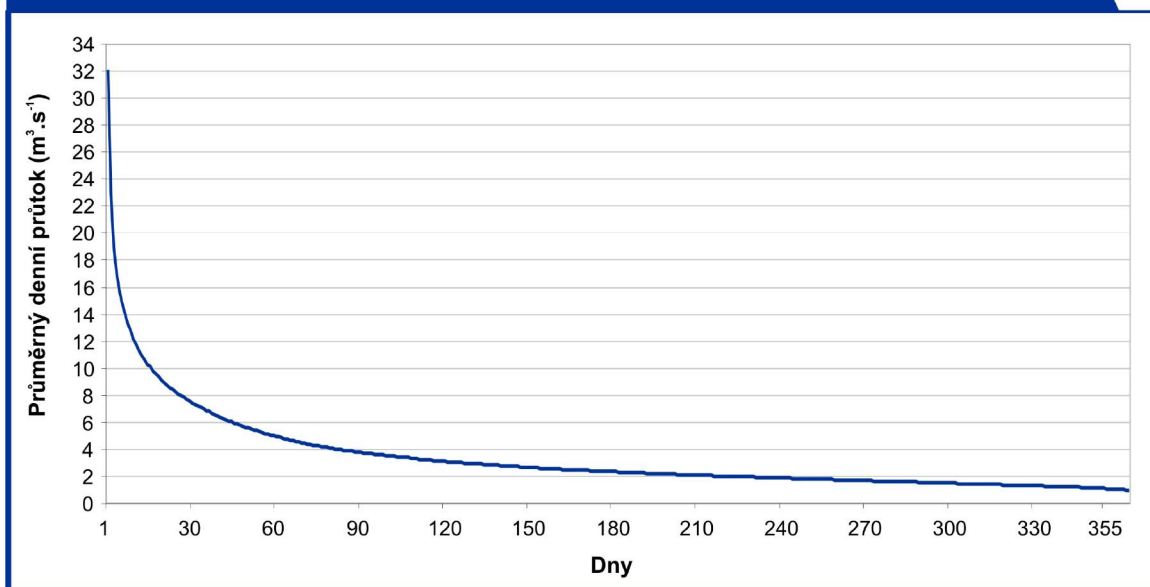
Zdroj: data průměrných denních průtoků ČHMÚ Vydra-Modrava za období 1.11.1930-31.10.2008 (bez chybějícího období 1.11.1940-31.10.1948), VS <chmi.cz>

Dobrou vypovídací hodnotu má též odvozený histogram kumulativních četností neboli čáry překročení průměrných denních průtoků (obr. 7.2.). Ten poskytuje velmi dobrou představu o variabilitě denních průtoků. Hodnoty překročení jsou označovány jako M-denní průtoky, tj. průměrný denní průtok, který je dosažen nebo překročen během M dní v roce. Data se uvádějí zpravidla v členění po 30 dnech v průběhu roku. Odvozené M-denní průtoky z období 1931-2008 jsou uvedeny v tabulce 9.

V souboru průměrných denních průtoků v hydrologických letech 1931-2008 (bez obdo-

bí 1940-1948), tedy za 70 let měření, bylo alespoň jeden den v roce dosaženo průměrného denního průtoku vyššího než $15 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ v 64 případech (91,4%), než $20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ v 57 případech (81,4%), než $30 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ve 34 případech (48,37%) a než $40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ v 18 případech (25,7%).

Obr. 7.2. Čára překročení průměrných denních průtoků Vydra-Modrava (1931-2008)



Zdroj: odvozeno z dat průměrných denních průtoků ČHMÚ Vydra-Modrava za období 1.11.1930-31.10.2008 (bez chybějícího období 1.11.1940-31.10.1948)

Tabulka 9: Hodnoty M-denních průtoků v profilu Vydra-Modrava (v období 1931-2008)

M-denní průtoky ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364
	7,554	4,993	3,808	3,114	2,676	2,346	2,087	1,877	1,684	1,494	1,312	1,106	0,984

Zdroj: odvozeno z dat průměrných denních průtoků ČHMÚ Vydra-Modrava za období 1.11.1930-31.10.2008 (bez chybějícího období 1.11.1940-31.10.1948)

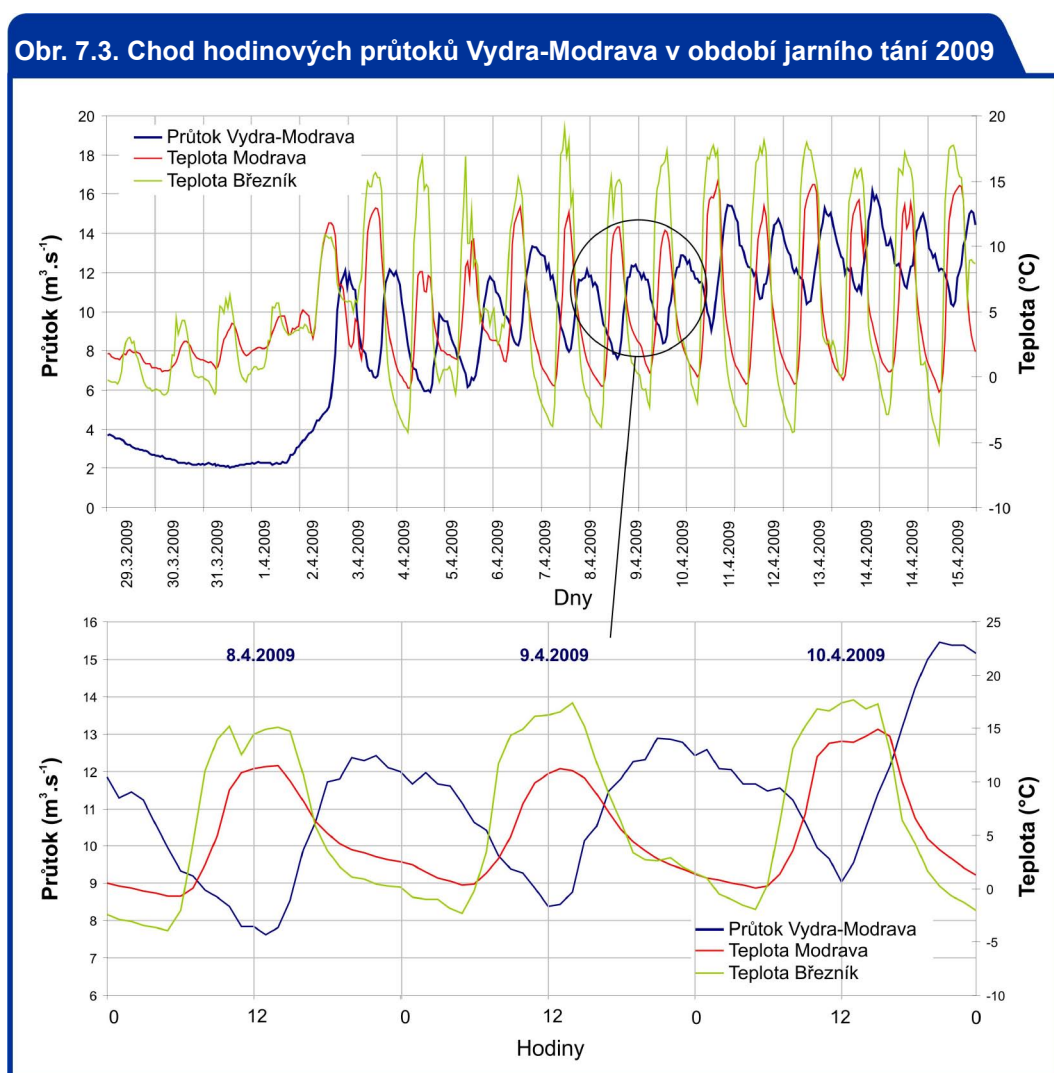
7.1.1. Chod průtoků v průběhu dne

Výrazné variability dosahuje chod průtoků i v rámci jednoho dne, zejména pak v období jarního tání. Vzhledem k tomu, že pro účely této práce nebyla k dispozici datová řada průměrných hodinových průtoků ze stanice ČHMÚ Vydra-Modrava, je pro představu o charakteru chodu průtoků v průběhu dne při jarním tání využito dat průměrných hodinových průtoků (součtu průtoku Modravského a Roklanského potoka), získaných z hladinoměřů PřF UK (problematika vzájemné komparace dat je diskutována dále v kapitole 7.2.).

Pro příklad bylo vybráno období 28.3.-15.4.2009, ve kterém docházelo k vzestupu

teploty a počátku tání sněhu. Z grafu hodinového chodu průtoku a teploty v tomto období (obr 7.3.) je patrná jasná závislost těchto dvou veličin. Jasně viditelné je zpoždění maxim hodnot průtoku v průběhu dne vůči denním maximům teplot. Zatímco teploty vzduchu dosahují maxima okolo 13-14 hodiny, průtok kulminuje mezi 20-22 hodinou.

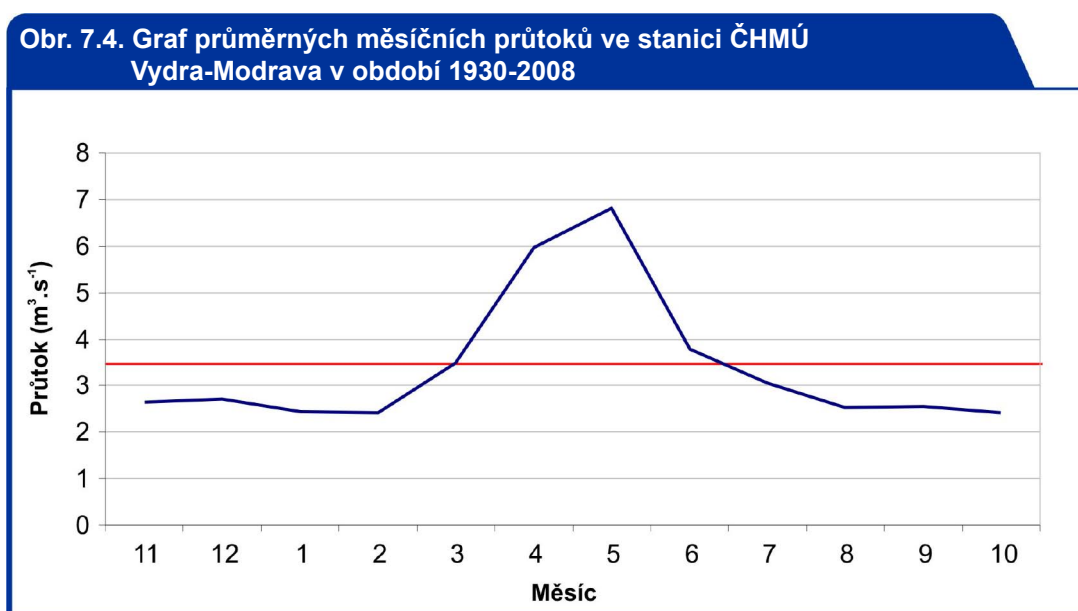
Rozdíly maximálních a minimálních hodnot průtoku v tomto období přitom v rámci jednoho dne dosahovaly 4 - 6 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, tedy i více než 1,5-násobku hodnoty dlouhodobého průměrného průtoku (!). Na tomto místě je však třeba zmínit, že výběr prezentovaného období je namátkový a v jednotlivých letech, ale i během jednoho jarního cyklu tání se variabilita průtoku mění v reakci na aktuální teplotní situaci. Hodnoty průtoku mohou být navíc jistou měrou zatíženy chybou způsobnou spolehlivostí měrných křivek. Uvedené vyobrazení má spíše ilustrativní význam.



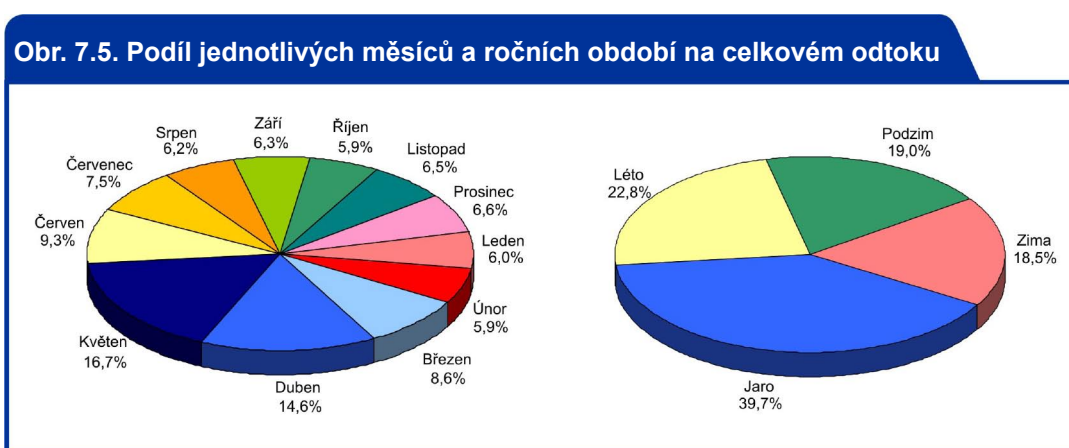
Zdroj: data z automatických hladinoměů PŘF UK v období 28.3.-15.4.2009, zpracování autor

7.1.2. Chod průměrných měsíčních průtoků

Režim odtoku lze posuzovat i z hlediska průměrných měsíčních průtoků. Vhodným ukazatelem je velikost odtoku v daném měsíci v závislosti na celkovém odtoku v roce. Z grafu chodu průměrných měsíčních průtoků v období 1931-2008 (obr. 7.4.) lze jasně pozorovat již zmíněnou nevyrovnanost měsíčních průtoků díky zvýšeným hodnotám průtoků v jarním období. Tuto skutečnost dokládá i procentuální podíl jednotlivých měsíců na celkovém odtoku, graficky vyjádřený na obr. 7.5.. Maxim odtoku je dosaženo v měsíci květnu (16,7%) a dubnu (14,6%). Zvýšenou vodnost je možno pozorovat i v březnu a červnu. Nejméně vodný je nao-



Zdroj: odvozeno z dat průměrných denních průtoků ČHMÚ Vydra-Modrava za období 1.11.1930-31.10.2008 (bez chybějícího období 1.11.1940-31.10.1948)



Zdroj: odvozeno z dat průměrných denních průtoků ČHMÚ Vydra-Modrava za období 1.11.1930-31.10.2008 (bez chybějícího období 1.11.1940-31.10.1948)

pak únor a říjen (oba 5,9%). Ostatní měsíce se na odtoku podílí podobnou měrou.

Z hlediska variability (koeficient K_r a variační koeficient C_v (Q_m) viz tabulka 7) lze chod měsíčních hodnotit jako mírně nevyrovnaný, a to zejména díky zvýšené vodnosti v období tání, zvláště pak v dubnu a květnu.

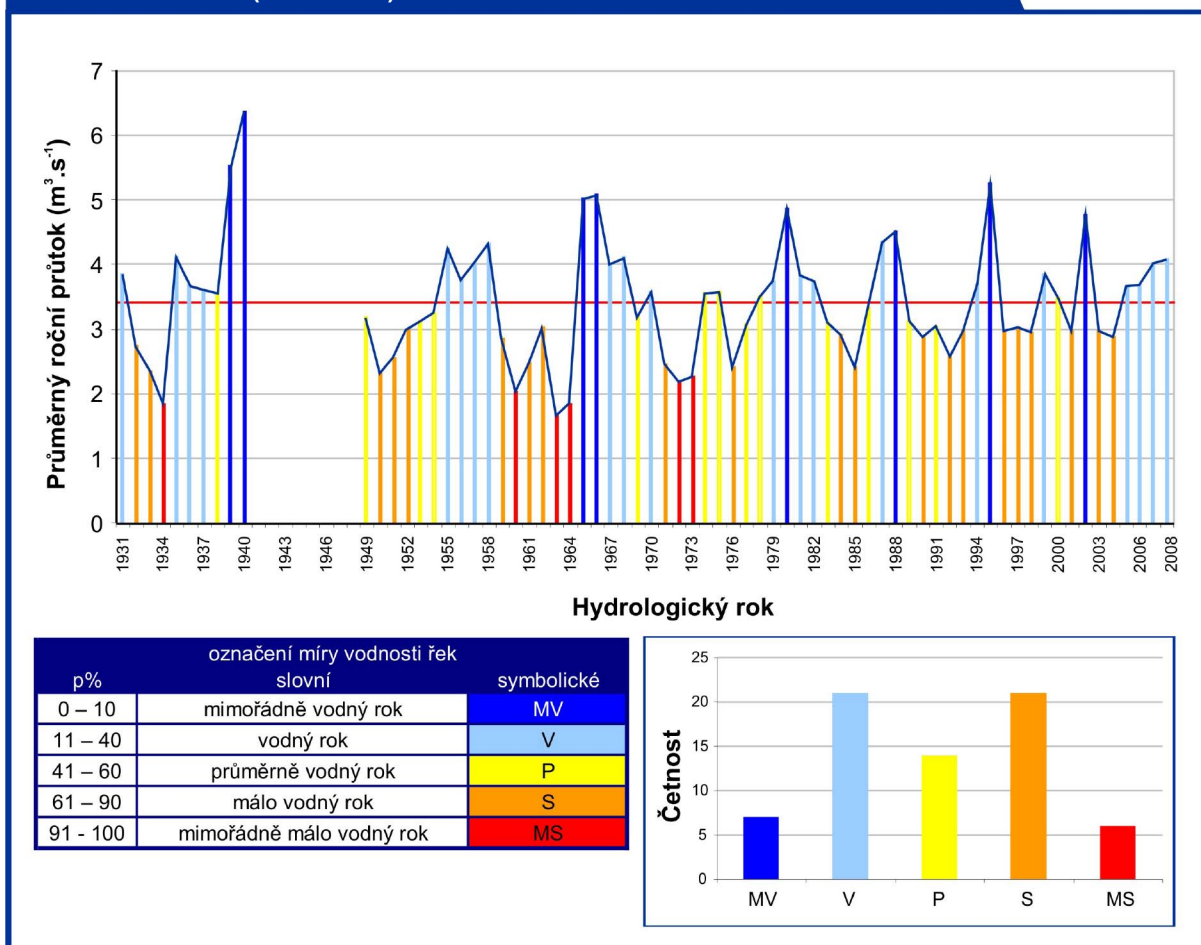
7.1.3. Režim ročních průtoků

Dostatečně dlouhá řada pozorování v profilu Vydra-Modrava nám již umožňuje sledovat i možné trendy v hodnotách průměrných průtoků jednotlivých let. Roční vodnosti řek vyjádřené jejich ročním průtokem (Q_r) se mění hlavně v závislosti na velikosti podílu hlavního zdroje napájení, v našich přírodních podmínkách hlavně na množství srážek a na jejich časovém rozložení. Významnou roli ve sledovaném území sehrává však i množství akumulovaných sněhových srážek v zimě, jejichž jarní odtok může podstatně ovlivnit velikost ročního průtoku.

Chod ročních průtoků ve sledovaném období 1931-2008 znázorňuje graf na obr. 7.6.. Tento graf zároveň pomocí barevné škály řadí jednotlivé hydrologické roky do skupin dle pravděpodobnosti překročení ročních průtoků ($p\%$). Z důvodu přehlednosti jsou však do grafu vyvedeny v odpovídajících barvách hodnoty průtoku (nikoliv hodnoty pravděpodobnosti překročení). Barevná škála však odpovídá kategorii pravděpodobnosti překročení.

Tento graf nám umožňuje sledovat jistou periodicitu v opakování mimořádně vodných roků, zejména pak v období od počátku 80 let. Z této řady lze konstatovat, že se zde epizoda mimořádně vodného roku opakuje přibližně jednou za 7 let a že mimořádně vodnému roku ve většině případů předchází rok taktéž nadprůměrně vodný. Za zmínku stojí, že od roku 2005 byly všechny roky dle pravděpodobnosti překročení v kategorii vodných roků, a vzhledem k událostem povodňových stavů a charakteru odtoku v době přípravy této práce, lze očekávat, že i rok 2009 bude nadprůměrně vodný. Grafický výstup je pro úplnost doplněn o graf četností jednotlivých roků z hlediska míry jejich vodnosti. Z něho lze vypožorovat pravidelné rozložení, tedy že počtu mimořádně vodných a vodných roků odpovídá prakticky shodný počet málo a mimořádně málo vodných roků.

Obr. 7.5. Chod ročních průtoků a pravděpodobnost jejich překročení Vydra-Modrava (1931-2008)



Zdroj: odvozeno z dat průměrných denních průtoků ČHMÚ Vydra-Modrava za období 1.11.1930-31.10.2008 (bez chybějícího období 1.11.1940-31.10.1948)

7.2. Odtokové charakteristiky Modravského a Roklanského potoka

Modravský a Roklanský potok představují páteční toky pramenné oblasti Vydry (zájmové oblasti) a znalost jejich odtokových poměrů a vzájemné bilance je klíčová pro další hodnocení odtokových poměrů v povodí.

7.2.1. Komparace průtoků s hodnotami průtoků ČHMÚ a problematika konstrukce měrných křivek

Ačkoliv problematika konstrukce měrných křivek byla již popsána v kapitole 5.1., jsou

z důvodu lepšího pochopení procesu hodnocení vzájemné komparace dat PřF s daty ČHMÚ uvedeny některé prvky v konstrukci měrných křivek na tomto místě. Jak již bylo zmíněno, při provádění hydrometrického monitoringu toků byla vyvíjena maximální snaha o postihnutí hodnot průtoku i v obdobích zvýšené vodnosti. V případě extrémních průtoků však nebylo možno tato měření provádět, nejen z technických, ale i z bezpečnostních důvodů. Data o průtocích tak mohla být pořízena jen v určitém rozsahu vodnosti. V případě Roklanského potoka bylo při konstrukci měrné křivky nutno vyřešit skutečnost, že tato křivka dosahovala v daném intervalu vysoké spolehlivosti, avšak v oblasti mimo tyto intervaly (zejména v oblasti vysokých průtoků) docházelo k výraznému nadhodnocení či naopak podhodnocení velikosti průtoku. Pro řešení tohoto problému bylo třeba s využitím naměřených dat extrapolovat měrnou křivku do oblasti vysokých průtoků. Pro extrapolaci měrné křivky do oblasti vysokých průtoků existuje řada postupů (matematická extrapolace, hydraulický výpočet, fyzikální modelování). Využití některých z těchto postupů by však z důvodu vysokých požadavků na vstupní data překračovalo rámeček této práce. Použito bylo tedy metody matematické extrapolace, jež je založena na principu proložení známé konzumpční křivky polynomem n -tého stupně a následné extrapolaci. S ohledem na možné budoucí využití hladinoměru PřF UK v systému integrované protipovodňové ochrany byla pozornost soustředěna zejména na nalezení co největší míry komparace dat o průtoku, získaných výpočtem z hodnot vodních stavů pořízených automatickými hladinoměry na Roklanském a Modravském potoce, s průtoky pořízenými ČHMÚ v profilu Vydra-Modrava. Součet průtoku Modravského a Roklanského potoka by měl, vzhledem k vzájemné bezprostřední blízkosti těchto stanic, odpovídat průtoku řeky Vydry v profilu ČHMÚ. Z předchozích hydrometrických měření, prováděných ve shodných termínech, byl přitom znám přibližný podíl těchto toků na celkové vodnosti Vydry. Pozornost byla tedy kladena zejména na vzájemnou komparaci průtoků s přihlédnutím k hodnotám tohoto podílu. Zejména pak byla snaha o vyšší shodu v oblasti vysokých průtoků. Měrné křivky byly nejprve pro zhodnocení míry vzájemné shody otestovány při výpočtu průměrných denních průtoků Modravského a Roklanského potoka v období 1.11.2007-31.10.2008. Odchyly součtu hodnot těchto průtoků (teoretický průtok Vydry ve stanici Modrava - v práci značeno jako Vydra-Modrava PřF) od průtoků ČHMÚ, byly posléze ještě mírně zkorigovány pomocí úpravy hodnot extrapolovaných

bodů tak, aby bylo dosaženo maximální spolehlivosti. Obě křivky byly po této korekci znovu testovány při výpočtu na stejném kalibračním období a pro ověření jejich funkce byly testovány na období zvýšené vodnosti 16-20.4.2009. V obou těchto případech srovnání průtoku Vydry ve stanici Modrava (data PřF UK a data ČHMÚ) dosáhly koeficienty determinace (EC) hodnot vzájemné shody odpovídající 96,8% (1.11.2007-31.10.2008), resp. 96,3% (16-20.4.2009). Výsledná podoba těchto křivek je uvedena na obr. 5.1..

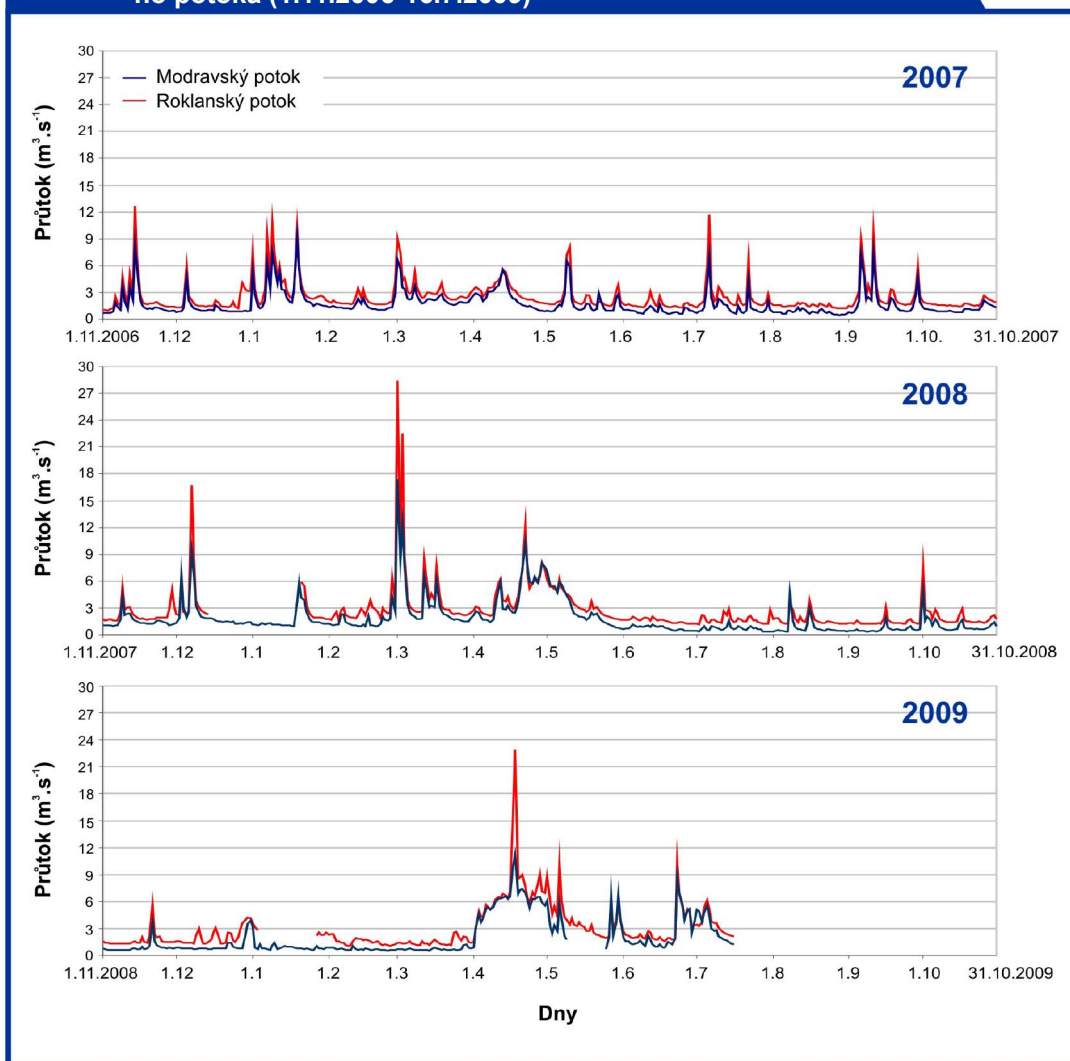
7.2.2. Chod průtoků Modravského a Roklanského potoka

Za využití měrných křivek průtoku získaných postupem uvedeným v předcházející podkapitole a dat vodních stavů (pořizovaných v desetiminutovém kroku) z automatických hladinměřů PřF UK instalovaných na Modravském a Roklanském potoce, bylo možno získat představu o chodu denních průtoků těchto toků v období od 1.11.2006-16.7.2009. Sledované období je z dlouhodobého hlediska nadprůměrně vodné (jak vyplývá z rozboru ročních průtoků z dat ČHMÚ). Patrná je však závislost velikosti průtoku a celkového charakteru odtoku v jednotlivých letech na velikosti sněhové pokrývky. Její tání zapříčiňuje výrazné zvýšení vodnosti v jarním období. Zimní sezónu 2006/2007 lze s ohledem na množství akumulované sněhové pokrývky hodnotit jako velmi podprůměrnou, čemuž odpovídají nižší hodnoty průtoků v době jarního tání 2007 ve srovnání s obdobím tání roku 2008 (ačkoliv zima 2007/2008 byla sněhově taktéž podprůměrná) a 2009. Nejvíce patrný je vzestup průtoků v jarním období hydrologického roku 2009, což je patrně způsobeno tím, že zimní sezóna 2008/2009 byla z hlediska množství sněhové pokrývky nejbohatší ve sledovaném období.

