

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE, PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA

KATEDRA FYZICKÉ GEOGRAFIE A GEOEKOLOGIE

CHARLES UNIVERSITY IN PRAGUE, FACULTY OF SCIENCE

DEPARTMENT OF PHYSICAL GEOGRAPHY AND GEOECOLOGY



RNDr. Jan Kocum

TVORBA ODTOKU A JEHO DYNAMIKA V PRAMENNÉ OBLASTI OTAVY

STREAMFLOW GENERATION PROCESS AND ITS DYNAMICS
IN THE OTAVA RIVER HEADWATERS

Autoreferát disertační práce / Summary of the Ph.D. Thesis

Školitel/Supervisor: Prof. RNDr. Bohumír Janský, CSc.

Praha, 2012

ABSTRAKT

V souvislosti s výskytem katastrofálních povodní a extrémně suchých období v posledních letech se objevuje naléhavá potřeba řešení širokého komplexu otázek ochrany před hydrologickými extrémy, a to nejen klasickými inženýrskými metodami, ale i netradičními postupy. V popředí zájmu společnosti se objevuje nová strategie ochrany před těmito extrémy zaměřená na postupné zvyšování retenční kapacity povodí včetně jeho pramenných oblastí. Všechny otázky související s rozmanitými možnostmi a opatřeními vedoucími k dosažení tohoto cíle by měly být posouzeny na základě kvalifikované diskuze odborníků různého zaměření vzhledem k cílům a prioritám, které mají význam nadregionální, regionální či lokální. Přirozený odtokový proces je přitom ovlivňován člověkem již u samého jeho zrodu, tedy v pramenných oblastech toků, kde lze realizovat četné postupy související se zpomalováním odtoku a zvyšováním retence vody v území.

Velmi dobré podmínky pro řešení takové otázky poskytuje pramenná část povodí Otavy (jz. Česko), která reprezentuje oblast s častým výskytem extrémních odtokových událostí a s vysokou heterogenitou ve smyslu fyzicko-geografických a socio-ekonomických aspektů. Pro pochopení a objasnění procesu tvorby odtoku a míry účinku jednotlivých fyzicko-geografických faktorů na jeho dynamiku bylo v roce 2005 ve vybraných experimentálních povodích započato s detailní analýzou jejich odtokového režimu založením jedinečné sítě automatických stanic pro monitoring hydro-meteorologických jevů a fyzikálně-chemických parametrů vod. Pro posouzení retenčního potenciálu pramenné oblasti Otavy je třeba podrobně charakterizovat přírodní podmínky povodí a analyzovat jejich vliv na formování odtoku včetně posouzení hydrologické funkce zdejších horských vrchovišť. Vzhledem k existenci tohoto fenoménu v jádrové části Šumavy je třeba zabývat se zhodnocením jejich retenční schopnosti a hydraulické komunikace s toky, které je odvodňují. Průběžně proto byly prováděny podrobné rozbory časových řad hydrologických a meteorologických charakteristik a především analýzy reakce odtoku z jednotlivých rašelinišť v závislosti na době trvání, intenzitě a rozložení srážek na experimentálních povodích pomocí podrobného rozboru jeho vzestupných a poklesových fází.

Část výzkumu byla věnována zhodnocení retenčních a hydrologických poměrů horského vrchoviště v rámci Rokyteckých (Weitfällerských) slatí, situovaných v pramenné oblasti Vydry. Zvláštní zřetel byl přitom věnován posouzení jeho retenční schopnosti a zhodnocení hydrologické bilance. Hlavní pozornost byla soustředěna na zjištění a objasnění závislosti dynamiky odtoku na výšce hladiny podzemní vody ve vrchovišti.

Současná hydrologie se potýká s mnoha nejasnostmi ve správné definici prostředí, kde se odehrávají hydrologické procesy. Jedná se o nedostatečně popsané okrajové podmínky a vlastnosti, které mají přímý i nepřímý vliv na formování odtoku. Moderní experimentální hydrologie má za úkol pomocí hydrochemických a geochemických přístupů zodpovědět další otázky včetně objasnění mechanismů tvorby odtoku a zdržování vody v povodí. Přirozené fyzikálně definovatelné a stopovatelné látky, které jsou toho schopny, představují stabilní izotopy kyslíku. Tento přístup byl použit pro pochopení procesu formování odtoku v silně zrašeliněném povodí. Příspěvek horského vrchoviště k celkovému odtoku byl zhodnocen s využitím hydrologických a hydrochemických časových řad a přístupů izotopové hydrologie pro separaci jednotkového hydrogramu pomocí aniontové deficiencie. Na podkladě dat z celého hydrologického roku byl posouzen vliv horského vrchoviště na dynamiku formování odtoku a pomocí stabilních izotopů $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ byl popsán a zhodnocen jeho hydrologický cyklus.

Na podkladě dosažených výsledků, grafických výstupů i statistických analýz časových řad lze usoudit, že variabilita odtoku je vyšší v případě profilů uzavírajících povodí s významným podílem zrašeliněných a rašeliništních půd než závěrových profilů povodí s minimálním zrašeliněním. Fakt, že existence zdejších horských vrchovišť má negativní vliv na odtokový proces, zvláště během extrémních hydrologických situací jako jsou povodně a období sucha, byl potvrzen rovněž hydropedologickými, hydrochemickými a geochemickými přístupy. Na základě jednotlivých dílčích výstupů lze konstatovat, že rašelinná ložiska představují v pramenné oblasti Otavy samostatné hydrologické celky s vlastním typickým vodním režimem, který nepřispívá k vyrovnávání odtokové křivky, a jejich hydrologická funkce v tomto území je nevýznamná.

Důležitým fenoménem tvorby odtoku v pramenných oblastech českých toků je v celkové roční bilanci sezónní sněhová pokrývka, která představuje v prostoru a čase poměrně těžko kvantifikovatelný prvek. Charakter jejího výskytu se vyznačuje vysokou mírou časové a prostorové variability. Sněhoměrná pozorování v experimentálních povodích potvrdila existenci významného rozdílu v množství akumulovaného sněhu nejen v závislosti na nadmořské výšce, ale rovněž na vegetačním pokryvu, zejména mezi otevřenými plochami a lesem. Jedná se o okolnost, kterou lze jen obtížně postihnout použitím výsledků měření prováděných běžně na meteorologických stanicích. Optimalizace monitoringu sněhové pokrývky v podmínkách Šumavy je klíčová pro sestavování modelů odtoku z tajícího sněhu a z hlediska přesnosti vstupů pro hydroprognózu.

Kromě zhodnocení procesu hrazení koryt původních melioračních rýh, která jsou v současné době součástí managementu NP Šumava, bylo v zájmu rovněž posouzení efektivnosti využití retenčních prostor vázaných na

vhodnou konfiguraci zdejšího reliéfu či někdejších akumulčních nádrží, které byly v minulosti využívány pro plavení dřeva (tzv. klauzů), a které by mohli plnit např. funkci suchých či řízených poldrů a tím se podílet na vyrovnávání odtoku během povodňových událostí a suchých období. Efektivnost takových opatření při retenci vody ve zdrojových oblastech řek je možné simulovat aplikací komplexního systému vhodných hydrologických modelů. Na základě získaných dat a dílčích výsledků lze předběžně konstatovat, že účinnost těchto opatření by nemusela být zdaleka zanedbatelná. Implementace nenásilných opatření pro zvyšování retenční schopnosti krajiny, jako je například využití potenciálních akumulčních a retenčních prostor v povodí, by mohla významně přispívat k redukci kulminačních průtoků během povodňových událostí a k zadržení dostatečného množství vody pro eventuální suché epizody. Aktuálnost tohoto tématu je spojena se současnými klimatickými změnami a s nimi související intenzifikací výskytu meteorologických a hydrologických extrémů v podmínkách Česka.

Klíčová slova: hydrologické extrémy – formování odtoku – retenční potenciál – Otava – automatické měřicí stanice – experimentální povodí – hydrologická funkce vrchovišť – izotopy kyslíku – sněhová pokrývka – retenční a akumulční prostory – klimatická změna

ABSTRACT

In context of catastrophic floods and extreme droughts in recent years there is an urgent need of solving of issues dealing with protection against hydrological extremes, not using just classical engineering methods but also using untraditional practices. There is a new protection strategy focusing on gradual increase of river catchment retention capacity including its headwater regions. All of the issues related to various possibilities and measures leading to river headstream areas retention capacity increase should be discussed by experts in various fields taking into account objectives and priorities of a supra-regional, regional and local significance. Natural runoff process is affected by man already by its birth, thus in headwaters where numerous procedures related to runoff retardation and water retention increase in headstream areas could be realized.

Suitable conditions for the research realization at present is related to the Otava River headwaters (sw. Czechia) representing the core zone of a number of extreme runoff events and with high heterogeneity in the terms of physical-geographic and socio-economic aspects. To understand and clarify the runoff generation process and the effect of various physical-geographic factors on its dynamics, the detailed analyses of runoff regime in chosen experimental catchments began in 2005 by the establishment of unique network of automatic stations for the monitoring of hydro-meteorological features and physio-chemical parameters of surface water. In order to assess the retention potential in the Otava River headwaters catchment natural conditions need to be characterized and their effect on runoff formation including peat bogs hydrological function assessment needs to be done. With respect to the existence of this phenomenon in the Šumava Mts. core zone it is necessary to consider the evaluation of their retention capacity and of the hydraulic communication with draining water courses. Therefore continuous analyses of hydrological and meteorological time series were carried out, and especially analyses of runoff responses from peat land areas in relation to the duration, intensity and distribution of precipitation on experimental catchments by means of detailed analysis of its ascending and descending phases, were done.

Part of the research was focused on the evaluation of retention and hydrological conditions of the bog within the Rokytka (Weitfäller) Moors, located in the Vydra River headwaters. Special attention was paid to the assessment of their retention capacity and hydrological balance. The main attention was focused on findings of a runoff dynamics dependence on the ground water table in the peatland.

Present hydrology deals with a number of difficulties to sufficiently define the environment where hydrological processes take place. These are under-described secondary conditions and features that have a direct and indirect influence on the runoff formation. Modern experimental hydrology uses hydrochemical and geochemical approaches to explain the mechanisms which are related to water retention and runoff formation in headstream areas. Stable oxygen isotopes are the only natural, physically definable and traceable substances existing in the hydrosphere which can be balanced correctly. This geochemical approach was used to understand streamflow generation processes in the highly peaty catchment. Contribution of water from peat bog areas to the total surface runoff has been assessed using a hydrological time series as well as geochemical,

hydrochemical and isotope-hydrological approaches for unit hydrograph separation by means of anion deficiency. On the basis of data from the whole hydrological year, the role of an existing peat bog in the runoff formation dynamics was determined and the hydrological cycle using stable $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ isotopes was described and assessed.

On the base of acquired results, graphical outcomes and time series statistical analyses it could be stated that more distinct runoff variability is typical for streams draining catchments with the significant proportion of peat land. The fact that the existence of bogs has the negative effect on the runoff process, especially during extreme hydrological situations such as floods and droughts, was confirmed by hydrogeological, hydrochemical and geochemical approaches. It can be stated that bogs in the Otava River headwaters represent separate hydrological units with their own typical runoff regime, which does not contribute to the discharge curve balancing, and that their hydrological functions in this area is insignificant.

An important phenomenon of runoff formation in headwater areas of Czech streams is in total annual balance represented by seasonal snow cover which is a quite hardly quantifiable element. The character of its occurrence is characterized by a high time and spatial variability. Snow cover observations in experimental catchments confirmed the existence of a significant difference in the amount of accumulated snow not only in relation to altitude, but also to vegetation cover, especially between forest and open areas. It is a fact, which is difficult to capture using the results of measurements carried out routinely at meteorological stations. Optimization of snow cover monitoring in the Šumava Mts. conditions is crucial for modelling the runoff from a snow cover and in terms of accuracy for hydroprognosis inputs.

In addition to considering dyking of former drainage channels, which is a part of Šumava Mts. National Park management at present, the evaluation of the usage effectiveness of retention spaces related to suitable relief configuration and former accumulation reservoirs, used for wood floating in the past, with their potential function as dry polders balancing the runoff, is in the process of evaluating. On the base of acquired data and partial results it could be stated that the effectiveness of such measures might not be far from negligible. Using complex system of suitable hydrological models the simulation of runoff process and the assessment of the effectiveness of these reservoirs could be made. Implementation of such unforceable measures, such as the use of potential accumulation and retention spaces in the catchment area, could contribute significantly to reduction of peak flows and to increase of water resources during eventual extreme droughts in future. The topicality of this subject is associated with recent climate change and the intensification of meteorological and hydrological extremes in Czech conditions.

Key words: hydrological extremes – runoff formation – retention potential – Otava River – automatic stations – experimental catchment – peat bogs hydrological function – oxygen isotopes – snow cover – retention and accumulation spaces – climate change

Úvod a cíle práce

Hydrologické extrémy představují v současné době projevy, které i v podmínkách střední Evropy nabývají velmi významně na intenzitě. Mezi ně patří kromě povodňových událostí i stále častěji se projevující hydrologicky suchá období. Účinná ochrana před projevy těchto hydrologických extrémů představuje jeden ze základních úkolů hydrologie a vodního hospodářství. Díky zdokonalování technologických možností dokážeme na úrovni základního výzkumu mnohem sofistikovaněji popsat jednotlivé procesy probíhající v přírodě a kvantifikovat vliv nejrůznějších opatření k eliminaci jejich projevů. Moderní přístupy vyžadují velmi komplexní pohled na celý systém a umožňují naprosto detailní posuzování jeho jednotlivých složek. Jejich korektní popis pak představuje klíčové vstupy do následných analýz včetně hydrologického modelování. V souvislosti s výskytem katastrofálních povodní a extrémně suchých období v posledních letech se objevuje naléhavá potřeba řešení širokého komplexu otázek ochrany proti hydrologickým extrémům, a to nejen klasickými inženýrskými metodami, ale i netradičními postupy. V popředí zájmu společnosti se objevuje nová strategie zaměřená na postupné zvyšování retenční kapacity povodí. Přírozený odtokový proces je přitom ovlivňován člověkem již u samého jeho zrodu, tedy v pramenných oblastech toků, kde lze realizovat četné postupy související se zpomalováním odtoku a zvyšováním retence vody v území. Cílem základního výzkumu je poskytnout vstupní poznatky pro jejich využití v rámci realizace tzv. integrované ochrany před hydrologickými extrémami.

