

JAKUB ČURDA, BOHUMÍR JANSKÝ, JAN KOCUM

VLIV FYZICKOGEOGRAFICKÝCH FAKTORŮ NA EXTREMITU POVODNÍ V POVODÍ VYDRY

ČURDA, J., JANSKÝ, B., KOCUM, J. (2011): The Effects of Physical-Geographic Factors on Flood Episodes Extremity in the Vydra River Basin. Geografie, 116, No. 3, pp. 335–353. – The paper summarizes findings about the Vydra River basin (sw. Czechia) runoff regime including its sources with a special respect to observed flood situations formation and course. The main focus is concentrated on explanation of runoff dynamics relation to physical-geographic conditions of chosen subcatchments. In this term, special emphasis is adverted to peat land hydrological function assessment. Research is based on analyses of long-term time series of Czech Hydrometeorological Institute and of data acquired within more than three years field survey which is carried out in the study area by the Charles University in Prague, Faculty of Science, Department of Physical Geography and Geoecology. **KEY WORDS:** hydrological regime – Vydra River – Šumava Mts. – runoff extremity – flood – peat bogs hydrological function.

Článek vznikl za podpory Výzkumného záměru MSM 0021620831 „Geografické systémy a rizikové procesy v kontextu globálních změn a evropské integrace“, projektu NAZV QH82078 „Retence vody v nivách a možnosti jejího zvýšení“, projektu Specifického vysokoškolského výzkumu 2011 – 263202 a projektu GAUK 2371/2007 „Retence vody v pramenných oblastech řek jako nástroj integrované protipovodňové ochrany a řešení problému sucha“.

1. Úvod

V souvislosti s výskytem extrémních povodňových událostí na území Česka v posledním období je v rámci protipovodňové ochrany řešen široký komplex opatření. 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 a zranitelnost krajiny. Tato míra může být přitom značně ovlivněna fyzickogeografickými poměry konkrétních postižených území. Protipovodňová opatření realizovatelná v pramenných oblastech toků mají z tohoto hlediska významná specifika.

Absolutní ochrana území před povodněmi však není možná (Janský 2003, Hladný 2007). Mechanismy vzniku jednotlivých jejich typů se mohou sice podobat, ale dynamika vyvolané situace v povodí má obvykle svá specifika. Detailní analýzy recentních povodňových epizod prokázaly, že bez důkladných znalostí jejich regionálních příčin a míry antropogenního ovlivnění odtoku v konkrétním území a bez realizace interdisciplinárně a integrovaně pojatých opatření nelze očekávat snižování potenciálních ekonomických ztrát (Hladný 2007).

Pro pochopení a objasnění procesu tvorby odtoku a míry účinku jednotlivých fyzikogeografických faktorů na jeho dynamiku bylo v roce 2005 ve vybraných dílčích povodích Vydry a Křemelné započato s detailní analýzou jejich odtokového režimu. Pro posouzení retenčního potenciálu zdrojových částí povodí Otavy bylo třeba podrobně charakterizovat přírodní podmínky jednotlivých povodí a analyzovat jejich vliv na formování odtoku včetně posouzení hydrologické funkce zdejších horských vrchovišť (Ferda 1960; Ferda a kol. 1971; Janský, Kocum 2007a, 2007b, 2008). Vhodné podmínky pro realizaci tohoto výzkumu poskytuje zejména povodí Vydry, které reprezentuje oblast s častým výskytem povodňových událostí a vysokou mírou heterogenity fyzikogeografických faktorů (Janský, Kocum 2008; Kocum, Janský 2009).

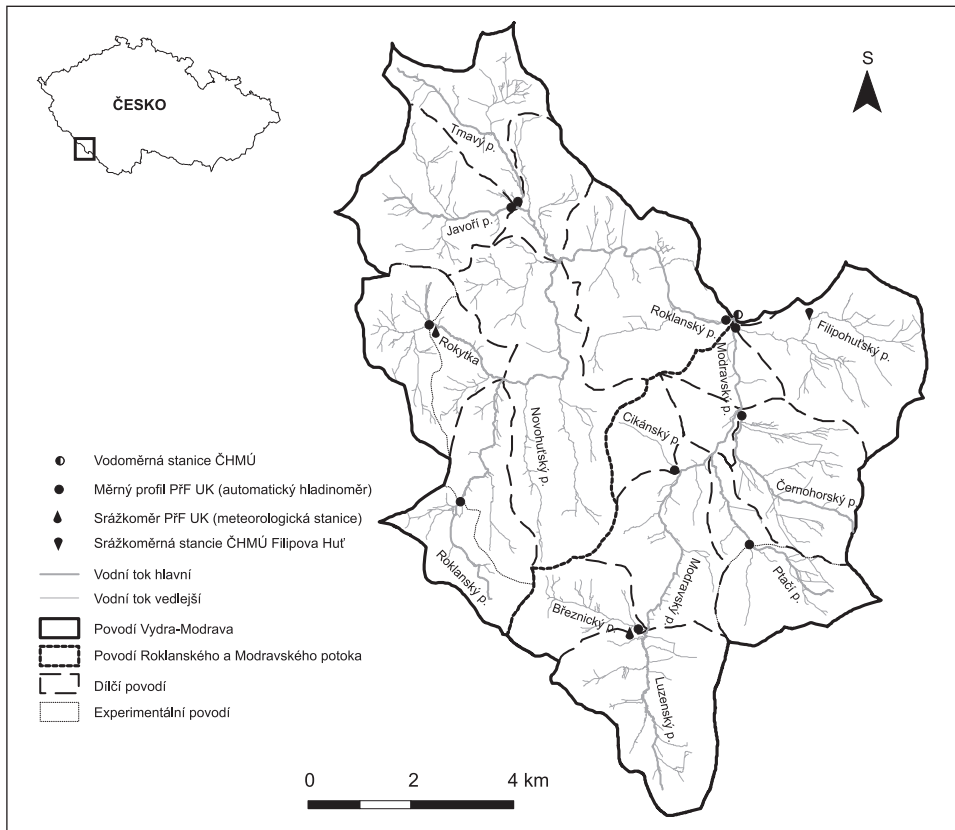
Součástí tohoto příspěvku je rovněž zevrubná analýza hydrologických dat ze státního profilu Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) Vydra-Modrava poskytující bližší představu o základním charakteru a trendech v režimu odtoku zájmové oblasti a vlastních dat z vytipovaných experimentálních profilů. Tento postup je v první fázi založen na konstrukci měrných křivek průtoku v jednotlivých profilech s využitím datových podkladů získaných vlastním hydrometrickým monitoringem. Ve druhé fázi jsou parametry těchto křivek využity k analýze dat získaných z vlastních automatických hladinoměrných zařízení. Dílčím cílem práce je získání uceleného pohledu na režim hlavních toků a jejich zdrojnic v zájmové oblasti. Proto bylo rovněž provedeno vzájemné srovnání dat ČHMÚ a dat PřF UK z automatických stanic a byla zhodnocena jejich vzájemná korelace.

Dalším cílem článku je popis a analýza vybraných povodňových případů, které se v zájmové oblasti vyskytly během sledovaného období. Pozornost je soustředěna zejména na charakteristiku mechanismu vzniku a průběhu povodní, porovnání míry extremity jednotlivých povodňových epizod v závislosti na specifických fyzikogeografických podmínkách zkoumaných povodí. Autoři se rovněž věnují objasnění hydrologické funkce rašeliníšť.

2. Vliv přírodních podmínek v povodí Vydry na odtokový proces

V kontextu výskytu velkých povodní na našem území bylo v posledních letech v tuzemsku publikováno množství článků. Využití těchto odborných pramenů má však jistá omezení. Velmi specifické fyzikogeografické podmínky v rozličných oblastech Česka mohou značnou měrou ovlivňovat příčiny i průběh povodní, a proto je možné brát do úvahy pouze obecně platné zkušenosti a poznatky, nejlépe jen ty, které mají vztah k řešené problematice přímo v zájmovém území pramenné oblasti Otavy.