Chod průtoků obou jmenovaných toků si vzájemně odpovídá, výraznější odchylky v denním chodu nejsou patrné. Tento fakt nasvědčuje tomu, že příčinné faktory nejčastěji postihují plošně obě povodí. Je však pravděpodobné, že v rámci jednotlivých částí povodí může být jejich intenzita odlišná. Ze získaných dat vyplývá, že Roklanský potok se ve sledovaném období 1.11.2006-16.7.2009 na celkové vodnosti Vydry v profilu Modrava podílí přibližně **59,7%** (ku **40,3%** - Modravský potok). Tento fakt mimo jiné potvrdil platnost sestavených

měrných křivek i mimo kalibrační období (1.11.2007-31.10.2008), neboť tomuto poměru přibližně odpovídal i poměr průtoků zjištěný při hydrometrickém monitoringu, který byl využit při konstrukci měrných křivek. Graf denních průtoků v jednotlivých letech je uveden na obr 7.6., hodnoty průměrných ročních průtoků obou těchto toků ve sledovaném období a jejich podíl na celkové vodnosti lze sledovat v tabulce 10. Na tomto místě je však nutno zmínit, že doba pozorování je velmi krátká a hodnocené období navíc svým charakterem zřejmě vybočuje z dlouhodobého průměru (je nadprůměrně vodné). Na zkreslení průměrného průtoku má vliv i započtení průměru jen z části hydrologického roku 2009 (do 16. července), který vzhledem k obecně nižším hodnotám průtoků v srpnu, září a říjnu bude ve výsledku dosahovat zřejmě nižší hodnoty průměru. Z tohoto důvodu jsou uvedeny i průměrné průtoky za jednotlivé roky.

Obr. 7.6. Chod průměrných denních průtoků Roklanského a Modravského potoka (1.11.2006-16.7.2009)



Zdroj: data z automatických hladinoměřů PŘF UK Roklanský a Modravský potok, 1.11.2006-16.7.2009, zpracování autor

Tabulka 10: Hodnoty průměrných průtoků Modravského a Roklanského potoka a jejich podíl na celkové vodnosti v profilu Vydra-Modrava (2007-2009)

Tok	ČHMÚ		PřF UK						2007-2009	Podíl na vodnosti
	2007	2008	2007	Podíl na vodnosti	2008	Podíl na vodnosti	2009	Podíl na vodnosti		
Průměrný průtok: Vydra-Modrava ($m^3 \cdot s^{-1}$)	4,020	4,071	4,243	%	4,562	%	5,035	%	4,613	%
Modravský p.			1,740	41,0	1,819	39,9	2,011	39,9	1,857	40,3
Roklanský p.			2,503	59,0	2,743	60,1	3,025	60,1	2,757	59,7

Zdroj: data ČHMÚ, data z automatických hladinoměrů PřF UK (1.11.2006-16.7.2009), zpracování autor

Vybrané odtokové charakteristiky Roklanského a Modravského potoka jsou uvedeny v tabulce 11.

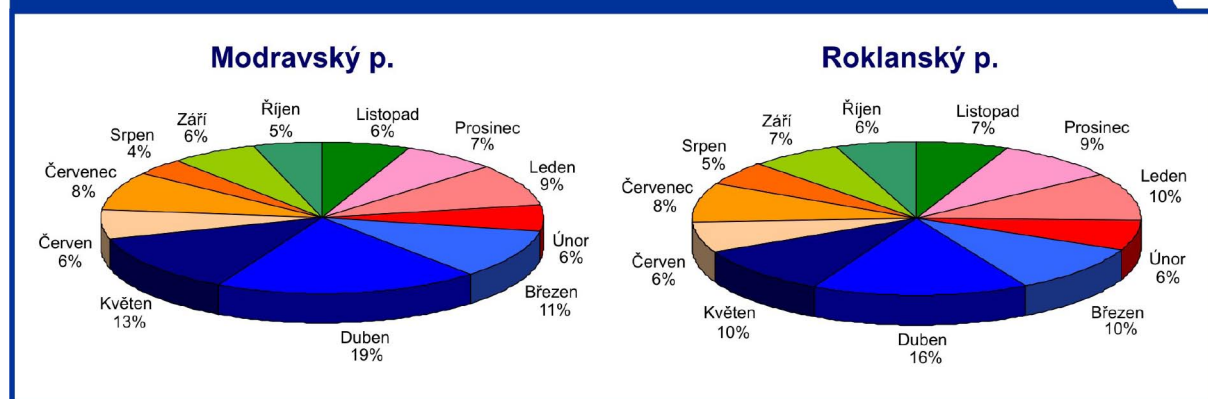
Tabulka 11: Vybrané odtokové charakteristiky Vydry, Modravského a Roklanského potoka (2007-2009)

	Modravský p.	Roklanský p.	Vydra-Modrava PřF
Plocha (km^2)	42,089	47,586	89,675
Dlouhodobý průměrný průtok Q_a ($m^3 \cdot s^{-1}$)	1,857	2,757	4,613
Minimální průměrný denní průtok ($m^3 \cdot s^{-1}$)	0,320 (7.8.2008)	0,965 (3.11.2007)	1,518 (7.8.2008)
Maximální průměrný denní průtok ($m^3 \cdot s^{-1}$)	17,442 (1.3.2008)	28,448 (1.3.2008)	45,890 (1.3.2008)
Specifický odtok ($l/s/km^2$)	44,121	57,937	51,441
Roční objem odtoku (km^3)	0,059	0,087	0,146
Odtoková výška (mm)	1392	1828	1623
Variační koeficient C_v (Q_d)	0,963	0,807	0,852
Variační koeficient C_v (Q_m)	0,660	0,458	0,532
Koeficient variability K_r (Q_m)	4,390	3,161	3,580

Zdroj: data z automatických hladinoměrů PřF UK (1.11.2006-16.7.2009), zpracování autor

Vyšší rozkolísanost v režimu denních i měsíčních průměrných průtoků vykazuje Modravský potok, což je pravděpodobně zapříčiněno vyšší rozkolísaností průtoků tohoto toku v době jarního tání. Dokládají to jednak spočtené hodnoty ukazatelů variability denních a měsíčních průtoků (tabulka 12.) ale i graf procentuálního zastoupení jednotlivých měsíců na celkovém odtoku (obr 7.7.). Lze tedy usuzovat o vyšší citlivosti Modravského potoka na průběh tání sněhové pokrývky. Je však třeba opět vzít v úvahu krátkou dobu pozorování.

Obr. 7.7. Podíl jednotlivých měsíců na ročním odtoku (Roklanský a Modravský potok)



Zdroj: data z automatických hladinoměrů PřF UK (1.11.2006-31.10.2008), zpracování autor

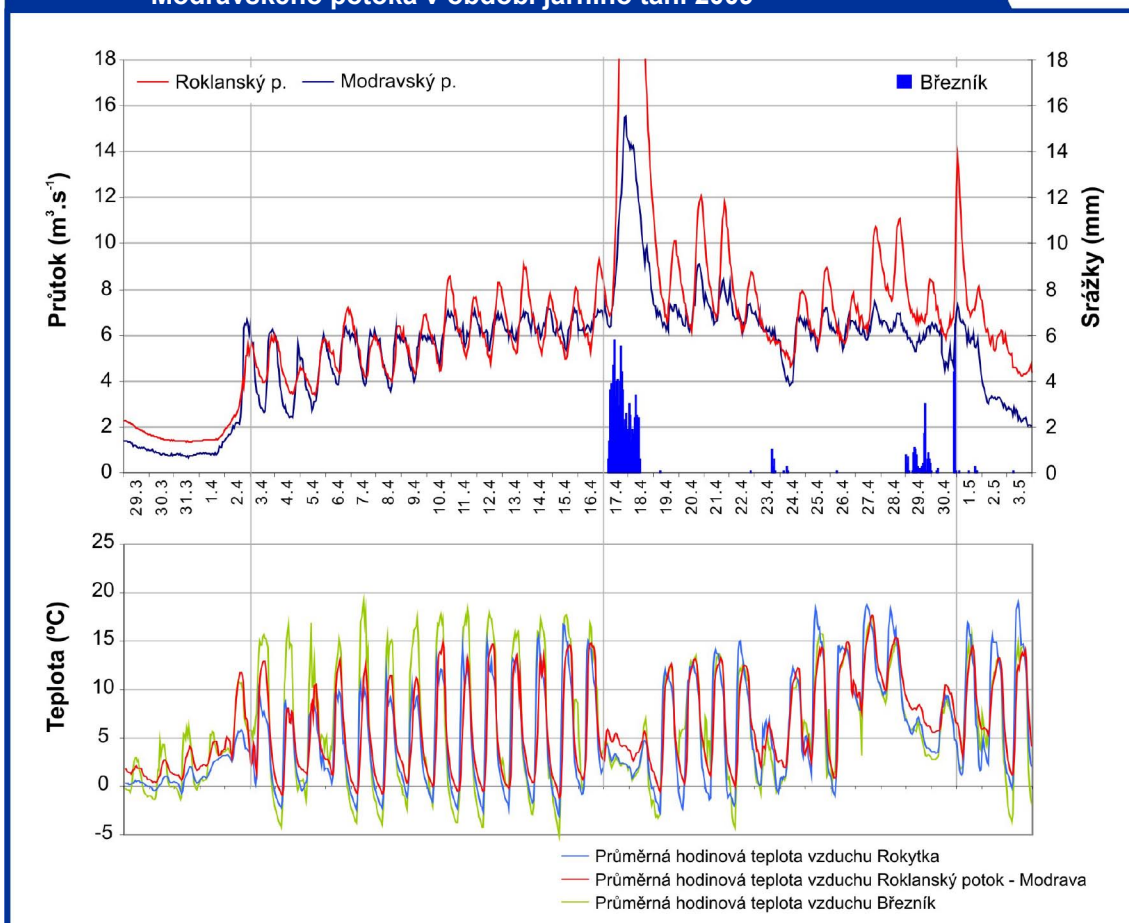
Tabulka 12: Hodnoty variačního koeficientu Cv a koeficientu variability Kr v jednotlivých letech

	Cv (Qd)			Kr (Qm)	
	2007	2008	2009	2007	2008
Modravský potok	0,778	1,069	1,044	3,892	6,548
Roklanský potok	0,663	0,927	0,830	2,917	4,589
Vydra-Modrava PŘF	0,704	0,960	0,893	3,213	5,338

Zdroj: data z automatických hladinoměřů PŘF UK 1.11.2006-16.7.2009, zpracování autor

Hodinový chod průtoků, teploty a srážek v průběhu jarního tání z let 2008 a 2009 je uveden na obr 7.8, resp. obr 7.9. Výrazná je značná rozkolísanost průtoků obou toků i v rozmezí $2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ v průběhu dne (!). Pozorovat lze však i značné odchyly ve srovnání rozkolísanosti jednotlivých toků a to i z pohledu jednotlivých let. Tento fakt může být ovlivněn značným množstvím faktorů, neboť v jednotlivých letech bylo rozdílné množství akumulované sněhové pokrývky, která je navíc i odlišně prostorově distribuována a akumulována. Značných rozdílů vykazuje i chod teplot v jednotlivých stanicích. Ty mohou, mimo vlivu nadmožské výšky, být v jednotlivých částech povodí lokálně ovlivněny vlivy orografie. Nezanedbatelný vliv má i časo-

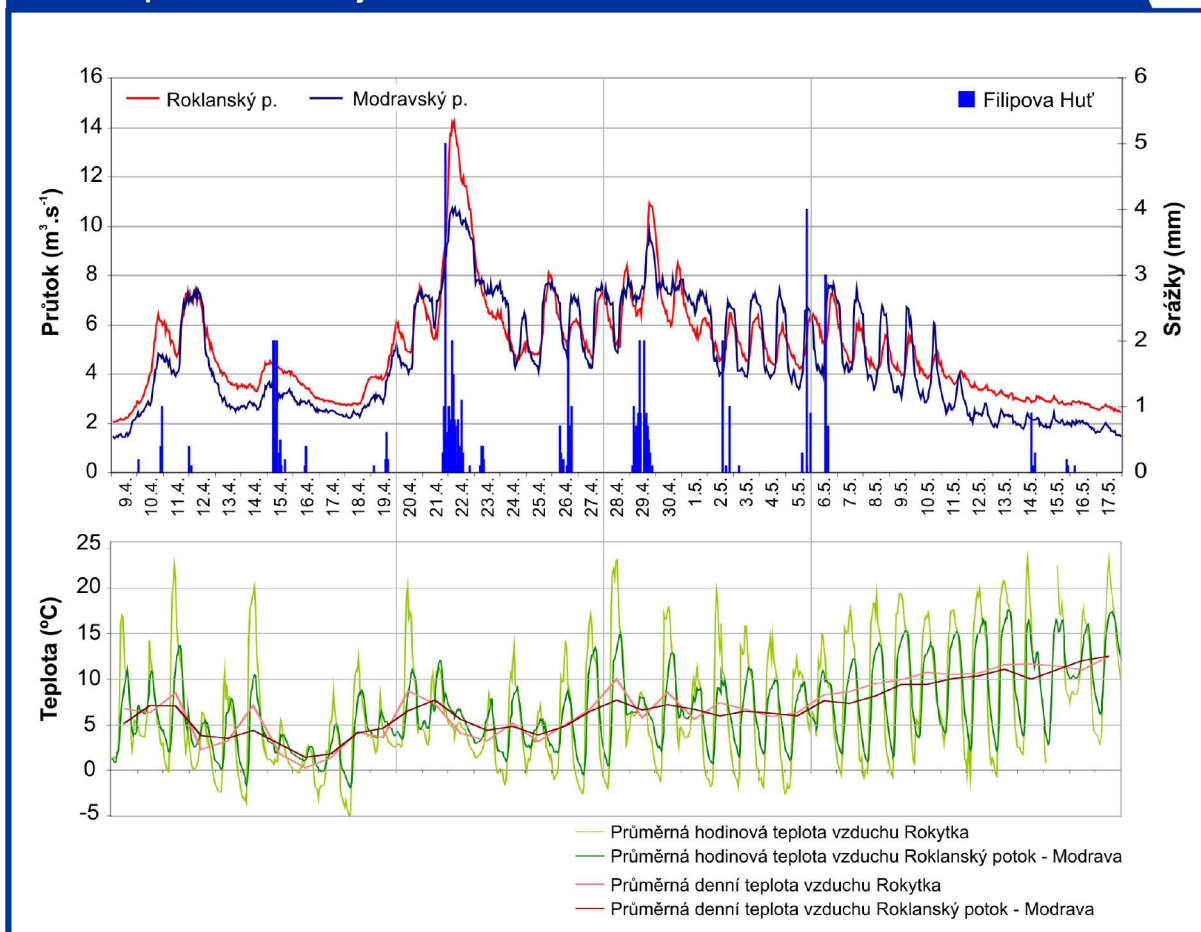
Obr. 7.8. Chod hodinových průtoků, srážek a teploty Roklanského a Modravského potoka v období jarního tání 2009



Zdroj: data PŘF UK (29.3.-3.5.2009), zpracování autor

vé rozložení srážek, rozdílné fyzicko-geografické parametry dílčích povodí atd. Vliv všech těchto faktorů a vliv mnoha dalších jen dokládá složitost popisu srážko-odtokových vztahů a pro jejich pochopení je třeba hlubšího rozboru jednotlivých komponent. Tento rozbor však není předmětem této práce a k hlubšímu pochopení této problematiky je třeba dlouhodobého pozorování a soustavného zpřesňování výsledků.

Obr. 7.9. Chod hodinových průtoků, srážek a teploty Roklanského a Modravského potoka v období jarního tání 2008



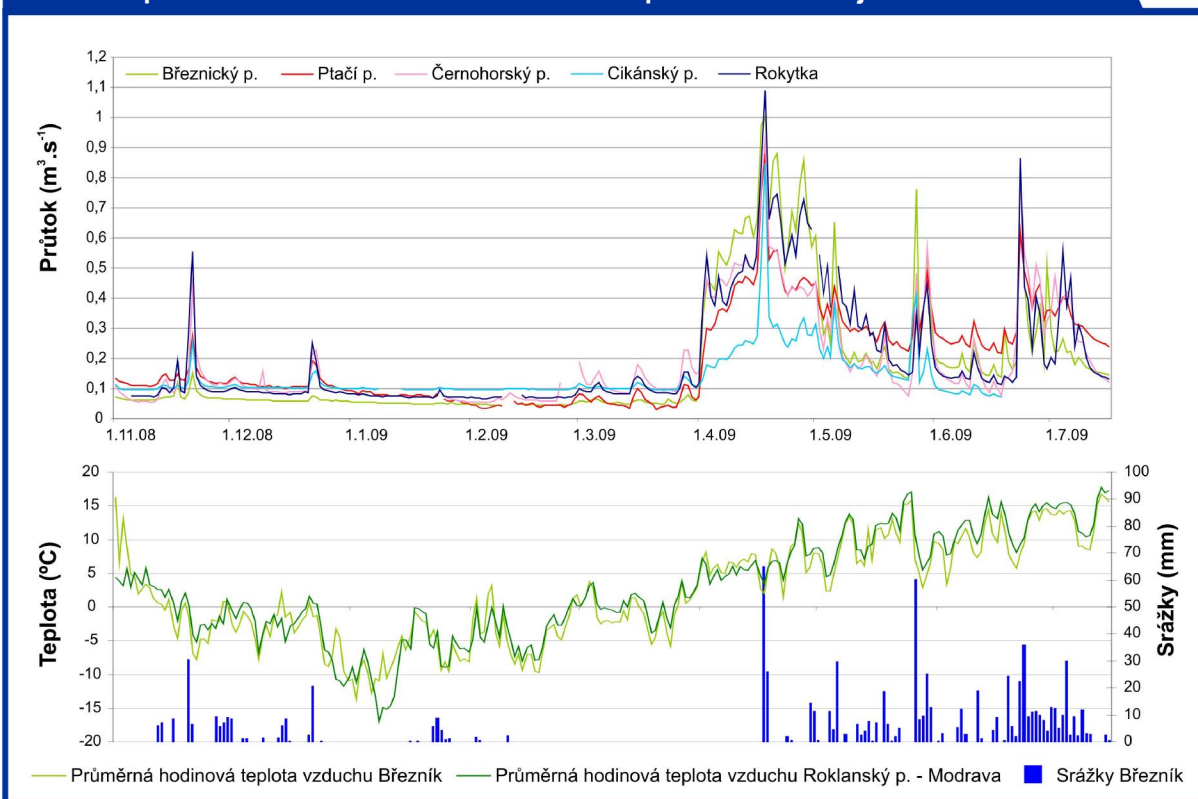
Zdroj: data PŘF UK (9.4.-17.5.2008), zpracování autor

7.3. Režim odtoku dílčích přítoků Modravského a Roklanského potoka

Na vybraných přítocích Modravského a Roklanského potoka byl pravidelně prováděn hydrometrický monitoring a tyto toky byly opatřeny automatických hladinoměry. Ty pořizují údaje o vodním stavu v desetiminutovém kroku. Vzhledem k faktu, že instalace měřící techniky na dílčích přítocích probíhala v několika časových krocích, je na jednotlivých tocích rozdílná délka doby pozorování. Pro posouzení vzájemné bilance odtoku bylo vybráno období, kdy byly již v provozu všechny hodnocené hladinoměry, tj 1.11.2008-16.7.2009. Následující kapitola si klade za cíl podat základní představu o chodu průtoků a vzájemné bilanci těchto toků vzhledem k celkové vodnosti v hodnoceném období.

Chod průměrných denních hodnot průtoků, teploty a srážek v měrných stanicích PŘF v období 1.11.2008-16.7.2009 lze sledovat na obr. 7.10. Dobře patrný je opět nástup jarního tání počátkem dubna 2009 daný reakcí na vzestup průměrných denních teplot k hodnotám nad

Obr. 7.10. Chod denních průměrných průtoků, teploty a úhrnu srážek v dílčích povodích Roklanského a Modravského potoka v období jarního tání 2009



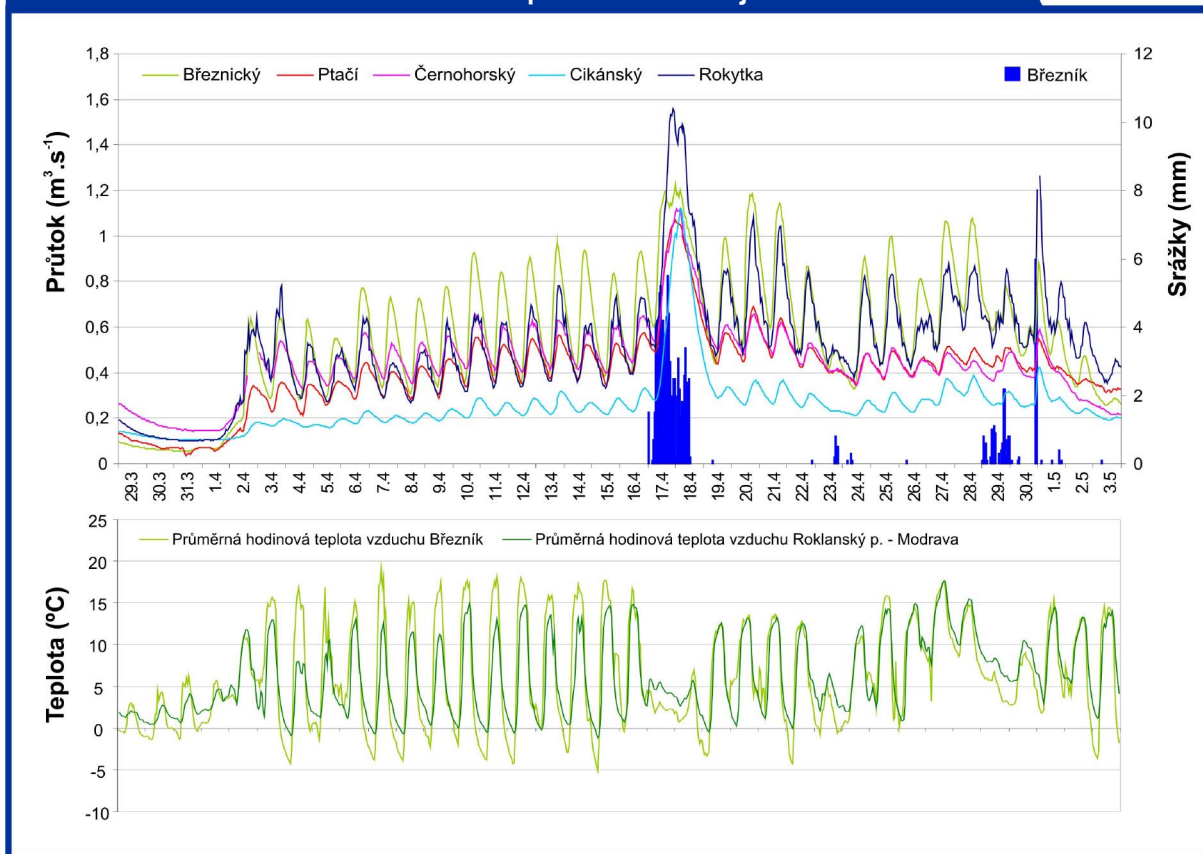
Zdroj: data PŘF UK (1.11.2008-16.7.2009), zpracování autor

5 °C. V druhé polovině dubna, května a června jsou pak jasně identifikovatelné epizody vyšších průtoků v důsledku výskytu intenzivních atmosférických srážek. Jasně patrná je zejména rozdílná reakce průtoku jednotlivých toků v těchto hydrologických situacích. Těmto epizodám bude věnována bližší pozornost v samostatné kapitole.

Nejvyšší rozkolísanost ve sledovaném období vykazuje Březnický potok a Rokytky, zejména kvůli průběhu odtoku během jarního tání. Naopak velmi nízkou rozkolísanost vykazuje potok Cikánský. Za zmínku stojí, že na tomto toku, jehož povodí se vyznačuje nejvyšším podílem lesnatosti (údaje z Corine 2006) ale i podílem plochy rašelinišť v rámci zájmového území, byla provedena revitalizace, spočívající v hrazení původních melioračních kanálů. Vyrovnaný průběh odtoku tak vede k domněnce, že provedené úpravy mohou stabilizovat chod průtoku z hlediska jeho ročního průběhu.

Signifikantní proces tání sněhu v jarním období 2009 je nejlépe patrný z grafu průměrných hodinových průtoků, teploty a srážek z tohoto období (obr. 7.11.). Dobře pozorovatelná

Obr. 7.11. Chod hodinových průtoků, srážek a teploty v dílčích povodích Roklanského a Modravského potoka v období jarního tání 2009



Zdroj: data PŘF UK (29.3.-3.5.2009), zpracování autor

je opět vysoká rozkolísanost Březnického potoka a Rokytky. Naopak nízká je rozkolísanost potoka Cikánského. Zcela odlišná je však reakce průtoku na výskyt atmosférických srážek dne 18.4.2009, kdy došlo k prudkému vzestupu vodnosti všech toků. Je zřejmé, že průtok Cikánského potoka vykázal nejmarkantnější vzestup. Této události se budeme detailněji věnovat v samostatném rozboru v následující části této práce.

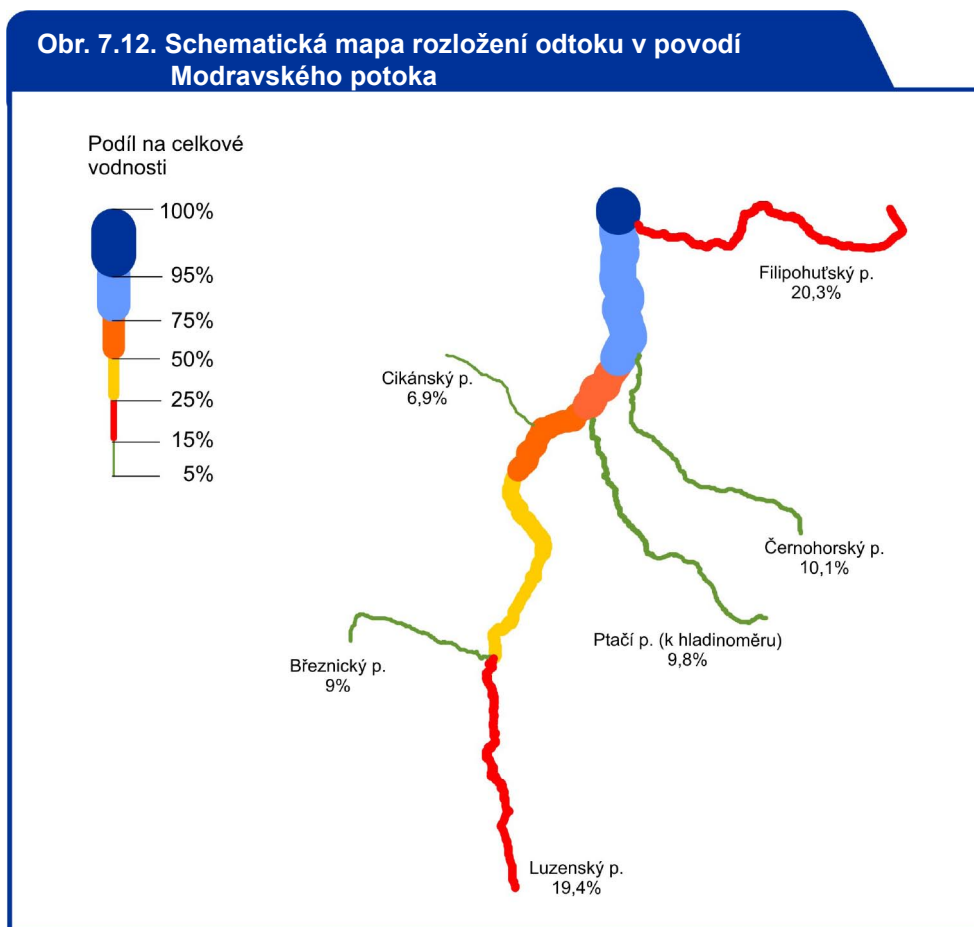
7.3.1. Bilance průtoku jednotlivých toků ve vztahu k celkovému průtoku v profilu Vydra-Modrava

Jedním ze záměrů pravidelného hydrometrického monitoringu průtoku bylo i utvoření základní představy o velikosti a podílu průměrného průtoku, kterou se jednotlivé dílčí toky podílejí na celkové vodnosti v závěrovém profilu. Průměrné průtoky dílčích toků byly získány výpočtem z dat naměřených automatickými hladinoměry v období, kdy již byly monitorovány všechny toky (1.11.2008-16.7.2009). V případě toků, které nejsou opatřeny měřicí technikou, byla celková vodnost určena s využitím vypočteného vzájemného průměrného podílu průtoku jednotlivých toků, který byl získán při týdenních hydrometrických měrných kampaních. Při nich byly ve stejném dni opakovaně měřeny všechny hodnocené toky. Tento vypočtený vzájemný podíl byl vztažen k průměrným průtokům v hodnoceném období. Je však třeba upozornit, že takto vypočtené hodnoty mohou být zatíženy vyšší chybou.

Na základě hodnot průměrných průtoků bylo možno sestavit schematickou mapu rozložení odtoku v povodí Modravského potoka (obr 7.12.). Procentuální podíl na celkové vodnosti je vyjádřen tloušťkou čáry a pro větší přehlednost jsou navíc jednotlivé intervaly vymezeny barevně. Je však třeba zmínit, že procentuální podíly přítoků jsou vztaženy k měrným profilům těchto toků, jež jsou povětšinou situovány v blízkosti soutoku s Modravským potokem (s výjimkou Ptačího potoka a Rokytky). V jednotlivých částech toku Modravského potoka, kde není známa přesná velikost průtoku je podíl odhadnut. Mapa má spíše schematický charakter.

Ze sestavené schematické mapy je patrné, že nejvyšší podíl na celkové vodnosti má Filipohuťský a Luzenský potok. Oba se na celkové vodnosti Modravského potoka podílejí přibližně z 20%. Černohorský, Ptačí i Březnický potok se podílejí na celkové vodnosti vel-

mi podobnou měrou, tj každý z cca 10%. Nejmenšího podílu na celkové vodnosti dosahuje, i vzhledem k menší ploše povodí Cikánský potok, přibližně 7%. Hodnoty průměrných průtoků a procentuální bilanci je též možno sledovat v tabulce 13.