Prvotním impulsem pro řešení tohoto tématu práce byla výzva ve studii Ferdy et al. (1971) k navázání výzkumu hodnotícího odtokový režim a chemismus vod v povodí horní Otavy se zaměřením na výskyt rašelinišť. Práce si proto stanovila za cíl zhodnotit hlavní specifika tvorby odtoku v této oblasti s využitím moderních přístupů a kriticky se vyjádřit k výsledkům studie někdejšího Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ). Povodí Vydry a Křemelné na Šumavě (jihozápadní Česko) reprezentují oblasti s častým výskytem hydrologicky extrémních událostí a s vysokou heterogenitou ve smyslu fyzicko-geografických (f-g) a socio-ekonomických (s-e) aspektů. Pramenné oblasti vodních toků představují zdrojová území formování odtoku. Nová koncepce řešení retence vody v krajině spočívá v řešení příčin, nikoliv následků. Pouze s přihlédnutím k místním specifikům je možné důkladně pochopit proces tvorby odtoku v konkrétním území a minimalizovat vstupní nejistoty do dalších fází řešení. Významným, a nikoliv jediným, specifikem v zájmové oblasti je existence významných ploch vrchovištních komplexů, které tak představují ekologický fenomén zdejší krajiny. V konkrétním území pramenné oblasti Otavy je proto klíčové věnovat se mimo jiné vlivu tohoto jevu na hydrologický režim zdejší krajiny a tvorbu odtoku.

Jak už bylo zmíněno, řešení aktuálních otázek zvyšování extremity hydro-meteorologických (h-m) jevů souvisejících s klimatickými změnami v posledních letech vyžaduje multidisciplinární přístup a přesné zhodnocení retenční schopnosti zdejší krajiny. Nutný předpoklad pro kvantifikaci retenčního potenciálu představuje detailní analýza vlivu klíčových faktorů ovlivňujících odtokové poměry, a to v konkrétním (!) území. Zobecnění dílčích výstupů pro další oblasti je velmi diskutabilní. Na získané poznatky je přitom třeba nahlížet z různých úhlů pohledu. Výsledky práce by mohly být do budoucna využity při realizaci konkrétních efektivních opatření protipovodňové ochrany a postupů k retenci vody v suchých periodách, a to ve spolupráci se všemi zainteresovanými institucemi.

Otázka hydrologické funkce rašelinišť není přes řadu tuzemských i zahraničních projektů a mnohé spory vedené v odborných kruzích doposud uspokojivě vyřešena. Podrobnou rešerši literatury reprezentující různé názorové póly provedl Holden et al. (2004). Výsledky těchto prací prokázaly, že toky odvodňující vrchoviště mají značnou rozkolísanost průtoků a význam vrchovišť z hlediska vyrovnávání odtokového režimu byl v minulosti přeceňován. V povodí horní Otavy byla tato tematika znovu otevřena v roce 2005 (Janský, Kocum, 2008; Matoušková et al., 2005). Impulsem k výzkumu byly kromě výše zmíněné studie i novodobé výsledky prací ohledně revitalizačních opatření rašelinišť z jednotlivých částí světa a možnost využití moderních přístupů k hodnocení vlivu vrchovištních komplexů na tvorbu odtoku. Byla nastolena hypotéza, že hydraulické spojení mezi horskými vrchovišti a povrchovými toky je omezené a souvisí se specifickými geomorfologickými poměry v povodí Vydry.

Současná hydrologie se potýká s mnoha nejasnostmi v korektní definici prostředí, kterým se

pohybuje voda. Jedná se o nedostatečně popsané okrajové podmínky a vlastnosti, které mají přímý i nepřímý vliv na formování odtoku. Otázky hydrologie jsou v absolutní většině případů omezeny na sledování vnějších projevů systému, především srážkových vstupů a odtokových výstupů. Tento přístup je využit pro základní zhodnocení odtokového režimu v zájmovém území. Výběrově má hydrologie k dispozici data z hydrogeologických vrtů či vlhkostních čidel. Moderní experimentální hydrologie má ovšem za úkol zodpovězení dalších otázek včetně objasnění mechanismů tvorby odtoku a zdržování vody v povodí. Mimo jiné přináší důkazy o tom, že koncept povrchového odtoku není jediným a hlavním mechanismem transformace srážky v odtok. Potřebnou informaci poskytuje vnitřní složení vody, které je bilancovatelné. Přirozené fyzikálně definovatelné a stopovatelné látky, které jsou toho schopny, představují stabilní izotopy kyslíku a vodíku. Tyto látky jsou přítomny v celé hydrosféře a, na rozdíl od hydrochemických indikátorů, v tomto prostředí nevznikají ani nezánikají. Současné analytické metody představují sofistikované nástroje umožňující detailní popis mísení infiltrující srážkové a půdní vody a dokážou detekovat preferenční proudění v půdním profilu.

Na počátku výzkumu byly vytyčeny níže uvedené **hlavní cíle**. Dílčí cíle, jejichž plnění vede k zodpovězení klíčových otázek, jsou prezentovány v jednotlivých částech práce.

- 1) *Posouzení specifík hydrologického režimu v povodí horní Otavy a zhodnocení vlivu jednotlivých f-g faktorů (vč. sněhových poměrů) typických pro tuto oblast s přihlédnutím k extrémním odtokovým epizodám.*
- 2) *Zhodnocení retenčního potenciálu a hydrologické funkce horských vrchovišť v povodí horní Otavy (hypotéza: hydraulické spojení mezi horskými vrchovišti a povrchovými toky je omezené a souvisí se specifickými geomorfologickými poměry v povodí Vydry).*
- 3) *Posouzení potenciálu detailních dat z automatických hydro-meteorologických stanic pro hodnocení dynamiky odtoku a vhodnosti využití principů izotopové hydrologie pro modelování hydrologického cyklu horských vrchovišť.*

Za účelem zodpovězení hlavních otázek a splnění vytyčených úkolů je práce řešena ze dvou pohledů. V rámci prvního je přístupováno k otázkám základního výzkumu, přičemž jejich zodpovězení je klíčové pro druhý rozměr práce. Aplikační charakter druhé části práce má totiž za úkol evokovat úvahy o budoucím směřování výzkumu v této oblasti a má představovat první krok k využití doposud získaných poznatků. Z hlediska obou přístupů se v práci prolínají případové studie pro jednotlivá experimentální povodí, která byla pečlivě vybrána s využitím relevantních kritérií. Významný prostor je věnován klíčovým otázkám metodického přístupu k řešení jednotlivých úkolů, přičemž použité moderní postupy a metodiky byly v průběhu prací průběžně optimalizovány.

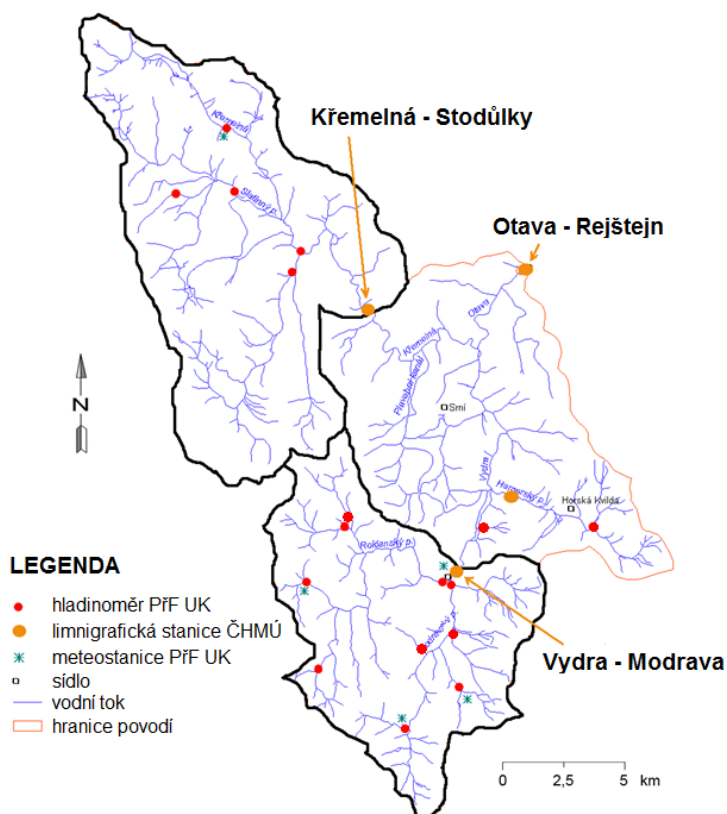
Materiál a metody

V této kapitole jsou detailně popsána podkladová data a metodické postupy, které byly využity při řešení jednotlivých úkolů vedoucích k zodpovězení hlavních cílů práce. Po vymezení zájmového území včetně charakteristiky experimentálních povodí jsou popsány mapové podklady a použitý software. Následně je popsána metodika jednotlivých přístupů k hodnocení dílčích úkolů, metody sběru podkladových dat a jejich zpracování. Zmíněny jsou rovněž nejistoty spojené se získáváním dat a jejich analýzami. K hodnocení vlivu f-g faktorů na hydrologické poměry byla v rámci zájmového povodí vytipována experimentální povodí, kde byla postupně instalována automatická ultrazvuková a tlaková hladinoměrná zařízení a klimatické stanice s telemetrickým přenosem dat. Od roku 2006 byla v zájmovém území postupně vybudována stabilní a fungující síť zařízení monitorujících dynamiku odtoku, extremitu h-m jevů a fyzikálně-chemické (f-ch) parametry povrchových vod, které jsou klíčové pro korektní posouzení zdejšího retenčního potenciálu. Velmi pozitivním aspektem je fakt, že vybrané hydrologické a srážkoměrné profily byly již úspěšně implementovány v rámci varovného protipovodňového systému ČHMÚ a využity pro potřeby zpřesnění hydrologické prognózy.

Monitoring srážko-odtokových procesů

K hodnocení hydrologického režimu bylo využito dlouhodobých časových řad ze státní sítě ČHMÚ a časových řad generovaných monitorovací sítí Přírodovědecké fakulty UK v Praze (PřF UK). V rámci několika projektů byla v zájmové oblasti postupně od první poloviny roku 2006 vybudována síť cca dvaceti **automatických monitorovacích stanic** (obr. 1). Vzhledem k absenci či nedostatečnému množství stávajících stanic ČHMÚ či podniků „Povodí“ bylo zásadním cílem pro potřeby detailního výzkumu ve zdrojových oblastech toků vytvoření vlastní monitorovací sítě, která by umožňovala detailní sledování a analýzu vzestupných a poklesových větví povodňových vln a rozbor jejich formování a průběhu při hydrometeorologických příčinných situacích na horních tocích (Kliment et al., 2008; Kocum, Janský, 2009). Zavedení vlastní monitorovací sítě umožnilo vznik unikátní banky dat, na jejímž základě lze provádět velmi podrobné analýzy srážko-odtokových (s-o) procesů pro následné matematické modelování (např. Jeníček, 2008 a 2009). Tato kapitola se zabývá typy měřicích přístrojů a monitorovacími metodami použitými při automatickém sledování h-m jevů v pramenných oblastech vodních toků. Jako základ pro **analýzu odtokového režimu** v zájmovém povodí byla použita data průměrných denních průtoků a hodinových průtoků vybraných extrémních odtokových epizod ve státních profilech ČHMÚ (Vydra-Modrava, Křemelná-Stodůlky). Na těchto souborech dat byla provedena základní hydrologická statistika vč. posouzení variability odtoku. Hlavní pozornost pak byla soustředěna na objasnění závislosti extremity odtoku na f-g poměrech povodí jednotlivých toků. Krátkodobé řady dat z automatických stanic PřF UK byly podrobeny analýze dynamiky odtoku. Zvláštní důraz byl v tomto ohledu kladen na posouzení hydrologické funkce rašelinišť a vlivu jejich revitalizačních opatření. Pro detailní analýzu odtoku ze sněhové pokrývky bylo třeba mít k dispozici průběh hodinových průtoků a rovněž hodinových dat o teplotě vzduchu v jarním období. Analýza odtokového režimu povodí a rozbor formování povodňových vln u vybraných situací byl tedy prováděn s využitím vstupních dat, které lze rozdělit do tří skupin: a) data z limnigrafických stanic ČHMÚ Vydra-Modrava a Křemelná-Stodůlky, data z meteorologických stanic ČHMÚ situovaných v blízkosti zájmového povodí, b) data získaná hydrometrováním ve vybraných profilech PřF UK, c) datové řady z automatických hladinoměrných zařízení a meteorologických stanic PřF UK.

Obr. 1 Vymezení studovaných povodí Vydry a Křemelny a lokalizace státních profilů ČHMÚ a automatických měřicích stanic pro monitoring hydro-klimatických jevů v rámci pramenné oblasti Otavy (závěrový profil Otava - Rejstejn)



Pro **posouzení variability odtoku** ve vybraných profilech byla použita klasická hydrologická statistika. Ke zhodnocení míry extremity ve vzestupu povodňové vlny byla využita metoda indexů extremity (Čurda et al., 2011). Ta spočívá, ve své první fázi, v určení průměrného průtoků jednotlivých toků v období před vzestupem povodňové vlny (D-8 až D-2). V tomto období měly průtoky setrvalý trend ovlivněný pouze táním sněhové pokrývky. 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 z průměrných hodinových průtoků hodnoty variačního koeficientu ($Cv1$). Takto vypočtené hodnoty 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 ke zjištěnému teoretickému průměrnému průtoku daného toku v období před příčinnou situací (D-8 až D-2), získanému výše uvedeným postupem. Období D-1 až DD je rozmezí, ve kterém v tomto případě došlo ke vzestupu, kulminaci a poklesu povodňové vlny. Takto získané hodnoty variačního koeficientu (označeny Cv_2) tedy vyjadřují míru variability povodňových průtoků od jejich normálního průběhu, který by byl teoreticky dosažen bez povodňového případu. Vzájemné hodnocení tedy poskytuje dobrou představu o míře extremity povodňové vlny jednotlivých toků ve vztahu k jejich průměrnému průtoku. Využití této metody je za předpokladu obdobných vstupních a příčinných podmínek u všech sledovaných toků aplikovatelné 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 byl využit následující postup. Ten 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 označována jako index extremity kulminačního průtoku I_{EKP} ($I_{\text{EKP}}=KP/PP$).