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. V přírodních podmínkách Česka jsou hlavním činitelem, který rozhoduje o vodnosti toků, atmosférické srážky. Nepřímý vliv mají však i další klimatické faktory a celá řada fyzikogeografických faktorů (Kříž, Kolejka 1999; Štěpánková 2004).



Obr. 1 – Mapa zájmového území s lokalizací státních profilů ČHMÚ a experimentálních profilů PŘF UK

Povodí Vydry se svými dvěma zdrojnicemi, Roklanským a Modravským potokem, reprezentuje území s častým výskytem povodňových událostí a vysokou mírou heterogenity ve smyslu fyzikogeografických podmínek. Sledované území je situováno v centrální části Šumavy v oblasti tzv. Modravských plání. Z hydrologického hlediska je v širším pohledu součástí pramenné oblasti Otavy. Zájmová oblast o celkové výměře 89,675 km² je vymezena rozvodnicemi výše zmíněných povodí a jejím závěrovým profilem je vodoměrná stanice ČHMÚ Vydra-Modrava situovaná přibližně 100 m pod soutokem Roklanského a Modravského potoka (viz obr. 1).

Zájmová oblast se rozkládá v nejvyšších partiích Šumavy a má charakter náhorní plošiny tvořené relativně zarovnaným povrchem. Nadmořské výšky území se pohybují od 977 m n. m. (soutok Roklanského a Modravského potoka) do 1373 m n. m. (Luzný). Ačkoliv je zájmové území horským povodím, poloha v zarovnané části mu dává charakter plochého reliéfu, přičemž střední sklon svahů se pohybuje okolo 5,5° a 90 % svahů dosahuje sklonitosti do 10°. Z hlediska expozice ke světovým stranám mají největší procentuální zastoupení svahy exponované směrem na severovýchod, severozápad a západ. Říční síť v zájmovém území lze charakterizovat jako hustou.

Z hlediska pedologického patří mezi hlavní charakteristiky území poměrně velká kontrastnost půdních typů a jejich vyšší heterogenita (Šefrna 2004). Mezi hlavní odvozené půdní vlastnosti patří vysoká infiltrační rychlost a malá retenční schopnost, což podmiňuje poměrně rychlý odtok srážkové vody do vodních toků. Z tohoto pohledu se velmi negativně jeví zejména vodou nasycené organosoly, jež představují ve sledovaném území významný fenomén. I když organosoly skýtají obrovský retenční prostor pro vodu, kterou postupně uvolňují do toků, ve stavu vodního nasycení se tento potenciál již neuplatňuje.

Zájmové území náleží do chladné klimatické oblasti a patří k jedné z nejchladnějších oblastí Šumavy. V inverzních polohách ve výškách kolem 1050 až 1110 m n. m. činí průměrná teplota pouze kolem 3 °C (Chábera 1987). Atlas podnebí Česka (Tolasz a kol. 2007) uvádí obdobné hodnoty. Pohraniční pásmo Šumavy má při převládajícím jihozápadním a západním proudění charakter návětrné strany, což se projevuje zejména v zimním období. Při západní synoptické situaci spadne v hraničním pásmu Šumavy přibližně pětkrát více srážek v porovnání s referenčními stanicemi středních Čech. Charakter návětrné polohy mají i jedny z nejdeštivějších míst Šumavy – Modrava a Březník. Pro lokalitu Březník jsou průměrné roční úhrny srážek udávány v rozmezí 1300–1600 mm. Průměrně je v nejvyšších šumavských polohách celkem 170–190 srážkových dní v roce. V zájmové oblasti celoročně převládá jihozápadní a západní proudění.

Povodí Vydry je značně zalesněno, přičemž intercepce představuje významný tlumicí faktor odtoku. Při normální intenzitě srážek je tak navyšován podíl srážkové vody zadržené v povodí. Z přírodního hlediska má celé území velmi zachovalý ráz, který díky specifické flóře, zejména pak výskytu rašelinišť vrchovištního typu, patří k jednomu z nejcenějších nejen v rámci NP Šumava, ale i v rámci celého Česka.

Zájmové území je ve větší míře bez osídlení a s výjimkou ploch postižených kůrovcovou kalamitou je rovněž bez významných změn ve vývoji hospodářského využití krajiny („landuse“). Jako plošně nejvýznamnější změna krajinného krytu byl identifikován úbytek jehličnatého lesa v místě kůrovcové kalamity v okolí Březníku a v povodí Ptačího potoka.

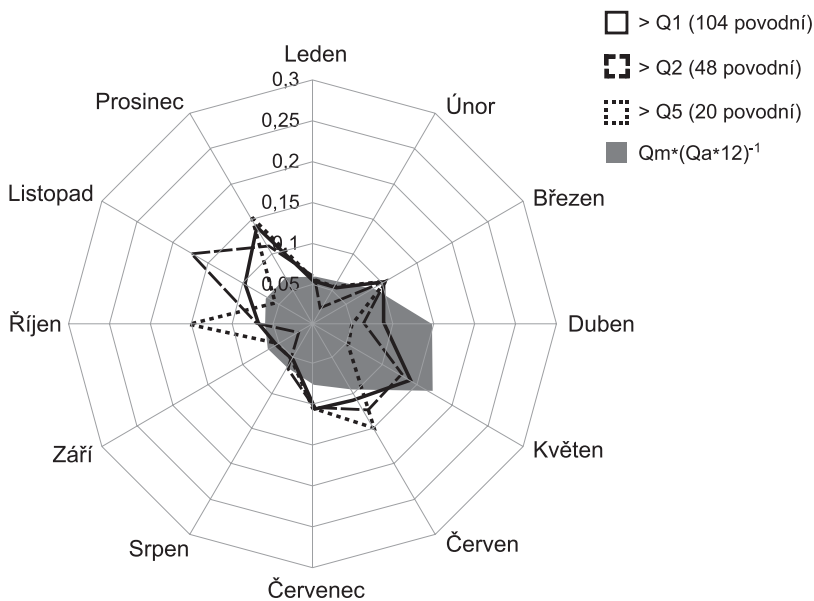
Z hlediska antropogenních zásahů je podélný profil koryta Vydry úpravami prakticky nedotčen a podíl upravených úseků nepřesahuje 5 % úhrnné délky toku. V celém povodí Vydry je registrován více než 90% podíl říčních úseků v přírodním nebo přírodě blízkém stavu (Langhammer, Vajskebr 2004). Za významnější antropogenní zásah do odtokových poměrů zapříčiňující zrychlení odtoku vody lze označit meliorační úpravy lesních pozemků prováděné v průběhu 19. a 20. století. V souvislosti s ovlivněním území v minulosti je nutno rovněž zmínit dnes již nevyužívané akumulární nádrže, tzv. klauzy, využívané pro plavení dřeva během jarního období. Tyto nádrže byly ve zkoumané oblasti hojně budovány v 18. a 19. století pro účely posílení vydatnosti toku při plavení dříví. Pozitivní roli plnily v minulosti rovněž v souvislosti s vyrovnáváním hydrologického režimu zdejších toků. 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 kulminačních průtoků povodňových vln v níže ležících úsecích toků. Současně by jejich zásobní prostor mohl být v budoucnu využit během suchých period k navýšení odtoku.

Vybrané přírodní charakteristiky zájmových povodí byly v prostředí GIS číselně vyjádřeny a následně využity jako vstupní data pro jednotlivé korelační analýzy jejich vlivu na dynamiku odtoku. Celkem bylo takto hodnoceno 23 fyzickogeografických parametrů v každém zájmovém povodí (Čurda 2009).

3. Povodňový režim Vydry

Poznatky o sezónním výskytu povodňových průtoků v konkrétním povodí mají vždy mimořádný význam pro realizaci protipovodňové ochrany. Již z předchozích publikovaných poznatků o sezónním výskytu povodní v povodí Otavy (Vlasák 2008) je zřejmé, že i roční chod výskytu povodní na Vydře vykazuje své specifické znaky (viz obr. 2).