Zdroj: data PŘF UK (1.11.2008-16.7.2009), zpracování autor

Tabulka 13: Hodnoty průměrných průtoků a podílu jednotlivých toků na celkovém odtoku v povodí Modravského potoka

Potok	Průměrný průtok (m ³ .s ⁻¹)	Podíl odtoku na celkovém (%)	Plocha povodí (km ²)	Podíl plochy povodí na celkové ploše (%)
Modravský	2,011		42,089	
Březnický	0,182	9,0	3,415	8,1
Ptačí	0,196	9,8	5,507	13,1
Černohor	0,202	10,1	6,090	14,5
Cikánský	0,138	6,9	2,174	5,2
Luzenský	0,389	19,4	7,864	18,7
Filipohuťský	0,409	20,3	7,867	18,7
Přítoky celkem	1,516	75,4	32,916	78,2

Zdroj: data PŘF UK (1.11.2008-16.7.2009), zpracování autor

Na Roklanském potoce nejsou, vzhledem k obtížné dostupnosti, monitorovány některé významnější přítoky (Novohuťský potok). Pro některé měřené profily navíc nebylo mož-

no dosud sestavit odpovídající konzumpční křivky. Z tohoto důvodu nebylo možno prozatím sestavit relevantní mapu rozložení odtoku.

8. HODNOCENÍ VYBRANÝCH EXTRÉMNÍCH EPIZOD

V této části práce bude podrobena hlubšímu rozboru několik vybraných povodňových (průtokových) epizod, které se vyskytly ve sledovaném období 1.11.2006-16.7.2009 a jsou zajímavé z hlediska jejich dosažené extremity. Snaha je soustředěna zejména na vzájemné posouzení průběhu odtoku jednotlivých toků a nalezení možné souvislosti v ovlivnění odtokové odezvy v závislosti na specifických fyzicko-geografického prostředí jejich povodí.

8.1. Kritéria výběru epizod a způsob identifikace dnů jejich průběhu

Jako kritérium pro výběr hydrologických epizod označených za povodeň, byl zvolen průtok, který na Vydře v profilu Modrava dosáhl v kulminaci úrovně 1-letého průtoku ($Q_1 = 29 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ - údaj ČHMÚ). Výběr probíhal z datové řady průtoku Vydry, získané součtem dat průtoku Modravského a Roklanského potoka v období 1.11.2006-16.7.2009. V případě vícevrcholových vln byly za samostatné povodně považovány ty vlny, jejichž vrcholy byly od sebe vzdáleny alespoň 3 dny a kdy průtok poklesl v těchto dnech na polovinu kulminačního průtoku první vlny.

Tabulka 14: Hodnoty N-letých průtoků ve stanici Vydra-Modrava

N-leté průtoky: ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	Q1	Q5	Q10	Q50	Q100
	29	52	64	101	120

Zdroj: údaje ČHMÚ

Vzhledem k tomu, že uvedené parametry splnily ve sledovaném „pouze“ 3 epizody (7.12.2007, 1.3.2008, 18.4.2009) byla zařazena do hodnocení i další epizoda z roku 2009, která sice úrovně 1-letého průtoku na Vydře nedosáhla, ale významně se projevila na ostatních tocích horní Otavy a její popis by vzhledem k získaným datům mohl pomoci objasnit některé prvky povodňového mechanismu zájmového území.

K identifikaci jednotlivých dnů povodně byl využit způsob, kdy se den výskytu kulminace nazývá jako DD, dny které mu předcházely jsou D-1, D-2..., D-8, dny které následovaly D-1, D+2..., D+5. Hodnoceno je vždy v hodinovém kroku období D-8 až D+5.

8.2. Povodeň 1.3.2008

8.2.1. Hydrometeorologická situace

Na přelomu února a března 2008 určovala charakter atmosférické cirkulace hluboká tlaková níže pojmenovaná Emma, která se přesouvala ze severního Atlantiku (29.2.) přes jižní Skandinávii (1.3.) nad Pobaltí (2.3.) a Rusko (3.3.) (zpráva ČHMÚ). Na jižním okraji této fronty postupovaly v silném západním proudění jednotlivé frontální systémy přes západní a střední Evropu k východu.

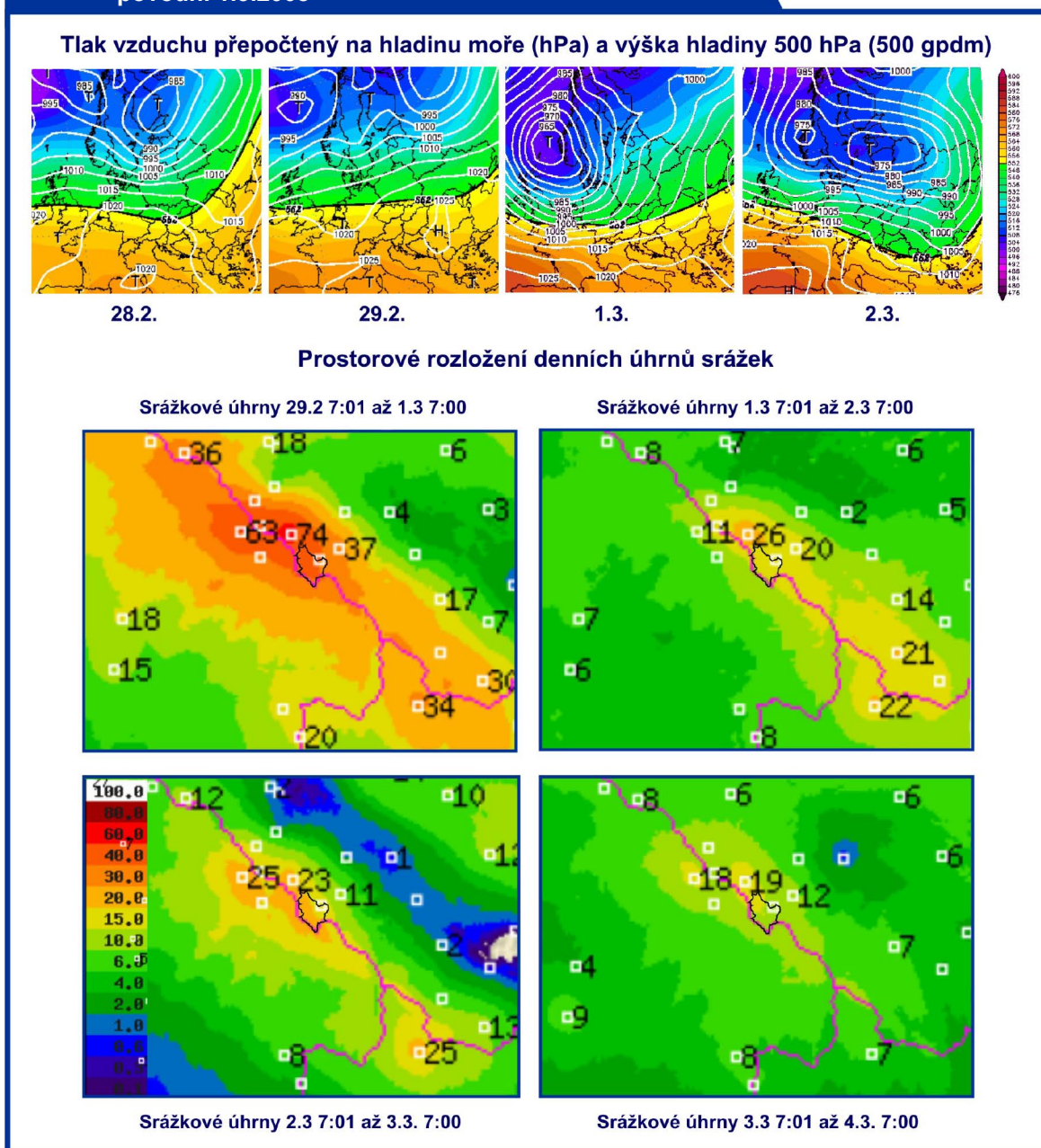
První z frontálních systémů (tento ještě s Emmou bezprostředně nesouvisel) přecházel přes území ČR v pátek 29.2. během dne a přinesl srážky na jih Čech. Na Šumavě napadlo 10 až 20 mm srážek, přičemž v polohách nad 1100 m zpočátku sněžilo, ale později i zde srážky přešly v déšť.

Další frontální systém následoval 1.3.. Jeho teplá fronta přecházela ve druhé polovině noci (z 29.2.) a brzo ráno, studená fronta pak během dopoledne 1.3.. Srážky byly poměrně vydatné a ve formě deště se vyskytovaly i v horských polohách. Nejvíce srážek vypadlo na návětrných hřebenových partiích Šumavy, kde do rána 1.3. napršelo ve stanici Filipova Huť více jak 40mm za 24h (ve stanici Prášily se 5 po sobě následujících hodin držel srážkový úhrn kolem 8 mm/h. Naměřený denní úhrn srážek 81,9 mm je u této stanice nejvyšší březnový úhrn zaznamenaný za dobu pozorování (ČHMÚ)).

Po snížení intenzity dešťových srážek po přechodu zmíněného frontálního systému se další srážky vyskytly 2.3.2008. Srážky pokračovaly i během 3.3.2008 a 4.3.2008. Jejich intenzita již byla menší, ale na Šumavě se i v horských polohách jednalo zpočátku o déšť, který dále ovlivňoval odtok z povodí.

Srážky ve dnech 29.2. až 4.3. byly výrazně orograficky zesíleny především v centrální části Šumavy. Významně se projevil velmi silný jihozápadní vítr, který doprovázel příčinnou synoptickou situaci. Synoptický typ byl ve dnech D-8 až D+4 vždy Wc (dle kalendáře synoptických typů na stránkách ČHMÚ).

Obr. 8.1. Prostorové rozložení srážek a chod tlaku vzduchu při povodni 1.3.2008



Zdroj: <wetterzentrale.de>, zpráva o povodni 1.3.2008 <chmi.cz>, upraveno

8.2.2. Nasycenost povodí a stav sněhové pokrývky

Pro posouzení půdní nasycenosti v povodí byl použit tzv. index předchozích srážek UPS (v zahraniční literatuře označovaný jako API), který je založen na váženém součtu srážek za předchozích 30 dní (Vlasák, 2008). Váha srážkového úhrnu klesá s narůstající časovou vzdáleností od dne, pro který je výpočet prováděn. Vzorec s optimálním evapotranspiračním koefi-

cientem 0,93 pro vážení srážek upravil pro prostor České republiky Hladný (Hladný, 1962 In Vlasák, 2008):

$$UPS = \sum_{i=1}^{i=30} SRA_i * 0,93$$

i... je pořadové číslo dne zpětně od vztažného dne (i = 0 pro vztažný den)

SRA... je denní úhrn srážek

Vzhledem k absenci vlastních srážkových dat (srážkoměry PřF UK Rokytka a Březník nebyly v tomto období v provozu) byla pro hodnocení UPS při této situaci použita data ze stanice ČHMÚ Filipova Huť.

Tabulka 15: Hodnoty UPS v období 26.2.-4.3.2008 (D-4 až D+3)

	26.2	27.2	28.2	29.2	1.3	2.3	3.3	4.3
	D-4	D-3	D-2	D-1	DD	D+1	D+2	D+3
UPS (mm)	6,392	13,274	12,345	14,829	62,397	73,644	85,370	92,693

Zdroj: ČHMÚ, data denních úhrnů srážek Filipova Huť, zpracování autor

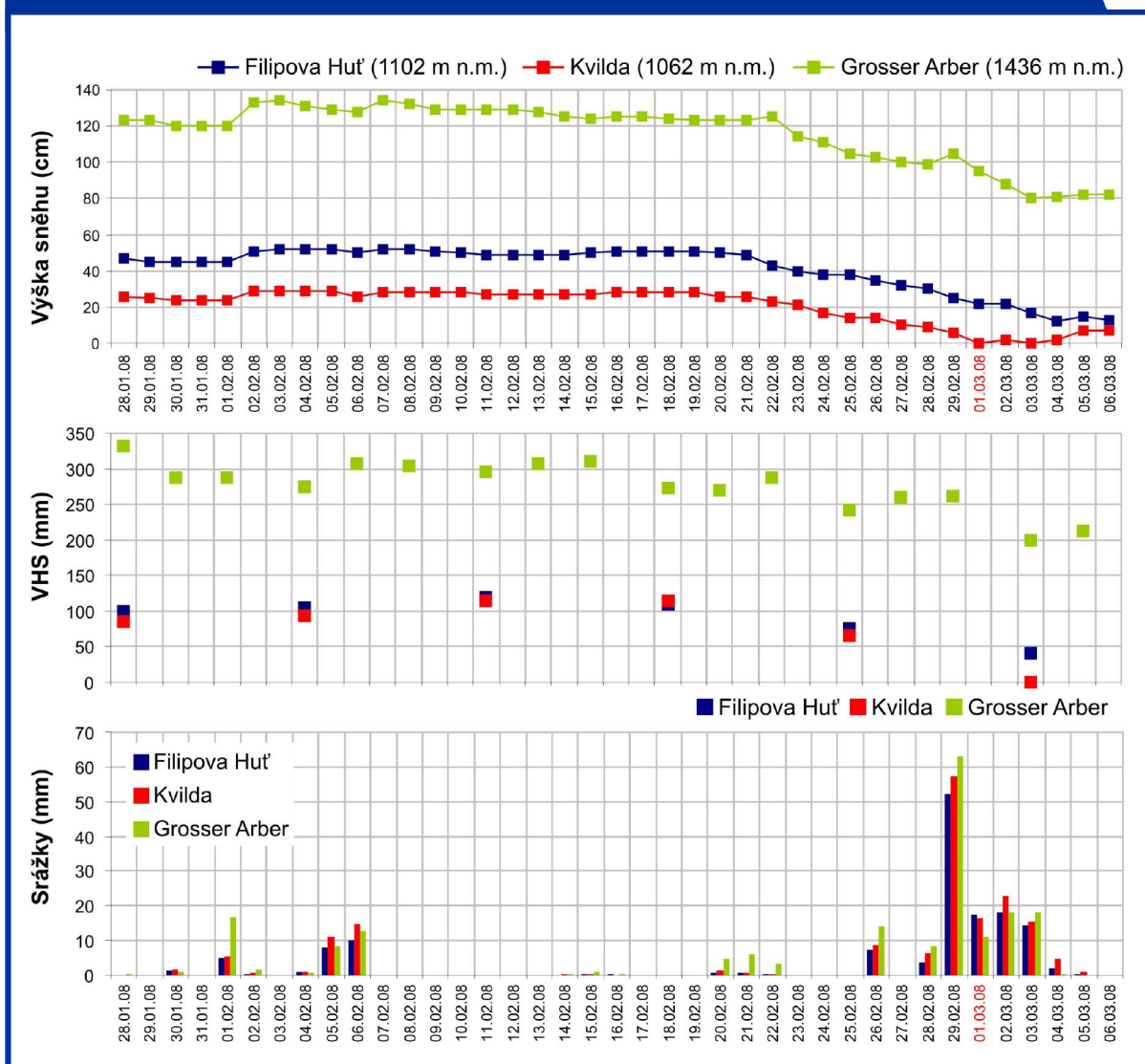
Vývoj povodní, u kterých se na tvorbě odtoku významně podílelo tání sněhu, jako je tomu v tomto případě, bývá více ovlivněn množstvím sněhových zásob než nasycením půdy.

Denní chod srážek, výšky a vodní hodnoty sněhu v hodnoceném období lze sledovat na obr 8.2.. Srážky se v zájmové oblasti vyskytovaly na přelomu ledna a února. Dne 1.2 se pohybovaly denní úhrny kolem 5mm, ve vyšších polohách pak až 15mm. Šlo však s nejvyšší pravděpodobností o srážky sněhové, o čemž svědčí nárůst výšky sněhové pokrývky. Srážky následně vypadávaly též 5.2. a 6.2., kdy dosahovaly denního úhrnu 10-20 mm. Z počátku šlo o srážky sněhové, které postupně přecházely v déšť. Od 7.2. až do 27.2. se srážky v hodnocených stanicích vyskytovaly jen sporadicky a jejich denní úhrny byly maximálně do 5mm. V ranních hodinách 27.2. spadlo ve stanici Filipova Huť 7,4 mm (tato událost je však z důvodu intervalu denního úhrnu srážek, který je počítán od 8h do 7h následujícího dne, zahrnuta v sumě srážek pro 26.2). Následujících cca 40 hodin bylo bez srážkových úhrnů, srážky se následně vyskytly až 29.2 ve 2:00. Od této doby vypadávaly již srážky kontinuálně, nejvyšší intenzity však dosáhly až v noci a především v ranních hodinách 1.3., kdy 4 po sobě jdoucí hodiny byly srážkové úhrny nad 5 mm. V polohách nad 1100 m n.m. šlo nejdříve o srážky sněhové, které však postupně i zde přecházely v intenzivní déšť. Tyto srážky vyvolaly prudké zvýšení hladin toků a mohli výrazně přispět k urychlení tání sněhu.

V dalších dnech (2.3.-4.3.) byla již intenzita srážek, které postupně přecházely ve sněžení, menší, ovšem v této době však již bylo povodí značně nasyceno, takže i tyto srážky, ve spojení s pokračujícím intenzivním táním sněhu, výrazně ovlivňovaly odtok.

Výška sněhové pokrývky v době vzniku příčinné situace se v nižších polohách povodí pohybovala pouze kolem 20cm, s rostoucí nadmořskou výškou však rychle rostla, o čemž svědčí i pro ilustraci zařazený chod výšky sněhu ve stanici Grosser Arber. Vysokou variabilitu vykazovala i v jednotlivých částech povodí, neboť při vlastních terénních měření v experimentálním povodí Rokytky dne 19.2.2008, byla mocnost a vodní hodnota sněhu ve vyšších částech povodí dokonce vyšší než ve stejném období ve stanici Grosser Arber! Problematikou

Obr. 8.2. Denní chod srážek, výšky a vodní hodnoty sněhu v období 28.2.-6.3.2008



Zdroj: data ČHMÚ, data DWD, zpracování autor

akumulace sněhu v povodí v tomto období se věnuje ve své práci Jelínek (2007). Vodní hodnota sněhu byla relativně vysoká a spolupůsobení kladné teploty vzduchu, intenzivních srážek a rychlého proudění větru vedlo k podstatnému příspěvku tání k celkovému odtoku.

8.2.3. Hydrologická situace

Průtok Vydry se v období před příčinnou situací pohyboval přibližně na úrovni Q_{60d} . K výraznému vzestupu hladiny Vydry, v důsledku vydatných srážek doprovázených táním sněhu, došlo 1.3.. Kulminace bylo na tomto toku dosaženo ještě téhož dne.

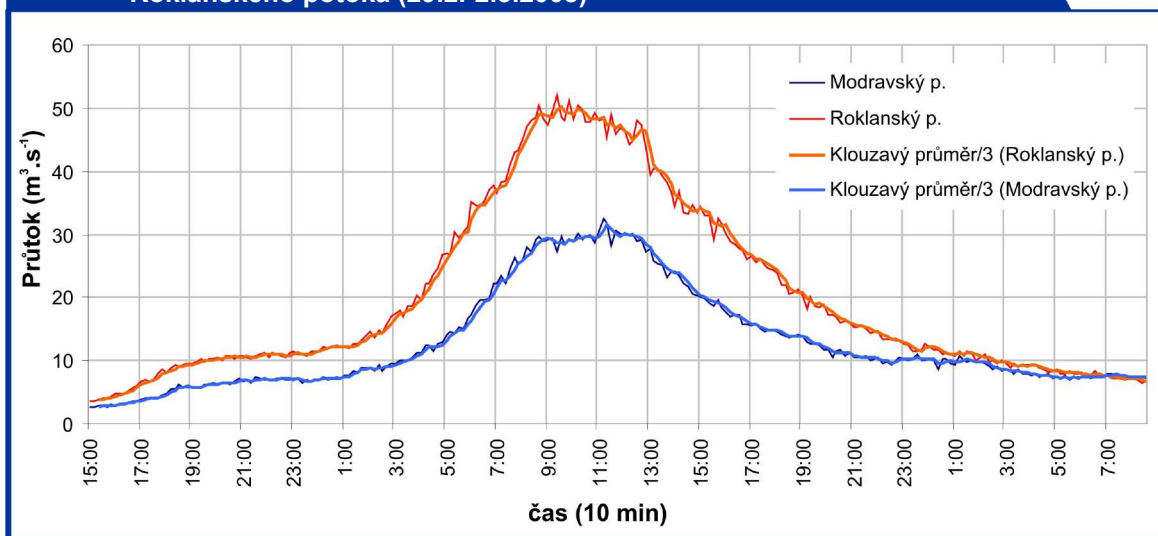
Vzestupy první povodňové vlny nejvíce postihly celou horní část povodí Otavy, kde Vydra v Modravě, Křemelná ve Stodůlkách a Opava v Rejštejně a Sušici dosáhly úrovně 3. SPA. Nejvyšší extremitu kulminačního průtoku s dobou opakování 20-50 let dosáhla Otava v Rejštejně. Na Vydře kulminace odpovídala dle dat ČHMÚ 10-leté povodni. Z dat PřF UK však mohlo jít až o 20 letou povodeň. Rozdíl v hodnotách kulminačních průtoků může být způsoben nižší spolehlivostí měrných křivek Modravského a Roklanského potoka (jejichž součtem počítáme průtok v profilu Vydra-Modrava PřF) v oblasti takto vysokých průtoků. Došlo tak zřejmě k jejich nadhodnocení. Lze však předpokládat (a tato skutečnost byla potvrzena i místním pozorovatelem), že při tomto kulminačním průtoku již pravděpodobně došlo k vybřežení Vydry v místech, kde je situována limnigrafická stanice ČHMÚ. Hladinoměry PřF na Modravském a Roklanském potoce jsou však umístěny na mostních konstrukcích, kde je voda svedena do upraveného koryta a nedochází tak k rozlivu. Je tedy možné, že hodnota kulminačního průtoku ČHMÚ je naopak podhodnocena. Přesné parametry měrných křivek, které ČHMÚ používá pro tento profil, však nebyly pro posouzení k dispozici.

Po kulminaci první povodňové vlny došlo k rychlému poklesu hladiny, která však byla přerušena dalšími srážkami. Tyto srážky způsobily opětovné vzestupy hladin na Vydře v Modravě a na Otavě v Sušici až s dosažením 2. SPA odpoledne 3.3. 2008. Otava v Rejštejně pak krátkodobě dosáhla dokonce opět úrovně 3. SPA. Kulminační průtok této druhé vlny se na Vydře v Modravě pohyboval těsně pod hranicí 5-leté povodně.

Dešťové srážky, které byly hlavní příčinou povodně byly velmi silně orograficky zesílené na hraničním hřebeni Šumavy, naopak v podhůří Šumavy směrem do české kotliny se vytvářel srážkový stín. Tomu odpovídal i rozložení odtokových výšek jednotlivých povodí. K formování povodně docházelo v povodí Otavy převážně na úseku po Sušici a přítoky pod Sušicí byly natolik nevýznamné, že na průběh průtoku na střední a dolní Otavě měla větší vliv transformace povodňové vlny v korytě toku. Z tohoto důvodu byly maximální průtoky například v Katovicích nebo v Písku menší než dosažené maximum v Sušici (zpráva ČHMÚ).

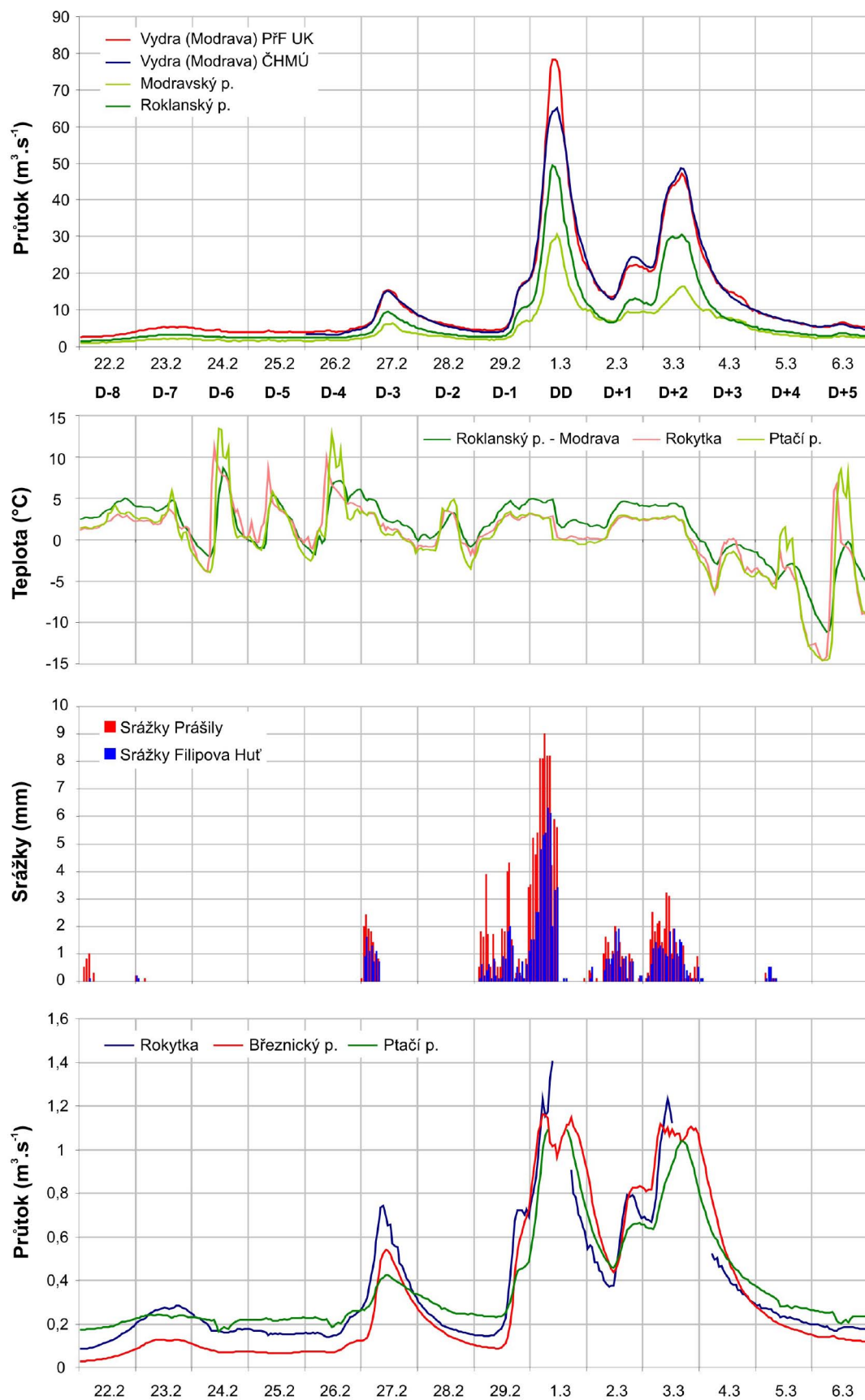
Z rozboru desetiminutových dat průtoku Modravského a Roklanského potoka (obr. 8.3.) vyplývá, že Roklanský potok kulminoval o téměř 2 hodiny dříve než potok Modravský. Ačkoliv může zaznamenané časy kulminace do jisté míry ovlivnit rozvlnění hladiny při proudění v korytě a ty mohou být nesprávně interpretovány, je v tomto případě časový rozdíl pravděpodobně zapříčiněn tím, že jádro srážek se přesouvalo ze západu na východ a po největším srážkovém úhrnu nad povodím Křemelné postupně sláblo. Je tedy možné, že povodí některých přítoků Roklanského potoka (jež v největší míře přitékají ze západního směru) byly zasaženy intenzivnějším deštěm dříve a s vyšší intenzitou. Tuto domněnku podporuje i mapa prostorového rozložení srážek (obr. 8.1.) a graf hodinového chodu srážek (obr. 8.4.) ve stanici Filipova Huť (povodí Vydry) a Prášily (povodí Křemelné). Vydra ve stanici Modrava dosáhla kulminace společně s kulminačním průtokem Modravského potoka, zatímco Roklanský potok měl již

Obr. 8.3. Chod desetiminutových průtoků povodňové vlny Modravského a Roklanského potoka (29.2.-2.3.2008)



Zdroj: data z automatických hladinoměů PřF, zpracování autor

Obr. 8.4. Chod hodinových průtoků, teploty a srážkových úhrnů 22.2.-6.3.2008



Zdroj: data průtoků a teploty PŘF UK, data srážkových úhrnů ČHMÚ. zpracování autor

sestupnou tendenci.

V době této povodňové situace byly v provozu pouze 3 automatické hladinoměry instalované na přítocích Modravského a Roklanského potoka. Šlo o hladinoměry na Březnickém a Ptačím potoce v povodí Modravského potoka, v povodí potoka Roklanského o hladinoměr na Rokytcce. Nepřerušovaný záznam je k dispozici však pouze pro Březnický potok. Na Ptačím potoce a Rokytcce již automatické hladinoměry nedokázaly postihnout oblast kulminačních průtoků. I když není datová řada kompletní, je patrné že nejvyšší extremity dosáhla Rokytkka. Charakteristický tvar povodňové vlny Březnického potoka může být ovlivněn řadou faktorů. Důležitým faktorem může být odlišný prostorový a časový výskyt srážek (meteorologická stanice na Březníku však v této době ještě nebyla v provozu), či vliv větší akumulace sněhu v systému betonových propustek, které jsou v povodí vybudovány v místech křížení potoka a cest. Nejpravděpodobnější vysvětlení je v souvislosti s polohou měrného zařízení. Hladinoměr na Březnickém potoce je instalován na kamenné mostní konstrukci s kruhovou propustkou o průměru cca 1m. V uvedeném případě došlo pravděpodobně k výraznému omezení či překročení průtočné kapacity tohoto propustku a vybřežení mimo koryto toku. Obdobných propustků je navíc směrem proti proudu toku více. Tuto domněnku lze demonstrovat na fotografii hladinoměru (foto 16) pořízené 12.4.2009 za VS=708 mm. Vzhledem k tomu, že v době kulminačního průtoku první vlny byla výška vodního stavu téměř 1300mm, muselo nutně dojít k značnému omezení průtočné kapacity.