Monitoring hladiny podzemní vody ve vrchovišti

Kontinuální sledování výšky hladiny podzemní vody (HPV) ve vrchovišti je založeno na stejném principu, na kterém probíhá monitoring výšky hladiny v povrchových tocích, tedy na systému automatických měřicích zařízení. Systém sledování HPV je spravován Botanickým ústavem Akademie věd ČR v Českých Budějovicích (BÚ AV ČR). Sestava obsahuje kromě řídicí jednotky automatickou sondu s plovákem. Jednotlivá čidla jsou umístěna v reprezentativních bodech ve flarku, trávníku a v kleči.

Monitoring fyzikálně-chemických parametrů vod

Součástí vybraných vodoměrných profilů je kontinuální monitoring teploty vody, pH, konduktivity, redoxně-oxidačního potenciálu a obsahu rozpuštěného kyslíku. Měřicí čidla byla v průběhu výzkumu pravidelně kalibrována a udržována s ohledem na správnou funkčnost a zajištění kontinuity časových řad. Celý systém byl postupně doplňován a uzpůsobován potřebám a cílům výzkumu. Hydrologický monitoring byl v experimentálních povodích s rozdílným zrašeliněním doplněn sledováním bilance iontů, uhlíku a v případě povodí Rokytky i izotopů kyslíku (spolupráce s Českou geologickou službou na Barandově, ČGS) za účelem zpřesnění separace odtokových fází pomocí aniontové deficiencie. Pro posouzení hydraulické komunikace vrchoviště s drénujícím tokem bylo využito dat získaných v hydrologickém roce 2008 (viz níže). Ve vytipovaných profilech byly pravidelně odebírány vzorky atmosférické depozice a povrchových vod v tocích, přičemž výsledky laboratorních rozborů byly korelovány s monitorovanými hodnotami průtoků. Vzhledem k tomu, že v ohnisku zájmu stály především extrémní odtokové situace, bylo při odběrech vzorků dbáno na to, aby byly odebírány při průtocích reprezentujících nejen průměrný stav, ale zvláště povodňové, resp. suché epizody. Po odběrech byly vzorky analyzovány v akreditovaných laboratořích ČGS na: pH, alkalita, Na, K, Mg, Ca, Al, Mn, SiO_2 , NH_4^+ , NO_3^- , F^- , SO_4^{2-} , Cl^- , TOC a TN, TON, absorbance.

Monitoring přirozených stabilních izotopů

Za účelem zhodnocení hydrologické bilance v povodí Rokytky byly ve 14denním intervalu prováděny odběry srážek, přičemž měřen byl úhrn srážek a izotopové složení ($\delta^{18}\text{O-H}_2\text{O}$) srážkových vod. Chemismus a depozice srážek byla měřena v sousedních povodích v měsíčním intervalu. Odběr povrchových vod na chemismus a izotopové složení probíhal ve stejném intervalu v profilech na přítoku, ve slati a v závěrovém profilu. Odebrané vzorky byly skladovány v temnu a chladu a analyzovány v akreditovaných laboratořích ČGS. Stanoveno bylo pH a koncentrace: NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- iontově výměnnou chromatografií, F^- potenciometricky iontově selektivní elektrodou, NH_4^+ kolorimetricky indofenolovou modří. Ca, Mg, Na, K, Al, Fe, Si byly stanoveny plamenovou atomovou absorpční spektrometrií (FAAS), alkalita byla měřena titračně silnou kyselinou (0.1 M HCl), rozpuštěný organický uhlík (TOC) a celkový dusík (TN) platinou katalyzovanou vysokoteplotní oxidací jako CO_2 a NO_2 . Celkový organický dusík (TON) byl spočten jako rozdíl mezi TN a $\text{N-NO}_3 + \text{N-NH}_4$. $\delta^{18}\text{O-H}_2\text{O}$ byl

stanoven standardní metodou s analytickou chybou $\pm 0.1\%$. Kyslík (O) se v přírodě vyskytuje ve třech stabilních izotopech ^{18}O , ^{17}O a ^{16}O . Protože je molekula H_2^{16}O lehčí, potřebuje méně energie k výparu než těžší H_2^{18}O , naopak je tomu při kondenzaci. Jelikož je tento proces, tzv. frakcionace, teplotně závislý, mají srážky v chladných oblastech a obdobích nižší poměr $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ než v oblastech a obdobích teplejších. Díky jedinečnosti poměru izotopů $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ jednotlivých zdrojů v čase (srážky, podzemní voda, povrchová voda) lze principu frakcionace $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ využít k modelování tvorby odtoku. K vyjádření poměru izotopů $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ se používá tzv. delta zápis. Jde o relativní poměr měřeného $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ke standardizovanému poměru $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ (v tomto případě V-SMOW). Pro výpočet příspěvku slatě k odtoku vody v Rokytkce byl použit model zahrnující vstup ze slatě a vstup z přítoku. Hodnocení vstupu přímých srážek je odděleně nemožné díky podobnému signálu $\delta^{18}\text{O}\text{-H}_2\text{O}$ ve slati a srážkové vodě. Příspěvek slati k odtoku Rokytky byl vypočten na základě rovnice: % ze slati = $[(\text{Rokytkka } \delta^{18}\text{O} - \text{přítok } \delta^{18}\text{O}) / (\text{slat' } \delta^{18}\text{O} - \text{přítok } \delta^{18}\text{O})] * 100$.

Hydro-pedologický průzkum

Součástí prací je zevrubný **popis půdních profilů a odběry vzorků** pro laboratorní analýzy. Základní informace o rašelinných ložiscích a jednotlivých typech půd nacházejících se v zájmové oblasti vč. jejich retenční schopnosti jsou získávány ve spolupráci s Výzkumným ústavem meliorací a ochrany půdy (VÚMOP) a ze studie Ferdy et al. (1971). Získané poznatky jsou porovnávány s reálnými daty z terénu.

Retenční kapacita půd je zkoumána celou řadou metod. Jednou z nejpoužívanějších je měření pomocí neutronové metody, metoda retenčních křivek (Šanda, 1998), měření změny izotopů prvků ve vodě po průchodu půdou (Zhang et al., 2011) a další techniky. Gravimetrická metoda použitá v rámci našeho výzkumu má ale stále řadu výhod. Nejdůležitější věcí je jednoduchost této metody, a proto lze jejím využitím podchytit více anomálií a větší plochu. Rovněž není tak časově náročná a její pomocí lze hodnotit více faktorů najednou (typ půdy, vegetace atd.). Navíc poskytuje v mnoha případech přesnější výsledky. U tématu retenční schopnosti půdy poskytuje zásadní zjištění její pórovitost. Standardní výpočet se opírá o jednoduchý princip podílu celkového objemu vzorku a objemu pevné složky. Vzhledem k možnosti existence uzavřeného půdního vzduchu v nasycené zóně, a dalších okolností, nemusí vždy měření pórovitosti půdy přesně určit množství pórů schopných pojmout vodu. Proto byla vybrána metoda měření plné vodní kapacity. Retenční schopnost jednotlivých částí vrchoviště byla porovnána s výškou HPV. Mezi HPV ve vrchovišti a povrchovým odtokem z vrchoviště byla posuzována závislost vzhledem k dalším faktorům, jako je úhrn srážek, apod.

Monitoring sněhové pokrývky

Pro zkoumání odtokových poměrů a pro modelování a případnou předpověď odtoku z tající sněhové pokrývky je zcela klíčová znalost množství vody akumulované ve sněhové pokrývce před nástupem jarního tání. Určení tohoto množství není ovšem s ohledem na prostorovou variabilitu charakteristik sněhové pokrývky vůbec jednoduché. Údaje o sněhové pokrývce ze staničních měření v rámci sítě ČHMÚ se zejména v horském terénu mohou diametrálně lišit od skutečných podmínek, které panují v povodí i v nejbližším okolí stanice. Odhad množství vody akumulované ve sněhu v nejexponovanějších částech povodí českých toků nejsou dostatečně reprezentativní a bývají většinou značně podhodnocené. Z těchto důvodů byla během posledních šesti zimních období provedena série **sněhoměrných expedičních měření** ve třech experimentálních povodích v pramenné oblasti Otavy. Pro monitoring výšky sněhové pokrývky (Snow Cover Height, SCH) a její vodní hodnoty (Snow Water Equivalent, SWE) tzv. expedičním měřením (mobilním průzkumem) byla proto vyvinuta metodika spočívající v bodovém měření s pravidelným prostorovým rozložením a s přihlédnutím k nadmořské výšce, expozici, sklonu svahu a hustotě a druhové skladbě vegetačního pokryvu. Informace o dynamice ukládání se získávají na podkladě více měření během zimní sezóny, přičemž jedno z nich je soustředěno do období maximálního vysněžení a další do jarního období tání sněhové pokrývky. Uvedená měření mají za úkol alespoň částečně odhalit a popsat skutečnou prostorovou variabilitu sněhové pokrývky a její charakteristiky.

Pro potřeby analýzy míry **vlivu jednotlivých faktorů na formování sněhové pokrývky** bylo zapotřebí následujících dat: digitální data složek krajiny ve formátu vrstev pro GIS, meteorologická data staničního měření ČHMÚ, Deutscher Wetterdienst (DWD) či PřF UK, data o charakteru sněhové

pokrývky v zájmovém území získaná vlastním terénním měřením. Pro měření vodní hodnoty sněhu byla použita váhová sněhoměrná souprava SM 150-50.

Databáze naměřených a vypočítaných hodnot byla v prostředí ArcGIS 9.3 propojena pomocí kódů z GPS, které byly upraveny na formát *.shp (shapefile). Data jsou poté v prostředí ArcGIS vhodnými metodami interpolována tak, aby bylo možné posoudit **plošné rozložení sněhových zásob**. Interpolace byly provedeny bez ohledu na vegetační kategorii stanoviště. Byly vytvořeny interpolace za použití tří interpolačních algoritmů v prostředí GIS – Spline (tension, váha 0.1), Kriging (ordinary spherical) a IDW (váha 0.5) při výstupní velikosti pixelu 10×10 m.

Ke zpracování **analýzy odtoku ze sněhové pokrývky** v modelovém povodí byla využita datová řada z hladinoměrného zařízení umístěného v jeho závěrovém profilu. Zpracována byla řada hodinových i denních průtoků v časovém rozsahu předpokládaného možného výskytu sněhové pokrývky (listopad-květen). Při modelování pomocí Degree-day modelu a k identifikaci počátku tání sněhové pokrývky bylo využito i průměrných hodinových a denních teplot vzduchu.

Vyměřování potenciálních akumulčních a retenčních prostor

Vyměřování potenciálních prostor pro zadržení příčinných úhrnů srážek a retardaci odtoku, ať již někdejších akumulčních nádrží (klauzy) či možných retenčních nádrží vázaných na vhodnou konfiguraci reliéfu (především v povodí Vydry nad obcí Modrava), je prováděno nejnovějším modelem totální geodetické stanice (TS) Leica TCRP1202+, která je pomocí systému České sítě permanentních stanic pro určování polohy (CZEPOS) a přenosu korekčních dat systémem GPRS schopna měřit v režimu onlineprocessing či postprocessing. Měření bodových polí pomocí TS či geografické GPS je jedním ze základních vstupů pro přesné modelování v GIS.

Výsledky a diskuse

Monitoring hydro-meteorologických jevů a fyzikálně-chemických parametrů vod

Jedním z hlavních výsledků výzkumu v pramenné oblasti Otavy v posledních letech je **založení a kompletace sítě automatických zařízení** monitorujících h-m jevy a f-ch parametry povrchových vod. Od roku 2006 byla vybudována velmi hustá síť měřicích zařízení, která v dnešní době čítá 17 hladinoměrných stanic, 3 stanice meteorologické a 1 člunkový srážkoměr. Impulsem k vybudování takového systému stanic byla potřeba detailně monitorovat hydrologické a meteorologické jevy, jejichž sledování je zásadní pro pochopení mechanismů vedoucích k formování odtoku v těch nejexponovanějších partiích povodí Otavy v závislosti na specifických f-g poměrech v dané oblasti. Získání informací o transformaci zvýšených průtoků v horských oblastech je přitom klíčem k poznání doby postupu a transformace povodňových epizod na středních a dolních tocích. Z hlediska minimálních odtoků je znalost primárních informací neméně důležitá. Proto byla celá síť lokalizována do míst, kde chybí jakékoliv pozorování v rámci státní sítě ČHMÚ, většina z těchto přístrojů se tedy nachází nad nejvýše položenými státními profily. Pouze dlouhodobou součinností všech zainteresovaných institucí v oblasti lze ovšem dosáhnout efektivních výsledků. V tomto smyslu je třeba vyzdvihnout probíhající spolupráci s ČHMÚ, která spočívá ve výměně dat různého detailu, mimo jiné při zpřesňování konsumpčních křivek. Významným úspěchem je implementace sítě profilů v rámci varovného systému ČHMÚ během extrémních odtokových situací v minulých letech.

Vzhledem ke specifičnosti území z hlediska **sněhových poměrů** (vč. existence návětrného efektu) bylo klíčové vytvořit vhodnou metodiku monitoringu jejích parametrů. Nastavená metodika byla průběžně optimalizována proto, aby při minimalizaci nákladů dosáhla maximálně přesných výstupů pro následné analýzy včetně postupů v rámci hydrologického modelování. Vybrána proto byla modelová povodí se specifickými f-g podmínkami, které hrají klíčovou roli při akumulaci a tání sněhové pokrývky v tomto území. Optimalizace metodiky monitoringu stále probíhá a je předmětem výzkumu několika prací řešených na našem pracovišti.