Pro povodí Vydry je typická zvýšená četnost povodní v jarních měsících. Ta je predisponována zejména velkým podílem plochy povodí s malou výškovou členitostí, která je příznivější pro rychlejší tání sněhu z relativně větší plochy. U povodí Vydry po Modravu je malá výšková členitost dána existencí geomorfologicky zarovnaného povrchu (viz kap. 2). Sněhová pokrývka navíc pravidelně přetrvává v tomto povodí až do pozdního jara, kdy již intenzita tání může dosahovat vysokých hodnot. Zároveň se zvyšuje pravděpodobnost kombinace tání sněhu se silným deštěm (Vlasák 2008). Zvláštním specifikem tohoto povodí je však nárůst četnosti výskytu povodňových průtoků i v listopadu a prosinci.



Obr. 2 – Sezonalita výskytu povodní v profilu Vydra-Modrava v období 1931–2007. Zdroj: Vlasák 2008, upraveno. Do grafu jsou vyneseny hodnoty sezónálního indexu P_i , který je 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). Prahový průtok je v případě profilu Vydra-Modrava stanoven pro $Q_1 = 29 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $Q_2 = 38 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $Q_5 = 52 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

V této části roku zde způsobují povodně převážně západní cyklonální situace, které doprovází silné proudění jihozápadního až západního směru s výrazným návětrným a závětrným efektem šumavského hřebenu.

Klíčovou roli pro vznik a průběh povodně má i typ příčinné povětrnostní situace. Zatímco v letním hydrologickém půlroce převládají v povodí Vydry zejména cyklonální situace *C*, *Cv*, *NEc* a brázdy nízkého tlaku *B* nebo brázdy putující *Bp*, v zimním půlroce dominují západní cyklonální situace, zejména *Wc*, *Wcs*, *SWc₃* (typizace ČHMÚ podle Brádka a kol. 1961). Při postupu těchto systémů přes zájmové území hraje významnou roli orografické zesílení srážek, které se projevuje nejvýrazněji právě v hraničním pásmu.

Užší souvislost s výskytem synoptického typu má pak i charakter proudění. V povodí Vydry se četnost výskytu směrů větru při příčinné situaci 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 v povodní v zimním hydrologickém půlroce. Pro průběh některých letních povodní může být charakteristický 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.

4. Materiál a metody zpracování

4.1. Datové zdroje

K základní analýze charakteru odtokového režimu a vlastností povodňového mechanismu Vydry bylo využito řady průměrných denních průtoků ze stanice Vydra-Modrava v období 1. 11. 1930–31. 12. 2008 (kromě období 1. 11. 1940–31. 10. 1948, kdy byla stanice mimo provoz), kterou poskytl ČHMÚ. Pro určení vzájemné závislosti dat z profilů PřF UK a ČHMÚ při vybraných povodňových situacích byla využita data o průměrných hodinových průtocích během vytipovaných extrémních odtokových událostí v hydrologických letech 2007, 2008 a 2009. U stejných epizod byly analyzovány hodinové úhrny srážek a pro určení sněhových poměrů a ukazatele předchozích srážek (UPS) též data o výšce sněhové pokrývky, vodní hodnotě sněhu a denním úhrnu srážek ve stanici Filipova Huť.

Dílní statistické analýzy odtoku včetně detailního hodnocení extrémních epizod ve vybraných subpovodích byly provedeny s využitím vlastních dat z automatických ultrazvukových a tlakových hladinoměrných zařízení, která byla v povodí horní Otavy v posledních čtyřech letech postupně instalována. Jedná se o řady okamžitých desetiminutových průtoků, které byly statisticky zpracovány dle ČSN 75 1400 pro další analýzy.

4.2. Použité metody

Pro pochopení a objasnění procesu tvorby odtoku v pramenné oblasti Otavy byla v zájmové oblasti od roku 2006 postupně vytvořena vlastní monitorovací síť jedenácti automatických stanic, které umožňují kontinuální sledování

chodu průtoků a formování povodňových vln při konkrétních příčinných meteorologických situacích. Vzhledem k faktické absenci stanic ČHMÚ v zájmovém území nebyla dosud k dispozici relevantní data o míře vodnosti jednotlivých toků v exponovaných příhraničních oblastech. Monitoring vodního stavu je založen na systému automatických měřicích zařízení od firmy Fiedler-Mágr. Sestava je složena z řídicí a registrační jednotky typu M4016 a ultrazvukového či tlakového snímače s připojením příslušného měřicího kanálu (Česák a kol. 2008). Jednotka je doplněna o GSM modul 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 kontroly funkčnosti celých měřicích sestav. Odesílání dat probíhá v pravidelném intervalu nebo při dosažení limitních či určených gradientových změn. Síť stanic je možno použít i jako varovný systém zasíláním až 30 nastavitelných SMS pro každý záznamový kanál nezávisle na ostatních. Přístroje provádějí kontinuální měření v intervalu 10 minut s přesností na 1 mm. Data jsou po přenosu dále zálohována na serveru výrobce (Česák a kol. 2008).

Vybrané stanice byly doplněny přístrojovým vybavením pro sledování meteorologických prvků. Tyto stanice tak vhodně doplňují síť stanic ČHMÚ v zájmovém území. V lokalitě Březník (viz obr. 1) byla instalována kompletní meteorologická stanice s následujícími měrnými kanály: teplota a vlhkost vzduchu ve výšce 2 m, přímé i odražené sluneční záření (pyranometr), rychlost a směr větru (anemometr), úhrn srážek (srážkoměr), přízemní teplota vzduchu. V oblasti Rokyteckých slatí byl instalován člunkový srážkoměr SR03 pro monitoring úhrnu dešťových srážek s přesností 0,1 mm v intervalu 10 minut. Data z těchto stanic výrazně přispěla k detailní analýze srážko-odtokových vztahů v těchto typech povodí.

Pro korektní převedení dat o vodním stavu na odpovídající průtok v jednotlivých profilech v rámci monitorovací sítě PŘF UK byla v zájmovém území od konce roku 2005 pravidelně prováděna hydrometrická měření. Hlavním záměrem tohoto monitoringu bylo sestavení měrných křivek průtoků, které by v kombinaci s prováděným kontinuálním sledováním vodního stavu utvořily základní představu o chodu, charakteru a plošném rozložení odtoku v povodí.

Při hydrometrických měřeních ve vybraných profilech byla vyvíjena snaha o postižení co nejširšího rozmezí průtoků, což je však vzhledem k horskému charakteru toků často velmi obtížné. Zejména měření v úrovni povodňových stavů nebylo možné z technických i bezpečnostních důvodů v některých případech provádět. Absence těchto dat může proto do jisté míry vnést určitou nejistotu při interpretaci výstupů. Celkem bylo v povodí horní Otavy doposud provedeno cca 280 hydrometrických měření.

Vzhledem k faktu, že jarní povodně představují významný typ extrémních odtokových situací v této oblasti, byl během posledních čtyř zimních období v letech 2007 až 2011 prováděn i monitoring výšky sněhové pokrývky a její vodní hodnoty. Ten by měl v budoucnu přispět k objasnění procesu akumulace a tání sněhové pokrývky v zájmové oblasti a získané poznatky představují zásadní vstupní data pro matematické modelování odtoku a následnou hydroprognózu. Data o sněhové pokrývce z profilů ČHMÚ nejsou totiž dostatečně reprezentativní pro nejvýše položené partie horských oblastí (Kocum, Jelínek, Jeníček 2009).

4.2.1. Kritéria pro hodnocení povodňových epizod

Jako hlavní kritérium pro výběr hydrologických epizod označených za povodňovou událost byl zvolen průtok, který na Vydře v profilu Modrava dosáhl v kulminaci úrovně jednoletého průtoku ($Q_1 = 29 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; údaj ČHMÚ). Výběr probíhal za použití řady průtoků v profilu Vydra-Modrava (suma průtoků Roklanského a Modravského potoka; vlastní data) v období 1. 11. 2006–16. 7. 2009. V případě vícevrcholových vln byly za samostatné povodně považovány ty, jejichž kulminace byly od sebe vzdáleny alespoň 3 dny, během nichž okamžitý průtok poklesl na polovinu kulminačního průtoku první vlny. Vzhledem k tomu, že uvedené parametry splnily ve sledovaném období pouze tři epizody (7. 12. 2007, 1. 3. 2008, 18. 4. 2009), byla do hodnocení zařazena i další epizoda z roku 2009, která sice úrovně jednoletého průtoku na Vydře nedosáhla, významně se však projevila na ostatních tocích horní Otavy a její popis by vzhledem k získaným datům mohl pomoci objasnit některé specifické prvky povodňového mechanismu zájmového území.