Foto 16. Hladinoměr na Březnickém potoce 12.4.2009

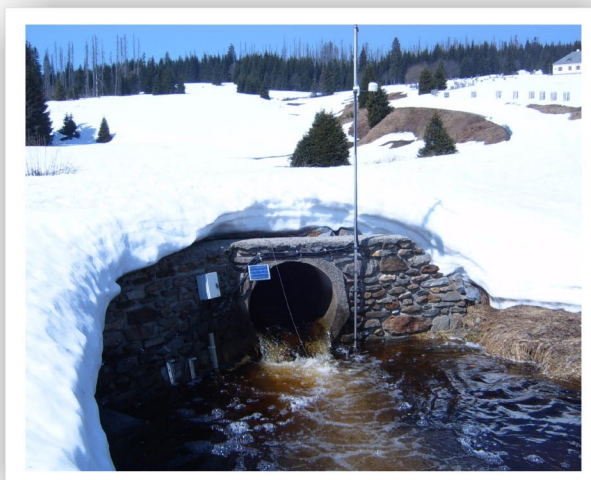


Foto autor

8.2.4. Zhodnocení a kategorizace povodně

Povodeň 1.3.2008 byla způsobena přechodem frontálních systémů, které postupovaly v západním proudění. Vyvolané intenzivní srážky byly výrazně orograficky zesíleny. Významně se projevil velmi silný západní a jihozápadní vítr, který doprovázel příčinnou synoptickou situaci. Spolupůsobení kladné teploty vzduchu v kombinaci s výskytem intenzivních srážek a rychlého proudění větru vedlo k rychlému tání sněhu, které přispělo k celkovému odtoku.

Průtokové vlny jsou charakteristické velmi rychlým vzestupem. Vydra v Modravě kulminovala přibližně na úrovni 10-20leté vody. Po kulminaci následoval velmi rychlý pokles.

Dle kategorizace povodní sestavené Vlasákem (2008) pro povodí Otavy, je možno tuto povodeň nejpravděpodobněji zařadit do kategorie „Zimní povodně s převažujícím vlivem dešťových, výrazně orograficky zesílených srážek“.

Tabulka 16: Vyhodnocení povodně 1.3.2008

	Datum	Čas kulminace	Kulminační průtok ($m^3 \cdot s^{-1}$)	Vodní stav (cm)
Vydra-Modrava ČHMÚ	1.3.2008	11:10	65,7	175,0
Vydra-Modrava PŘF UK	1.3.2008	11:10	80,692	-
Modravský p.	1.3.2008	11:10	32,515	203,7
Roklanský p.	1.3.2008	9:20	52,078	182,7
Březnický p.	1.3.2008	6:10	1,247	128,5
Extremita (Vydra-Modrava ČHMÚ)	Q10	SPA	3	

Zdroj: data PŘF UK, data ČHMÚ, zpracování autor

Foto 17. Roklanský potok v Modravě během povodně 1.3.2008

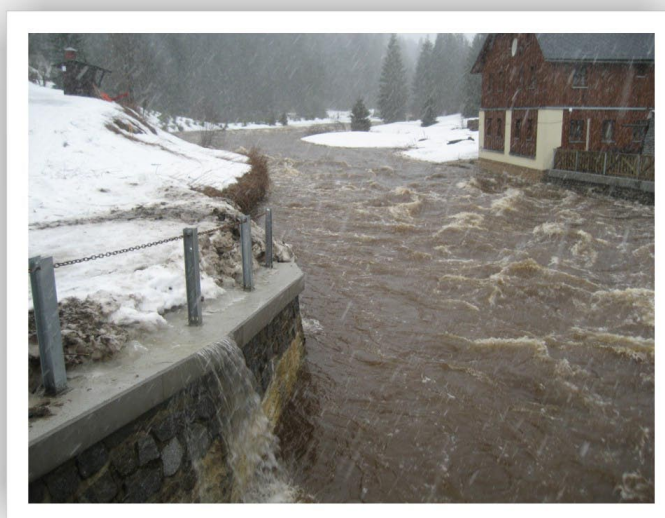


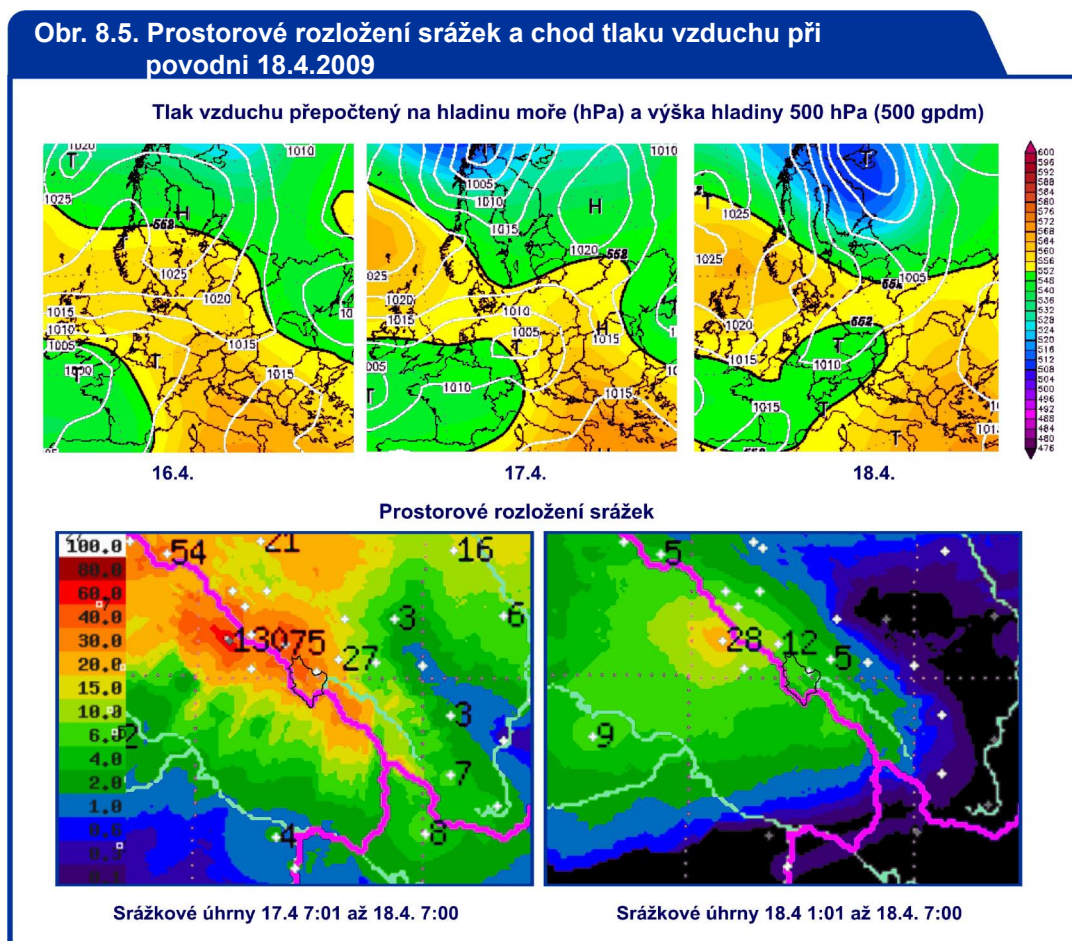
Foto Radovan Lyer 2008

8.3. Povodeň 18.4.2009

8.3.1. Hydrometeorologická situace

Nadprůměrně teplé období, které v polovině dubna panovalo na území ČR a zapříčinilo tání sněhu, bylo vystřídáno vpádem studené fronty, která postupovala přes naše území severovýchodním směrem.

Intenzivně pršet začalo na území Šumavy 17.4.2009 v dopoledních hodinách. Nejvyšší intenzity dosáhly srážky tentýž den v pozdních odpoledních a večerních hodinách. Do rána 18.4. dosáhl 24h srážkový úhrn ve stanici Filipova Huť přes 30mm, meteorologická stanice PřF UK na Březníku pak ve stejném období dosáhla úhrnu dokonce 76,4 mm. Na německé straně Šumavy srážky dosáhly ještě vyšších hodnot. Například na Javoru napršelo 130 milimetrů. V dopoledních hodinách 18.4. srážky postupně slábly a zcela ustaly kolem 12 hod. Další srážky se vyskytly až 23.4., avšak jejich množství nebylo významné (pod 1 mm/24hod) a neza-

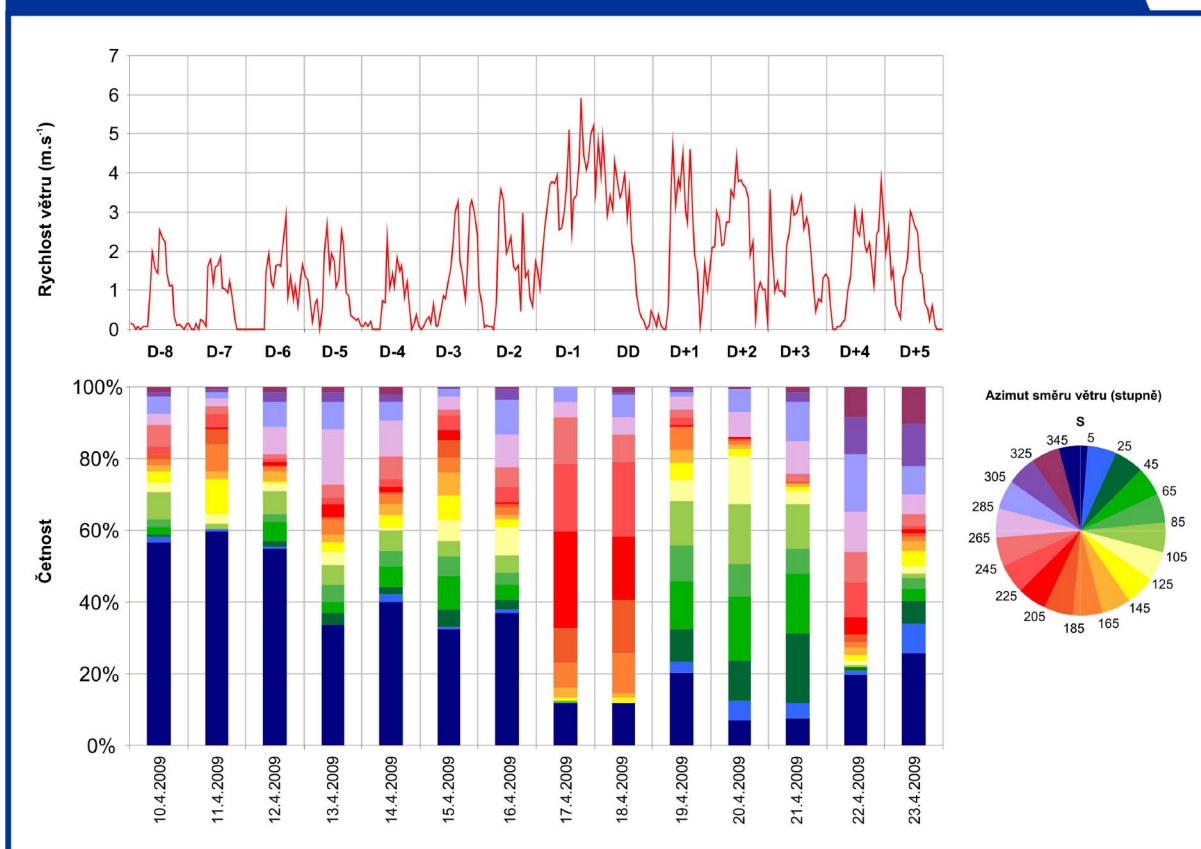


Zdroj: <wetterzentrale.de>, <chmi.cz/hpps>, upraveno

příčinilo významnější reakci odtoku.

Příčinné srážky byly opět výrazně orograficky zesíleny zejména ve vrcholové oblasti Šumavy. Výrazně se projevil silný jihozápadní vítr, který doprovázel příčinnou synoptickou situaci. Chod rychlosti a procentuální zastoupení směrů větru v jednotlivých dnech ve stanici Březník můžeme sledovat na obr 8.6.

Obr. 8.6. Chod rychlosti a směru větru ve stanici Březník při povodni 18.4.2009



Zdroj: data PŘF UK, zpracování autor

8.3.2. Nasycenost povodí a stav sněhové pokrývky

Pro hodnocení předchozího nasycení povodí byl opět vypočten index předchozích srážek (tabulka 17) s využitím dat denních úhrnů srážek ze stanice Filipova Huť (pozn.: srážkoměr PŘF UK Rokytka nebyl v provozu a srážkoměr na Březníku měl v tomto období výpadky v měření).

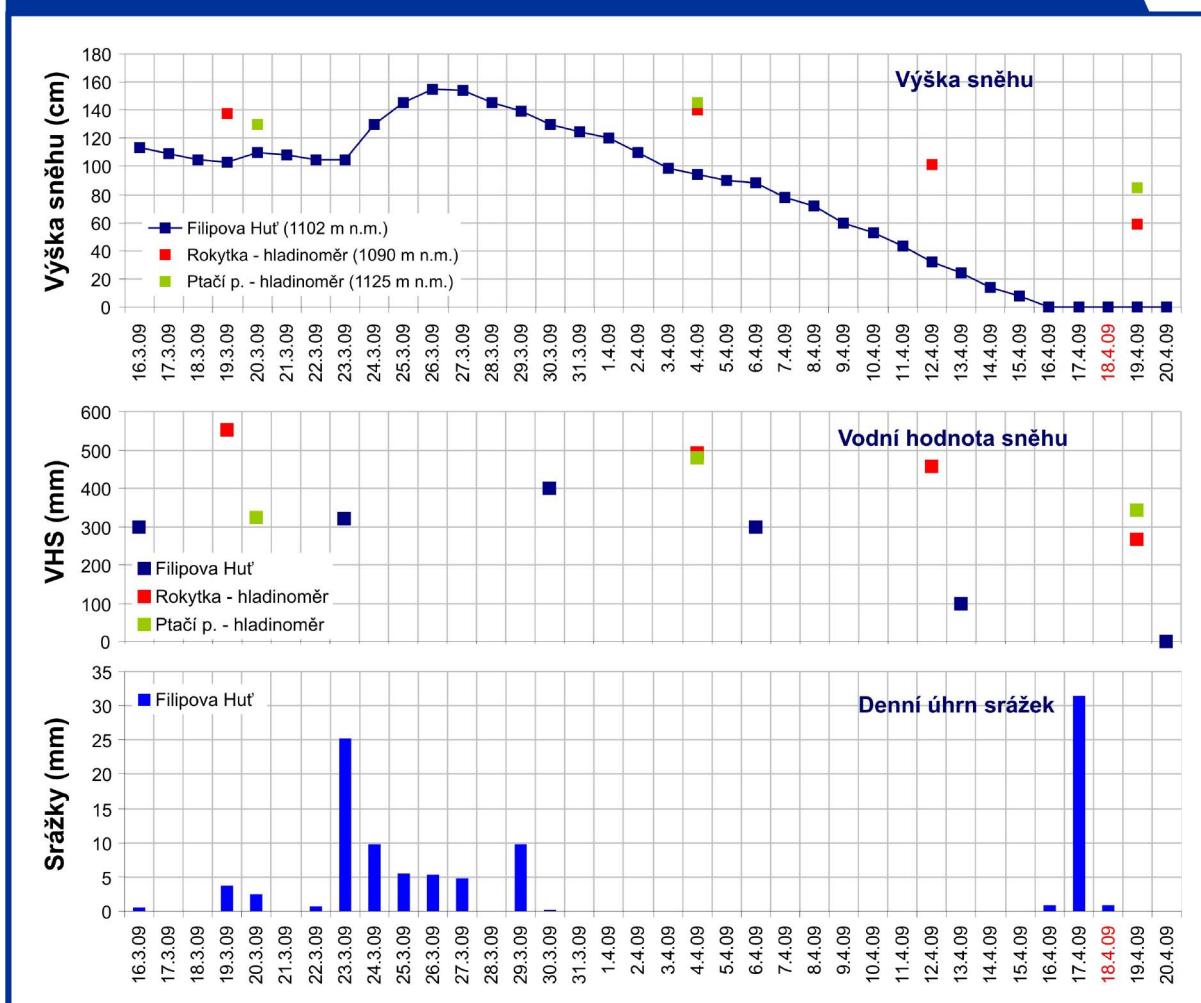
Tabulka 17: Hodnoty UPS v období 14.4.-21.4.2009 (D-4 až D+3)

	14.4	15.4	16.4	17.4	18.4	19.4	20.4	21.4
	D-4	D-3	D-2	D-1	DD	D+1	D+2	D+3
UPS (mm)	16,077	14,382	13,322	13,227	41,596	39,038	36,052	33,529

Zdroj: ČHMÚ, data denních úhrnů srážek Filipova Hut', zpracování autor

Grafické znázornění chodu denních úhrnů srážek ve Filipově Huti je uvedeno na obr. 8.7.. Srážky se v této stanici vyskytovaly hojně na konci března, denní úhrny dosahovaly většinou 5-10mm. Z větší části šlo však pravděpodobně o srážky sněhové. Naznačuje tomu nárůst výšky sněhové pokrývky. Od počátku dubna se již srážky nevyskytovaly a docházelo pouze k intenzivnímu tání sněhu. Další srážkovou situací byla až příčinná situace dne 17.4. (srážkový úhrn 16.4. je dán metodou sumarizace srážek od 8h 16.4 do 7h 17.4, v tomto případě se tedy již jedná o srážky z ranních hodin 17.4). Po ústupu příčinné srážky dne 18.4. se již v hodnoceném období další významnější srážky v povodí nevyskytly.

Obr. 8.7. Denní chod srážek, výšky a vodní hodnoty sněhu v období 16.3.-20.4.2009



Zdroj: data ČHMÚ, vlastní měření, zpracování autor

Pro popis vývoje výšky a vodní hodnoty sněhu byly použity hodnoty těchto charakteristik ze stanice Filipova Huť, a hodnoty zjištěné v závěrových profilech experimentálních povodí Rokytka a Ptačí potok (obr. 8.7.). Ty byly změřeny v rámci terénního monitoringu. V době vzniku příčinné situace již ve stanici Filipova Huť neležela souvislá sněhová pokrývka, na Rokytce a Ptačím potoce bylo stále ještě více jak 80cm sněhu.

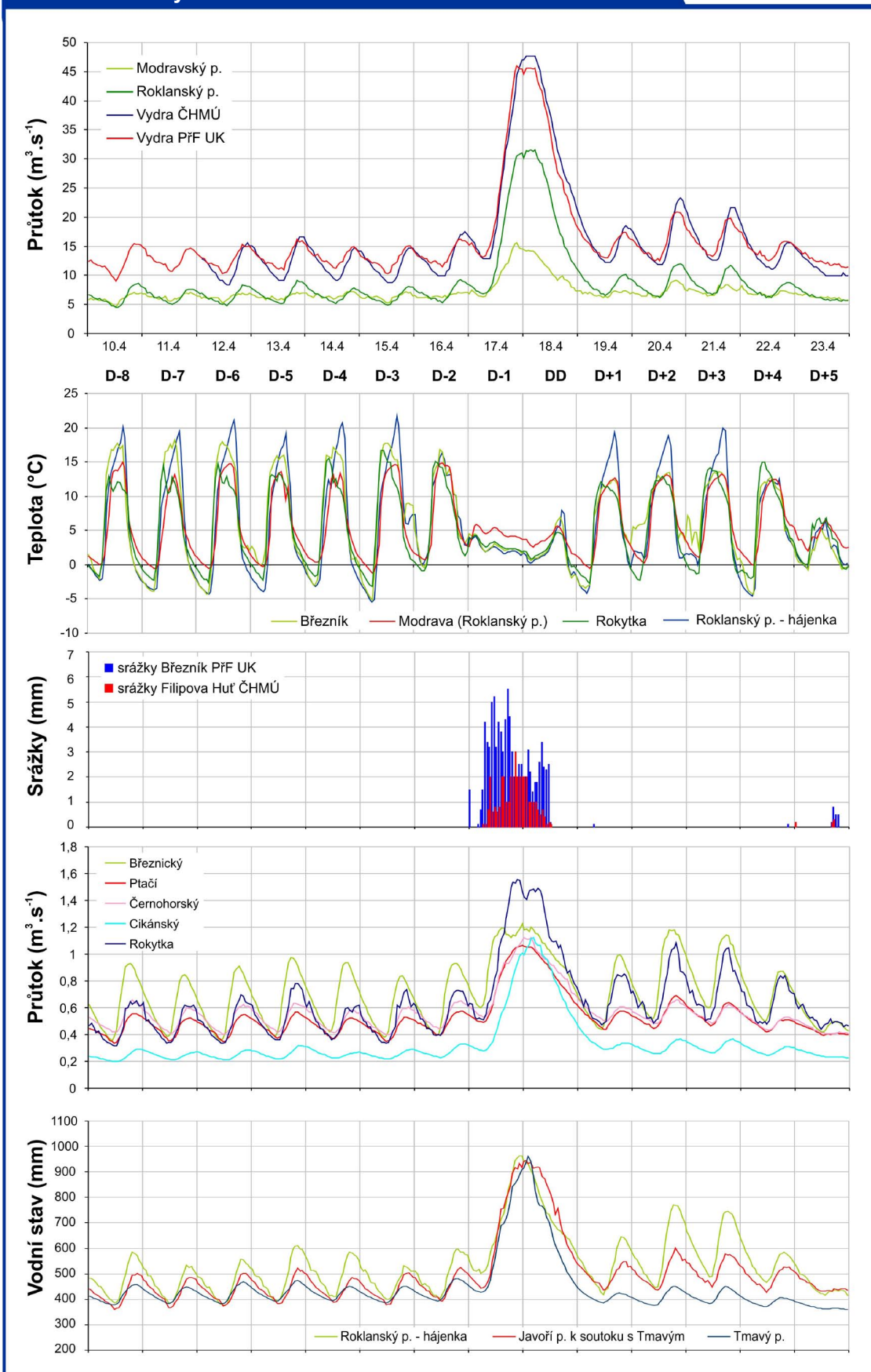
Je však třeba zmínit, že při expedičním „plošném“ měření v těchto povodích (19.3. a 20.3.2009) vykazovaly hodnoty výšky a vodní hodnoty sněhu značnou prostorovou variabilitu a v nejvyšších polohách povodí byla výška i více než dvojnásobná oproti hodnotám u hladinoměřů. V době vzniku příčinné situace bylo tedy v povodí stále ještě akumulováno velké množství sněhu, v nejvyšších polohách mohla výška sněhové pokrývky přesahovat i 150 cm. Vodní hodnota sněhu byla relativně vysoká a působení intenzivních srážek a rychlého proudění větru vedlo i v tomto případě k podstatnému příspěvku tání k celkovému odtoku.

8.3.3. Hydrologická situace

Průtok Vydry v Modravě se v období před příčinnou situací pohyboval v hodnotách na úrovni Q_{5d} až Q_{10d} , tedy na úrovni ročního maxima odtoku. V důsledku vydatných srážek, které doprovázely intenzivní tání sněhu, došlo 17.4. k výraznému vzestupu hladiny Vydry. Z hodnocení hodnot desetiminutových průtoků PŘF UK vyplývá, že kulminace bylo ve stanici Modrava dosaženo 18.4. v 1:10. Data ČHMÚ udávají kulminaci v hodinové hodnotě průtoku mezi 0-4 hod (hodnota průměrného hodinového průtoku byla v této době shodná).

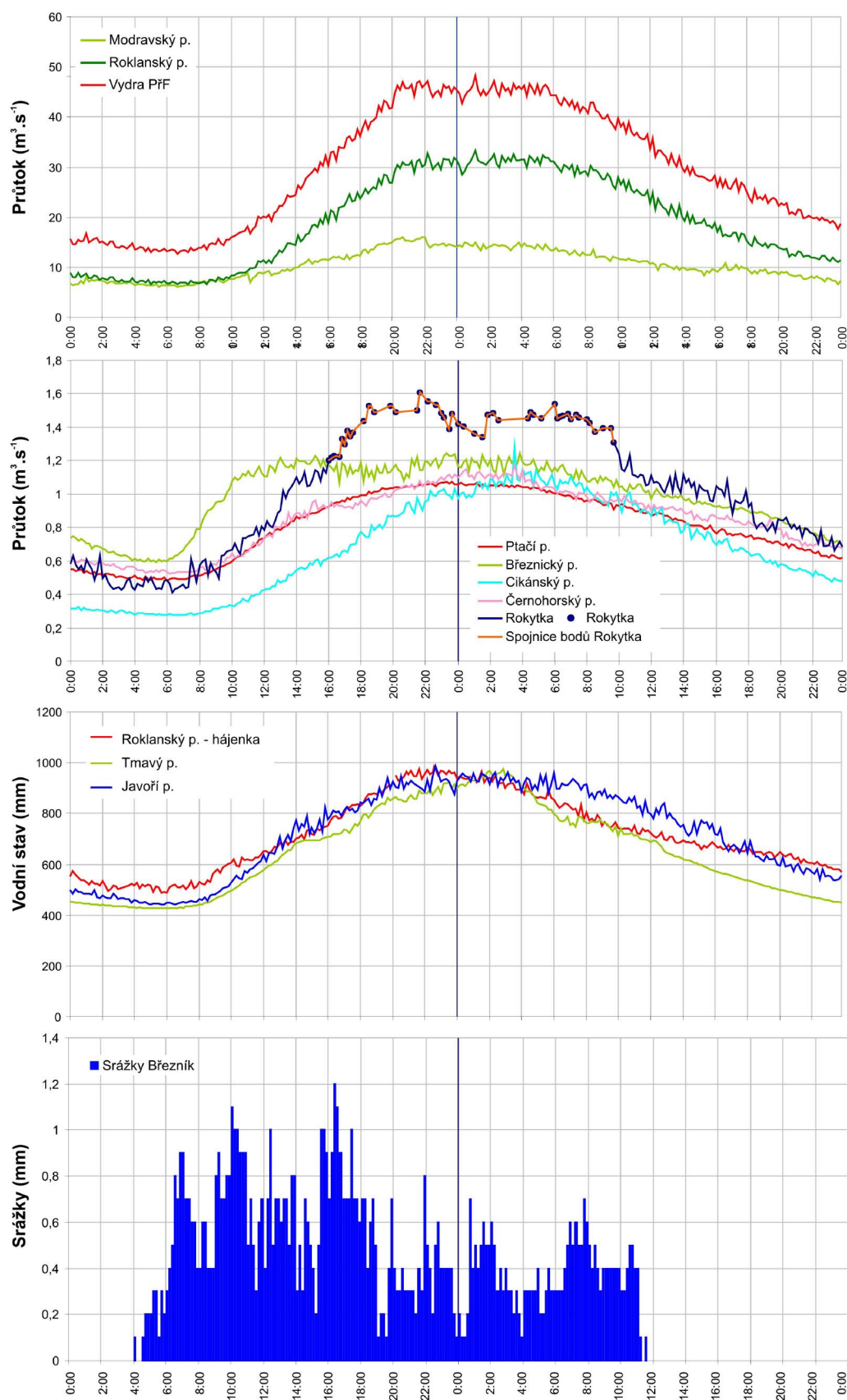
Vzestupy povodňové vlny nejvíce postihly horní část povodí Otavy. Na Otavě v Sušici a Rejštejně a na Křemelné ve Stodůlkách byl vyhlášen třetí stupeň povodňové aktivity. Na Vydře v Modravě platil 2 SPA. Nejvyšší extremitu kulminačního průtoku nad úrovní 5-leté vody dosáhla Otava v Rejštejně. Na Vydře v Modravě, Křemelné ve Stodůlkách a Otavě v Sušici kulminace odpovídala přibližně hodnotě 2-leté povodně. Chod průměrných hodinových průtoků Vydry a jejich přítoků, včetně přítoků Modravského a Rokalnského potoka lze sledovat v grafu na obr 8.8.. Pro bližší představu o průběhu odtoku toků, u kterých není zatím sestavena konzumpční křivka, je do samostatného grafu vynesena i hodnota vodního stavu.

Obr. 8.8. Chod hodinových průtoků, teploty, vodního stavu a srážkových úhrnů 10.4.-23.4.2009



Zdroj: data PřF UK, data ČHMÚ, zpracování autor

Obr. 8.9. Chod desetiminutových průtoků, vodního stavu a srážkových úhrnů 17.4.-18.4.2009



Zdroj: data PŘF UK, zpracování autor

Na soutoku v profilu Modrava vykazoval vyšší variabilitu průtoku Roklanský potok. V kontextu dílčích přítoků vykazuje nejvyšší nárůst povodňových průtoků Rokytky a Cikánského potoka. Oba tyto toky mají nejvyšší zastoupení plochy rašelinišť ze všech sledovaných toků. V případě Cikánského potoka může hrát roli také provedená revitalizace, spočívající v hrazení původních melioračních rýh. Z hodnocení dostupných dat je patrné, že sice dochází ke snížení rozkolísanosti průtoků při průměrných a nižších stavech průtoku, v případě vyšší vodnosti zapříčiněné intenzivními srážkami však má pravděpodobně vliv těchto hrazení, které zadržují vodu v povodí, negativní dopady na retenční kapacitu území. Po překročení retenční kapacity těchto hrazení dochází k prudkému a rychlému vzestupu průtoků, které dosahují vyšší extremity. Pro potvrzení platnosti tohoto mechanismu je však potřeba delší doba pozorování a zpřesňování datové základny.