Odtokový režim v povodí Vydry a Křemelné

Dosavadní výsledky získané z automatických zařízení nainstalovaných v posledních šesti letech v zájmovém povodí horní Otavy dokládají fakt, že tímto způsobem získaná data umožní velmi detailní **posouzení s-o vztahů a vlivu jednotlivých f-g faktorů na dynamiku odtoku v pramenných oblastech** včetně detailního hodnocení dynamiky zdejšího odtokového procesu (podrobné analýzy vzestupných a sestupných fází) a hydrologické funkce horských vrchovišť a sněhové pokrývky jakožto významných faktorů ovlivňujících formování odtoku. Je samozřejmé, a při hodnocení výsledků je tento fakt nutné uvažovat, že není možné vytipovat naprosto optimální modelové povodí. Faktorů ovlivňujících odtok je velké množství a v oblastech exponovaných horských povodí je proces formování odtoku velmi složitým mechanismem. Předmětem výzkumu by se tak měla stát určitá hierarchizace těchto faktorů z hlediska důležitosti v každém jednom povodí. Významnou roli v těchto oblastech hraje kromě *míry zrašelinění* mimo jiné i *dotace srážkovými úhrny*, která je navíc významně ovlivněna existencí *orografického efektu* (souvisí s převládající expozicí povodí). Detailní rozbor celého mechanismu v zájmovém území provedl Kubíček (2006). Uvedený efekt postihuje vrcholové a návětrné oblasti Šumavy a představuje jeden z klíčových faktorů ovlivňujících extremitu odtoku. Vzhledem k tomuto faktu byly v zájmové oblasti umístěny meteorologické stanice v místech, která byla určena jako reprezentativní z pohledu výstupních dat. Data ze srážkoměrných stanic v rámci státní sítě ČHMÚ totiž nelze vzhledem k jejich podhodnocenosti pro nejvyšší partie povodí brát v úvahu. Mezi další významné faktory je třeba počítat samozřejmě *sklonitostní poměry povodí* a především *míru lesnatosti*, resp. *zdravotní stav lesního porostu*. Toto téma je v současné době velmi aktuální v souvislosti s šířením kůrovcové kalamity v již velmi oslabeném a druhově chudém porostu. Se srážkovými poměry těsně souvisí i další klíčový faktor, kterým je *charakter sněhové pokrývky*, přičemž mechanismus její akumulace a tání je velmi komplikovaný. Jakýsi „šum“, který vnáší do výstupů určitý stupeň nejistoty, byl eliminován tím, že byla vybrána povodí s dostatečně podobnými ostatními f-g parametry. Vzhledem k určitému stupni nejistoty byly posléze klasické hydrologické postupy doplněny o analýzy hydrochemické a o geochemický přístup k hodnocení tvorby odtoku. Hlavní podstatou výzkumu byla orientace na analýzu krátkodobých časových řad prostřednictvím „case studies“ a **posouzení potenciálu dat generovaných monitorovací sítí** automatických stanic pro následné statistické analýzy. Určení specifík při tvorbě odtoku v tomto území byl věnován významný prostor. Při následných analýzách či syntéze výsledků je totiž naprosto klíčová relevance primárních dat a minimalizace nejistot.

Dlouhodobé trendy vývoje odtoku a s-o vztahů v tomto území, zejména s ohledem na možné změny způsobené antropogenními zásahy do říčního systému a celkové struktury povodí, jsou předmětem výzkumu např. Klimenta et al. (2010) či Klimenta a Matouškové (2005).

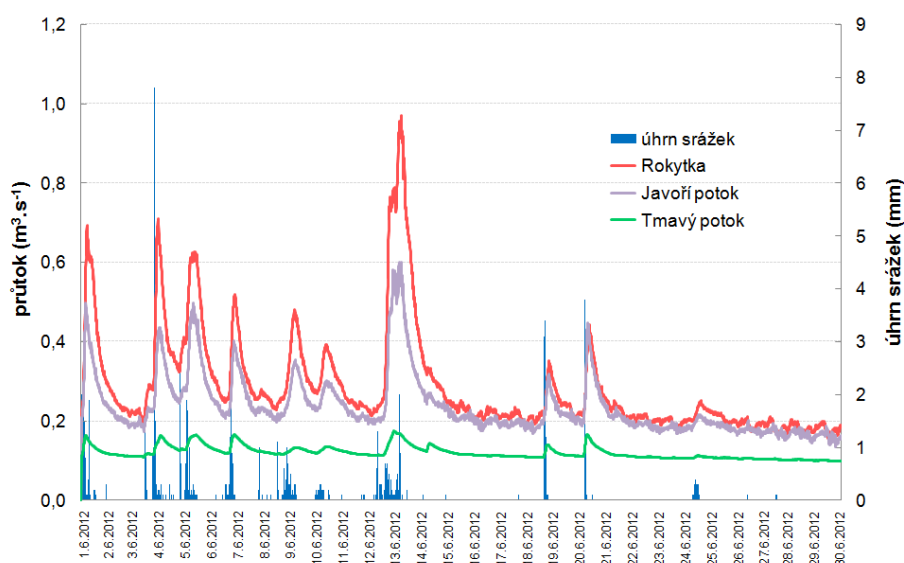
Režim odtoku v klíčovém povodí Vydry má mírně nevyrovnaný chod způsobený zejména významným zvýšením vodnosti v období jarního tání sněhové pokrývky. Zjištění o velmi podobné četnosti MV a MS, resp. V a S, let v profilu Vydra-Modrava, potvrzuje mimo jiné to, že je nutné věnovat se hodnocení suchých period a preventivními opatřeními před jejich negativními důsledky v této oblasti do budoucna poněkud intenzivněji. Během sledovaného období v profilu Vydra-Modrava vykazují průtoky výraznou rozkolísanost nejen v měsíčním a denním chodu, velmi variabilní je jejich průběh zejména v hodinovém chodu.

Režim odtoku a jeho variabilita v experimentálních povodích

Extremita hydrologicky významné odtokové události a specifické f-g podmínky v jednotlivých povodích byly podrobeny korelační analýze, jejíž základem byla metoda indexů extremity a vyjádřené f-g parametry území. Na obdobném indexu extremity je založena metodika pro odhad 100letých průtoků na nepozorovaných povodích (Šercl, 2009; Štěpánková, 2004). Z uvedené analýzy vyplývá, že na extremitu povodňového průtoku má z f-g faktorů největší vliv *plocha horských vrchovišť a tvar povodí*.

Obecné vyřešení otázky **vlivu horských vrchovišť na odtokový proces** není možné. Ta totiž závisí na

mnoha faktorech, především na typu rašeliniště, jeho zdravotním stavu a míře antropogenního ovlivnění. Názory na téma hydrologické funkce rašelinišť prošly značným vývojem a jsou často velmi protichůdné. Obecně lze konstatovat, že hydrologický význam rašelinišť byl v minulosti přeceňován a nelze je považovat za regulátory průtoků, protože vodní toky, které z nich vytékají, jeví neobyčejně vysokou rozkolísanost. Na tom se dnes shodují badatelé širokého zaměření a s výsledky většiny prací se lze plně ztotožnit i z hlediska našeho zájmového území. Poněkud kontroverznější diskuzi v rámci zahraniční i tuzemské odborné literatury (např. Conway, Millar, 1960; Moklyak et al., 1975; Baird, 1997) ovšem poskytuje otázka odvodnění, resp. hrazení původních melioračních kanálů odvodňujících vrchoviště. Na základě výzkumu v povodí horní Otavy lze vyvodit stejné závěry, které vyústily ze studia výše zmíněných pramenů, a sice že při posuzování vlivu revitalizačních opatření na dynamiku odtoku je klíčové brát v úvahu konkrétní parametry rašelinných ložisek a okolní přírodní podmínky. Během výzkumu byla totiž otevřena i otázka vlivu v současnosti probíhajících **revitalizačních opatření zdejších horských vrchovišť** na dynamiku odtoku, které provádí management NPS. Jejich stoprocentně uspokojujivé řešení, byť by mělo být rozhodující při výběru opatření pro vylepšení odtokových poměrů v oblasti, zatím neexistuje. Na základě hodnocení dostupných dat lze konstatovat, že v případě vybraných analyzovaných „case studies“ je zřetelné, že dochází, pravděpodobně v důsledku existence revitalizačních opatření v povodí, k vyrovnávání odtoku při průměrných vodnostech. Statistické výstupy ale poukazují rovněž na fakt, že při navýšení odtoku v důsledku intenzivních srážkových úhrnů a po překročení retenční kapacity umístěných hrazení dochází k rychlému vzestupu průtoků s významnou extremitou kulminace. Pro potvrzení korektnosti úsudku a správné pochopení fungování tohoto mechanismu je zapotřebí zcela jistě širší datová základna.



Obr. 2 Vývoj desetiminutových průtoků ve třech modelových povodích s různým stupněm zrašelinění v období 1.-30.6.2012: Rokytky (podíl rašelinišť v povodí 23,1 %), Javoří potok (5,7 %), Tmavý potok (2,3 %; data PřF UK)

Na podkladě dosavadních výsledků, grafických výstupů i statistických analýz, lze usoudit, že variabilita odtoku je vyšší v případě profilů uzavírajících povodí

s významným podílem zrašeliněných a rašeliništních půd než závěrových profilů povodí s minimálním zrašeliněním (obr. 2). K porovnání odtoku ze dvou různě zrašeliněných povodí v pramenné oblasti Vydry bylo využito principu metody frekvence kulminačních průtoků (např. Ahearn, 2003 či Feldman, 1979). Variabilita odtoku je přitom kromě absolutní hodnoty kulminace definována především četností výskytu kulminačních průtoků („peakflows“). Podrobným rozborem jednotlivých fází odtoku, konkrétně analýzou reakce odtoku na příčinnou srážku během několika srážkových situací v rámci sledovaného období, bylo zjištěno významnější zpoždění kulminace odtoku a tedy vyšší schopnost retence vody v povodí s výrazně nižším zastoupením rašelinišť.

Problematika **odlesnění**, resp. **zdravotního stavu lesa**, v zájmové oblasti je v poslední době v souvislosti s nedávnými větrnými polomy a současnou horkou diskuzí ohledně šíření kůrovcové kalamity velmi diskutovaným tématem. Výsledky této práce korespondují s dosavadními názory v odborných kruzích (např. MacDonald, Stednick, 2003; Andreassian, 2004; Pekárová et al., 2005; Hegg et al., 2006), tj. potvrzují negativní vliv odlesnění projevující se na odtokovém režimu větší rozkolísaností a vyššími kulminačními průtoky. Přímým vlivem odlesnění a odumírání horských smrčků na formování odtoku v oblasti centrální Šumavy je snižování retenční schopnosti krajiny (Hais, 2008; Šanda, 2011).

Retenční schopnost půdního prostředí a horského vrchoviště

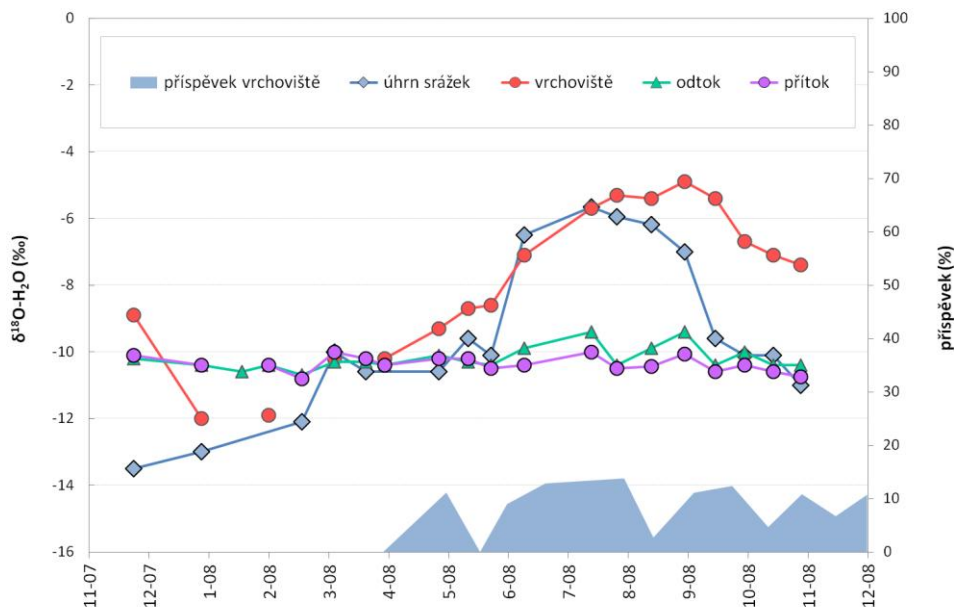
Literatura uvádí, že krajina v českých podmínkách je schopna pojmout až 400 mm vody, průměrně 40-90 mm (Tesař et al., 2004; Lichner et al., 2004). Při uvažování průměrné HPV tvoří vrchoviště v experimentálním povodí Rokytky plochu s nejmenší retenční schopností. Hodnoty retence jsou podobné těm, které se vyskytují u mělkých půd (cca 140 mm bez započtení aktuální vlhkosti). Při nejnižší HPV vrchoviště představuje významný retenční potenciál v rámci celého povodí (230 a 267 mm). Jelikož se ale HPV pohybuje po $\frac{3}{4}$ vegetační doby výše, než je průměrná hodnota, lze organozem v těchto podmínkách prezentovat jako „přechod mezi půdou a pevným povrchem“. Je ovšem diskutabilní, zdali bylo dostatečné měření aktuální vlhkosti v povodí. Organozemě tedy mají z hlediska hydrologického zcela zásadní vliv na retenční potenciál v krajině (Vlček, 2011).

V odborné literatuře lze dohledat řadu pozitivních i negativních příkladů vlivu existence organozemí na hydrologický režim. Tato rozporuplná tvrzení se dají paradoxně sjednotit. Když je vrchoviště odvodněno, sníží se dle získaných poznatků rozkolísanost odtoku, sukcesí vrchoviště ovšem za určitou dobu zanikne. Pokud by byla HPV cíleně regulována a snižována v době potřeby, mohl by být retenční potenciál vrchoviště využit, aniž by byla ohrožena samotná jeho existence. Pravidelné výkyvy HPV ve vrchovišti jsou přitom přirozenými součástmi jeho vývoje. Detailním porovnáním výstupů ze zařízení monitorujících HPV ve vrchovišti s odpovídajícími daty o vývoji průtoků v závěrovém profilu povodí byl zjištěn jejich minimální časový posun. Tento fakt poukazuje na zanedbatelnou schopnost vrchovištního komplexu pojmout významné úhrny srážek a minimální hydraulickou komunikaci mezi vrchovištním komplexem a drénujícím odtokem.

Hydrologická funkce horského vrchoviště

Detekce přírodních stopovacích látek představuje užitečnou metodu k získání klíčové informace v hydrologických studiích zabývajících se formováním odtoku v povodí. Studium dynamiky odtoku pomocí přirozených stopovačů je obvykle zaměřeno na využití izotopů kyslíku (^{18}O) a vodíku (^2H) (Kendall, McDonnell, 1999).