K identifikaci jednotlivých dnů povodně byl využit způsob, kdy se den výskytu kulminace označuje jako DD ; dny, které mu předcházely, jsou $D-1$, $D-2$, ..., $D-8$, a dny, které následovaly, $D+1$, $D+2$, ..., $D+5$. Hodnocení bylo vždy v hodinovém kroku podrobeno období $D-8$ až $D+5$.

Převažující typ povodní v určité oblasti je dán především jejími klimatickými charakteristikami, jedinečností přírodního prostředí, velikostí plochy povodí, variabilitou odtoku vody a její koncentrací v síti říčních koryt. Režimu a mechanismu povodní na Otavě se věnoval Vlasák (2008), meteorologickým příčinám povodní v tomto území Vavruška (1989). Ke kategorizaci odtokových epizod byla použita metodika Vlasáka (2008). Ten rozlišuje jednotlivé povodňové typy na Otavě na základě analýzy sezónního výskytu, extremity a polohy jader příčinných srážek historických povodní. Rozděluje je na letní a zimní typ dle jejich výskytu v teplé nebo studené polovině hydrologického roku. Na základě těchto parametrů definuje 9 povodňových typů, u nichž popisuje jejich nejpravděpodobnější výskyt v rámci dané sezóny, typické povětrnostní příčiny podle výskytu příčinných synoptických typů, směru a rychlosti proudění vzduchu a lokalizace nejčastějšího výskytu maximálních srážkových úhrnů. Této klasifikace (Vlasák 2008) je možné využít i pro povodí Vydry.

4.2.2. Postup hodnocení extremity odtoku

U každé z uvedených povodňových situací byla věnována pozornost popisu konkrétní příčinné meteorologické situace, předchozímu nasycení povodí, popř. aktuálnímu stavu sněhové pokrývky. Klíčový byl pak popis hydrologické situace a její kategorizace dle metodiky ČHMÚ.

V případě povodně z 18. 4. 2009 byl popis doplněn korelační analýzou variability a extremity odtoku ve vztahu k fyzickogeografickému prostředí. Pro posouzení variability odtoku se zvláštním zřetelem na zhodnocení míry extremity při vzestupu povodňové vlny byla pro tento případ využita metoda spočívající ve vzájemném porovnání variability průtoků (vyjádřených variačním koeficientem) v období před vzestupem povodňové vlny ($Cv1$) a v průběhu povodně ($Cv2$). Hodnoty variačního koeficientu ($Cv2$) tedy vyjadřují míru

variability povodňových průtoků od jejich normálního průběhu, který by byl teoreticky dosažen bez povodňového případu. Vzájemné porovnání takto získaných variačních koeficientů poskytuje korektní představu o míře extremity povodňové vlny jednotlivých toků ve vztahu k jejich průměrnému průtoku před nástupem povodně.

Pro kontrolu a eliminaci možného zkreslení hodnot variačního koeficientu v závislosti na době trvání kulminačního průtoku a délce vlny na jednotlivých tocích byla následně použita metoda stanovující podíl maximální dosažené hodnoty desetiminutového průtoku v období $D-1$ až DD (označena KP) a průměrného průtoku v období před vzestupem průtokové vlny (označován jako PP). Takto získaná hodnota je označována jako index extremity kulminačního průtoku I_{EKP} ($I_{EKP} = KP/PP$).

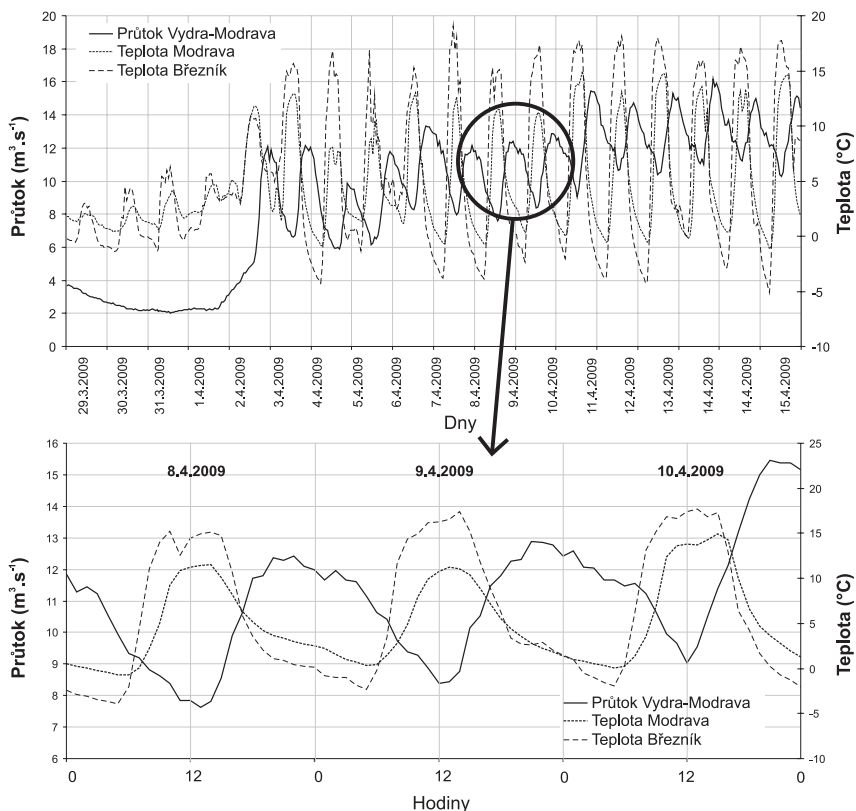
K odhalení vazeb mezi vypočtenými ukazateli variability a vybranými fyzickogeografickými parametry jednotlivých povodí (viz kap. 2) byla využita korelační analýza. Stanovené hypotézy byly posléze testovány jednostranným t -testem.

5. Výsledky

5.1. Odtokový režim Vydry a jejích přítoků

Režim odtoku v povodí Vydry má mírně nevyrovnaný chod způsobený zejména významným zvětšením vodnosti v období jarního tání sněhové pokrývky. Během tohoto období vykazují výraznou rozkolísanost průtoky nejen v měsíčním a denním chodu, ale velmi variabilní je jejich velikost zejména v hodinovém chodu. Např. během procesu tání sněhu na jaře 2009 kolísaly průměrné hodinové průtoky Vydry v profilu na Modravě v průběhu jediného dne i v rozmezí $6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, tedy v hodnotách téměř dvojnásobně přesahujících velikost dlouhodobého průměrného průtoku. Denní maxima průtoku, která nastávají v tomto období nejčastěji kolem 21:00–22:00, se přitom zpožďují za denními maximy teploty, jež vrcholí kolem 13:00–14:00 (obr. 3). Při hydrometrování je tedy nutno brát tento fakt v úvahu. V režimu ročních průtoků je možné sledovat jistou periodicitu v opakování mimořádně vodných roků, zejména pak v období od počátku 80. let 20. století. Na základě analýzy dlouhodobé řady ročních průtoků lze konstatovat, že se zde výskyt mimořádně vodných roků (dle klasifikace pravděpodobnosti překročení $p\%$) opakuje v průměru jednou za 7 let. Mimořádně vodnému roku ve většině případů rovněž předchází rok nadprůměrně vodný. Za zmínku stojí i fakt, že od roku 2005 byly dosud všechny roky v kategorii nadprůměrně vodných. Míra vodnosti daného roku je v případě Vydry nejčastěji ovlivněna množstvím akumulované sněhové pokrývky během zimního období, která při jarním tání určuje charakter vodnosti daného roku. Tyto výsledky ve svém souhrnu jen potvrdily a rozšířily již dříve formulované závěry (Janský, Kocum 2008).