Pro popis časového výskytu kulminačních průtoků jednotlivých toků je zařazen rovněž graf desetiminutových průtoků v období 17-18.4 (obr. 8.9.), znázorňující průběh povodňové vlny jednotlivých toků. Z grafu je patrné, že nejdříve dochází ke kulminaci Březnického potoka, který společně s Luzenským potokem odvodňuje nejvyšší oblasti povodí. Ty byly v minulých letech výrazně postiženy kůrovcovou kalamitou. Nízká lesnatost, společně s vyšším sklonem a menší délkou toku, mohou hrát roli na rychlost formování odtoku z tohoto povodí. Rychlý odtok z této části povodí a kratší délka toku patrně zapříčiňuje, že Modravský potok kulminuje v Modravě dříve než potok Roklanský. Černoehorský a Ptačí potok, vzhledem k jejich vzájemné blízké poloze a obdobným fyzicko-geografickým podmínkám mají velmi podobný chod průtoků. Pozdější nástup průtoků Cikánského potoka může být dán právě zdržením vody způsobeným hrazením v melioračních rýhách před překročením jejich kapacity. Po jejich naplnění dochází k rychlému vzestupu. V povodí Roklanského potoka má rychlý nástup průtoku Rokytky (Pozn.: hladinoměr na Rokytkce nezaznamenal plný průběh povodňové vlny, do grafu je vynesena spojnice nepravidelně zaznamenaných hodnot), ostatní sledované toky v tomto povodí mají nástup průtoků více pozvolný.

8.3.4. Zhodnocení a kategorizace povodně

Povodeň 18.4.2009 byla způsobena přechodem studené fronty, která postupovala severovýchodním směrem. Vyvolané intenzivní srážky byly výrazně orograficky zesíleny a významně se opět projevil silný jihozápadní vítr, který doprovázel příčinnou synoptickou situací. Ačkoliv v nižších částech povodí již neležela souvislá sněhová pokrývka, ve vyšších částech bylo akumulováno značné množství sněhu. Probíhalo intenzivní tání a hodnoty průtoků se pohybovaly v maximech z hlediska jejich ročního chodu. Výskyt intenzivních srážek a rychlého proudění větru vedlo k urychlení tání sněhu, které přispělo k celkovému odtoku.

Průtok vykazoval před povodní značnou rozkolísanost, typickou pro jarní tání sněhu. Povodňová vlna je charakteristická rychlým vzestupem. Po kulminaci Vydry v Modravě na úrovni 2-leté povodně následoval rychlý pokles. V následujících dnech dále probíhalo tání.

Zařazení dle kategorizace povodní sestavené Vlasákem (2008) pro povodí Otavy, je v tomto případě obtížnější. Ačkoliv na vzniku povodně se výrazně podílelo tání sněhu, hlavní příčinou povodně byly srážky. Proto je nejvhodnější řadit tuto povodeň do kategorie „Zimní povodně s převažujícím vlivem dešťových, výrazně orograficky zesílených srážek“.

Tabulka 18: Vyhodnocení povodně 18.4.2009

	Datum	Čas kulminace	Kulminační průtok (m ³ .s ⁻¹)	Vodní stav (cm)
Vydra-Modrava ČHMÚ	18.4.2009	0-4	47,7	150,0
Vydra-Modrava PŘF UK	18.4.2009	1:10	48,206	-
Modravský p.	17.4.2009	21:50	15,996	127,8
Roklanský p.	18.4.2009	1:10	33,301	151,8
Březnický p.	18.4.2009	23:20	1,243	128,3
Ptačí p.	17.4.2009	23:20	1,072	99,3
Cikánský p.	18.4.2009	3:30	1,278	92,2
Černoorský p.	18.4.2009	3:30	1,168	113,5
Roklanský p. - hájenka	17.4.2009	22:40	-	98,2
Rokytká	17.4.2009	21:40*	1,607	101,2
Tmavý p.	18.4.2009	2:50	-	97,6
Javoří p.	17.4.2009	22:40	-	98,8
Extremita (Vydra-Modrava ČHMÚ)	Q2	SPA	2	

Zdroj: data ČHMÚ, data PŘF UK, zpracování autor

8.3.5. Korelační analýza variability a extremity průtoků ve vztahu k fyzicko-geografickému prostředí

Povodeň 18.4.2009 vytvořila velmi vhodné podmínky pro posouzení chování odtoku jednotlivých toků v zájmové oblasti v reakci na příčinnou situaci. Příčinná srážka je v tomto případě izolovaná pouze do období 2 dnů, kdy došlo k vzestupu průtoků. V předchozích 17 dnech nebyly v povodí zaznamenány dešťové ani sněhové srážky a na celém území probíhalo pouze intenzivní tání. Kontinuální záznam průběhu povodně je navíc dostupný pro všechny hodnocené stanice PřF UK. I přes rozličnou výšku sněhové pokrývky v jednotlivých částech povodí lze předpokládat, že vstupní podmínky byly obdobné ve všech povodích.

Pro posouzení variability průtoků se zvláštním důrazem na zhodnocení míry extremity ve vzestupu povodňové vlny byla pro tento případ využita vlastní metoda.

Ta spočívá, ve své první fázi, v určení průměrného průtoků jednotlivých toků v období před vzestupem povodňové vlny. V tomto případě bylo zvoleno období D-8 až D-2 (10.4.-16.4.). V tomto období měly průtoky setrvalý trend ovlivněný pouze táním. Předpoklad je, že tento průtok by byl na toku dosažen i v následujících dnech, pokud by nedošlo k příčinné situaci. Pro stejné období (D-8 až D-2) byly spočteny hodnoty variačního koeficientu (z průměrných hodinových průtoků). Tyto vypočtené hodnoty (označeny jako $Cv1$) nám dávají představu o míře rozkolísanosti jednotlivých toků v období před povodňovou vlnou.

V druhé fázi byl pro každý tok spočten variační koeficient v období D-1 až DD, vztažený k zjištěnému teoretickému průměrnému průtoků daného toku v období před příčinnou situací (D-8 až D-2), který jsem získali výše uvedeným postupem. Období D-1 až DD je rozmezí, ve kterém v tomto případě došlo k vzestupu, kulminaci a poklesu povodňové vlny. Takto získané hodnoty variačního koeficientu (označeny $Cv2$) nám tedy vyjadřují míru variability povodňových průtoků od jejich normálního průběhu, který by byl teoreticky dosažen bez povodňového případu. Vzájemné hodnocení nám tedy dává dobrou představu o míře extremity povodňové vlny jednotlivých toků ve vztahu k jejich průměrnému průtoků. Tato metoda je však vyvinuta pro tuto konkrétní situaci. Její využití je z důvodu předpokladu obdobných vstupních a příčin-

ných podmínek u všech sledovaných toků aplikovatelná pouze na některé povodňové situace.

Pro kontrolu a eliminaci možného zkreslení hodnot variačního koeficientu v závislosti na době trvání kulminačního průtoku a délce vlny na jednotlivých tocích, byla následně využita další vlastní metoda. Ta spočívá ve vyjádření hodnoty vzájemném podílu maximální dosažené hodnoty desetiminutového průtoku v období D-1 až DD (dále označován jako KP) a průměrného průtoku v období před vzestupem povodňové vlny (dále označován jako PP), v tomto případě D-8 až D-2. Takto získaná hodnota je v této práci označována jako index extremity kulminačního průtoku I_{EKP} ($I_{EKP}=KP/PP$).

Hodnoceny byly pouze jednotlivé přítoky Modravského a Roklanského potoka, jež je možné považovat za relativně homogenní území z hlediska fyzicko-geografických parametrů. Vypočtené hodnoty je možno sledovat v tabulce 19. Pro větší názornost byla u spočtených hodnot vždy červeně označena nejvyšší hodnota, oranžově pak druhá nevyšší hodnota.

Tabulka 19: Vypočtené hodnoty ukazatelů variability v období 10.4.-18.4.2009

	Cv1 D-8 až D-2 (10.4.-16.4.)	Cv2 D-1 až DD (17-18.4.)	PP Průměrný průtok D-8 až D-2 (m3.s-1)	KP Maximální dosažený průtok D-1 až DD (m3.s-1)	I_{EKP} KP/PP
Březnický	0,29	0,31	0,637	1,243	2,0
Ptačí	0,14	0,43	0,459	1,072	2,3
Černohorský	0,14	0,36	0,516	1,278	2,5
Cikánský	0,12	1,12	0,251	1,168	4,7
Rokytká	0,25	0,69	0,505	1,607	3,2

Zdroj: data PŘF UK, zpracování autor

K odhalení vazeb mezi vypočtenými ukazateli variability a vybranými fyzicko-geografickými parametry jednotlivých povodí byla využita korelační analýza. Zvláště nás zajímal vliv podílu plochy rašelinišť na variabilitu odtoku při povodňových epizodách. Hodnoty korelačních koeficientů jsou uvedeny v tabulce 20. Opět jsou barevně označeny nejvyšší hodnoty

Tabulka 20: Hodnoty korelačních koeficientů

	Podíl rašelinišť (%)	Lesnatost podíl %	Charakteristika povodí	Plocha povodí (km ²)	Délka toku (km)	Střední sklon toku (‰)	Průměrný sklon svahů (stupně)	Hustota (km/km ²)
Cv1	-0,150	-0,756	-0,461	-0,100	-0,250	0,178	0,189	0,265
Cv2	0,962	0,655	0,904	-0,690	-0,591	-0,842	-0,602	-0,692
I_{EKP}	0,943	0,748	0,862	-0,596	-0,482	-0,828	-0,658	-0,630

Zdroj: zpracování autor

dle stejného klíče jako u tabulky 19.

Z hodnot korelačních koeficientů je možno odhalit velmi silnou pozitivní závislost mezi extremitou průtoku v době povodně a podílem plochy rašelinišť na celkové ploše povodí. Tato hypotéza byla potvrzena jednovýběrovým t-testem na hladině významnosti 0,01. Silná pozitivní závislost extremity povodňového průtoku je patrná rovněž na tvaru povodí, reprezentovaným v tomto případě charakteristikou povodí α (potvrzena na hladině významnosti 0,025). Poměrně významná negativní závislost je rovněž prokázána u velikosti extremity povodňového průtoku a středního sklonu toku.

Variabilita průtoků mimo povodňový stav vykazuje silnější negativní závislost pouze na míře lesnatosti (podílu lesnatých ploch na ploše povodí).

Z uvedené analýzy tedy vyplývá, že na extremitu povodňového průtoku 18.4.2009 měla z fyzicko-geografických faktorů největší vliv plocha rašelinišť a tvar povodí. Negativní závislost středního sklonu je v tomto případě pravděpodobně spíše ovlivěna tím, že největší plochy rašelinišť se nachází na povodích s nízkým sklonem. Faktor vlivu rašelinišť hraje pravděpodobně větší roli.

Negativní závislost variability průtoků mimo v období mimo povodně na míře lesnatosti má v tomto případě zřejmě souvislost s táním sněhové pokrývky. Ta může v méně zalesněných povodích, vlivem většího oslunění, rychleji odtávat.

Na závěr je nutno konstatovat, že některé faktory, jako je právě vliv sněhové pokrývky, mohou velmi významně ovlivnit extremitu povodňových průtoků. Jejich zhodnocení je však vzhledem k značným požadavkům na vstupní data značně obtížné. Uvedené výsledky mohly být rovněž ovlivněny relevantností použitých podkladů k posouzení charakteristik fyzicko-geografického prostředí.

8.4. Povodeň 7.12.2007

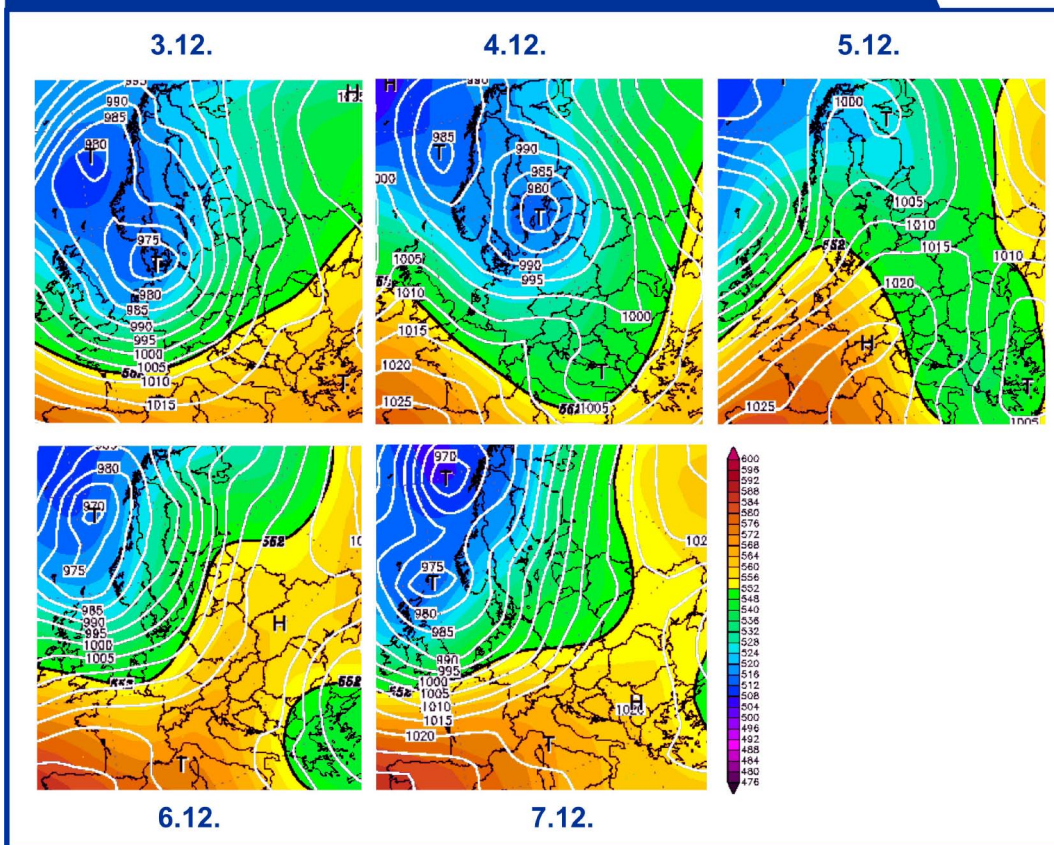
8.4.1. Hydrometeorologická situace

Počátkem prosince přecházely přes území ČR jednotlivé frontální systémy v teplejším západním proudění. Provázelo je oteplení, dešťové srážky a silný vítr.

Intenzivní dešťové srážky se vyskytly během noci z 2.12. na 3.12.2007. Celkové úhrny první vlny srážek se pohybovaly na Šumavě kolem 40 - 60 mm, na hřebeny i více než 100 mm. Ve stanici Filipova Hut' byl zaznamenán denní úhrn srážek 2.12. 40,5mm, 3.12. 14,8mm. V porovnání se stanicí Prášíly, kde denní úhrny dosáhly 2.2. 65,3mm a 3.12. 23mm je zřejmé, že jádro srážek nezasáhlo povodí Vydry a zasaženy byly více západní přítoky Otavy.

Při druhé vlně srážek, která se projevila v noci z 6.12. na 7.12.2007, bylo již zasaženo celé povodí horní Otavy. Oproti stanici Prášíly, kde denní úhrny srážek dosáhly 6.12. 20,5mm

Obr. 8.10. Tlak vzduchu přepočtený na hladinu moře (hPa) a výška hladiny 500 hPa (500 gpdm) v období 3.12.-7.12.2007



Zdroj: <wetterzentrale.de>, zpracování autor

a 7.12. 31,2mm, byly však ve Filipově Huti naměřeny opět nižší hodnoty, 6.12. 22,1mm a 7.12. 15,2mm.

Celou situaci provázal velmi silný západní až jihozápadní vítr, který na horách dosahoval rychlosti až 30m/s.

8.4.2. Nasycenost povodí a stav sněhové pokrývky

Z hodnot indexu předchozích srážek (tabulka 21) vypočtených opět z dat ze stanice Filipova Huť, lze předpokládat že povodí bylo před vznikem povodňové situace 7.12. již značně nasyceno. Vzhledem k tomu, že se v povodí nacházela souvislá sněhová pokrývky, bude mít pravděpodobně větší vliv než nasycení půdy stav sněhové pokrývky a její tání.

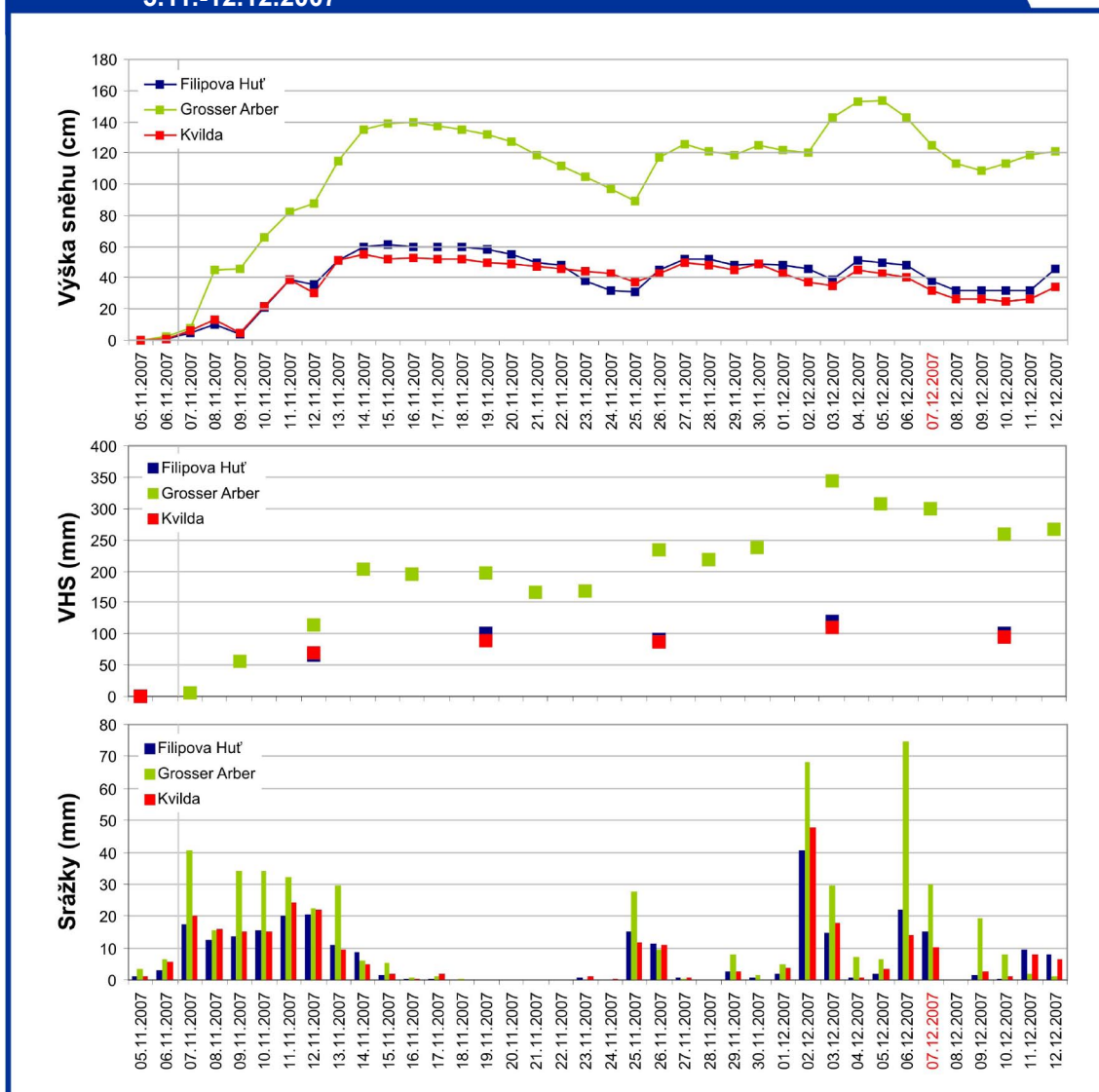
Tabulka 21: Hodnoty UPS v období 1.12.-9.12.2007 (D-6 až D+2)

	1.12	2.12	3.12	4.12	5.12	6.12	7.12	8.12	9.12
	D-6	D-5	D-4	D-3	D-2	D-1	DD	D+1	D+2
UPS (mm)	47,312	49,079	83,308	90,893	85,063	80,749	95,313	100,942	92,641

Zdroj: data ČHMÚ, zpracování autor

Sněhové zásoby se na počátku zimy 2007/2008 začaly vytvářet již v první listopadové dekádě. Postupně narůstaly, zejména ve vyšších polohách, až do konce druhé dekády listopadu. Následné oteplení na přelomu druhé a třetí dekády způsobilo značnou redukci sněhových zásob. Počátkem prosince se výška sněhové pokrývky pohybovala kolem 40cm v nižších polohách povodí. Ve vyšších částech však mohla dosahovat mocnosti vyšší jak 100cm. Oteplení a výskyt intenzivních srážek 2.12. ve způsobily odtání části sněhové pokrývky a výrazný vzestup vodní hodnoty sněhu. Během 3.12. srážky postupně přecházely ve sněžení, což se projeвило mírným nárůstem sněhové pokrývky. Značné oteplení způsobené nástupem teplé fronty 6.12. zapříčinilo výrazné tání sněhové pokrývky.

Obr. 8.11. Denní chod srážek, výšky a vodní hodnoty sněhu v období 5.11.-12.12.2007



Zdroj: data ČHMÚ, data DWD, zpracování autor

8.4.3. Hydrologická situace

Průtoky Vydry se před povodňovou situací pohybovaly na úrovni $Q_{60d} - Q_{90d}$. Povodeň proběhla ve dvou vlnách s kulminačním průtokem na Vydře 3.12. a 7.12.2007. Zasaženy byly rovněž všechny ostatní Šumavské toky, tj. Křemelná, Otava, Volyňka, horní tok Blanice a Vltavy. Při první povodňové vlně byly více zasaženy západní přítoky Otavy, tj. Křemelná a Ostružná. Při druhé povodňové vlně bylo zasaženo celé povodí horní Otavy.

Na Vydře nedošlo v první povodňové vlně k dosažení ani 1. SPA, při druhé povodňové vlně byl dosažen 1.SPA. Kulminace 2. vlny byla 7.12.2007 ve 14:00 hod při hodnotě kulmi-

načního průtoku $39,34 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (data ČHMÚ). Hydrologicky odpovídal kulminační průtok hodnotě 2-leté povodně (zpráva o povodni, Povodí Vltavy, s.p.).

Křemelná v profilu Stodůlky výrazně překročila v obou případech 2.SPA a kulminovala na úrovni 1-leté povodně. Na horní Otavě v profilu Rejštejnu byl při první vlně díky menšímu přítoku z povodí Vydry překročen pouze 2.SPA. Při druhé povodňové vlně byl díky většímu přítoku z povodí Vydry překročen 3. SPA. Kulminační průtoky odpovídaly hodnotě Q2 - Q5.

Při první vlně vykázala nejvyšší vzestup ze sledovaných toků v zájmové oblasti Rokytka. Naopak Březnický potok byl prakticky bez odtokové odezvy. Nejvyšší části povodí tedy zřejmě zasáhly podstatně menší srážky. Při druhé vlně již povodí zasáhly srážky rovnoměrněji, což se projevilo i významným zvýšením průtoku Březnického potoka. Největší extremity opět dosáhla Rokytka.

Velmi rozdílný je zejména tvar povodňové vlny Roklanského potoka a Rokytka od toků v povodí Modravského potoka. Roklanský potok a Rokytka mají také mnohem rychlejší nárůst průtoků. To vede k domněnce, že intenzivnější srážky postihly spíše povodí Roklanského potoka, zatímco v povodí Modravského potoka byla zasažena jen jeho severní část. Ve zbytku povodí srážky pravděpodobně neměly takovou intenzitu. Nedošlo tedy patrně k výraznějšímu orografickému zesílení jak tomu bývá v případě jarních povodní.

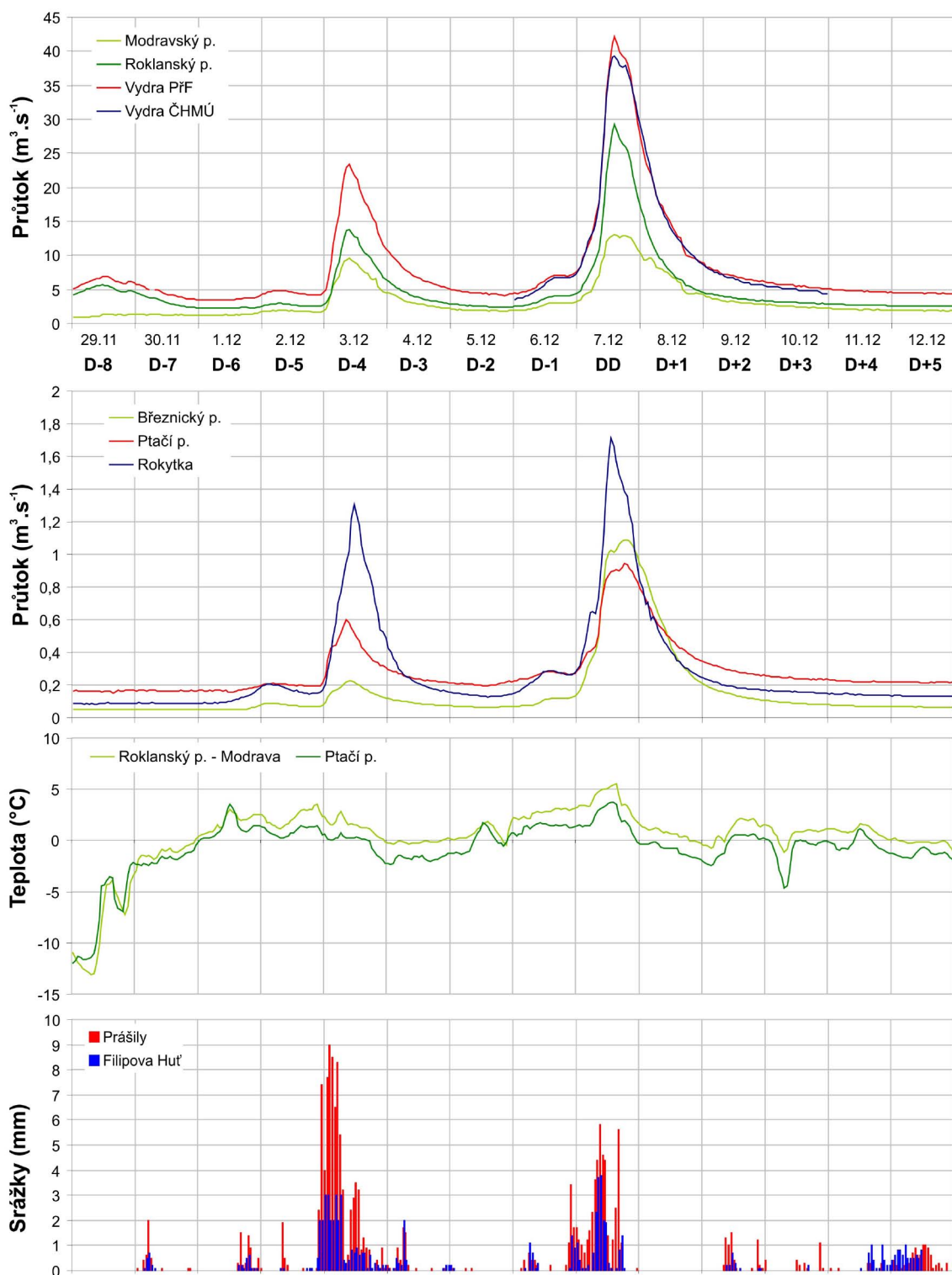
8.4.4. Zhodnocení a kategorizace povodně

Povodňová situace 7.12.2007 vznikla v důsledku intenzivních srážek, které doprovázelo rychlé tání sněhu v důsledku oteplení.

Povodeň proběhla ve dvou vlnách. Při první vlně nedošlo na Vydře (v Modravě) k dosažení ani 1. SPA. Důvodem byl zřejmě nižší srážkový úhrn na území povodí, zejména pak v jeho jižní a jihovýchodní části. Horní toky Modravského potoka vykazovaly jen malou odtokovou odezvu. Při druhé povodňové vlně byl dosažen 1.SPA a kulminační průtok dosáhl hodnoty Q2.

Povodňové vlny jsou opět charakteristické rychlým vzestupem a v případě Roklanské-

Obr. 8.12. Chod hodinových průtoků, teploty, vodního stavu a srážkových úhrnů 29.11.-12.12.2007



Zdroj: data ČHMÚ, data PŘF UK, zpracování autor

ho potoka a Rokytka vynikají výrazně špičatým tvarem. Po krátké době trvání kulminačních průtoků následuje velmi rychlý pokles. U toků v povodí Modravského potoka dosáhl průtok nižší extremity a povodňové vlny vynikají zaobleným vrcholem. Tato skutečnost je pravděpodobně dána rozdílným rozložením příčných srážek, které více postihly západní část povodí Vydry.