Hypotézy a poznatky o dynamice odtokového režimu získané na základě klasických hydrologických přístupů byly potvrzeny detailními hydrochemickými a geochemickými analýzami. Aplikace tohoto moderního přístupu v tak optimálním modelovém povodí, jakým je povodí Rokytky, se jevila vzhledem ke spolupráci s ČGS a její akreditovanou laboratoří jako zákonitý posun ve výzkumu. Geochemická data získaná využitím izotopů kyslíku jako přirozených stopovačů vykazují nepříliš signifikantní hydraulické spojení studovaného vrchovištního ložiska s drénujícím tokem Rokytky. Příspěvek vody z rašeliniště k celkovému odtoku z povodí je nevýznamný, pohybuje se maximálně okolo 10 % mimo zimní období (obr. 3). Slabý vliv vrchoviště je rovněž demonstrován vysokou koncentrací kationtů v povrchovém odtoku v porovnání se slatí. Mnohem významněji se na celkovém odtoku z povodí Rokytky podílí podzemní voda. V souladu s tím je třeba uvažovat, že problematika hydraulické komunikace mezi rašelinným komplexem a drénujícím tokem musí být řešena striktně s ohledem na lokální f-g podmínky. Tato práce představuje první studii podobného zaměření v pramenné oblasti Otavy. Podobná studie popisující využití stabilních izotopů vodíku a kyslíku byla provedena na experimentálním povodí Uhlířská v horní části povodí Černé Nisy v Jizerských horách (Šanda, 2010). Převažující podíl podpovrchové vody v odtoku potvrdila, stejně tak jako v případě studie na Rokyteckých slatích, separace složek odtoku podle geochemických parametrů. Během zrychleného odtoku dochází postupně k nárůstu podílu vody pocházející z příčné srážkové epizody, která se tak podílí na ředění odtékající vody. Ze studie Šandy a Císlarové (2009) vyplývá, že odtok této vody je urychlen systémem dílčích drenážních bází podzemních a půdních vod ve formě umělých i přirozených lesních rýh, strží a nasycených ploch s probíhajícím vratným odtokem. Tento průběh lze očekávat rovněž v případě vytipovaných šumavských povodí s existencí nerevitalizovaných rašeliništních ploch s melioračními kanály. Z hydrologického hlediska se tedy horská vrchoviště v těchto konkrétních přírodních podmínkách jeví jako negativní prvek pro transformaci odtoku a jejich hydrologické rysy nejsou příznivé (Janský, Kocum, 2008; Čurda et al., 2011).



Obr. 3 Vývoj $\delta^{18}\text{O-H}_2\text{O}$ v povrchových vodách a srážkách v povodí Rokytky v hydrologickém roce 2008 (pravá y osa znázorňuje relativní bilanční příspěvek vody ze slati k celkovému odtoku z povodí)

Sněhová pokrývka jako významný fenomén tvorby odtoku

Cílem práce je z tohoto hlediska především precizace vstupních dat pro následné analýzy včetně hydrologického modelování a určení specifík pro tvorbu odtoku včetně uvažování rozličných nejistot. Práce si klade za cíl určení těch aspektů, na které je třeba se zaměřit při posuzování podmínek pro akumulaci a tání sněhové pokrývky. Proto byl v rámci výzkumu významný prostor věnován optimalizaci monitoringu sněhových parametrů.

Meteorologická data staničního měření

Jedním ze zdrojů dat použitých v práci byla data získaná z meteorologických stanic provozovaných DWD, PřF UK a ČHMÚ, rozmístěných v zájmovém území. Žádné srážkoměrné zařízení PřF UK nelze bohužel z technických důvodů vyhřívat a neumožňuje tak měření srážek v zimním období. Hodnoty úhrnů srážek a parametrů sněhové pokrývky v pohraničních oblastech Šumavy mnohem více korelují s hodnotami naměřenými na stanici Velký Javor (Grosser Arber, SRN) než s hodnotami z českých stanic, byť je jejich vzdálenost od experimentálních povodí oproti stanici na Velkém Javoru mnohem kratší (Jelínek, 2008). Klimatická stanice na Březníku poskytuje další cenné meteorologické údaje z hlediska hydrologie sněhu, které jsou při jednotlivých analýzách využívány (např. sluneční radiace).

Expediční měření sněhové pokrývky

Sněhoměrná měření realizovaná v posledních několika zimních sezónách potvrdila řadu důležitých předpokladů. Zejména v horských oblastech je všeobecně prokázána vysoká prostorová variabilita charakteristik sněhové pokrývky, z nichž nejvyšší vypovídající hodnotu mají především její výška (SCH) a vodní hodnota (SWE). Tyto charakteristiky v takto exponovaných lokalitách lze jen velice obtížně postihnout bodovým měřením v rámci meteorologických stanic ČHMÚ. Na tuto skutečnost však upozorňuje řada autorů, např. Holko (2001), a bývá hlavním řešitelským úkolem mnoha výzkumných studií. Jako alternativní možnost se v takovém případě nabízí právě expediční měření, která představují nesporné výhody v detailním monitoringu celého modelového povodí a tedy mnohem přesnější zachycení zmíněné variability charakteristik sněhu. Řešením by do budoucna mohlo být zdokonalení **prostředků DPZ**, které by dokázaly náročný expediční způsob nahradit. Limity tohoto způsobu výzkumu jsou ale v současné době stále vysoké, byť představují velmi aktuální téma současné hydrologie sněhu (Ranzi et al, 1998; Gidda et al., 2002).

Vliv fyzicko-geografických faktorů na charakter sněhové pokrývky

Způsob měření při sněhoměrných kampaních se ukázal jako dostatečný pro relativně přesné kvantifikování zásob vody uložené ve sněhu v experimentálních povodích a následné modelování

odtoku z povodí, avšak jeví se jako zcela nedostatečný pro detailní analýzy prováděné za účelem zjištění míry ovlivnění charakteristik sněhové pokrývky jednotlivými faktory. Obecně velké rozdíly v prostorové distribuci sněhové pokrývky při ukládání a tání sněhu na otevřených plochách a v lese (Pobříslavá, Kulasová, 2000) lze vysledovat rovněž v šumavských podmínkách. Uvedené skutečnosti ale pravděpodobně platí pouze na lokální úrovni. V regionálním a globálním měřítku nejspíš rozhodují nadřazené faktory jako je *nadmořská výška* a *celkový úhrn srážek*. Z hlediska faktoru jako je *sklon svahů* je objektivní analýza rovněž problematická. Pro eliminování výše zmíněných nedostatků by bylo třeba buď podstatného zvýšení počtu měrných bodů v experimentálních povodích, jejichž lokalizace by postihovala všechny variace způsobené kombinací různých faktorů, nebo zavedení zcela nových a přesně umístěných měrných bodů, které by zásadním způsobem eliminovaly vliv některých faktorů svou uniformitou.

Vzhledem k náročnosti expedičních měření je naprosto klíčové věnovat se *optimalizaci metodiky měření sněhové pokrývky* v tomto konkrétním území s přihlédnutím k nejvýznamnějším faktorům ovlivňujícím její akumulaci a tání, jako jsou srážkové poměry včetně *expozice* (orografického efektu), *typ vegetačního pokryvu*, apod. Reprezentativní stanoviště, která by v sobě nesla informaci typickou pro danou kombinaci dílčích f-g faktorů, by byla následně aplikována do konkrétního území, ve kterém je potřeba zjistit charakter sněhu pro potřeby modelování.

Monitoring hustoty jednotlivých vrstev sněhové pokrývky ve vertikálním profilu, který je pravděpodobně nejdůležitější pro podrobný popis procesů probíhajících ve sněhovém sloupci, prokázal, že schopnost ledových vrstev nést vodu může pro tání znamenat rozfázování odtoku do více dnů a možná tak i snížení maximálních odtoků ze sněhu. K tomu je potřeba znát mimo jiné i izolační vlastnosti jednotlivých vrstev. Vzhledem k tomu, že izolace sněhu je do jisté míry závislá na jeho hustotě, má monitoring stratifikace sněhu značný význam.

Interpretace dat o sněhové pokrývce

Navržené postupy monitoringu sněhové pokrývky přinesly kvalitativně hodnotné informace a zdá se, že následné určení zásob vody v povodí odpovídalo v jednotlivých hodnocených obdobích realitě. K *plošné interpretaci dat* a určení zásob vody ve sněhu se jeví jako nejvhodnější, odbornou literaturou doporučovaná (např. Jeníček, 2009; Holko, 2001), metoda Kriging, která představuje jednu z interpolačních metod modulu ArcGIS 3D Analyst v prostředí GIS.

Vzhledem k cílům této části práce byla jedna její část věnována hydrologickým datům z ultrazvukových hladinoměrů instalovaných v závěrových profilech modelových povodí, která se stala základem pro objektivní hodnocení a analýzu sněhové pokrývky ve fázi akumulace i následného tání. Jako nevýhoda se potvrdila absence vyhřívaných srážkoměrů, jejichž data by byla vhodným konfrontačním materiálem pro zimní srážkové epizody. Pro *modelování tání sněhu* je zcela zásadní identifikace jarního odtoku ze sněhu. Rozbor metod pro stanovení tání a odtoku ze sněhové pokrývky ukázal, že využití metody Degree-day je vhodné i navzdory jednoduchosti a široké dostupnosti teplotních dat a poskytuje adekvátní výsledky. Cílem modelace Degree-day v práci Pospíšila (2009) bylo zjistit teplotní faktory pro tato modelová povodí s jejich následným využitím při modelaci odtoku ze sněhové pokrývky v oblastech s podobným charakterem a bez sofistikované techniky monitorující odtok. Povodí, na která nelze aplikovat tabulkové hodnoty teplotních faktorů uvedené v literatuře významných autorů (např. Beven, 2001), se v pramenné oblasti Otavy vyskytuje více. To poukázalo na fakt, že sníh a procesy v něm probíhající jsou velmi různorodé a závislé na klimatických poměrech. Pro kvalitní předpověď odtoku je tak znalost konkrétních poměrů řešené oblasti nezbytná.

Potenciální retenční prostory pro eliminaci negativních důsledků klimatické změny

Na základní výzkum, který v práci dominuje, navazuje i část práce aplikačního charakteru. Jedná se především o kontroverzní téma vyměřování někdejších akumulčních nádrží používaných v minulosti pro plavení dřeva a potenciálních retenčních prostor vázaných na vhodnou konfiguraci reliéfu v povodí Vydry.

Koncepční posun v ochraně před hydrologickými extrémy je zřejmý z mnoha studií, např. z Föhner

et al. (2001), Drbal et al. (2007) nebo Bölscher a Schulte (2007). V Česku je v rámci integrované protipovodňové ochrany a opatření pro řešení problému sucha bezesporu zajímavou výzvou výzkum pramenných oblastí vodních toků, které mohly být narušeny lidskou činností (Langhammer et al., 2008). V tomto kontextu je významný prostor věnován i studiu vlivu krajinného pokryvu na odtok z povodí (Pobříslavá, Kulasová, 2000; Jeníček, 2009) a ovlivnění odtoku masivním úhynem lesních porostů (Blažková, Kolářová, 1994). Z výsledků dosavadních výzkumů vyplývá, že takto pojatá koncepce obecně nemůže v plné míře nahradit klasická hydrotechnická opatření (Langhammer et al., 2008), ale může být jejich efektivním doplňkem. Dalšími možnostmi využití těchto potenciálních prostor je např. energetika nebo zásobování pitnou vodou. Naše území totiž může a pravděpodobně bude zasaženo stále výraznějšími výkyvy hydrologických extrémů, tedy nejenom povodněmi, ale i suchem a zmenšením zásob podzemní vody (Bates et al., 2008). Při tomto scénáři budou hydrotechnická opatření těžko nahraditelná, a proto musí konkrétní řešení vždy vycházet z širšího pojetí integrovaného managementu povodí.

Kromě zhodnocení procesu hrazení koryt původních melioračních kanálů, která jsou v současné době součástí postupů managementu NPŠ, bylo součástí výzkumu rovněž **posouzení efektivnosti využití potenciálních retenčních prostor** v pramenné oblasti Vydry v rámci zvýšení retenčního potenciálu oslabené krajiny. Tyto prostory by mohly plnit např. funkci suchých či řízených poldrů a tím se podílet na vyrovnávání odtoku během povodňových událostí a suchých období. Efektivnost takových opatření při retenci vody ve zdrojových oblastech řek je možné simulovat aplikací komplexního systému vhodných hydrologických modelů (Jeníček, 2009; Schulte et al., 2007). Na základě získaných dat a dílčích výsledků z terénního vyměřování někdejších akumulčních nádrží využívaných v minulé době pro plavení dřeva (tzv. klauzů) lze předběžně konstatovat, že účinnost těchto opatření by nemusela být zdaleka zanedbatelná. Terénní průzkum spočíval v kvantifikaci retenčních objemů ve vybraných lokalitách, které měly sloužit pouze jako referenční lokality pro porovnání s obdobnými případy a pro aplikační studie v oblastech mimo zájmovou oblast. V této souvislosti je třeba zmínit, že si výzkum v tomto směru neklade za cíl realizaci jakýchkoliv opatření, ale pouze využívá optimálních podmínek, které tato oblast poskytuje, pro posouzení jejich účinnosti. Podobné studie vznikají i v jiných českých pohořích (např. Schulte et al., 2012).

Možné směry dalšího výzkumu

Předložená práce nemůže mít ambice na vyčerpávající zodpovězení všech otázek, které se objevily při jejím řešení. V podmínkách měnící se krajiny a postupné změny míry vlivu jednotlivých f-g faktorů na dynamiku odtoku zůstávají do jisté míry nadále otevřeny některé směry výzkumu, které by si zasloužily být následovány. Především se jedná o **posouzení potenciálu detailních dat generovaných monitorovací sítí** automatických stanic v pramenné oblasti Otavy (i mimo ni) pro kalibraci a rozvoj hydrologických modelů vhodných pro simulaci tvorby odtoku a jeho transformace níže po toku. Z hlediska využití principů izotopové hydrologie by bylo vhodné uvažovat o **generování většího souboru hydrochemických a geochemických dat** pro zpřesnění postupů vedoucích k posouzení vlivu horských vrchovišť na formování odtoku a pro zodpovězení dalších otázek, které při řešení vyvstávají. Zajímavé a ojedinělé výsledky by mohly být získány rovněž detailním pohledem na **hloubkové profily vrchovištními ložisky**. Další rozměr při hodnocení jejich retenční schopnosti je možný získat analýzami odebraných vzorků z různých hloubkových úrovní. Práce potvrdila určité zákonitosti spojené se sněhovou pokrývkou, u jiných však poukázala na nejednoznačnost dříve vyvozených závěrů, což dává podnět k dalšímu výzkumu této problematiky. V této souvislosti je klíčové věnovat se nadále **optimalizaci metodiky monitoringu sněhové pokrývky** pro zvýšení jeho efektivity a získání relevantních výstupů pro následné analýzy odtoku z tajícího sněhu.