Konstruované měrné křivky průtoků a data pořízená automatickými hladinoměrnými zařízeními v experimentálních profilech představovala základ pro analýzu odtokových poměrů páteřních toků v povodí i jejich dílčích zdrojnic. U většiny těchto toků až doposud nebyl prováděn automatizovaný kontinuální monitoring vodních stavů, proto jsou formulované výsledky svým charakterem



Obr. 3 – Chod hodinových průtoků v profilu Vydra-Modrava a chod hodinových teplot vzduchu v profilech Modrava a Březník v období jarního tání 2009. Zdroj: vlastní data 1. 11. 2008 – 16. 7. 2009.

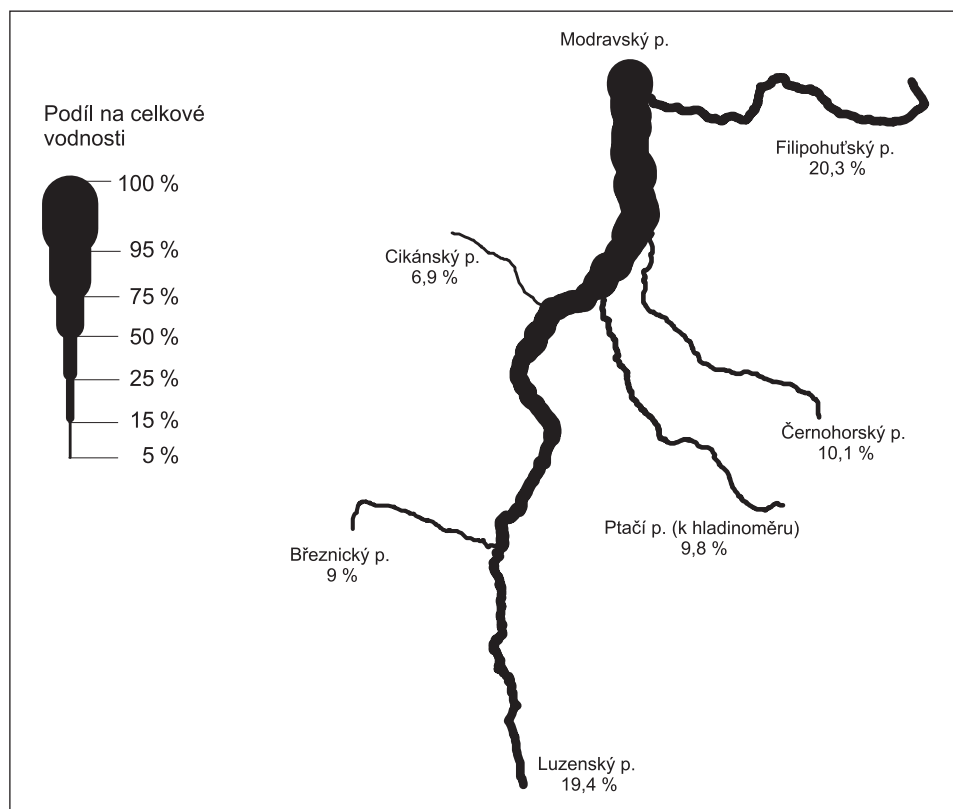
původní a ve své podstatě přináší první komplexní pohled na jejich odtokové poměry. V první řadě byla pozornost soustředěna na charakter odtokového režimu páteřních toků, Roklanského a Modravského potoka. Ve sledovaném období 1. 11. 2006 – 16. 7. 2009 se na celkové vodnosti Vydry v profilu Modrava podílel Roklanský potok 59,7 % a Modravský potok 40,3 %. Vyšší rozkolísanost průtoků vykazoval v celém sledovaném období potok Modravský. Při hodnocení chodu průtoků v období tání jednotlivých let však byly zjištěny značné odchylky v rozkolísanosti obou toků. Tento fakt může být ovlivněn celou řadou faktorů, pravděpodobně však souvisí především s množstvím a variabilitou plošného rozmístění sněhové pokrývky v jednotlivých letech. Dílčím úkolem bylo pak i určení míry vzájemné korelace dat z profilu ČHMÚ (Vydra-Modrava) s experimentálními profilem v ústí Roklanského a Modravského potoka. Dle provedených analýz je odchylka v datových řadách v průměru do 5 %.

Na základě dat z hydrometrických měření bylo možné sestavit schematickou mapu rozložení odtoku v povodí Modravského potoka (obr. 4). Percentuální podíl jednotlivých zdrojnic na jeho celkové vodnosti je vyjádřen tloušťkou čáry. Percentuální podíly přítoků jsou vztaženy k měrným profilům situovaným většinou v jejich ústí. Ze sestavené schematické mapy je patrné, že nejvyšší podíl

na celkové vodnosti mají 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 velmi podobnou měrou, tj. každý z cca 10 %. Nejmenšího podílu na celkové vodnosti dosahuje, i vzhledem k menší ploše povodí, Cikánský potok (přibližně 7 %).

Poněkud jiný pohled na charakter rozložení odtoku Modravského potoka se nabízí prostřednictvím vyjádření specifického odtoku z jednotlivých povodí (tab. 1). Je patrné, že nejvyšší hodnoty odtoku vztahované k ploše povodí vykazovaly v hodnoceném období Březnický a Cikánský potok. Je však třeba upozornit, že uvedené značně vysoké hodnoty specifického odtoku je nutno brát s rezervou, neboť nedostatečná délka hodnoceného období nedovolila postihnout typický chod průtoků v rámci roku. V hodnoceném období tak zřetelně dominuje vliv zvětšené vodnosti v období jarního tání, které tak absolutní hodnoty specifického odtoku významně zvyšuje. Uvedené období bylo navíc svým charakterem nadprůměrně vodné i z dlouhodobého hlediska.

Ve druhé části analýzy byla pozornost soustředěna na analýzu odtokových poměrů v dílčích povodích. Určeny byly základní ukazatele v období 1.11.

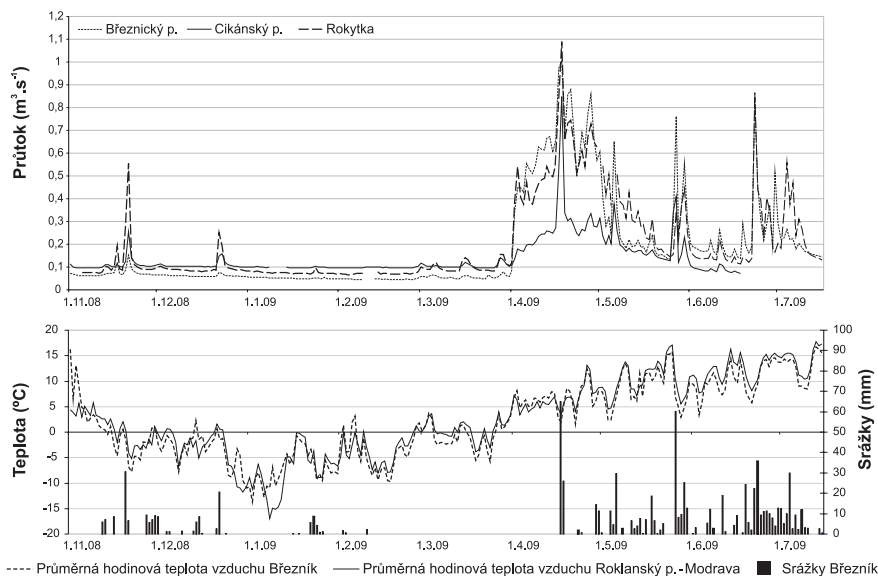


Obr. 4 – Schematická mapa tvorby odtoku v povodí Modravského potoka. Zdroj: data PrF UK (1. 11. 2008–16. 7. 2009). V případě Filipohuťského a Luzenského potoka byly hodnoty odvozeny s využitím dat z hydrometrických měření, kdy byly v průběhu stejného dne opakovaně měřeny průtoky ve všech sledovaných profilech za účelem vzájemného porovnání.