Zařazení této povodně do kategorie je v tomto případě obtížné, neboť povodeň 7.12.2007 byla v mnoha ohledech specifická. V povodí docházelo k intenzivnímu tání sněhu, hlavním příčinným faktorem však byly srážky. Po celou dobu vál silný západní vítr, který však nezpůsobil v povodí Vydry orografické zesílení srážek, případně jen v jeho západní části. Povodeň tak není možno s jistotou řadit do žádné kategorie, jako nejvhodnější se jeví přiřazení do kategorie „Zimní povodně s převažujícím vlivem dešťových, málo orograficky zesílených srážek“.

Tabulka 22: Vyhodnocení povodně 17.12.2007

	Datum	Čas kulminace	Kulminační průtok ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	Vodní stav (cm)
Vydra-Modrava ČHMÚ	7.12.2007	14:00	39,3	137
Vydra-Modrava PŘF UK	7.12.2007	14:20	43,159	-
Modravský p.	7.12.2007	14:40	13,497	114,3
Roklanský p.	7.12.2007	14:20	30,969	147,3
Březnický p.	7.12.2007	20:20	1,112	120,0
Ptačí p.	7.12.2007	18:00	0,957	77,6
Rokytka	7.12.2007	13:10	1,789	106,6
Extremita (Vydra-Modrava ČHMÚ)	Q2	SPA	1	

Zdroj: data ČHMÚ, data PŘF UK, zpracování autor

8.5. Průtokové vlny 23.6.2009 a 4.7.2009

Ačkoliv kulminační průtok u těchto situací nepřekročil na Vydře hodnotu Q1, kterou v této práci uvažujeme jako kritérium pro označení hydrologické situace jako povodně, na území ČR vyvolaly dlouhotrvající intenzivní srážky jedny z největších povodní posledních let. Proto bylo pro posouzení povodňového mechanismu Vydry zařazeno i toto období. Přestože obě hodnocené průtokové vlny jsou v širším kontextu součástí jednoho období a navazují na sebe, jedním z kritérií pro hodnocení povodňových epizod bylo rovněž to, že u vícevrcholových vln byly za samostatné povodně považovány ty vlny, jejichž vrcholy byly od sebe vzdáleny alespoň 3 dny a kdy průtok poklesl v těchto dnech na polovinu kulminačního průtoku první vlny. Z tohoto pohledu se tedy jedná o dvě hydrologické situace, které se vyskytly v hodnoceném období. Pro ucelenější přehled situace bude nejprve znázorněna meteorologická situace v celém období, následně pak bude pozornost věnována rozboru každé průtokové situace samostatně.

8.5.1 Hydrometeorologická situace

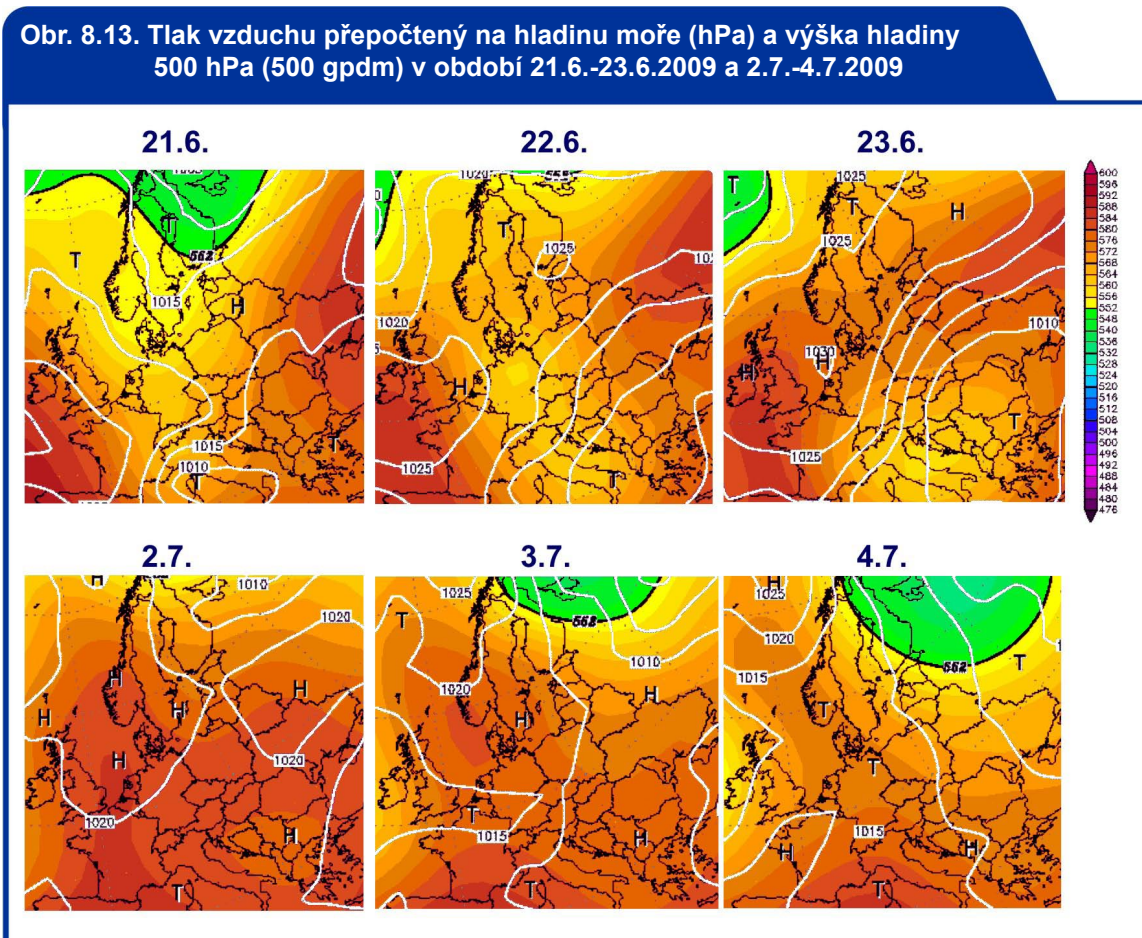
Hřeben vysokého tlaku vzduchu, který na naše území zasahoval z jihu postupně slábnul a od 15.6. začala přes naše území postupovat od západu zvlněná studená fronta, která přinášela nad území ČR bouřky. Ty však postihovaly spíše východní část území ČR, na Šumavě byly úhrny srážek do 10mm. Tlaková níže ve vyšších vrstvách atmosféry začala dne 22.6. ustupovat k jihu. V zesilujícím severovýchodním proudění začala během dne postupovat na naše území k jihozápadu výrazná teplá fronta, spojená s tlakovou níží nad Balkánem.

Intenzivní srážky se vyskytly na území Šumavy 22.6. v odpoledních hodinách a vypadávaly až do nočních hodin 25.6. Nejvyšší intenzity přitom dosáhly v noci z 22.6. na 23.6. Od 14:00 hod 22.6. do 18:00 23.6. přitom spadlo ve stanici Filipova Huť téměř 80mm srážek. Srážky však směrem k jihu rychle slábly a tak ve stejném časovém období srážkoměry PŘF Březník a Rokytka naměřily úhrn „pouze“ okolo 50mm.

Vysoké intenzity dosáhly srážky také ve večerních hodinách 25.6, což vyvolalo opětovné vzestupy hladin (druhá vlna). Ve stanici Filipova Huť byl úhrn srážek mezi 17 – 19 hod téměř 30mm, na Březníku a Rokytce však pouze 5mm. Lze tedy předpokládat, že toky v jižní

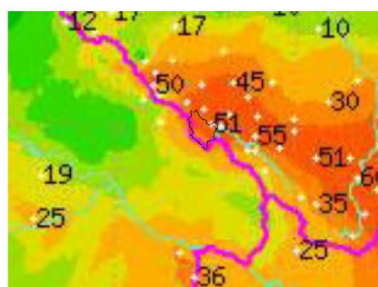
části povodí nebyly postiženy tak intenzivním srážkovým přívalem. V průběhu dne 26 června srážky nevyPadávaly a vyskytly se až v noci na 27.6. jejich celkový úhrn byl ve všech stanicích v povodí okolo 10mm, vzhledem k předchozí nasycenosti povodí došlo však opět k vzestupu hladin (třetí vlna). V průběhu rána 27.6 srážky zeslábly a vyšší intenzity dosáhly znovu až ve večerních hodinách. Srážky poté přetrvávaly celý den 28.6. a ustupovaly až v nočních hodinách. Úhrn srážek v tomto období byl ve všech stanicích v povodí okolo 15 mm, což vzhledem k předchozím dlouhotrvajícím úhrnům způsobilo opětovný vzestup hladin (čtvrtá vlna). V průběhu noci z 28 na 29.6. srážky zeslábly a v průběhu dne se nevyskytovaly. To vedlo k snížení průtoku. V průběhu noci na 30 června se vyskytovaly jen poměrně nevýrazné srážky s úhrnem do 5mm.

Dne 30.6. v poledních hodinách vypadly opět intenzivní srážky, které však postihly pravděpodobně pouze jihovýchod povodí Vydry. Svědčí o tom jednak úhrny srážek na Březníku, kde během 3 hodin napadlo 12,5mm srážek, zatímco na Rokytce pouze 0,9mm a ve stanici Filipova Huť nebyl zaznamenán žádný srážkový úhrn, ale též mnohem výraznější reakce prů-

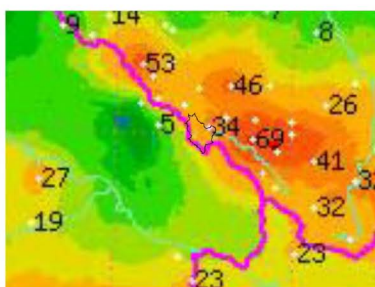


Zdroj: <wetterzentrale.de>, zpracování autor

Obr. 8.14. Plošné rozložení denních úhrnů srážek v období 22.6.-7.7.2009



Srážkové úhrny 22.6. 7:01 až 23.6. 7:00



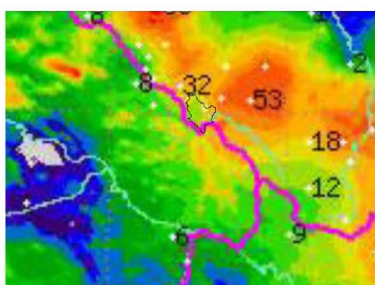
Srážkové úhrny 23.6. 7:01 až 24.6. 7:00



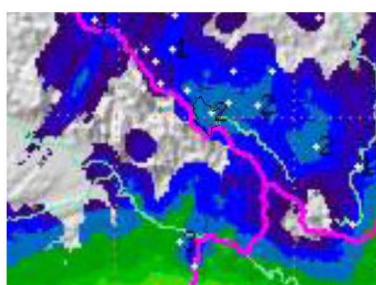
Srážkové úhrny 24.6. 7:01 až 25.6. 7:00



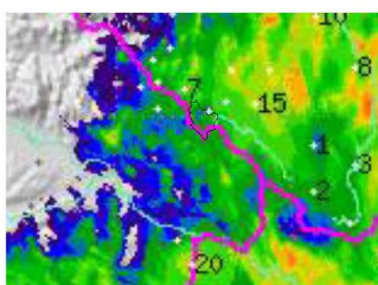
Srážkové úhrny 25.6. 7:01 až 26.6. 7:00



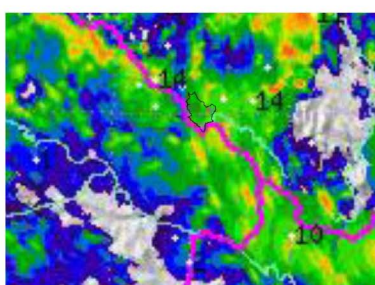
Srážkové úhrny 26.6. 7:01 až 27.6. 7:00



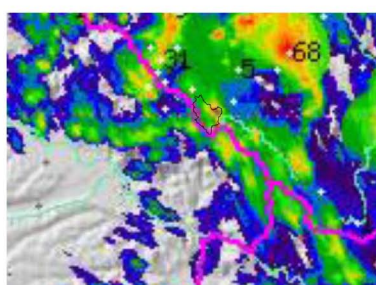
Srážkové úhrny 27.6. 7:01 až 28.6. 7:00



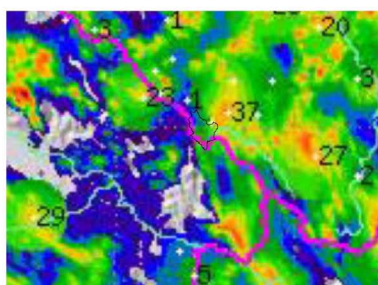
Srážkové úhrny 28.6. 7:01 až 29.6. 7:00



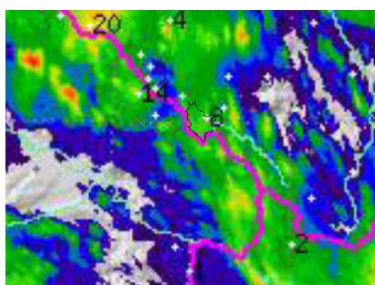
Srážkové úhrny 29.6. 7:01 až 30.6. 7:00



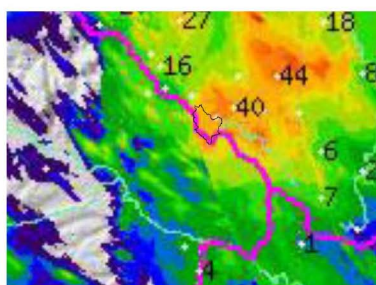
Srážkové úhrny 30.6. 7:01 až 1.7. 7:00



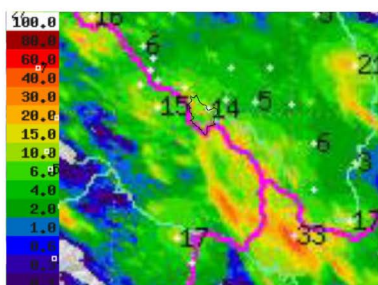
Srážkové úhrny 1.7. 7:01 až 2.7. 7:00



Srážkové úhrny 2.7. 7:01 až 3.7. 7:00



Srážkové úhrny 3.7. 7:01 až 4.7. 7:00



Srážkové úhrny 4.7. 7:01 až 5.7. 7:00



Srážkové úhrny 5.7. 7:01 až 6.7. 7:00



Srážkové úhrny 6.7. 7:01 až 7.7. 7:00

Zdroj: ČHMÚ, upraveno

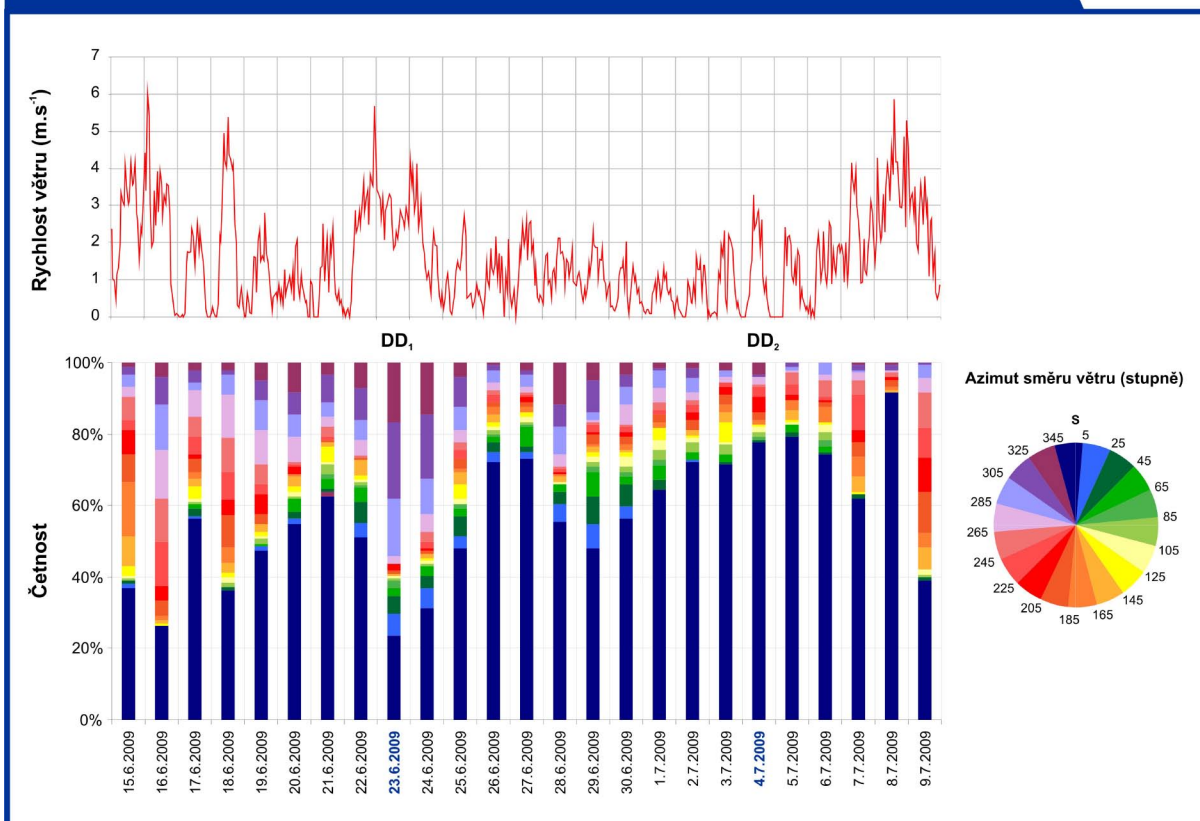
toku Modravského potoka.

V průběhu 1.7., kdy počasí na našem území stále ještě ovlivňoval okraj tlakové níže se středem nad Balkánským poloostrovem, která se jen zvolna vyplňovala, se vyskytly opětovně intenzivní srážky. Na Rokytce a Březníku spadlo během 4 hodin přes 10mm srážek. Srážky se vyskytovaly přibližně ve stejný čas, tedy kolem 12-14 hod, následně 2.7 a hlavně 3.7., kdy na Rokytce spadlo během jedné hodiny 15,5mm srážek, na Březníku 7,9 mm, Filipova Huť 8mm.

Dne 4.7. ve večerních hodinách se opět vyskytl nad územím povodí bouřkový systém, který zapříčinil vypadávání výrazných srážek. Během jedné hodiny spadlo na Rokytce přes 20mm a na Březníku 17mm srážek. Během večera a noci na 5.7 spadlo ve všech stanicích umístěných v povodí srážkový úhrn přesahující 30mm srážek. To vyvolalo výrazné zvýšení hladiny, téměř až na úroveň první vlny dne 23.6. Srážky se vyskytovaly i v průběhu 5.7, kdy přes naše území postupovala k východu okluzní fronta, jejich intenzita však již byla nižší. Významnější srážky spadly ještě 6.7. kolem poledne, kdy k nám ze západu postupoval další frontální systém. což vedlo k opětovnému vzestupu hladiny. Srážky se vyskytly i 7.7 a 8.7, kdy se nad střední Evropou postupně zvýrazňovalo frontální rozhraní mezi chladným vzduchem na severozápadě a teplým na jihovýchodě, které jen zvolna postupovalo k východu. Plošné rozložení denních úhrnů srážek v jednotlivých dnech můžeme sledovat na obr 8.14. Jádru srážek leželo nejčastěji severně a severovýchodně od zájmového území.

Z grafu chodu rychlosti větru a procentuálního zastoupení jednotlivých směrů větru v celém období (obr. 15.) je patrné, že se po celé období výrazně uplatňovalo proudění od severu. Z počátku měl vítr proměnlivý charakter, přecházel z jihozápadního směru v západní a severozápadní. Výrazné severozápadní a severní proudění je dobře patrné zejména v době příčinných srážek 22-23.6, dobře viditelný je i vzestup rychlosti na 3-5 m.s⁻¹. Četnost severní složky větru po DD₁ dále rostla, rychlost větru byla v průměru do 2m.s⁻¹. Ke konci hodnoceného období se začalo více projevovat i západní proudění spojené se vzrůstem rychlosti na 3-5 m.s⁻¹.

Obr. 8.15. Chod rychlosti a směru větru ve stanici Březník v období 15.6.-9.7.2009



Zdroj: data PŘF UK, zpracování autor

8.5.2. Nasycenost povodí a stav sněhové pokrývky

I pro tuto situaci byl určen index úhrnu předchozích srážek z 30 předcházejících dní. V tomto intervalu již byly v provozu i srážkoměry na Březníku a Rokytce. Pro výpočet indexu UPS pro zájmové povodí je v tomto případě tedy využito průměru denních úhrnů srážek ze stanic Filipova Huť, Rokytka a Březník.

Tabulka 23: Hodnoty UPS v období 19.6.-28.6.2009 (D-4 až D+3)

	19.6	20.6	21.6	22.6	23.6	24.6	25.6	26.6
	D-4	D-3	D-2	D-1	DD ₁	D+1	D+2	D+3
UPS (mm)	46,145	53,286	51,440	49,922	86,039	100,445	102,365	109,706

Zdroj: data PŘF UK, data ČHMÚ, zpracování autor

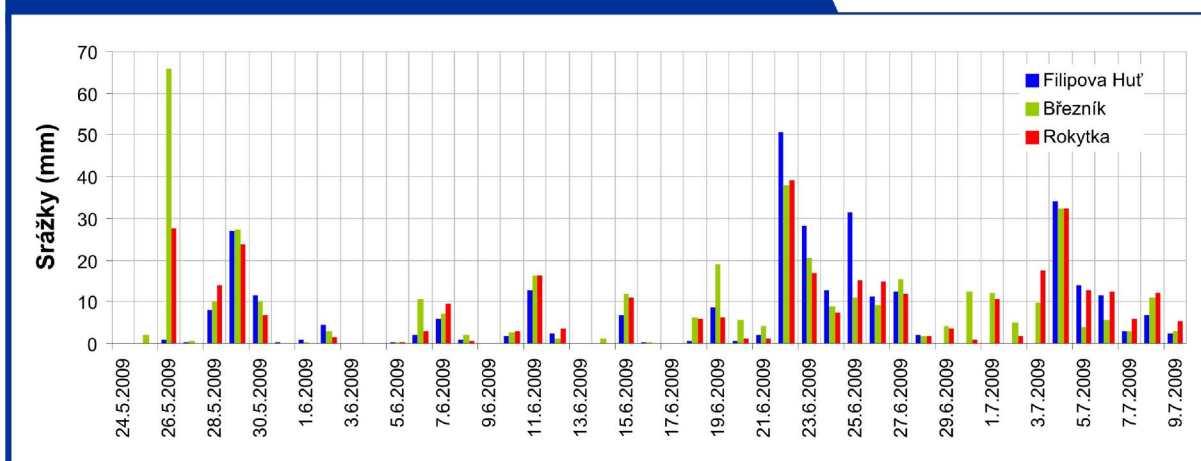
Tabulka 24: Hodnoty UPS v období 30.6.-7.7.2009 (D-4 až D+3)

	30.6	1.7	2.7	3.7	4.7	5.7	6.7	7.7
	D-4	D-3	D-2	D-1	DD ₂	D+1	D+2	D+3
UPS (mm)	101,103	98,232	98,474	93,431	95,416	119,303	120,375	120,528

Zdroj: data PŘF UK, data ČHMÚ, zpracování autor

V období 30 dnů před meteorologickou situací, která zapříčinila první průtokovou vlnu 23.6 bylo celkem 23 dní s výskytem srážek. Nejvýznamnější srážky se vyskytly 26.5, kdy během 24 hodin napadlo ve stanici Březník více jak 65mm srážek. Tyto srážky způsobily velmi rychlý vzestup hladiny zejména na Modravském potoce. Poměrně významné srážky s denními úhrny 10-25mm se v povodí vyskytly ještě v období 28.5-30.5, 11.6. a 19.6.2009. Celkový hojný výskyt předchozích srážek způsobil, že povodí bylo před výskytem příčinné situace již relativně nasyceno, o čemž svědčí i hodnoty UPS (tab. 24.). Od 22.6, kdy se vyskytla příčinná srážka, se srážky vyskytovaly každý den po zbytek hodnoceného období a dále zvyšovaly již tak značnou míru nasycení povodí. V době výskytu druhé příčinné situace (4.7) bylo povodí již značně nasyceno, infiltrační schopnost půd a retenční schopnost povodí byla pravděpodobně značně omezena, což vedlo k výraznější odezvě průtoku na intenzivní srážky.

Obr. 8.16. Chod denních úhrnů srážek v období 24.5.-9.7.2009



Zdroj: data PŘF UK, data ČHMÚ, zpracování autor

8.5.3. Hydrologická situace 23.6.2009

Průtoky se před příčinnou situací mírně kolísaly přibližně mezi úrovněmi Q_{180d} až Q_{210d} . V reakci na intenzivní srážky došlo v noci z 22.6. na 23.6.2009 k výraznému vzestupu hladiny Vydry. V profilu Modrava dosáhla Vydra kulminace 23.6. v 5:50 společně s kulminačním průtokem Roklanského potoka. Kulminace Modravského potoka proběhla již ve 4:30.

Jádro srážek se v této době nacházelo směrem na severovýchod od povodí Vydry a

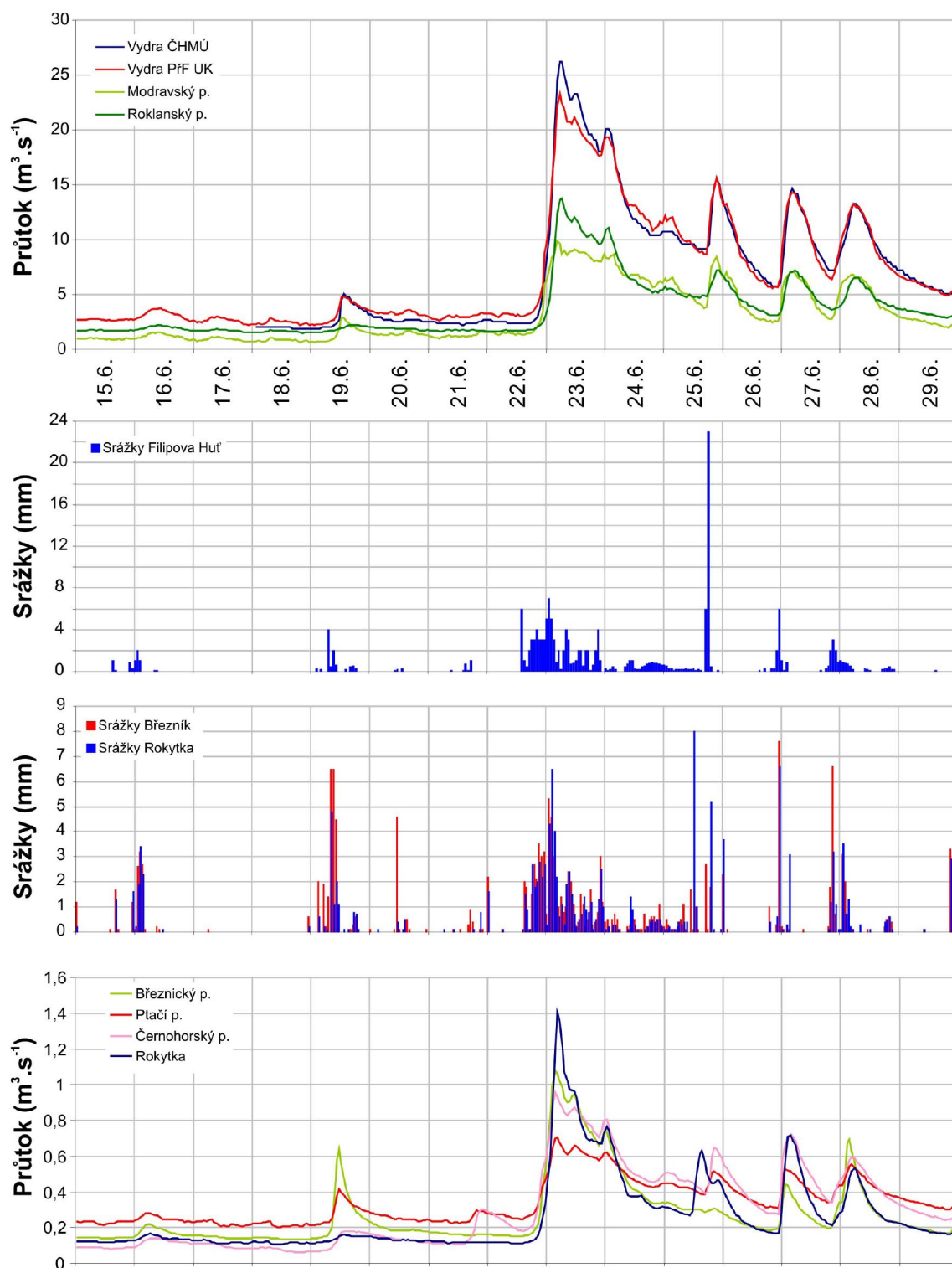
srážky směrem k jihu a jihozápadu slábly. Z tohoto důvodu nebyl vzestup průtoku Vydry tolik patrný, jako na ostatních přítocích Otavy. Například na Křemelné ve Stodůlkách a na Otavě v Rejštejně platil 1 SPA, přičemž v Rejštejně dosáhla kulminace Otavy hodnoty 1-leté povodně. Spodní části toku Otavy, stejně jako toky Horní Vltavy a toky odvodňující oblast Novohradských hor vykazovaly podstatně výrazně vyšší zvýšení průtoků i s dosažením 3 SPA.

Po kulminaci první vlny klesaly průtoky, vzhledem k pokračujícím srážkám, jen pozvolna. Dne 25.6 v reakci na další intenzivní srážky, jež opět postihly nejvíce severovýchodní část povodí a přesouvaly se dále na jihozápad, došlo k opětovnému vzestupu hladin toků (druhá vlna). Dobře viditelná je přitom rozdílnost v plošném rozložení srážek na povodí. Zatímco ve Filipově Huti spadlo více jak 20mm během jediné hodiny, na Rokytce jen 5mm a na Březníku jen necelé 2mm. Z grafu chodu hodinových průtoků (obr. 8.17.) je v této době patrný významný vzestup hladiny Modravského potoka, na jehož vodnosti se v tento moment pravděpodobně nejvíce podílely Ptačí, Černohorský a zejména pak Filipohuťský potok. Březnický potok naopak nevykazuje prakticky žádnou odtokovou reakci. Záznam chodu Cikánského potoka bohužel nebyl pro toto období k dispozici.