Závěry

Práce s sebou přináší poznatky ve třech obecných rovinách: rovině základního výzkumu, rovině aplikační a rovině vzdělávací. V rámci řešení dílčích úkolů byly aplikovány jak standardní a prověřené metody, tak metody méně známé. V každém případě byly veškeré metodické postupy přizpůsobeny konkrétním podmínkám v zájmové oblasti.

Rovina základního výzkumu (vč. roviny metodické)

Práce si stanovila za cíl zhodnotit hlavní specifika tvorby odtoku v povodí horní Otavy s využitím moderních přístupů a kriticky se vyjádřit k dostupným poznatkům (např. Ferda et al., 1971). Práce v tomto smyslu přináší řadu nových zjištění. Její výsledky představují po více než čtyřiceti letech nové upřesněné a do jisté míry ucelené poznatky o charakteru zdejších odtokových poměrů včetně posouzení jejich variability. Moderní experimentální hydrologie má mimo jiné za úkol pomocí hydrochemických a geochemických přístupů zodpovědět klíčové otázky včetně objasnění mechanismů tvorby odtoku a zdržování vody v povodí. Využití principů izotopové hydrologie znamenalo pro průběh řešení práce nový rozměr v hodnocení dynamiky odtoku v pramenné oblasti Otavy. V rovině metodické se podstatou řešení stalo postupné vybudování sítě automatizovaných stanic pro monitoring h-m jevů a f-ch parametrů vod. V práci bylo k hodnocení využito několik metodických přístupů včetně přístupů geochemických. Přínosem práce je vytvoření vhodné metodiky monitoringu sněhové pokrývky, byť její optimalizace nadále pokračuje. Zásadním předpokladem kvalitního využití metodických přístupů je ovšem jejich přizpůsobení konkrétním podmínkám.

Aplikační rovina

Jednou z nejzajímavějších vědeckých otázek současnosti je to, jaký vliv bude mít zvyšující se proměnlivost klimatu na hydrologický režim toků. Zájmová oblast poskytuje optimální podmínky pro studium efektivnosti využití rozličných opatření vedoucích ke zvýšení retenčního potenciálu, ať už se bude jednat o plošná opatření v povodí, nebo o využití potenciálních přirozených i antropogenně vytvořených prostorů k zadržení vody. Práce přináší dílčí výstupy a evokuje další směřování výzkumu. Získané poznatky mohou být vodítkem pro pozitivní změny v krajině, které by mohly mít za následek zmírnění průběhu a následků extrémních hydrologických jevů i vzhledem k faktu, že se ČR nachází na „střeše Evropy“ a retence vody v krajině je pro ni klíčová.

Vzdělávací rovina

Univerzitní pracoviště výzkumného typu, kterým je KFGG PřF UK v Praze, přenáší své odborné aktivity rovněž do vzdělávací roviny. V rámci jednotlivých projektů, které se jakkoliv podílely na řešení této práce a naopak, vznikla celá řada bakalářských a magisterských prací. V současné době zadávání dalších prací s jasně definovanými úkoly pro zkvalitnění dosavadních výsledků pokračují. Témata související s ochranou před hydrologickými extrémami přispěla ke zkvalitnění výuky formou specializovaných předmětů, terénních cvičení a f-g exkurzí.

Odovědi na klíčové otázky uvedené v úvodu práce jsou prezentovány níže.

1) Mechanismus tvorby odtoku představuje velmi komplikovaný systém, jehož složitost je umocněna v oblastech s vysokou heterogenitou ve smyslu f-g aspektů. Pramenná oblast řeky Otavy představuje jakousi terénní laboratoř, kde lze dlouhodobě sledovat celou řadu parametrů ovlivňujících formování odtoku a jeho chování v podmínkách měnící se krajiny. Důležité je vytvořit určitou hierarchizaci ovlivňujících faktorů z hlediska jejich důležitosti a na klíčové parametry zaměřit výzkum. Jedním z hlavních faktorů je bezesporu existence horských vrchovišť a rašeliništních a zrašeliněných půd v povodí. Jejich vliv na tvorbu odtoku byl proto jedním z hlavních předmětů výzkumu. Neméně důležitým fenoménem ovlivňujícím odtok v této oblasti je v celkové roční bilanci sezónní sněhová pokrývka, která představuje poměrně těžko kvantifikovatelný prvek vzhledem ke své časové a prostorové variabilitě. Optimalizace monitoringu sněhové pokrývky v podmínkách Šumavy je i

vzhledem k nereprezentativnosti staničních měření pro nejvyšší partie povodí klíčová pro sestavování modelů odtoku z tajícího sněhu a z hlediska přesnosti vstupů pro hydrologickou prognózu. Zmiňovaná nízká reprezentativnost dat z českých meteorologických stanic souvisí do značné míry i s existencí orografického efektu na návětrných svazích Šumavy ovlivňujícího významně zdejší charakter akumulace sněhové pokrývky. Významným specifikem pro formování odtoku v zájmové oblasti je rovněž charakter vegetačního pokryvu, především pak lesního porostu a jeho zdravotního stavu. Značně oslabená retenční funkce zdejších porostů významně zvyšuje dynamiku odtoku a jejich management se stal v poslední době velmi kontroverzním tématem vyžadujícím multidisciplinární přístup.

2) Vzhledem ke specifickému fenoménu horských vrchovišť v jádrových zónách Šumavy byl významný prostor v rámci řešení věnován posouzení hydrologické funkce horských vrchovišť nejen pomocí klasických hydrologických metod, ale rovněž metod hydrochemických, hydropedologických a geochemických. Na podkladě získaných poznatků lze usoudit, že existence zdejších horských vrchovišť má z pohledu dynamiky odtokového procesu negativní vliv, a to zvláště během extrémních hydrologických situací. Lze tedy konstatovat, že rašelinná ložiska představují v pramenné oblasti Otavy samostatné hydrologické celky s vlastním typickým vodním režimem, který nikterak nepřispívá k vyrovnávání odtokové křivky, a jejich hydrologická funkce v tomto území je nevýznamná. V této souvislosti je nutné zdůraznit, že veškerá specifika pro formování odtoku je potřeba posuzovat v konkrétních podmínkách daného území, jejichž charakter musí být detailně objasněn a pochopen a zobecňovat získaná zjištění z konkrétního území nelze.

3) Systém automatických stanic byl cíleně vybudován v nejvyšších partiích povodí horní Otavy proto, aby efektivně doplňoval stávající státní síť profilů ČHMÚ a dokázal monitorovat hydrologické procesy již u samého jejího zrodu. Pramenná oblast Otavy totiž reprezentuje zdrojovou oblast významných odtokových epizod, přičemž extremity h-m jeví se v posledních letech neustále zvyšuje. Dosavadní výsledky získané prostřednictvím automatických zařízení nainstalovaných v posledních šesti letech v experimentálních povodích dokládají fakt, že tímto způsobem získaná data umožňují velmi detailní posouzení s-o vztahů a vlivu jednotlivých f-g faktorů na dynamiku odtoku v pramenných oblastech. Kontinuální záznamy h-m a jiných jevů poskytují vynikající datovou základnu pro podrobné analýzy vzestupných a poklesových fází hydrogramu, a vedou tak zcela jistě ke zkvalitnění postupů hodnocení dynamiky odtoku. Současná hydrologie se ovšem potýká s mnoha nejasnostmi ve správné definici prostředí, kde se odehrávají hydrologické procesy. Jedná se o nedostatečně popsané okrajové podmínky a vlastnosti, které mají přímý i nepřímý vliv na formování odtoku. Detekce stabilních izotopů kyslíku potvrzuje složitost probíhajících procesů v povodích a nabízí kvalitativně lepší možnosti jejich bližšího popisu a objasnění.

Kromě základního výzkumu byla část práce věnována možnostem *aplikace získaných poznatků*. Jak už bylo zmíněno, řešení aktuálních otázek zvyšování extremity h-m jevů souvisejících s klimatickými změnami v posledních letech vyžaduje multidisciplinární přístup k této tématice a přesné zhodnocení retenční schopnosti zdejší krajiny. Nutný předpoklad pro kvantifikaci retenčního potenciálu představuje detailní analýza vlivu klíčových faktorů ovlivňujících odtokové poměry, a to v konkrétním (!) území. Zobecnění dílčích výstupů pro další oblasti není žádoucí. Na získané poznatky je třeba pohlížet z různých úhlů pohledu. Výsledky práce by mohly být do budoucna využity při realizaci konkrétních efektivních opatření protipovodňové ochrany a postupů k retenci vody v suchých periodách, a to ve spolupráci se všemi zainteresovanými institucemi. Implementace takovýchto nenásilných opatření pro zvyšování retenční schopnosti krajiny by mohla významně přispívat k redukci kulminačních průtoků během povodňových událostí a k zadržení dostatečného množství vody pro eventuální suché epizody. Všechny otázky související s rozmanitými možnostmi a opatřeními pro zvýšení retenční kapacity v pramenných oblastech toků by měly být posouzeny na základě kvalifikované diskuze odborníků různého zaměření vzhledem k cílům a prioritám, které mají význam nadregionální, regionální či lokální (např. Kolejka, 2003; Kovář et al., 2002).

Introduction and aims of the study

Hydrological extremes represent effects that even in central Europe become very significantly in intensity. Besides flood events these include hydrological droughts. Effective protection against these effects is one of the basic tasks of hydrology and water management. Thanks to the improvement of technological capability we can, within the basic research, describe single processes occurring in nature and quantify the impact of various measures to eliminate their symptoms in much more sophisticated way. Modern approaches require a very comprehensive outlook at the whole system completely and allow detailed assessment of its individual components. The correct description is the key input to subsequent analyses, including hydrological modelling. In context of catastrophic floods and extreme droughts in recent years there is an urgent need of solving of protection against hydrological extremes, not using just classical engineering methods but also using untraditional practices. There is a new strategy focusing on gradual increase of river catchment retention capacity. The runoff process is influenced by a man already at its very birth, in the headwaters, where numerous procedures related to runoff retardation and to increasing of water retention in the landscape can be implemented. The aim of basic research is to provide input findings for their use within the realization of an integrated protection against hydrological extremes.

The primary impulse for solving this topic was a prompt within the study of Ferda et al. (1971) to follow up with the research evaluating hydrological regime and water chemistry in the upper Otava River basin focusing on the occurrence of peat lands. Accordingly this thesis set the target to evaluate the specifics of runoff formation in this area using modern approaches and to critically comment the results of the study of former Czech Hydrometeorological Institute (CHMI). Vydra and Křemelná River basins in Šumava Mts. (southwestern Czechia) represent areas with frequent occurrence of extreme hydrological events and with high heterogeneity in terms of physio-geographical (p-g) and socio-economic (s-e) aspects. The necessary prerequisite for the quantification of retention potential is represented by detailed analyses of key factors affecting runoff conditions in concrete (!) territory. The problem of peat bogs hydrological function has not been so far fully solved despite a number of domestic and foreign projects and broad debates among experts. Opinions on such issues vary as it is evident in the literature that has been dealing with these questions already in the second half of the 19th century. The detailed analysis of literature representing different poles of opinion was carried out by Holden et al. (2004).

Present hydrology deals with a number of difficulties to sufficiently define the environment where hydrological processes take place. The surface runoff concept is insufficient and determining basic hydrological processes by information about the qualitative inner composition of water is inadequate. Modern experimental hydrology uses hydrochemical and geochemical approaches to explain the mechanisms, which are related to water retention and runoff formation in headstream areas. Stable oxygen isotopes are the only natural, physically definable and tracable substances existing in the hydrosphere which can be balanced correctly. This geochemical approach was used to understand streamflow generation processes in the highly peaty catchment of Rokytka Brook in the headwaters of Otava River.

At the beginning of the study below represented **main goals** were set. Sub-objectives leading to answer the main goals are presented in each part of the thesis.

1) Assessment of the hydrological regime specifics in the upper Otava River basin and evaluation the influence of individual p-g factors (including snow conditions) typical for this area with respect to extreme runoff episodes.

2) Evaluation of the retention potential and hydrological function of peat bogs located in the upper Otava River basin (hypothesis: hydraulic connection between peat bogs and surface streams is limited and related to specific geomorphological conditions in the Vydra River basin).

3) Assessment of the potential of detailed data from automatic hydro-meteorological stations for runoff dynamics evaluation and of the suitability of the use of isotope hydrology principles for

To assess the **runoff variability** in chosen profiles classic hydrological statistics were used at the first step. To assess the degree of extremity in the ascending phase of a flood wave the method of extremity indices was used (Čurda et al., 2011).

Monitoring of ground water table in a peat bog

Continuous monitoring of ground water table (GWT) within the peat bog was based on the same principle of surface water monitoring. GWT observation system is managed by the Institute of Botany of the Academy of Sciences of the Czech Republic in České Budějovice.

Monitoring of physio-chemical parameters of water

Chosen hydrological profiles were complemented by the continuous monitoring of water temperature, pH, conductivity, redox-oxidative potential and dissolved oxygen. Measuring sensors were regularly calibrated during the research, the whole system was consequently updated and upgraded to meet the needs and goals of the research. Hydrological monitoring in the experimental catchments with different peat land proportion was supplemented by the monitoring of the balance of ions, carbon and oxygen isotopes in the case of Rokytká experimental catchment (in collaboration with the Czech Geological Survey in Prague, CGS) for the preciseness of separation of each runoff phase using anion deficiency. To assess the hydraulic communication between the bog and its draining stream data obtained within the 2008 hydrological year were used (see below). Sampling of water was carried out during different flow rates incl. extreme runoff events. Samples were analysed in accredited laboratories of CGS on: pH, alkalinity, Na, K, Mg, Ca, Al, Mn, SiO₂, NH₄⁺, NO₃⁻, F⁻, SO₄²⁻, Cl⁻, DOC and TN, TON, absorbance.