Tab. 1 – Hodnoty průměrného průtoku a specifického odtoku v období 1. 11. 2008–16. 7. 2009 ve vybraných profilech a velikost ploch vybraných experimentálních povodí

Tok	Průměrný průtok ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	Plocha povodí (km^2)	Specifický odtok (l/s/km^2)
Modravský p.	2,011	42,089	47,771
Březnický p.	0,182	3,415	53,189
Ptačí p.	0,196	5,507	35,609
Černohorský p.	0,202	6,090	33,188
Cikánský p.	0,138	2,174	63,381

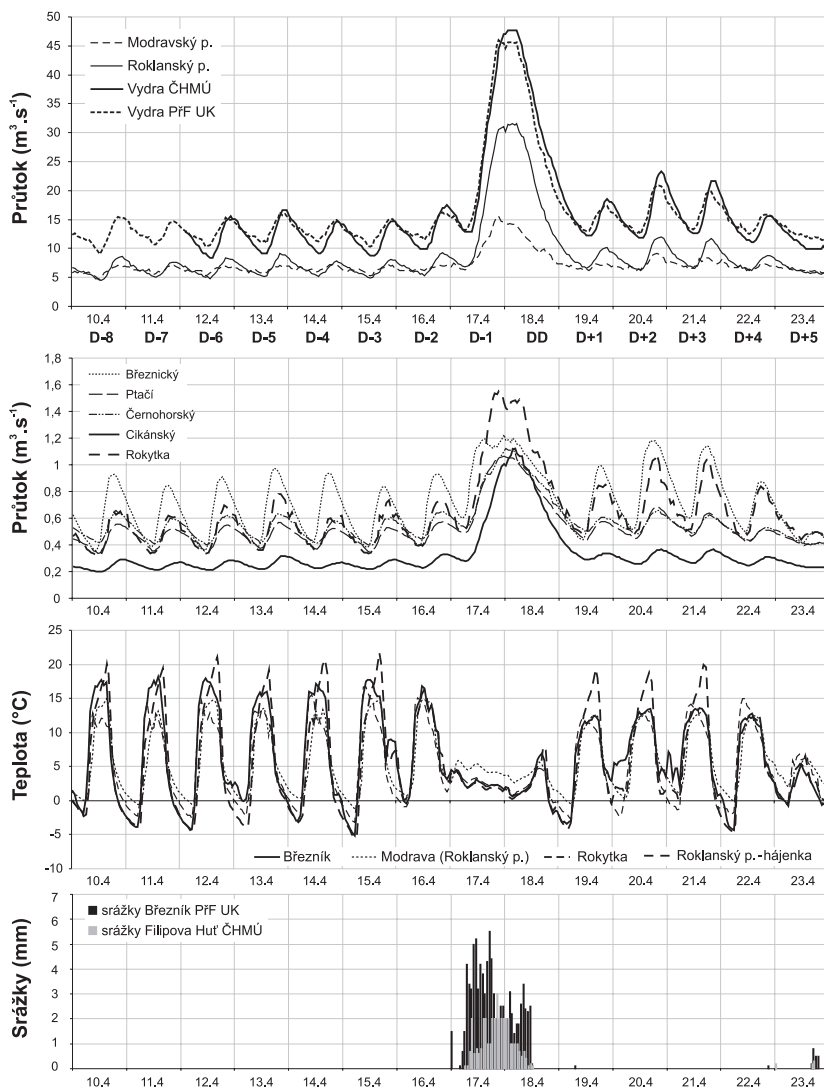
2008–16. 7. 2009, tedy v době, kdy již byly kontinuálně monitorovány všechny sledované toky. Nejvyšší rozkolísanost z hlediska odtoku vykazovaly ve sledovaném období Březnický potok a Rokytky (viz obr. 5). Březnický potok odvodňuje oblast, kterou nejvíce zasáhla kůrovcová kalamita. Povodí Rokytky je pak význačné zejména vysokým podílem ploch horských vrchovišť. Naopak velmi nízkou rozkolísanost vykazovaly potoky Černohorský a Cikánský. Oba tyto toky se vyznačují především vysokou mírou lesnatosti, ale též významným zastoupením plochy rašelinišť. V obou povodích byla v nedávné době provedena revitalizace horských vrchovišť, kterou realizoval NP Šumava. Tyto revitalizace spočívají v hrazení původních melioračních kanálů systémem dřevěných hrází. Významné rozdíly ve variabilitě odtoku těchto dvou toků vedou k hypotéze, že uvedené revitalizační úpravy mohou stabilizovat chod průtoků z hlediska jejich ročního průběhu a pozitivně ovlivňují odtok během průměrně vodních období.



Obr. 5 – Chod průměrných denních průtoků, teploty vzduchu a úhrnů srážek v dílčích povodích Roklanského a Modravského potoka v období jarního tání 2009. Zdroj: vlastní data za období 1. 11. 2008–16. 7. 2009.

5.2. Analýza vybraných povodňových událostí

Na analýzu odtokových poměrů navázala následně analýza vybraných povodňových případů, které se vyskytly ve sledovaném území za období pozorování. Pozornost byla soustředěna zejména na popis mechanismu vzniku a průběhu povodně v jednotlivých povodích. Hlavním cílem byla snaha o nalezení souvislostí v průběhu a míře extremity povodně v závislosti na místních specifických fyzikogeografických podmínkách. Zvláštní pozornost byla orientována především na zhodnocení hydrologické funkce horských vrchovišť.



Obr. 6 – Chod průměrných hodinových průtoků, teploty vzduchu a srážkových úhrnů v období 10.–23. 4. 2008 ve vybraných profilech. Zdroj: data PŘF UK za období 10.–23. 4. 2009.

Ve sledovaném období 1. 11. 2006–16. 7. 2009 se vyskytly 3 hydrologické situace, které lze, dle zvolených kritérií, označit za povodňové. Povodně se ve dvou případech vyskytly v jarním období (1. 3. 2008 a 18. 4. 2009, obr. 6), jedna povodeň se vyskytla na podzim (7. 12. 2007). Posuzována byla i hydrologická epizoda z června a července 2009. Na základě analýzy těchto povodňových případů lze přijmout závěry, které pro oblast povodí Vydry již dříve formulovali jiní autoři (např. Vlasák 2008). Za specifika této oblasti tak lze označit zejména nárůst podružného listopadového a prosincového maxima četnosti povodňových průtoků a rovněž i zvýšenou četnost povodňových situací v době jarního tání. Většina zimních povodní zde vzniká v důsledku dešťových srážek, které jsou vyvolány přechody frontálních systémů v silném západním proudění. Úhrny srážek jsou u těchto povodní vždy výrazně orograficky zesíleny 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 vedlejší šumavském hřebenu (též Vlasák 2008).

5.3. Hodnocení extremity povodní

Závislost extremity povodně na specifických fyzickogeografických podmínkách jednotlivých povodí byla testována na případové studii povodně ze dne 18. 4. 2009. Tato povodeň vytvořila velmi vhodné podmínky pro posouzení chování odtoku jednotlivých toků v zájmové oblasti v reakci na příčinnou situaci. Pomocí popsané metodiky (viz kap. 4.2.2.) byla určena míra extremity povodně ve vybraných profilech jednotlivých toků (tab. 2 a 3). Ta byla společně s vyjádřenými fyzickogeografickými parametry území základem pro korelační analýzu. Potvrzena byla velmi silná závislost extremity povodně na podílu plochy rašelinišť v povodí. Výraznou extremitu vykazovaly při této povodni zejména Cikánský potok a Rokytky. Povodí obou těchto toků jsou význačná vysokým podílem ploch horských vrchovišť. Cikánský potok však, na rozdíl od Rokytky, vykazoval ze všech sledovaných toků vůbec nejnižší rozkolísanost průtoků v době před vznikem povodně. Nabízí se tedy hypotéza, že významný vliv na průběh povodně na tomto toku má již zmíněná revitalizace. Tyto revitalizační úpravy tedy pravděpodobně stabilizují rozkolísanost průtoků v období průměrné

Tab. 2 – Vypočtené hodnoty ukazatelů variability v období 10.–18. 4. 2009 ve vybraných experimentálních profilech