Krátké intenzivní srážky, které postihly oblast povodí ještě v noci z 26.6 na 27.6 a z 27.6 na 28.6 způsobily opětovné další vzestupy hladin toků (třetí a čtvrtá vlna).

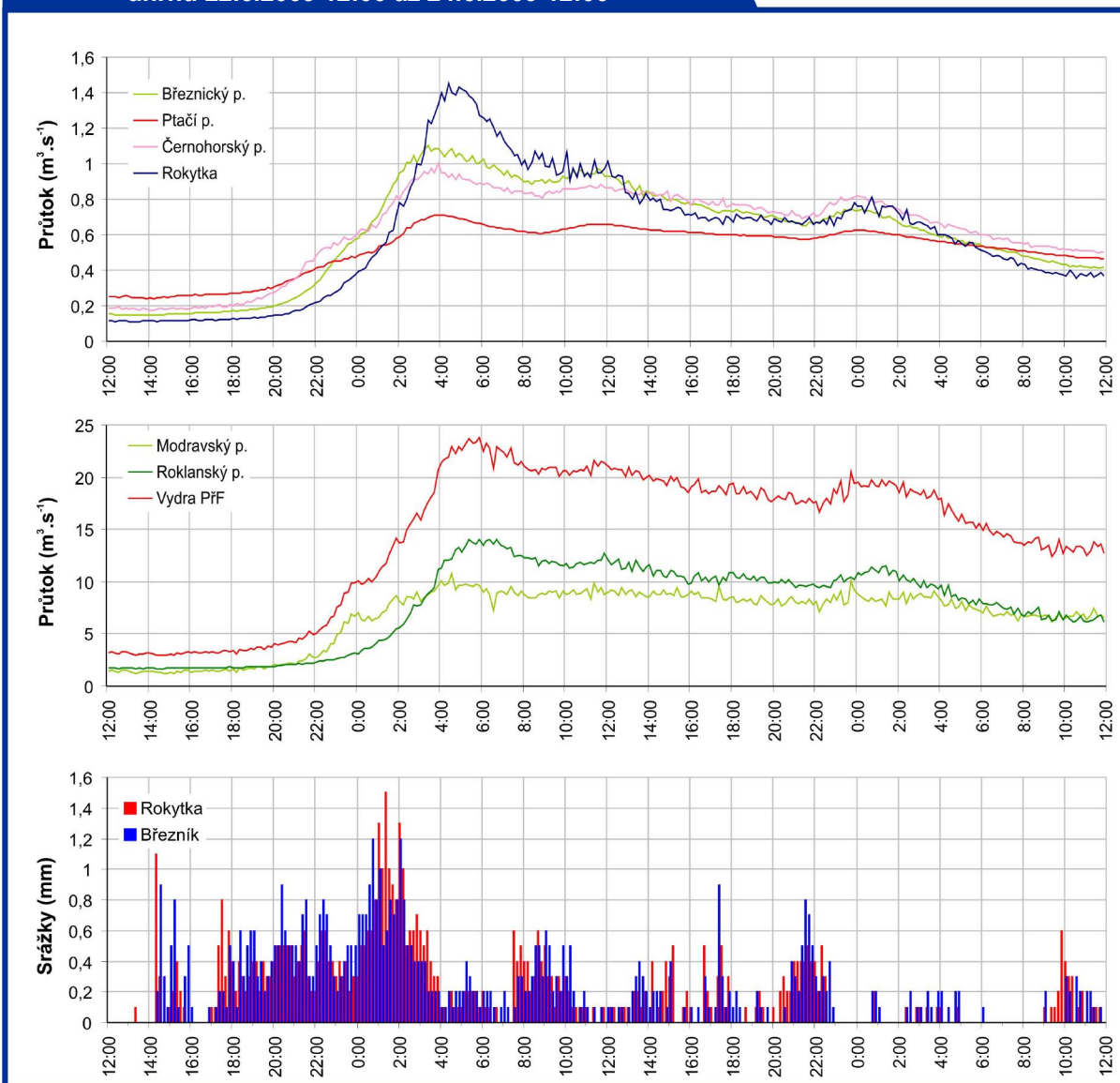
Z grafu desetiminutových průtoků první průtokové vlny dne 23.6. (obr. 8.18.) můžeme sledovat rozdílný charakter a rychlost vzestupu jednotlivých toků. Srážky postupovaly od severovýchodu a na ploše povodí Vydry měly podobnou intenzitu. Strmý vzestup hladin vykazují zejména Březnický potok a Rokytka, která opět dosáhla největší extremity. Zajímavé je i srovnání průběhu průtokové vlny Modravského potoka s vlnou Roklanského potoka. Vzestup prvně jmenovaného začíná dříve a je více pozvolný. To může být částečně ovlivněno postupem srážek od severovýchodu, kdy byly některé části povodí zasaženy deštěm dříve (značnou roli bude v této situaci hrát přítok Filipohuťského potoka). Svou roli patrně také sehrálo, že nedošlo k interferenci povodňových vln na toku Modravského potoka.

Obr. 8.17. Chod hodinových průtoků, teploty a srážkových úhrnů 15.6.-29.6.2009



Zdroj: data PFF UK, data ČHMÚ, zpracování autor

Obr. 8.18. Chod desetiminutových průtoků a srážkových úhrnů 22.6.2009 12:00 až 24.6.2009 12:00



Zdroj: data PŘF UK, zpracování autor

8.5.4. Hydrologická situace 4.7.2009

Postupný pokles hladiny toků po předchozí hydrologické situaci, přibližně na úroveň Q_{60d} , přerušil dne 30.6 opětovný výskyt intenzivních srážek v povodí. Srážky se nadále vyskytovaly ve všech dnech před příčinnou srážkou 4.7. a zvyšovaly míru nasycení povodí. Jejich prostorová distribuce byla často nerovnoměrně rozložena. Ve dnech 30.6 – 2.7.2009 je kupříkladu patrný výrazný vzestup hladiny Modravského potoka, zatímco Roklanský potok je prakticky bez odtokové reakce. Za zmínku stojí značně vysoký vzestup hladiny Březnického potoka dne 30.6, kde u hladinoměru spadlo během 2 hodin více jak 10mm. Srážka 1.7, postihla

patrně i povodí Roklanského potoka, zřejmě však jen jeho horní přítoky, takže k výraznějšímu zvýšení hladiny Roklanského potoka v Modravě nedošlo. Dne 2.7 vyniká prudkým vzestupem průtoku zejména Černohorský potok. To může být do jisté míry ovlivněno provedenou revitalizací, která v kombinaci s již velmi vysokým stupněm nasycení povodí a výskytem srážek vyvolalo výraznou odtokovou reakci.

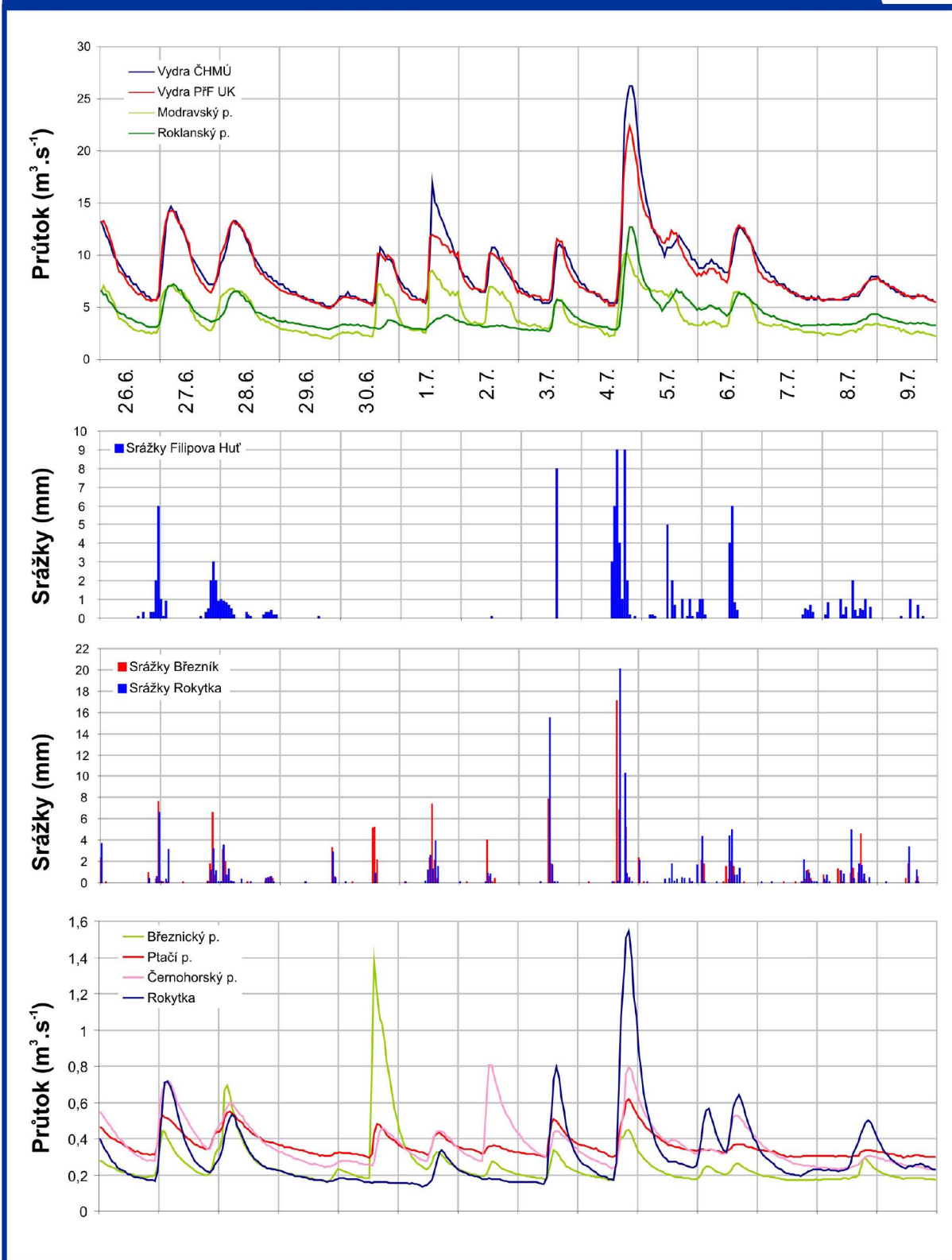
Intenzivní srážka postihla povodí i den před příčinnou srážkou 3.7, tentokrát již byly zasaženy i nižší části povodí, což se projevilo i na zvýšení hladiny Roklanského potoka.

Po předchozích srážkách, které způsobily, že povodí bylo již značně nasyceno, postihla dne 4.7 v odpoledních hodinách pramennou oblast Vydry velmi intenzivní bouřka, kdy na Březníku i Rokytce spadlo 17-20mm za jedinou hodinu (!). Na Filipově Huti byla intenzita srážky sice nižší, déšť však zde vypadal delší dobu. Za 7 hodin trvání deště zde spadlo téměř 35mm. To vyvolalo výrazné zvýšení průtoku všech sledovaných toků. Nejvýrazněji stoupal průtok na Rokytce a Černohorském potoce. Březnický potok, i přestože byl postižen nejintenzivnější, avšak krátkou srážkou, vykázal nejnižší zvýšení vodnosti.

Za zmínku stojí také vzestup průtoku Černohorského potoka a Rokytky dne 6.7.2008. Ostatní sledované toky měly odtokové reakce mnohem menší. Povodí Rokytky má značné zastoupení ploch rašelinišť a na Černohorském potoce byla provedena revitalizace spočívající v hrazení odvoňovacích kanálů, která odváděly vodu právě z ploch rašelinišť. Nabízí se tedy hypotéza, že rychlost a intenzita odtoku je závislá na ploše rašelinišť či v případě Černohorského potoka na snížení míry odtoku z rašelinišť. V situaci, kdy je již povodí výrazně nasyceno tyto faktory pravděpodobně snižují retenční kapacitu území.

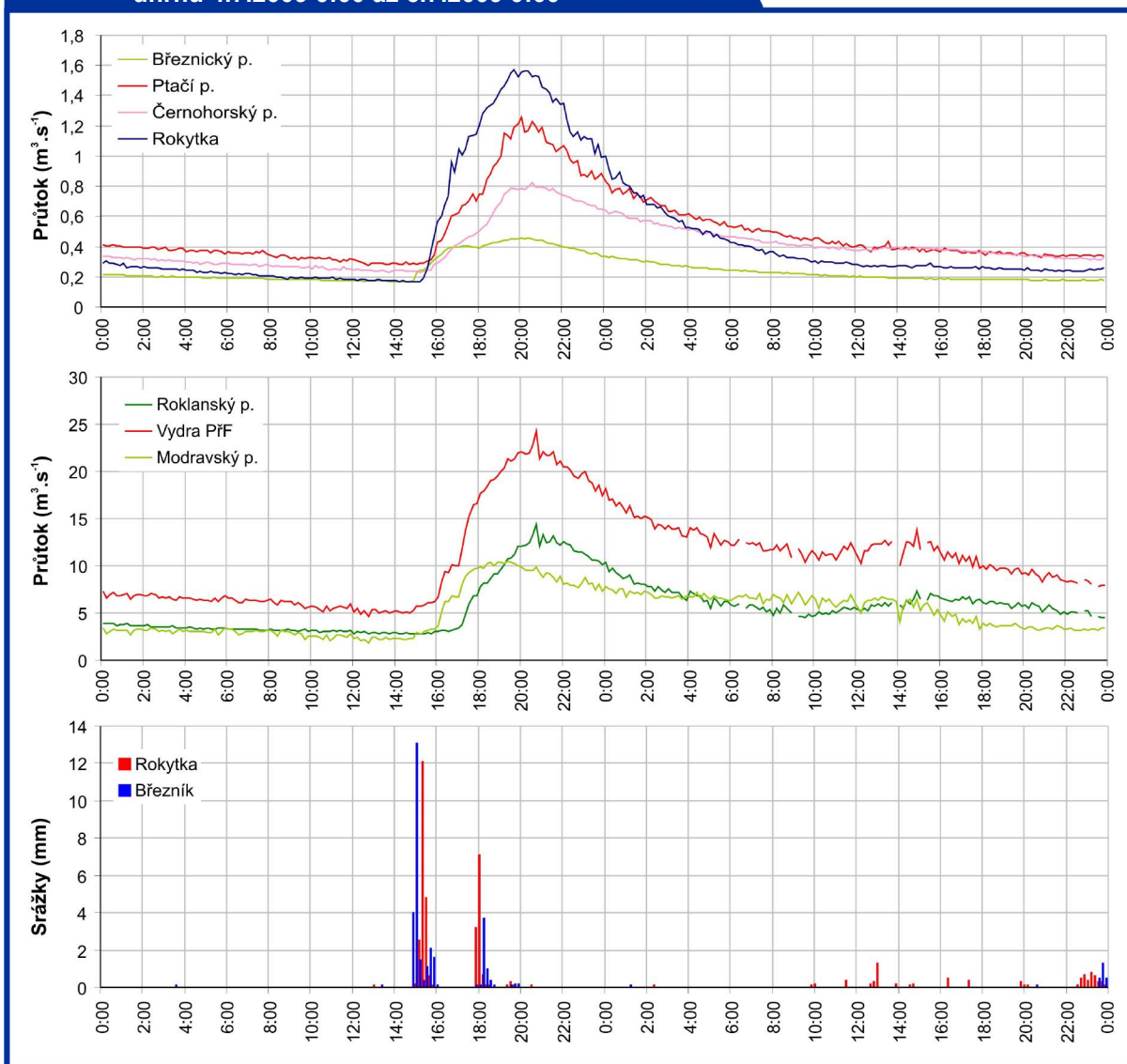
Z grafu chodu desetiminutových průtoků průtokové vlny 4-5.7 (obr. 8.18.), lze vysledovat, že Modravský potok kulminuje dříve než jeho přítoky. Záporné postupové doby jsou v tomto případě dány postupem srážek od severu a severovýchodu, takže spodní část toku byla deštěm postižena dříve. Zajímavé srovnání poskytuje reakce průtoku Rokytky a Březnického potoka. Obě povodí byla postižena prakticky totožnou krátkou a velmi intenzivní srážkou, kdy během 10 minut spadlo více jak 12mm srážek. Ta však vyvolala velmi odlišné reakce průtoku.

Obr. 8.19. Chod hodinových průtoků, teploty a srážkových úhrnů 26.6.-9.7.2009



Zdroj: data PŘF UK, zpracování autor

Obr. 8.18. Chod desetiminutových průtoků a srážkových úhrnů 4.7.2009 0:00 až 6.7.2009 0:00



Zdroj: data PŘF UK, zpracování autor

8.5.5. Zhodnocení situace

Průtokové vlny 23.6. a 4.7.2009 zapříčinily dlouhotvající srážek v kombinaci s přechodným nasycením povodí.

Jádro srážek leželo nejčastěji severovýchodně od povodí Vydry. Srážky byly tedy pravděpodobně orograficky zesíleny na podružném šumavském hřebeni a povodí Vydry se tak ocitlo v závětrí. Na Březníku převládalo u první situace severozápadní, u druhé pak severní proudění. Rychlost větru však nebyla velká. Vydra proto nedosáhla ani povodňového stavu. Kulminační průtoky obou vln Vydry se pohybovaly přibližně na úrovni Q_{2d} .

Z dílčích přítoků dosahovala u první vlny největších extremit Rokytky a Březnický potok. U druhé situace se projevil kromě opět výrazné extremity Rokytky, výrazný vzestup průtoků Černohorského potoka. Nabízí se tedy hypotéza o možném ovlivnění extremity v souvislosti s plochou rašelinišť či provedenými revitalizačními úpravami. Zejména pak v situacích kdy je povodí již značně nasyceno.

Tato situace není dle stanovených kritérií považována za povodeň. Pokud by však měla být přiřazena do kategorie, nejlépe by splňovala kritéria skupiny „Letní povodně s orografickým zesílením srážek na severovýchodním úpatí Šumavy“.

Tabulka 25: Vyhodnocení průtokové vlny 23.6.2009

	Datum	Čas kulminace	Kulminační průtok ($m^3 \cdot s^{-1}$)	Vodní stav (cm)
Vydra-Modrava ČHMÚ	23.6.2009	5-6	26,2	115
Vydra-Modrava PŘF UK	23.6.2009	5:50	23,747	-
Modravský p.	23.6.2009	4:30	10,713	98,2
Roklanský p.	23.6.2009	5:50	14,062	106,2
Březnický p.	23.6.2009	3:20	1,101	120,6
Ptačí p.	23.6.2009	3:50	1,713	53,0
Černohorský p.	23.6.2009	3:50	0,997	106,1
Roklanský p. - hájenka	23.6.2009	5:20	-	59,0
Rokytky	23.6.2009	4:20	1,454	96,4

Zdroj: data PŘF UK, data ČHMÚ, zpracování autor

Tabulka 26: Vyhodnocení průtokové vlny 4.7.2009

	Datum	Čas kulminace	Kulminační průtok ($m^3 \cdot s^{-1}$)	Vodní stav (cm)
Vydra-Modrava ČHMÚ	4.7.2009	20-21	26,2	115
Vydra-Modrava PŘF UK	4.7.2009	20:40	24,310	-
Modravský p.	4.7.2009	19:20	10,515	97,0
Roklanský p.	4.7.2009	20:40	14,384	107,2
Březnický p.	4.7.2009	20:20	0,458	77,1
Ptačí p.	4.7.2009	20:00	1,259	46,8
Černohorský p.	4.7.2009	20:30	0,822	99,0
Roklanský p. - hájenka	4.7.2009	21:00	-	37,9
Rokytky	4.7.2009	19:40	1,574	100,2

Zdroj: data PŘF UK, data ČHMÚ, zpracování autor

9. DISKUZE

Cílem této kapitoly je shrnutí dosažených poznatků, které z práce vyplynuly. Ty jsou dále diskutovány s poznatky obsaženými v rešeršní části práce. Pozornost je věnována i označení nedostatků a možných chyb, které mohly dosažené výsledky nejvíce ovlivnit.

Prvním cílem práce byla analýza hydrologických dat ze státního profilu Vydra-Modrava, která měla vytvořit bližší představu o základním charakteru a trendech v režimu odtoku celé zájmové oblasti z hlediska delšího časového období. Ta navázala na již dříve prováděnou analýzu z tohoto profilu, které se v rámci bakalářské práce věnoval Čurda (2007) a Jelínek (2006). Režim odtoku v pramenné oblasti Vydry má mírně nevyrovnaný chod, který způsobuje zejména významné zvýšení vodnosti v období jarního tání. Kupříkladu v období tání 2009 průtoky kolísaly v průběhu jednoho dne i v rozmezí $4\text{--}6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, tedy v hodnotách výrazně přesahujících hodnotu dlouhodobého průměrného průtoku ($3,406 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ v období 1931-2008). Denní maxima průtoku se přitom výrazně zpožďují za denními maximy teploty. Při provádění hydrometrických měření je tedy nutno brát tuto variabilitu v úvahu a důsledně zaznamenávat časy měření. V režimu ročních průtoků je možno sledovat jistou periodicitu v opakování mimořádně vodných roků, zejména pak v období od počátku 80 let. S pomocí analýzy řady ročních průtoků lze konstatovat, že se zde epizoda mimořádně vodného roku opakuje přibližně jednou za 7 let a mimořádně vodnému roku ve většině případů předchází rok nadprůměrně vodný. Za zmínku stojí, že od roku 2005 byly dosud všechny roky nadprůměrně vodné. Míra vodnosti daného roku je v případě Vydry nejčastěji ovlivněna množstvím akumulované sněhové pokrývky během zimního období, která při jarním tání dosaženými průtoky určuje charakter vodnosti daného roku. Tyto výsledky potvrdily a rozšířily již dříve formulované závěry v bakalářské práci Čurdy (2007) i Jelínka (2006).

Druhá skupina cílů spočívala v analýze dat z experimentálních profilů PřF UK. V první fázi byla pozornost soustředěna na konstrukci měrných křivek průtoku s využitím datových podkladů získaných vlastním hydrometrickým monitoringem. Právě tato část se z hlediska

vzniku možných chyb ukázala jako nejvíce problematická. V případě extrémních průtoků je totiž značně obtížné provádět hydrometrický monitoring, zejména pak na větších tocích. Data o hodnotě průtoku tak mohla být pořízena jen v určitém rozsahu vodnosti. V tomto intervalu průtoků křivky dosahovaly vysoké spolehlivosti, avšak v oblasti mimo tento interval (zejména v oblasti vysokých průtoků) docházelo k výraznému nadhodnocení, či naopak podhodnocení velikosti průtoku. Pro řešení tohoto problému bylo třeba matematicky extrapolovat měrnou křivku, s využitím naměřených dat, do oblasti vysokých průtoků. Právě tento krok mohl významně ovlivnit dosahované hodnoty průtoků v jednotlivých profilech. Pro přesnější výsledky je nutno u menších toků do budoucna reagovat aktivním hydrometrickým monitoringem v závislosti na probíhající povodňové situace. U větších toků pak zvážit možnosti využití alternativních způsobů měření průtoku. V úvahu připadá i využití hydraulického modelování. Pro něj je však nejprve nezbytné vytvořit datovou základnu.

Zkonstruované měrné křivky otevřely prostor pro řešení dalšího cíle. Tím byla analýza odtokového režimu páteřních toků území a jejich přítoků. U většiny těchto toků doposud nebyl nikým prováděn automatizovaný kontinuální monitoring vodních stavů. Formulované výsledky tedy ve své podstatě přinášejí první komplexní pohled na jejich odtokové poměry.

První část cíle byla soustředěna na páteřní toky oblasti – Roklanský a Modravský potok. Ve sledovaném období 1.11.2006-16.7.2009 se na celkové vodnosti Vydry v profilu Modrava podílel Roklanský potok z 59,7%, Modravský pak z 40,3%. Vyšší rozkolísanost průtoků měl po celé období Modravský potok. To pravděpodobně souvisí s větším rozložením objemu jeho odtoku do období jarního tání. Při hodnocení období tání v jednotlivých letech byly však zjištěny značné odchylky v srovnání rozkolísanosti těchto dvou toků. Tento fakt může být ovlivněn značným množstvím faktorů. Pravděpodobně souvisí s množstvím a variabilitou plošného rozmístění sněhové pokrývky v jednotlivých letech.

Dílčím úkolem bylo i určení míry vzájemné komparace dat PřF a ČHMÚ. Dle provedených analýz je odchylka v datových řadách v průměru do 5%.

V druhé části byla pozornost soustředěna na popis odtokových poměrů v dílčích povo-

dích. Určeny byly základní ukazatele v období 1.11.2008-16.7.2009, tedy v době kdy již byly monitorovány všechny sledované toky. Nejvyšší rozkolísanost ve sledovaném období vykazoval Březnický potok a Rokytky. Březnický potok odvodňuje oblast nejvíce zasaženou kůrovcovou kalamitou. Rokytky pak vyniká zejména značným podílem ploch rašelinišť. Naopak velmi nízkou rozkolísanost vykazovaly potoky Černošický a Cikánský. Oba tyto toky se vyznačují značným podílem plochy rašelinišť, vysokou mírou lesnatosti a na obou byla provedena revitalizace spočívající v hrazení původních melioračních kanálů. To vede k hypotéze, že tyto provedené úpravy mohou stabilizovat chod průtoků z hlediska jejich ročního průběhu.

V rámci dílčího cíle byla rovněž sestavena mapa rozložení odtoku v povodí Modravského potoka. Pro Roklanský potok prozatím nebylo možné obdobnou mapu sestavit, neboť některé toky nejsou kontinuálně sledovány a z důvodu jejich špatné dostupnosti na nich bylo provedeno jen několik hydrometrických měření. Získané výsledky by tedy nebyly reprezentativní.

Cíle třetí skupiny byly zaměřeny na popis a analýzu vybraných povodňových případů, které se vyskytly ve sledovaném území v období pozorování. Pozornost byla soustředěna zejména na popis mechanismu vzniku a průběhu povodně v jednotlivých povodích. Významným cílem je snaha o nalezení souvislostí v průběhu a míře extremity povodně v závislosti na specifických fyzicko-geografických podmínkách v jednotlivých dílčích povodích. Zvláštní pozornost je v tomto ohledu soustředěna zejména na hydrologickou funkci rašelinišť.

Ve sledovaném období 1.11.2006-16.7.2009 se vyskytly 3 hydrologické situace, které lze, dle zvolených kritérií, označit za povodně. Povodně se ve dvou případech vyskytly v jarním období (1.3.2008 a 18.4.2009), jedna povodeň se vyskytla v zimě (7.12.2007). Posuzována byla navíc ještě další hydrologická epizoda z června a července 2009, která sice na Vydře rozhodného kulminačního průtoky pro zařazení mezi povodně nedosáhla, způsobila však významné povodně na mnoha místech ČR. Na základě analýzy těchto povodňových případů lze přijmout závěry, které ve své práci pro oblast povodí Vydry formuloval Vlasák (2008). Ten označil za specifika této oblasti zejména narůst podružného listopadového a prosincového maxima četnosti povodňových průtoků, rovněž i zvýšenou četnost povodňových situací v době

jarního tání. Tomuto rozložení velmi dobře odpovídá výskyt povodní ve sledovaném období. Vlasák (2008) dále tvrdí, že většina zimních povodní vzniká na Otavě v důsledku dešťových srážek, které vyvolávají přechody frontálních systému ve velmi silném západním proudění, úhrny srážek jsou u těchto povodní vždy výrazně orograficky zesíleny, mimo jiné, právě v pramenné oblasti Vydry. Četnost výskytu směrů větru se výrazně koncentruje do intervalu 220° - 270° a 340° - 360° . Letní typy povodní se vyznačují rovnoměrnějším rozložením srážek, s maximem nacházejícím se velmi často na vedlejším šumavském hřebenu (Vlasák 2008). Tyto popsané parametry se u sledovaných povodní skutečně vyskytly, což dokládají i výstupy získané z dat PřF UK. Z dosažených výsledků tak lze potvrdit poznatky o povodňovém mechanismu Vydry, formulované v rešeršní části práce.

Závislost extremity povodně na specifických fyzicko-geografických podmínkách jednotlivých povodí byla testována na povodňové události 18.4.2009. Tato povodeň vytvořila velmi vhodné podmínky pro posouzení chování odtoku jednotlivých toků v zájmové oblasti v reakci na příčinnou situaci. Pomocí vytvořené metodiky byla určena míra extremity povodně na jednotlivých tocích. Ta byla, společně s vyjádřenými fyzicko-geografickými parametry území, základem pro korelační analýzu. Ta potvrdila velmi silnou závislost extremity povodně na podílu plochy rašelinišť v povodí. Výraznou extremitu vykazovaly při této povodni zejména Cikánský potok a Rokytka. Povodí obou těchto toků vynikají vysokým podílem ploch rašelinišť. Cikánský potok však, na rozdíl od Rokytky, vykazoval vůbec nejnižší rozkolísanost průtoků v době před vznikem povodně ze všech sledovaných toků. To vede k hypotéze, že významný vliv na průběh povodně na tomto toku má provedená revitalizace, spočívající v hrazení původních melioračních kanálů. Tyto úpravy pravděpodobně stabilizují rozkolísanost průtoků v době průměrné vodnosti. Při povodňových událostech však velmi negativně ovlivňují retenční schopnost povodí (!). Je třeba vzít v úvahu, že výsledky jsou formulovány pouze na základě jediné události a mohou být z části ovlivněny dalšími fyzicko-geografickými faktory. Této hypotéze však nahrává i průběh průtokových vln při hydrologické události z června a července 2009. Data z Cikánského potoka nejsou v tomto období bohužel k dispozici, avšak výraznou extremitu průtoků vykazuje i další revitalizovaný tok, kterým je Černošský potok. Ten má opět

velmi vyrovnaný chod v oblasti průměrných průtoků v období před povodní. Tyto poznatky jsou svým charakterem natolik závažné, že je nezbytné formulovat doporučení, aby dotčené orgány důkladně zvážily, zda pokračovat v těchto úpravách i na dalších tocích. Revitalizované toky by měly být dlouhodobě intenzivně monitorovány a získané výsledky průběžně vyhodnocovány. Rozhodnutí o budoucích úpravách by mělo být činěno až na podkladě výsledků tohoto monitoringu. V opačném případě se vystavujeme riziku zvyšování dosažené extremity povodní v tomto území.