Monitoring of natural stable isotopes

In order to assess the hydrological balance in the Rokytká Brook catchment precipitation samples in two-week interval were taken while precipitation amount and its isotopic composition ($\delta^{18}\text{O-H}_2\text{O}$) were measured. Surface water sampling for its chemistry and isotopic composition was carried out in the same interval in the inflow, bog and closing profiles. Samples were kept in the dark and cold (4 °C) and analysed in accredited laboratories of the CGS. The pH value and following concentrations were stated: NO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻ by Ion Exchange Chromatography, F⁻ by Potentiometrically Ion-selective Electrode, NH₄⁺ by Colorimetrically Indofenol Blue. Ca, Mg, Na, K, Al, Fe and Si were determined by Flame Atomic Absorption Spectrometry (FAAS), alkalinity was measured by titratable strong acid (0.1 M HCl), dissolved organic carbon (DOC) and total nitrogen (TN) by high-temperature oxidation-catalyzed platinum as for CO₂ and NO₂. Total organic nitrogen (TON) was calculated as the difference between TN and N-NO₃ + N-NH₄. $\delta^{18}\text{O-H}_2\text{O}$ was determined using standard methods with the analysis error ± 0.1 ‰. In nature oxygen (O) occurs in three stable isotopes ¹⁸O, ¹⁷O and ¹⁶O. While the H₂¹⁶O molecule is lighter, it needs less energy to evaporate than the heavier H₂¹⁸O molecule. During condensation it functions in the opposite way. This tracing method uses the fact that the proportion of heavier and lighter isotopes changes on phase interface (mostly liquid and vapour phase). To transfer to vapour phase the molecules with heavier isotopes need more energy. It results in relative deficiency of molecules with heavier isotopes in water vapour than in water (Kendall, McDonnell, 1999). Because of the fact that this process (fractionation) is temperature-related (Craig, Gordon, 1965), precipitation in colder areas and during colder periods has a lower proportion of ¹⁸O/¹⁶O compared to warmer areas and warmer periods. Due to the uniqueness of the proportion of ¹⁸O/¹⁶O isotopes of each source in time (precipitation, subsurface water, surface water), the principle of ¹⁸O/¹⁶O fractionation could be used for runoff formation modelling. So-called delta function is used to express the ¹⁸O/¹⁶O isotopes proportion. It represents the relative proportion of measured ¹⁸O/¹⁶O to standardized ¹⁸O/¹⁶O proportion (in this case SMOW - Standard Mean Ocean Water).

To calculate the contribution of the bog to the Rokytká Brook runoff, a simple model, including the input from the bog and from the tributary, was used. It is not possible to assess the input of direct precipitation separately due to the similar signal of $\delta^{18}\text{O-H}_2\text{O}$ in the bog and precipitation. The contribution of the bog to the Rokytká Brook runoff was therefore calculated on the basis of the

following formula: % from the bog = $(\text{Rokytká B. } \delta^{18}\text{O} - \text{tributary } \delta^{18}\text{O}) / (\text{bog } \delta^{18}\text{O} - \text{tributary } \delta^{18}\text{O}) * 100$.

Hydro-pedological survey

Detailed description of soil profiles and soil sampling for laboratory analyses were carried out. In general, soil retention capacity is measured using a number of methods. One of the most widely used is measurement by the neutron method, the method of retention curves (Šanda, 1998), measurement of water isotopes change after passing through the soil (Zhang et al., 2011), and other techniques. Gravimetric method, used in our research, still has many advantages. The most important thing is the simplicity of this method, little time-consuming and it can be used to evaluate multiple factors at once (soil type, vegetation, etc.). Moreover, in many cases, this method provides more accurate results. The retention capacity of the individual parts of the bog was compared with the GWT. Between GWT and surface runoff from the bog its relation with respect to other factors such as precipitation amount, was assessed.

Snow cover monitoring

Estimated amount of water accumulated in the snow in the most exposed parts of the Šumava Mts. are not representative enough and tend to be considerably underestimated. For these reasons, during the last six winters, **snow cover monitoring** series were carried out in three experimental catchments in the Otava River headwaters. For the monitoring of a snow cover height (SCH) and its water equivalent (snow water equivalent, SWE) methodology consisted in the point measurement with a regular spatial distribution and with regard to altitude, exposure, slope, species composition and vegetation density, was created.

For the purpose of analysing the **influence of individual factors on the formation of a snow cover** following data were needed: digital data of landscape components in the format of layers for GIS, CHMI, Deutscher Wetterdienst (DWD) and CUNI meteorological data, snow cover data obtained within the field survey. To measure the SWE snow cover measurement set SM 150-50 was used.

The database of measured and calculated values were connected in the ArcGIS 9.3 with the codes from GPS, which were adapted to the format *.shp (shapefile). The data were then interpolated using suitable methods to evaluate **snow spatial distribution**. Interpolations were carried out regardless the vegetation category. Interpolations using three different algorithms in GIS were created - Spline (tension, weight 0.1), Kriging (ordinary spherical) and IDW (weight 0.5) at the output pixel of 10×10 m size.

To **analyse the runoff from a snow cover** in experimental catchment the hydrological data serie from its closing profile was used. Serie of hourly and daily discharges in the time scale of the projected potential presence of snow cover (November-May) was analysed. When modelling using Degree-day model to identify the early snow cover melting mean hourly and daily air temperatures were used.

Measurement of potential accumulation and retention spaces

Measurement of potential spaces for runoff retardation was carried out by the latest model of total geodetic station (TS) Leica TCRP1202+, which is, using the CZEPOS system (Czech network of permanent stations for positioning) and using the transmission of correction data by GPRS system, capable of measuring in the online-processing or post-processing mode. Geodetic measurements using TS or GPS represent one of necessary inputs for precise modelling in GIS.

Results and discussion

Monitoring of hydro-meteorological events and physio-chemical parameters of water

One of the main research results in the source area of Otava River in recent years is represented by the **establishment and completion of installation of automatic stations** monitoring h-m events and

f-ch parameters of surface water. Since 2006 very dense network of measurement devices, which comprises 17 water level gauges, 3 meteorological stations and a shuttle precipitation gauge, was built. The impulse to create such a system of stations was the need to monitor hydrological and meteorological phenomena very in detail. Its observation is essential to understand the mechanisms leading to the runoff formation in the most exposed parts of the Otava River basin depending on the specific p-g conditions in the area. It is necessary to highlight the ongoing cooperation with CHMI, which consists in exchanging data of various detail, including the improvement of rating curves. An important achievement is the implementation of our network within the CHMI warning system during extreme runoff episodes in recent years.

Considering the specificity of the study area in terms of **snow conditions** (incl. the existence of the effect of windward) it was crucial to establish an appropriate methodology for monitoring its parameters. The methodology has been continuously optimized in order to minimize costs and to obtain accurate outputs for subsequent analyses, incl. procedures within the hydrological modelling. Optimization of this methodology is ongoing and represents the subject of several research works at our department.

Hydrological regime and its variability in the upper Otava River basin

Runoff regime in the Vydra and Křemelná River basins

Up to now results obtained from automatic stations installed in the last six years in the upper Otava River basin show the fact that the data generated this way allow a very detailed **assessment of rainfall-runoff (r-r) relations and of the effect of each p-g factors on the runoff dynamics in headwater regions**, including the detailed assessment of the runoff process dynamics (detailed analysis of ascending and descending phases) and of a peat bogs hydrological function and of a snow cover as major factors influencing the formation of runoff in the study area. There are a lot of factors affecting the runoff in such exposed areas and the streamflow generation process in mountainous regions is a very complicated mechanism. The research should thus be oriented to the hierarchization of these factors in terms of importance in each individual catchment. Important role in these areas in addition to *peat land extent* is played by *precipitation amount* (which is also significantly influenced by the existence of *orographic effect* related to the predominant exposure). Detailed analysis of this mechanism in the study area was carried out by Kubíček (2006). Other important factors are represented by *slope conditions*, *forest stand extent* (its *health state* respectively; very actual topic due to the present spread of a bark beetle calamity) and *snow cover character*. The fundamental of the research was to focus on short-term time series analyses through the "case studies" and to **assess the potential of data generated by the monitoring network of automatic stations** for subsequent statistical analyses. Determining the specifics of the runoff formation in this area was the key part of the research. For subsequent analyses and syntheses of results it is absolutely crucial to obtain relevant primary data and to minimize various uncertainties.

Long-term trends in runoff and in r-r relations in this region, especially with regard to possible changes caused by anthropogenic interference with the river system and the catchment structure, are under investigation of Kliment et al. (2010) or Kliment and Matoušková (2005).

Runoff regime in the key Vydra River basin has a slightly unbalanced course caused mainly by a significant increase in discharge rate during spring snow melting process, very variable is the course especially in the hourly course. The findings of a similar frequency of extremely dry years and years with extremely high discharge rate confirm the fact that it is also necessary to focus on the assessment of dry periods and of preventive measures against their negative impact in this area in the future.

Runoff regime and its variability in experimental catchments

Extremity of a hydrologically significant runoff event and specific p-g conditions in individual catchments were subjected to correlation analysis which was based on the method of extremity indices and on the p-g parameters of the studied catchment. Similar index was used for estimating

100-year flood flows in unobserved catchments (Šercl, 2009; Štěpánková, 2004). The analysis shows that the extremity of the flood flow is affected mainly by a peat bog extent and by a catchment shape.

General solution of the issue of a *peat bog impact on the runoff process* is not possible. It depends on many factors, mainly on the type of a peat, on its condition and on the extent of anthropogenic influence. Opinions on the peat bogs hydrological function have undergone considerable development and are often contradictory. Generally, the hydrological importance of peat bogs has been overestimated in the past and can not be regarded as flow regulators because draining streams show extremely high volatility. More controversial discussions within the foreign and domestic literature (eg Conway, Millar, 1960; Moklyak et al., 1975; Baird, 1997) can be found within the question of drainage of former ameliorative channels, or its torrent control respectively. Based on research in the upper Otava River basin it could be stated that it is crucial to take into account the specific characteristics of peat deposits and its surrounding natural conditions while evaluating the revitalization measures affect on runoff dynamics.

Within the research the question of impact of ongoing *revitalization measures of the local peat bogs* (made by Šumava Mts. National Park management) on the runoff dynamics was opened. Its wholly satisfactory solution, although it should be decisive in the selection of measures to improve the runoff conditions in the area, does not yet exist. Significantly higher extremity of flood situations was found out in cases of revitalized streams. Local revitalization process consists in damming of former ameliorative channels draining peat bogs. Detailed analyses approved that these revitalization measures stabilized runoff conditions in yearly course and had balancing effect during average runoff situations. In a number of experimental catchments, presence of revitalization measures can also impact negatively on given flood event. Studies confirmed that revitalization adjustments in selected subcatchments had balancing effect on runoff conditions only to the certain level of its extremity. In

most cases, runoff extremity was intensified as soon as the certain water-level stage (respectively discharge) was exceeded. To confirm the correctness of these statements and to correctly understand the functioning of this mechanism broader data base is needed.

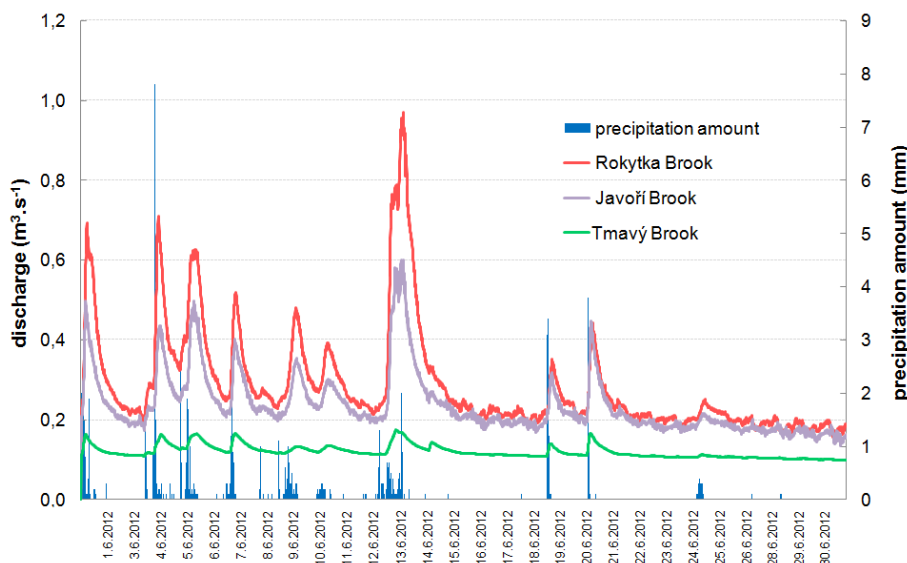


Fig. 2 Course of ten-minute discharges in the three experimental catchments with different peat land proportion during June 1-30, 2012: Rokytká Brook (23,1% proportion of a peat bog), Javoří Brook (5,7%), Tmavý Brook (2,3%; CUNI data)

Outcomes from present studies quite conclusively present more distinct runoff variability in profiles closing catchments with very significant peat land proportion (Fig. 2) mainly with respect to higher frequency of peak flows. To compare the runoff course from experimental catchments with different peat land extent the principle of the peak flow frequency method was used (eg Ahearn, 2003 or Feldman, 1979). Negative effect of peat bog localities on Otava river headstream area hydrological regime was confirmed by thorough study and comparison of runoff reaction to causal rainfall totals in experimental catchments as well. Longer reaction interval adverting to more significant causal rainfall amount retention was determined in the case of the catchment with less peat land proportion.

The issue of *deforestation* and of the *forest stand health state* represents a frequently discussed topic at present. Results of this study correspond with previous opinions among experts (eg MacDonald, Stednick, 2003; Andreassian, 2004, Baker et al., 2005; Hegg et al., 2006) and confirm the negative impact of deforestation on the runoff regime and its variability. The direct influence of deforestation

and spruce forest dying on runoff formation in the Šumava Mts. is represented by the landscape retention capacity decrease (Hais, 2008; Šanda, 2011).