Tok	$Cv1$	$Cv2$	PP	KP	I_{EKP}
	Variabilita $D-8$ až $D-2$ (10. 4. – 16. 4.)	Variabilita $D-1$ až DD (17. 4. – 18. 4.)	Průměrný průtok $D-8$ až $D-2$ ($m^3 \cdot s^{-1}$)	Maximální dosažený prů- tok $D-1$ až DD ($m^3 \cdot s^{-1}$)	KP/PP
Březnický p.	0,29	0,31	0,637	1,243	2,0
Ptačí p.	0,14	0,43	0,459	1,072	2,3
Černoohorský p.	0,14	0,36	0,516	1,278	2,5
Cikánský p.	0,12	1,12	0,251	1,168	4,7
Rokytky	0,25	0,69	0,505	1,607	3,2

Tab. 3 – Hodnoty výsledných korelačních koeficientů pro vybrané fyzikogeografické parametry

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

vodnosti. Statistické výstupy ale ukazují rovněž na fakt, že při povodňových událostech ovlivňují tato opatření odtokové poměry negativně, tzn. že dokážou vyrovnávat průtoky pouze do určité úrovně extremity, resp. N-letosti. Tyto závěry jsou však formulovány pouze na základě rozboru několika konkrétních událostí a vyžadují podporu analýzy dalších epizod. Výše zmíněné hypotéze však nahrává i průběh průtoku před a během hydrologické události z června a července 2009 na dalším revitalizovaném toku, Černohorském potoce.

6. Souhrn poznatků

Zvyšující se frekvence výskytu „bleskových povodní“ v posledních letech vyústila v uvědomění si potřeby řešení komplexu otázek protipovodňové tematiky včetně realizace opatření pro zvýšení retence vody v krajině. Využití netradičních postupů jakožto vhodných doplňků klasických hydrotechnických opatření spočívá v postupném zvyšování retenční kapacity pramenných oblastí vodních toků.

Výzkum prováděný v horní části povodí Otavy na základě sítě automatických hydrologických a klimatických stanic spočívá v detailní analýze srážko-odtokových poměrů a dynamiky odtoku. Tvorba odtoku, hodnocení srážko-odtokových procesů a vliv v současnosti prováděných revitalizačních opatření horských vrchovišť byl studován pomocí hydrologických statistických metod, a to především v periodách vysokých vodností. Využity byly rovněž metody hodnocení sněhové pokrývky vzhledem k faktu, že jarní povodně z tání sněhu představují jeden z nejčastějších typů povodní v Česku, přičemž v zájmovém území povodí horní Otavy významně převažují.

Príspevek přináší a shrnuje původní analýzy a poznatky o odtokovém režimu jednotlivých toků v povodí Vydry se zvláštním zřetelem na formování a průběh povodňových situací. Pozornost je soustředěna především na nalezení souvislostí v ovlivnění extremity povodňového průtoku v závislosti na fyzikogeografickém prostředí v povodí jednotlivých toků. Zvláštní důraz je přitom kladen na posouzení hydrologické funkce horských vrchovišť. Práce vychází z dat získaných více než tříletým monitoringem, který je v této oblasti realizován v rámci projektů zabývajících se využitím retenčního potenciálu pramenných oblastí v protipovodňové ochraně.

Ve sledovaném období byla potvrzena platnost charakteru povodňového mechanismu Vydry tak, jak jej ve své práci formuloval Vlasák (2008). Specifickými

projevy odtoku v této oblasti je zejména nárůst podružného listopadového a prosincového maxima četnosti povodňových průtoků a rovněž i zvýšená četnost povodňových situací v době jarního tání. Většina zimních povodní vzniká v důsledku dešťových srážek, které vyvolávají přechody frontálních systémů 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 nacházejí na vedlejší šumavském hřebenu.

Provedené analýzy na příkladu povodňové situace ze dne 18. 4. 2009 potvrdily značnou vzájemnou korelaci extremity povodňových průtoků a podílu plochy rašelinišť v povodí. Zvláště významná je pak zvýšená extremita povodní u toků, které prošly revitalizačními opatřeními. Ty spočívají v hrazení původních melioračních kanálů, které vrchovištní komplexy odvodňují. Tyto úpravy tak dle stanovených hypotéz do jisté míry stabilizují rozkolísanost odtoku z hlediska jeho ročního průběhu a vykazují vyrovnávací účinek v období průměrných vodností. Zjištěné poznatky ale rovněž poukazují na fakt, že při povodňových událostech mohou revitalizační opatření představovat i negativní jev. Jejich existence v povodí a korytě toku dokáže vyrovnávat průtoky pouze do určité úrovně extremity, resp. N-letosti. Jakmile je určitá úroveň vodního stavu, resp. průtoku, překročena, dochází ve většině případů naopak ke zvýšení odtokové extremity.

Původní výsledky příspěvku představují cenná vstupní data pro následné matematické modelování odtoku v konkrétním území povodí horní Otavy. Mohou též výrazně přispět k pochopení srážko-odtokových vztahů v povodí, jež je možno využít pro zpřesnění hydrologických předpovědí. Využití těchto poznatků by mohlo napomoci i při budoucí implementaci vybraných profilů PŘF v rámci varovného protipovodňového systému ČHMÚ v povodí Otavy. Zájmová oblast poskytuje optimální podmínky pro realizaci rozličných opatření ke zvýšení retenčního potenciálu, ať už se bude jednat o plošná opatření v povodí, tak o využití potenciálních přirozených i antropogenně vytvořených prostorů k zadržení vody. Implementace těchto nenásilných opatření realizovaných v pramenných oblastech by mohla v budoucnu přispívat nejen k redukci kulminačních průtoků během povodňových událostí, ale rovněž k zadržení dostatečného množství vody pro eventuální suché epizody.

Literatura:

- BRÁDKA, J., DŘEVÍKOVSKÝ, A., GREGOR, Z., KOLESÁM, J. (1961): Počasí na území Čech a Moravy v typických povětrnostních situacích. Hydrometeorologický ústav, Praha, 126 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. UK v Praze, PŘF, Praha, s. 80–85.
- ČSN (1997). ČSN 75 1400 – Hydrologické údaje povrchových vod. Český normalizační institut.
- ČURDA, J. (2009): Odtokový režim v pramenné oblasti Vydry se zaměřením na hodnocení povodňových epizod. Magisterská práce, UK v Praze, PŘF, KFGG, Praha, 149 s.
- FERDA, J. (1960): Hydrologický význam horských vrchovištních rašelinišť. Sborník ČSAZV – Lesnictví, Praha, č. 10, s. 835–856.