S ohledem na výše formulovaná fakta lze konstatovat, že na všechny vytyčené cíle z úvodu práce, se podařilo reagovat. Složitost a komplexnost problematiky však neumožňuje věnovat dostatečnou pozornost všem komponentám vstupujícím do srážko-odtokového procesu. Jednotlivé faktory se tak mohou výrazně ovlivňovat, či navzájem doplňovat. V některých případech tedy muselo nutně dojít k výraznému zjednodušení skutečnosti. Pro další potvrzení a zpřesnění výsledků je nutno věnovat co možná nejvyšší pozornost jednotlivým komponentám srážko-odtokového modelu i s pomocí matematického modelování.

10. ZÁVĚR

Tato práce přináší a shrnuje poznatky o odtokovém režimu jednotlivých toků v pramen-
né oblasti Vydry, se zvláštním zřetelem na formování a průběh povodňových situací. Pozornost
je soustředěna na nalezení souvislostí v ovlivnění extremity povodňového průtoku v závislosti
na fyzicko-geografickém prostředí jednotlivých toků. Zvláštní důraz je v tomto ohledu kladen
na posouzení hydrologické funkce rašelinišť. Práce vychází z dat získaných více než tříletým
monitoringem, který v této oblasti realizuje katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK.

Provedené analýzy potvrdily na příkladu povodňové situace 18.4.2009 značnou vzá-
jemnou závislost extremity povodňových průtoků a podílu plochy rašelinišť v povodí. Zvláště
významná je pak zvýšená extremita povodní u toků, které prošly revitalizací. Ta spočívá v
hrazení původních melioračních kanálů, která rašeliniště odvodňují. Tyto úpravy tak dle stano-
vených hypotéz sice stabilizují rozkolísanost průtoku z hlediska jeho ročního průběhu, velmi
negativně však ovlivňují retenční schopnost povodí v případě povodňové situace. Formulová-
na byla některá doporučení pro budoucí postup dotčených orgánů.

Potvrzena byla ve sledovaném období rovněž i platnost vlastností povodňového mecha-
nismu Vydry, tak jak jej ve své práci formuloval Vlasák (2008). Specifika této oblasti jsou
tedy zejména narůst podružného listopadového a prosincového maxima četnosti povodňových
průtoků, rovněž i zvýšená četnost povodňových situací v době jarního tání. Většina zimních
povodní vzniká v důsledku dešťových srážek, které vyvolávají přechody frontálních systému
ve velmi silném západním proudění. Úhrny srážek jsou vždy výrazně orograficky zesíleny na
hraničním hřebenu. Četnost výskytu směrů větru se výrazně koncentruje do intervalu 220° -
270° a 340° - 360°. Letní typy povodní se vyznačují rovnoměrnějším rozložením srážek. Jejich
maximální úhrny se velmi často nachází na vedlejším šumavském hřebenu.

Výsledky této práce se mohou stát cennými vstupními daty pro budoucí matematické
modelování odtoku v tomto území. Mohou též výrazně přispět k pochopení srážko-odtokových
vztahů v povodí, jež je možno využít pro precizaci hydrologických předpovědí. Využití těchto

poznatků by mohlo pomoci i při budoucí implementaci vybraných profilů PřF UK v rámci varovného protipovodňového systému v povodí Otavy. V neposlední řadě by závěry této práce mohli pomoci při stanovení dalších cílů a budoucích zaměření výzkumu PřF UK v této oblasti.

POUŽITÉ ZDROJE

Literatura

ALBRECHT, J. a kol (2003): Chráněná území ČR VIII., Českobudějovicko. AOPK ČR, Praha, 807 s.

BLAŽKOVÁ, Š., KOLÁŘOVÁ, S. (1994): Vliv odlesnění na hydrologický režim v oblasti Jizerských hor. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, 76 s.

BRÁDKA, J., DŘEVIKOVSKÝ, A., GREGOR, Z., KOLESÁM, J. (1961): Počasí na území Čech a Moravy v typických povětrnostních situacích. Praha, Hydrometeorologický ústav, 126s.

BRÁDKA, J. (1967): Meteorologické příčiny povodní ve Slezku. Meteorologické zprávy, 20, č.1, s. 3-9.

BRÁZDIL, R. et al. (2005): Historické a současné povodně v ČR. MU v Brně a ČHMÚ v Praze, 369 s.

CONWAY, V. M., MILLAR, A. (1960): The hydrology of some small peat-covered catchments in the northern Pennines. Journal of the Institute of Water Engineers 14, s. 415-24.

ČEKAL, R. (2005): Hydrosynoptická analýza povodňových situací v povodí Horní Ohře. Disertační práce, PřF UK, KFGG, Praha, 208 s.

ČESÁK J., KOCUM, J., KLIMENT Z., JENÍČEK M. (2008): Monitoring odtokového režimu v pramenných oblastech toků. In LANGHAMMER, J (Ed.), Změny v krajině a povodňové riziko. Sborník příspěvků semináře Povodně a změny v krajině. PřF UK, Praha, s. 80-85.

ČURDA, J. (2007): Hydrografie a odtokový režim v povodí Modravského potoka. Bakalářská práce, PřF UK, KFGG, Praha, 44 s.

FERDA, J. (1960): Hydrologický význam horských vrchovištních rašelinišť. Sborník ČSAZV – Lesnictví, č. 10, Praha, s. 835-856.

HAIS, M. (2004): Vybrané metodické přístupy pro hodnocení změn v krajině metodami dálkového průzkumu země v povodí Otavy. In Hodnocení vlivu změn přírodního prostředí na vznik a vývoj povodní. Sborník příspěvků semináře grantu GAČR 205/Z052/03 [online]. [cit. 2009-07-08], s. 19-23. Dostupný z WWW: <http://hydro.natur.cuni.cz/zmeny_povodni/html/cd_obsah.html>.

HAIS, M. (2008a): Vliv odlesnění a odumírání horských smrčín na teploty krajinného krytu a možné důsledky pro formování odtoku v oblasti centrální Šumavy. In LANGHAMMER, J (Ed.), Údolní niva jako prostor ovlivňující průběh a následky povodní. PřF UK, Praha, s. 137-143.

HAIS, M. (2008b): Vývoj a spektrální projevy odlesnění centrální Šumavy hodnocené prostřednictvím DPZ a GIS. Disertační práce, PřF UK, KFGG, Praha, 140 s.

HLADNÝ, J., NĚMEC, J. ed. a kol. (2006): Voda v České republice. Vyd. Consult Praha

HLADNÝ, J. (2007): Fakta a mýty o povodních. In LANGHAMMER, J (Ed.), Povodně a změny v krajině. MŽP ČR a PřF UK, Praha, s. 41-50.

HOLDEN, J., BURT, T. P. & COX, N. J. (2001): Macroporosity and infiltration in blanket peat: the implications of tension disc infiltrometer measurements. Hydrological Processes 15, s. 289-303.

CHALUŠOVÁ, J. (2004): Vliv fyzickogeografických faktorů na časový a prostorový výskyt povodní v povodí Labe. Disertační práce, PřF UK, KFGG, Praha, 129 s.

CHALUŠOVÁ, J., HLADNÝ, J., ČEKAL, R. (2007): Regionalizace povodí Labe na základě sezónní analýzy výskytu povodní. In LANGHAMMER, J (Ed.), Povodně a změny v krajině. MŽP ČR a PřF UK, Praha, s. 91-100.

CHÁBERA, S. a kol. (1987): Příroda na Šumavě. Jihočeské nakladatelství, České Budějovice, 182 s.

CHOW, V.T. (1964): Handbook of applied hydrology. New York : McGraw-Hill

JANSKÝ, B., ŠOBR, M., KOCUM, J., ČESÁK, J. (2005): Nová batymetrická mapování glaciálních jezer na české straně Šumavy. *Geografie – Sborník ČGS*, roč. 110, č. 3, Praha, s. 176–187.

JANSKÝ, B., KOCUM, J. (2007a): Hydrologická funkce rašelinišť. In: LANGHAMMER, J (Ed.), *Změny v krajině a povodňové riziko. Sborník příspěvků semináře Povodně a změny v krajině*. PřF UK a MŽP ČR, Praha, s. 173-182.

JANSKÝ, B., KOCUM, J. (2007b): Retenční potenciál v pramenných oblastech toků. In: LANGHAMMER, J (Ed.), *Povodně a změny v krajině*. MŽP ČR a PřF UK, Praha, s. 307-316.

JELÍNEK, J. (2006): Hydrografie a režim odtoku v povodí Roklanského potoka. *Bakalářská práce*, PřF UK, KFGG, Praha, 37 s.

JELÍNEK, J. (2008): Akumulace a tání sněhové pokrývky v povodí Rokytky v hydrologických letech 2007 a 2008. *Diplomová práce*, PřF UK, KFGG, Praha, 85 s.

JENÍČEK, M., KOCUM J., JELÍNEK, J., JANSKÝ, B. (2007): Monitoring sněhové pokrývky v pramenných oblastech toků. In LANGHAMMER, J (Ed.), *Změny v krajině a povodňové riziko*. PřF UK, Praha, s. 148-159.

KAKOS, V. et al. (2006): Porovnání s obdobnými případy jarních povodní v minulosti. In: *Vyhodnocení jarní povodně 2006 na území ČR*. VÚV a ČHMÚ, Praha, str. B 64 – B 72.

KLIMENT, Z., MATOUŠKOVÁ, M. (2005): Trendy ve vývoji odtoku v povodí Otavy. *Geografie-Sborník ČGS*, 110, č.1, Praha, 32-45 s.

KLIMENT, Z., MATOUŠKOVÁ, M. (2007): Změny srážko-odtokových poměrů v pramenných oblastech povodí Otavy. In: *Povodně a změny v krajině* (Langhammer edt.), UK Praha, s. 317-332,

KLIMENT, Z., MATOUŠKOVÁ, M., KRÁLOVEC, V., LEDVINKA, O. (2008): Změny odtokového režimu v pramenných oblastech vodních toků. In LANGHAMMER, J (Ed.), *Údolní niva jako prostor ovlivňující průběh a následky povodní*. PřF UK, Praha, s. 83-92.

KOCUM, J., JANSKÝ, B. (2008): Retence vody v pramenných oblastech vodních toků. In LANGHAMMER, J (Ed.), Změny v krajině a povodňové riziko. Sborník příspěvků semináře Povodně a změny v krajině. PřF UK, Praha, s. 41-58.

KOČÁREK, E (2005): Geomorfologie Šumavy. In BENEŠOVÁ, D., Šumava - příroda, historie, život. Baset, Praha, 799 s.

KŘOVÁK, F., PÁNKOVÁ E., DOLEŽAL, F. (2004): Vliv lesních ekosystémů na hydrický režim krajiny. In AKTUALITY ŠUMAVSKÉHO VÝZKUMU II., Srní 4. – 7. října 2004, s. 44-48.

KUBÍČEK, J. (2006): Analýza srážkových dat z centrální Šumavy. Diplomová práce. ČZU, Praha, 83 s.

LANGHAMMER, J. (2004): Antropogenní upravenost říční sítě v povodí Otavy. In Hodnocení vlivu změn přírodního prostředí na vznik a vývoj povodní. Sborník příspěvků semináře grantu GAČR 205/Z052/03 [online]. [cit. 2009-07-08], s. 104-124. Dostupný z WWW: <http://hydro.natur.cuni.cz/zmeny_povodni/html/cd_obsah.html>.

LANGHAMMER, J., VAJSKEBR, V. (2004): Historické změny říční sítě v povodí Otavy. In Hodnocení vlivu změn přírodního prostředí na vznik a vývoj povodní. Sborník příspěvků semináře grantu GAČR 205/Z052/03 [online]. [cit. 2009-07-08], s. 150-169. Dostupný z WWW: <http://hydro.natur.cuni.cz/zmeny_povodni/html/cd_obsah.html>.

LEJSKOVÁ, K. (2000): Srážky v jihočeské části Šumavy v období 1961-95. Diplomová práce. PřF UK, KFGG, Praha, 99 s.

LICHNER, L., ŠÍR, M., TESAŘ, M. (2004): Testování retenční schopnosti půdy. In AKTUALITY ŠUMAVSKÉHO VÝZKUMU II., Srní 4. – 7. října 2004, s. 63-67.

MATĚJÍČEK, J., HLADNÝ, J. (1999): Povodňová katastrofa 20.století na území ČR, MŽP, Praha, 60 s.

NETOPIIL, R. a kol. (1984): Fyzická geografie I. SPN, Praha, 272 s.

POŠTA, P. (2004): Organogenní jezera v České republice. Diplomová práce. PřF UK, KFGG, Praha, 119 s.

SLAVÍKOVÁ, L. a kol. (2007): Ochrana před povodněmi v urbanizovaných územích. Praha, IREAS, 82 s.

SPITZER K., BUFKOVÁ I. (2008): Šumavská rašeliniště. Správa NP a CHKO Šumava, Vimperk

ŠEFRNA, L. (2004): Pedologická charakteristika povodí Otavy ve vztahu k povodním. In Hodnocení vlivu změn přírodního prostředí na vznik a vývoj povodní. Sborník příspěvků semináře grantu GAČR 205/Z052/03 [online]. [cit. 2009-07-08], s. 196-212. Dostupný z WWW: <http://hydro.natur.cuni.cz/zmeny_povodni/html/cd_obsah.html>.

ŠERCL, P. (2005): Metoda CN-křivek. Zpráva projektu VAV 1D/1/5/05 Vývoj metod predikce stavů sucha a povodňových situací na základě infiltračních a retenčních vlastností půdního pokryvu ČR. ČHMÚ, Praha, s. 38-50

ŠERCL, P. (2007): Vliv fyzickogeografických faktorů na charakteristiky teoretických návrhových povodňových vln. Disertační práce, PřF UK, KFGG, Praha, 157 s.

ŠONKA, J. (2004): Historické povodně Šumavy a poškození lesů. In AKTUALITY ŠUMAVSKÉHO VÝZKUMU II., Srní 4. – 7. října 2004, s. 37-43.

ŠTĚPÁNKOVÁ, R. (2004): Vliv fyzicko-geografického prostředí na vznik a vývoj povodní v povodí Berounky. Disertační práce, PřF UK, KFGG, Praha, 178 s.

ŠVIHLA, V. (2001): Vliv lesa na odtokové poměry na malém povodí. Lesnická práce [online]. Roč. 80, č. 2 [cit. 2009-07-07]. Dostupný z WWW: <<http://lesprace.silvarium.cz/content/view/1328/85/>>.

TESAŘ M., ŠÍR M., SYROVÁTKA O., PRAŽÁK J., LICHNER L. & KUBÍK F., (2001): Soil water regime in head water regions – observation, assessment and modelling. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 49, č.6, s.355–375

- TOLASZ, R. et al. (2007): Atlas podnebí Česka. ČHMÚ a UP Olomouc, Praha, 256 s.
- TOMÁŠEK, M. (2003): Půdy České Republiky. Česká geologická služba., Praha, 68s.
- Turistický průvodce Šumava (1986), Olympia, Praha, 379 s.
- VAVRUŠKA, F. (1989): Meteorologické příčiny povodní na Otavě a Lužnici. Meteorologické zprávy, 42, ČHMÚ, Praha, s. 111-115
- VLASÁK, T. (2007): Povodňové režimy Otavy a Lužnice. In LANGHAMMER, J (Ed.), Změny v krajině a povodňové riziko, Sborník příspěvků semináře Povodně a změny v krajině, PřF UK, Praha, s. 105-113
- VLASÁK, T. (2008): Návrh databanky povodní Otavy a její využití v protipovodňové ochraně. Disertační práce, PřF UK, KFGG, Praha, 144 s.
- VLASÁK, T. (2000): Analýza zimních povodňových situací 1961-95 v povodí Otavy. Diplomová práce, PřF UK, KFGG, Praha, 59 s.

Internetové zdroje

- BUFKOVÁ, I., STÍBAL, F., ZELENKOVÁ, E. (2008 ?): Program revitalizace šumavských mokřadů a rašelinišť [online]. [cit. 2009-08-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.npsumava.cz/1502/1638/clanek/program-revitalizace-sumavskych-mokradu-a-raselinist/>>.
- BUFKOVÁ, I., STÍBAL, F., ZELENKOVÁ, E.(2008 ?): Inventarizace zásahů do vodního režimu rašelinišť na území NP Šumava a vyhodnocení úspěšnosti prováděných revitalizačních opatření [online]. [cit. 2009-08-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.npsumava.cz/1499/1639/clanek/>>.
- ČEKAL, R., et al. (2008): Roční zpráva o hydrometeorologické situaci v České republice [online]. ČHMÚ. Praha [cit. 2009-07-25]. Dostupný z WWW: <<http://www.chmi.cz/hydro/ohp/rok2007.pdf>>.
- Revitalizace šumavských mokřadů a rašelinišť v roce 2008 [online]. NP ŠUMAVA [cit. 2009-

08-03]. Tisková zpráva. Dostupný z WWW: <<http://www.npsumava.cz/1323/536/clanek/revitalizace-sumavskych-mokradu-a-raselinist-v-roce-2008/>>.

Rostlinstvo : Regionálně fyto geografické členění [online]. NP ŠUMAVA [cit. 2009-07-01]. Dostupný z WWW: <<http://www.npsumava.cz/1279/sekce/regionalne-fytogeograficke-cle-neni/>>.

Souhrnná zpráva o povodni v oblastech povodí Horní Vltavy, Berounky a Dolní Vltavy – Prosinec 2007 [online]. Povodí Vltavy. 2008 [cit. 2009-07-26]. Dostupný z WWW: <http://www.pvl.cz/files/zprava_povoden_12_2007.pdf>.

Zpráva o povodni v březnu 2008 [online]. ČHMÚ, Praha [cit. 2009-07-25]. Dostupný z WWW: <http://www.chmi.cz/hydro/ohp/zprava_povo03_2008.pdf>.

Mapové podklady a datové vrstvy GIS

CENIA – ČESKÁ INFORMAČNÍ AGENTURA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ (?): data z mapového serveru přístupná online z <<http://geoportal.cenia.cz>>. Data využívána online v období červen–srpen 2009.

MAPY.CZ (?): data z mapového serveru přístupná online z <<http://mapy.cz>>. Data využívána online v období červen–srpen 2009.

VÝZKUMNÝ ÚSTAV VODOHOSPODÁŘSKÝ T. G. M. (?): Útvary povrchových vod [datové vrstvy ve formátu shapefile]. VÚV TGM, Praha, ke stažení <http://www.vuv.cz/oddeleni-gis/index.php?id=27>, data stažena 20.7.2009.

VÝZKUMNÝ ÚSTAV VODOHOSPODÁŘSKÝ T. G. M. (?): základní jevy povrchových a podzemních vod - bažina, močál [datové vrstvy ve formátu shapefile]. VÚV TGM, Praha, ke stažení <http://www.vuv.cz/oddeleni-gis/index.php?id=27>, data stažena 20.7.2009.

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Dělení povodní podle podílu tání sněhu na vodnosti	21
Tabulka 2: Podíl plochy lesů na celkové ploše vybraných povodí	45
Tabulka 3: Klimatické charakteristiky oblasti	48
Tabulka 4: Rozloha a podíl plochy rašelinišť na ploše povodí	53
Tabulka 5: Celkový přehled automatických měřících stanic	61
Tabulka 6: Tvarové a sklonitostní vlastnosti povodí	66
Tabulka 7: Vybrané odtokové charakteristiky a charakteristiky variability v profilu Vydra-Modrava (1931-2008).....	72
Tabulka 8: Nejvyšší zaznamenané vodní stavy a průměrné denní průtoky Vydra-Modrava (1931-2008).....	72
Tabulka 9: Hodnoty M-denních průtoků v profilu Vydra-Modrava (v období 1931-2008).....	73
Tabulka 10: Hodnoty průměrných průtoků Modravského a Roklanského potoka a jejich podíl na celkové vodnosti v profilu Vydra-Modrava (2007-2009).....	81
Tabulka 11: Vybrané odtokové charakteristiky Vydry, Modravského a Roklanského potoka (2007-2009).....	81
Tabulka 12: Hodnoty variačního koeficientu C_v a koeficientu variability K_r v jednotlivých letech.....	82
Tabulka 13: Hodnoty průměrných průtoků a podílu jednotlivých toků na celkovém odtoku v povodí Modravského potoka.....	87
Tabulka 14: Hodnoty N-letých průtoků ve stanici Vydra-Modrava.....	89
Tabulka 15: Hodnoty UPS v období 26.2.-4.3.2008 (D-4 až D+3)	92
Tabulka 16: Vyhodnocení povodně 1.3.2008.....	98
Tabulka 17: Hodnoty UPS v období 14.4.-21.4.2009 (D-4 až D+3)	101
Tabulka 18: Vyhodnocení povodně 18.4.2009.....	106
Tabulka 19: Vypočtené hodnoty ukazatelů variability v období 10.4.-18.4.2009	108
Tabulka 20: Hodnoty korelačních koeficientů	108
Tabulka 21: Hodnoty UPS v období 1.12.-9.12.2007 (D-6 až D+2)	111

Tabulka 22: Vyhodnocení povodně 17.12.2007.....	115
Tabulka 23: Hodnoty UPS v období 19.6.-28.6.2009 (D-4 až D+3)	120
Tabulka 24: Hodnoty UPS v období 30.6.-7.7.2009 (D-4 až D+3)	120
Tabulka 25: Vyhodnocení průtokové vlny 23.6.2009	128
Tabulka 26: Vyhodnocení průtokové vlny 4.7.2009	128

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 3.1. Výskyt povodní ve stanici Vydra-Modrava (1931-2008)	23
Obr. 3.2. Sezonální výskyt povodní Vydra-Modrava (1931-2007).....	24
Obr. 3.3. Relativní četnost výskytu synoptických jevů během povodní ve stanici Vydra-Modrava.....	27
Obr. 3.4. Schematické znázornění rozložení jader příčinných srážek vzhledem k zájmovému území povodí Vydry	31
Obr. 4.1. Přehledová mapa zájmové oblasti.....	36
Obr. 4.2. Geologická mapa	37
Obr. 4.3. Hydrogeologické členění	38
Obr. 4.4. Výškové poměry a 3D model terénu zájmového území	39
Obr. 4.5. Sklonitostní poměry území	40
Obr. 4.6. Expozice svahů	41
Obr. 4.7. Hypsografická křivka.....	41
Obr. 4.8. Hydrologické skupiny půd v zájmové obalsti.....	43
Obr. 4.9. Krajinný pokryv a jeho změny 1990-2006 (CorineLand cover 1990, 2006).....	45
Obr. 4.10. Klimatické členění	48
Obr. 4.11. Výskyt rašelinišť v zájmovém území.....	53
Obr. 5.1. Měrné křivky průtoku monitorovaných toků.....	56
Obr. 5.2. Ukázka výstupu z monitoringu výšky a vodní hodnoty sněhové pokrývky	57
Obr. 6.1. Znázornění říční sítě a lokalizace měrných profilů v zájmovém území	65
Obr. 6.2. Podélný profil říční soustavou Modravského a Roklanského potoka.....	67
Obr. 6.3. Hustota říční sítě	69
Obr. 7.1. Graf průměrných denních průtoků ve stanici ČHMÚ Vydra-Modrava v období 1930-2008.....	71
Obr. 7.2. Čára překročení průměrných denních průtoků Vydra-Modrava (1931-2008)	73
Obr. 7.3. Chod hodinových průtoků Vydra-Modrava v období jarního tání 2009	74

Obr. 7.4. Graf průměrných měsíčních průtoků ve stanici ČHMÚ Vydra-Modrava v období 1930-2008	75
Obr. 7.5. Podíl jednotlivých měsíců a ročních období na celkovém odtoku	75
Obr. 7.5. Chod ročních průtoků a pravděpodobnost jejich překročení Vydra-Modrava (1931-2008)	77
Obr. 7.6. Chod průměrných denních průtoků Roklanského a Modravského potoka (1.11.2006-16.7.2009)	80
Obr. 7.7. Podíl jednotlivých měsíců na ročním odtoku (Roklanský a Modravský potok).....	81
Obr. 7.8. Chod hodinových průtoků, srážek a teploty Roklanského a Modravského potoka v období jarního tání 2009	82
Obr. 7.9. Chod hodinových průtoků, srážek a teploty Roklanského a Modravského potoka v období jarního tání 2008	83
Obr. 7.10. Chod denních průměrných průtoků, teploty a úhrnu srážek v dílčích povodích Roklanského a Modravského potoka v období jarního tání 2009	84
Obr. 7.11. Chod hodinových průtoků, srážek a teploty v dílčích povodích Roklanského a Modravského potoka v období jarního tání 2009.....	85
Obr. 7.12. Schematická mapa rozložení odtoku v povodí Modravského potoka	87
Obr. 8.1. Prostorové rozložení srážek a chod tlaku vzduchu při povodni 1.3.2008	91
Obr. 8.2. Denní chod srážek, výšky a vodní hodnoty sněhu v období 28.2.-6.3.2008	93
Obr. 8.3. Chod desetiminutových průtoků povodňové vlny Modravského a Roklanského potoka (29.2.-2.3.2008).....	95
Obr. 8.4. Chod hodinových průtoků, teploty a srážkových úhrnů 22.2.-6.3.2008	96
Obr. 8.5. Prostorové rozložení srážek a chod tlaku vzduchu při povodni 18.4.2009	99
Obr. 8.6. Chod rychlosti a směru větru ve stanici Březník při povodni 18.4.2009.....	100
Obr. 8.7. Denní chod srážek, výšky a vodní hodnoty sněhu v období 16.3.-20.4.2009	101
Obr. 8.8. Chod hodinových průtoků, teploty, vodního stavu a srážkových úhrnů 10.4.-23.4.2009.....	103
Obr. 8.9. Chod desetiminutových průtoků, vodního stavu a srážkových úhrnů 17.4.-18.4.2009.....	104

Obr. 8.10. Tlak vzduchu přepočtený na hladinu moře (hPa) a výška hladiny 500 hPa (500 gpdm) v období 3.12.-7.12.2007.....	110
Obr. 8.11. Denní chod srážek, výšky a vodní hodnoty sněhu v období 5.11.-12.12.2007.....	112
Obr. 8.12. Chod hodinových průtoků, teploty, vodního stavu a srážkových úhrnů 29.11.-12.12.2007.....	114
Obr. 8.13. Tlak vzduchu přepočtený na hladinu moře (hPa) a výška hladiny 500 hPa (500 gpdm) v období 21.6.-23.6.2009 a 2.7.-4.7.2009.....	117
Obr. 8.14. Plošné rozložení denních úhrnů srážek v období 22.6.-7.7.2009	118
Obr. 8.15. Chod rychlosti a směru větru ve stanici Březník v období 15.6.-9.7.2009.....	120
Obr. 8.16. Chod denních úhrnů srážek v období 24.5.-9.7.2009	121
Obr. 8.17. Chod hodinových průtoků, teploty a srážkových úhrnů 15.6.-29.6.2009.....	123
Obr. 8.18. Chod desetiminutových průtoků a srážkových úhrnů 22.6.2009 12:00 až 24.6.2009 12:00	124
Obr. 8.19. Chod hodinových průtoků, teploty a srážkových úhrnů 26.6.-9.7.2009.....	126
Obr. 8.18. Chod desetiminutových průtoků a srážkových úhrnů 4.7.2009 0:00 až 6.7.2009 0:00	127

SEZNAM FOTOGRAFIÍ

Foto 1. Hráz bývalé Roklanské nádrže	47
Foto 2. Měření morfometrických parametrů Roklanské nádrže pomocí totální stanice	47
Foto 3: Revitalizace Novohuťských močálů.....	52
Foto 4: revitalizace Cikánských slatí	52
Foto 5: Hrazení odvodňovacích kanálů	52
Foto 6. Měření výšky a vodní hodnoty sněhu v povodí Rokytky v sezóně 2007/2008.....	57
Foto 7: Automatický hladinoměr na Ptačím potoce	58
Foto 8: Automatický hladinoměr Javoří a Tmavý potok	58
Foto 9: Automatický hladinoměr a meteorologická stanice Březník	58
Foto 10: Hydrometrování Modravského potoka dne 18.4.2006	58
Foto 11: Kontrolní hydrometrování Luzenského potoka 12.4.2009	58
Foto 12: Hydrometrování rokalnského potoka 18.4.2006	58
Foto 13: Automatický hladinoměr Roklanský p.-hájenka	58
Foto 14: Instalace vodočtu na Roklanském potoce 28.11.2006	58
Foto 15: Instalace automatického hladinoměru na Modravském potoce	58
Foto 16. Hladinoměr na Březnickém potoce 12.4.2009	97
Foto 17. Roklanský potok v Modravě během povodně 1.3.2008	98

SEZNAM PŘÍLOH

CD s elektronickou verzí práce ve formátu pdf