- FERDA, J., HLADNÝ, J., BUBENÍČKOVÁ, L., PEŠEK, J. (1971): Odtokový režim a chemismus vod v povodí Horní Otavy se zaměřením na výskyt rašelinišť. Sborník prací HMÚ, sv. 17. HMÚ, Praha, s. 22–126.
- HLADNÝ, J. (2007): Fakta a mýty o povodních. In: Langhammer, J. (ed.): Povodně a změny v krajině. MŽP ČR a UK v Praze, PŘF, Praha, s. 41–50.
- CHÁBERA, S. a kol. (1987): Příroda na Šumavě. Jihočeské nakladatelství, České Budějovice, 182 s.
- JANSKÝ, B. (2003): Water Retention in River Basin. Acta Universitatis Carolinae – Geographica, Praha, 38, č. 2, s. 173–183.
- 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. UK v Praze, PŘF 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 UK v Praze, PŘF, Praha, s. 307–316.
- JANSKÝ, B., KOCUM, J. (2008): Peat bogs influence on runoff process: case study of the Vydra and Křemelná River basins in the Šumava Mountains, southwestern Czechia. Geografie, 113, č. 4, s. 383–399.
- KOCUM, J., JANSKÝ, B. (2009): Retence vody v pramenných oblastech Vydry a Křemelné – případová studie povodí Rokytky. In: Černý, D. a Dvořák, L. (eds.): Weitfällerské slatě. Sborník referátů ze semináře 21. 1. 2009. Správa NP a CHKO Šumava, Vimperk, s. 26–48.
- KOCUM, J., JELÍNEK, J., JENÍČEK, M. (2009): Monitoring sněhové pokrývky a vyhodnocení sněhových zásob na Šumavě a v Krušných horách. In: Hanková, R., Klose, Z., Pavlásek, J. (eds.): XIV. Mezinárodní stretnutie snehárov. Sborník příspěvků ze semináře 18.–20. 3. 2009. ČZÚ v Praze, Praha, s. 105–113.
- KŘÍŽ H., KOLEJKA, J. (1999) Vliv geografických podmínek na vznik extrémních hydrologických jevů v povodích. In: Extrémní hydrologické jevy v povodích. Workshop '99. 1. vyd., CVUT/CVTS, Praha, s. 239–248.
- 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, http://hydro.natur.cuni.cz/zmeny_povodni/html/cd_obsah.html, s. 150–169, cit. 8. 7. 2009.
- 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, http://hydro.natur.cuni.cz/zmeny_povodni/html/cd_obsah.html, s. 196–212, cit. 8. 7. 2009.
- ŠTĚPÁNKOVÁ, R. (2004): Vliv fyzicko-geografického prostředí na vznik a vývoj povodní v povodí Berounky. Disertační práce, UK v Praze, PŘF, KFGG, Praha, 178 s.
- TOLASZ, R. a kol. (2007): Atlas podnebí Česka. ČHMÚ a UP v Olomouci, Praha, 256 s.
- VAVRUŠKA, F. (1989): Meteorologické příčiny povodní na Otavě a Lužnici. Meteorologické zprávy. ČHMÚ, Praha, 42, s. 111–115.
- VLASÁK, T. (2008): Návrh databanky povodní Otavy a její využití v protipovodňové ochraně. Disertační práce. UK v Praze, PŘF, KFGG, Praha, 144 s.

S u m m a r y

THE EFFECTS OF PHYSICAL-GEOGRAPHIC FACTORS ON FLOOD EPISODE EXTREMITY IN THE VYDRA RIVER BASIN

Of all natural disasters, floods are responsible for the greatest property damage and the most casualties, in the geographical context of Czechia. The mechanisms of flood formation, dynamics and development are unique to each river basin. These specific characteristics are significantly affected by the physical-geographic conditions of a given area. Studies of recent flood events confirm that damage reduction is impossible without a thorough understanding of regional and local causes and without implementing interdisciplinary and integrated conception measures. One specific element of broad, comprehensive flood protection measures could include procedures implemented in a river's headwaters.

This research focuses on the Vydra River Basin (southwest Czechia). Its runoff regime shows a slightly unbalanced course due to significant discharge increases, during spring, as a result of snow melting processes. During spring, very significant runoff variability is evident, in monthly, daily and especially in hourly intervals. Peak flow (culminating at about 21:00–22:00 h) is delayed to peak air temperature (culminating at about 13:00–14:00 h). Within the study area, the highest discharge variability was identified in the Březnický and Rokytká Brook sub-catchments (see Fig. 1).

Three hydrological situations that occurred between 1 November 2006 and 16 July 2009 period fulfill the defined criteria for flood event identification. The study area is characterized by maximum flood frequency in December followed by November with the second highest flood frequency. Furthermore, an increase in flood frequency during the spring melting process is typical. Most winter flood events result from the transition of a frontal system over the study area, as a part of strong western circulation, which brings precipitation that can be intensified due to local orographic effect. Primary wind direction is concentrated into two corridors, from 220° to 270° and from 340° to 360°. Local summer floods are characterized by a more uniform distribution of precipitation in the study area (Vlasák 2008).

After interpreting the runoff regime, the research conducted an analysis of key flood causes represented in study area. The main focus was to describe flood generation and flow mechanisms in the Vydra River Basin. The primary objective is found in the clarification of a correlation between a flood's course, its extremity and specific physical-geographic conditions (Table 3).

The analyses confirmed the existence of a significant correlation between flood extremity and the proportion of peat bog in the selected experimental sub-catchments, based on data collected from a flood event on 18 April 2009. A significantly higher extremity of flood situations was observed in revitalized streams. Local revitalization processes consist of damming former ameliorative channels and draining peat bogs. Detailed analyses demonstrate that these revitalization measures have stabilized runoff conditions over the course of a year and that they have a balancing effect during average runoff situations. In a number of experimental catchments, the presence of revitalization measures can also negatively impact a flood event. Studies show that revitalization adjustments in selected sub-catchments have a balancing effect on runoff conditions only to a certain level of flood extremity (Figures 5 and 6). In most cases, runoff extremity intensified as soon as this certain water-level (respectively discharge) stage was exceeded.

The acquired outcomes represent highly valuable data for mathematical simulations of the runoff regime in the Vydra River Basin. They can also contribute to our understanding of the precipitation-runoff process in this area and should be used to make hydrological prediction more precise. Coordination of the measurement profiles of Charles University in Prague, Faculty of Science, with the installed automatic gauges that are part of the flood warning system, in cooperation with the Czech Hydrometeorological Institute CHMI is considered. The Vydra River's headwaters present optimal conditions for the implementation of a wide variety of flood protection measures and methods, leading to increases in retention capacity. The implementation of such noninvasive measures could contribute to reductions in peak flows and increases in water resources, during extreme droughts.

Fig. 1 – Map of the study area with the localization of Czech Hydrometeorological Institute (CHMI) profiles as well as experimental profiles belonging to Charles University in Prague, Faculty of Science (CUFS). In the legend from top to bottom: CHMI water stage recorder, CUFS automatic water level gauge, CUFS precipitation gauge (meteorological station), Filipova Huť precipitation gauge, primary water course, tributary, Vydra-Modrava catchment, Roklanský and Modravský Brook catchments, sub-catchment, experimental catchment.

Fig. 2 – Flood seasonality in the Vydra-Modrava profile in the 1931–2007 period. Source: Vlasák 2008, modified). Pi seasonal index values, calculated as a proportion of the number of floods exceeding the culmination threshold discharge in a given month (during the reference period) and of the number of floods exceeding the culmination threshold discharge during an entire given year (during the reference period). In the case of the Vydra-Modrava profile, threshold discharge is defined as follows: $Q_1 = 29 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $Q_2 = 38 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $Q_5 = 52 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

- Fig. 3 – Hourly discharge in the Vydra-Modrava profile and hourly air temperature in the Modrava and Březník profiles during the 2009 spring snowmelt period. X axis – discharge, y axis – hours. Source: CUFS data from the 1 November 2008 – 16 July 2009 period.
- Fig. 4 – Schematic map of runoff formation in the Modravský Brook catchment. Source: CUFS data from the 1 November 2008 – 16 July 2009 period. In the case of Filipohuťský and Luzenský Brooks, values were derived using hydrometric measurement data while discharge measurements were made repeatedly within a day in all the studied profiles for comparison.
- Fig. 5 – Mean daily discharge, mean daily air temperature and daily precipitation amounts in the Roklanský and Modravský Brook sub-catchments during the 2009 spring snowmelt period. Y axis left – temperature, discharge, right – precipitation amount. In the legend from left to right: mean hourly air temperature Březník, mean hourly air temperature Roklanský Brook – Modrava, precipitation amount Březník. Source: CUFS data from the 1 November 2008 – 16 July 2009 period.
- Fig. 6 – Mean hourly discharge, mean hourly air temperature and hourly precipitation amounts from 10 to 23 April 2009 in the selected profiles. Y axis – precipitation amount, temperature, discharge. Source: CUFS data from 10 to 23 April 2009.

Pracoviště autorů: Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, katedra fyzické geografie a geoekologie, Albertov 6, 128 43 Praha 2; e-mail: kubik.curda@seznam.cz, jansky.b@seznam.cz, kocum1@natur.cuni.cz.

Do redakce došlo 25. 1. 2011; do tisku bylo přijato 13. 6. 2011.

Citační vzor:

ČURDA, J., JANSKÝ, B., KOCUM, J. (2011): Vliv fyzickogeografických faktorů na extremitu povodní v povodí Vydry. *Geografie*, 116, č. 3, s. 335–353.