Retention capacity of soil and peat bog

Literature suggests that the landscape in the Czech conditions is able to accommodate up to 400 mm of water, an average of 40-90 mm (Tesař et al., 2004; Lichner et al., 2004). When considering the average GWT bogs in the experimental catchment represent areas with the smallest retention capabilities. Retention values are similar to those found in shallow soils (about 140 mm excluding the actual humidity). Considering the lowest GWT bogs represent a significant retention areas within the catchment (230 and 267 mm). Since GWT is higher than its average value for three quarters of a vegetation period, peat land represents within the catchment the area with the smallest retention capacity. However, it is questionable whether the actual moisture measurement was sufficient. In terms of hydrological features, peat land therefore have crucial influence on the retention potential in the landscape (Vlcek, 2011).

Within the literature a number of positive and negative examples of the peat land influence on hydrological regime can be found. These contradictory claims can be paradoxically united. When the bog is drained, runoff variability decreases, but it leads to destruction in time by the bog succession. If GWT would be regulated and reduced in time of need, bog retention potential could be used without the threat of its existence. Periodical fluctuations of GWT in the bog are natural constituents of its development. Minimum time lag between the monitored GWT and surface outflow points to a negligible ability to absorb significant rainfall totals by the bog complex and to a minimum hydraulic communication between the bog complex and its draining stream.

Peat bog hydrological function

Detection of natural tracers is a useful method to provide the key information in hydrological observation studies of catchment runoff formation. These methods use the different behaviour of a small quantity of water molecules. Study of water dynamics by means of natural tracers is typically oriented on usage of oxygen (^{18}O) and hydrogen (^2H) isotopes (Kendall, McDonnell, 1999). Stable oxygen and hydrogen isotopes are elements that occur naturally, in variable concentrations, in the hydrological cycle. It provides the unique information about the water that enters a catchment in the form of precipitation, that retains in the catchment and that passes out in the form of runoff.

On the basis of findings using a hydrological approach a more detailed hydrochemical and geochemical analysis was undertaken. Geochemical data show no significant hydraulic connection of the studied bog with the Rokytká Brook bed. Moving at a maximum of around 10 % out of winter period, as a consequence, the contribution of surface runoff by water from the bog is very insignificant (see Fig. 3). The predominant portion of underground water (forced out due to the pressure gradient) in total runoff was also confirmed by separation of each runoff component according to geochemical parameters. The problem of hydraulic communication between peat bog complexes and draining streams needs to be solved strictly with respect to local p-g conditions. This thesis represents the first study of such a focus in conditions of the Otava River headstream area. A similar studies describing the use of stable oxygen and hydrogen isotopes was carried out by Šanda (2010) or Šanda and Císlarová (2009).

From a hydrological point of view, in these p-g conditions peat land acts as a negative element for runoff transformation and its hydrological features are not favourable. Findings from our geochemical analyses therefore confirmed our primary hydrological assumption of negative and insignificant impact of peat land on runoff dynamics, especially during flood and drought episodes. The weak influence of the peat bog is also demonstrated by a high concentration of cations in the surface runoff compared to the bog. Groundwater from the catchment contributes much greater to the surface runoff of Rokytká Brook. In general, a very close correlation between pH and actual discharge in experimental profiles was found. A reasonably close relationship was also observed in the closing profile of Rokytká Brook catchment.

Our research findings strongly support the fact that peat land areas within the studied catchment do

not significantly communicate hydraulically with surface streams and their hydrological function is, in the concrete area of Otava River headwaters, insignificant (Janský, Kocum, 2008; Čurda et al., 2011; etc.).

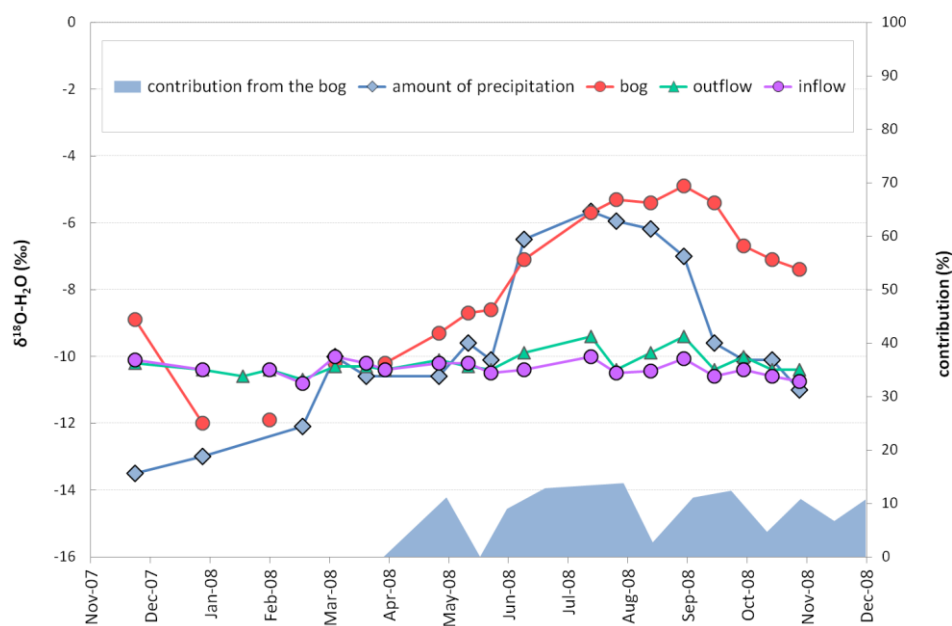


Fig. 3 $\delta^{18}O-H_2O$ course in surface water and precipitation in Rokytká Brook catchment in 2008 hydrological year; right (y) axis demonstrates relative balance contribution of bog water to the total runoff from watershed

Snow cover as a significant phenomenon of runoff formation

From the snow cover point of view the aim of this thesis was primarily to precise input data for subsequent analyses, including hydrological modelling, determining specifics of runoff formation and considering various uncertainties.

Meteorological data from state profiles

One source of data used in the research were data obtained from meteorological stations operated by DWD, CHMI and CUNI. The values of total precipitation amount and snow cover parameters in the border areas of Šumava Mts. much more correlate with the values measured at the DWD station Arber (Grosser Arber, Germany) compared to values from the Czech CHMI stations, although their localization from the experimental catchment is much closer (Jelínek, 2008). Climate station Březník provides additional valuable meteorological data in terms of snow hydrology (eg solar radiation) which are used in various analyses.

Mobile snow cover monitoring

Snow cover monitoring realized in the last few winter periods confirmed a number of important assumptions. Especially in mountainous areas a high spatial variability of snow cover characteristics is generally demonstrated. Its height (SCH) and water equivalent (SWE) have the highest importance. These characteristics in such exposed locations can be very difficult to affect by point measurement within the CHMI climatic stations system. This fact, however, is confirmed by a number of authors, such as Holko (2001), and represents one of the main research tasks within research studies. One of solutions in the future would be the improvement of **remote sensing methods**. The limits of these methods are still high and represent a very hot topic of snow hydrology at present (Ranzi et al, 1998; Gidda et al., 2002).

The effect of physio-geographical factors on a snow cover character

In general, large differences in the spatial distribution of snow cover during snow accumulation and melting process in open areas and forest (Pobříšlová, Kulasová, 2000) can be seen also in terms of the Šumava Mts. Mentioned findings, however, can be applied only at the local level. In regional and global scale, superior factors such as *altitude* and *total precipitation* probably play predominant role. In terms of factor such as *slope* an objective analysis is also problematic. To eliminate the above

mentioned deficiencies field survey would need a substantial increase in the number of measurement points in the experimental catchments, whose localization would consider all the variations caused by a combination of different factors.

With respect to difficulties connected with mobile measurements it is absolutely crucial to put a significant focus on the *optimization of a snow cover monitoring* in this concrete area with regard to the most important factors influencing the snow accumulation and its melting process. Among them we count the precipitation conditions (including *exposure*, orographic effect respectively), the *type of vegetation*, etc.

Monitoring the density of each layer of a snow cover in the vertical profile, which is probably the most important input for a detailed description of the processes taking place in the snow slope, showed that the ability of ice layers to carry water may mean phasing out of the melting runoff to more days and may even reduce the maximum runoff from a snow cover.

Interpretation of snow cover data

Proposed procedures for snow cover monitoring provided valuable informations and it seems that the subsequent determination of water retained in the catchment corresponded to the reality in individual studied periods. To *data spatial interpretation* and to retained water determination the Kriging method, recommended also in literature (eg Jeníček, 2009; Holko, 2001), was chosen as the most suitable. This method is one of the interpolation methods in ArcGIS 3D Analyst module within GIS.

For *snowmelt modelling* the identification of the spring runoff from a snow cover represents the crucial information. Analyses of methods for determining the melting and runoff from a snow cover showed that the use of Degree-day method is suitable in spite of its simplicity and wide availability of temperature data and provides adequate results (Pospíšil, 2009). Results of the research pointed to the fact that snow and processes taking place inside are very diverse and dependent on climatic conditions. To get high-quality prediction of the runoff from a snow cover the knowledge of the specific conditions in studied area is necessary.

Potential retention spaces for elimination of negative effects of climate change

The dominating basic research is followed by an application character of the study. This is related also to a controversial topic of measurement of former accumulation reservoirs used for wood floating in the past and of potential retention spaces linked to a suitable relief configuration in the Vydra River basin.

The **conceptual advance** in protection against hydrological extremes is evident from a number of studies, eg Föhrer et al. (2001), Drbal et al. (2007) or Bölscher and Schulte (2007). The results of recent research show that this concept generally can not fully replace classical hydrotechnical measures (Langhammer et al., 2008), but may be their effective complement. Other possibility for the potential use of these spaces could be a water supply. Our territory may be affected by even more significant fluctuations of hydrological extremes, not just by floods but also by droughts and reduction in a ground water (Bates et al., 2008). In this scenario, hydrotechnical measures will not be replaceable and therefore concrete solutions must always be based on the broader concept of integrated river basin management.

In addition to considering dyking of former drainage channels and focusing on recovery of vegetation health state the **assessment the effectiveness of potential retention spaces** (incl. possible former accumulation reservoirs) is a part of present research. These spaces could play the similar role as dry polders and participate in the landscape retention potential enhancement for runoff balancing during extreme floods and droughts. Using complex system of hydrological models with semi-distributed approach the simulation of runoff process and the assessment of the effectiveness of these reservoirs could be made (Jeníček, 2009; Schulte et al., 2007). Based on the acquired data and partial results from the field survey of former accumulation reservoirs it could be tentatively stated that the effectiveness of these measures might not be negligible. Field survey consisted in quantification of retention volumes at selected locations which should only serve as reference sites for comparison

with similar cases and for application studies in areas outside the study area of Otava River headwaters. In this context, it should be noted that the research does not attempt to realize any measure, but only uses the unique and optimal conditions in this area for assessment of their effectiveness as a reference localities. Similar studies arise in other Czech mountain ranges (eg Schulte et al., 2012).

Possible orientation of further research

The proposed thesis can not have ambitions for a comprehensive answer to all questions that have emerged during the solution. In terms of the changing landscape and of a gradual change in the degree of influence of individual p-g factors affecting a runoff dynamics several research questions remain open to some extent. In particular, an **assessment of the potential of detailed data generated by the monitoring network** of automatic stations in the Otava River headwater area for calibration and development of hydrological models suitable for simulation of runoff formation and its transformation downstream, is needed. In terms of using the principles of isotope hydrology it should be considered to **generate a larger database of hydrochemical and geochemical data** to refine the procedures leading to more accurate assessment the impact of peat bogs on the runoff formation. Interesting and unique results could be obtained also from a **detailed view of the depth profiles through the peat bog**. Another dimension in the evaluation of their retention capacity can be obtained from analyses of samples from different depth levels. The thesis confirmed the specific patterns associated with a snow cover, but however pointed by other patterns to the ambiguity of before stated deductions. This fact gives rise to necessity of further research of this topic. In this context, it is crucial to pay attention to further **optimalization of methodology for snow cover monitoring** to increase its efficiency and to obtain relevant outputs for subsequent analyses of runoff from melting snow.

Conclusions

The proposed thesis produced findings in three general levels: basic research level, application level and educational level. Within the sub-tasks solution both standard and proven methods as well as lesser-known methods were applied. In any case, all the methodologies were adapted to the specific conditions in the study area.

Basic research level (including methodological level)

This study stated the task to evaluate the main specifics of runoff formation in the upper Otava River basin using modern approaches and to critically comment on the available findings (eg Ferda et al., 1971). The thesis brings a number of new findings in this sense. Its results represent, after more than forty years, the new specified and comprehensive knowledge of the local runoff regime character, including an assessment of its variability. Modern experimental hydrology has, among others, a task to use hydrochemical and geochemical approaches to answer the key questions including clarification of the mechanisms of runoff formation and its retaining in a catchment. The use of isotope hydrology principles meant the new dimension for the research solution in the evaluation of runoff dynamics in the Otava River headwaters. Within *methodological level* the fundamental of the research is represented by the creation of the network of automatic stations for monitoring of h-m events and p-ch parameters of water. Within the thesis several methodological approaches were applied, incl. geochemical approaches. One of the gains of this research is definitely represented by the establishment of the appropriate methodology for snow cover monitoring, although its optimalization continues. Adaptation of each methodological approach to specific conditions is, however, a fundamental prerequisite for their correct use.

Application level

One of the most interesting scientific questions nowadays is to find out what impact will the increasing climate variability have on a river hydrological regimes. Study area provides optimal conditions for studying the effectiveness of using various measures leading to an increase of retention

potential, whether we are talking about areal measures within the catchment or about the use of potential natural and anthropogenically generated spaces for water retention. The study presents preliminary outcomes by suggesting future direction of research. The acquired findings can be a guide for positive changes in the landscape which could result in mitigation of the course and consequences of extreme hydrological phenomena also due to the fact that Czech Republic represents the "roof of Europe" and water retention in its landscape is crucial.

Educational level

Academic workplace of a research type, which Charles University in Prague, Faculty of Science, Department of Physical Geography and Geocology is, transfer its expertise either to the educational activities. Within the individual projects, that are in any way involved in the thesis solution, a number of bachelor and master theses has originated. Currently, submitting further theses with clearly defined tasks to improve existing results continues. Topics related to protection against hydrological extremes have contributed to the improvement of education through specialized courses, field seminars and p-g excursions.

Answers to the key questions defined at the beginning of the proposed thesis are presented below.

1) The mechanism of runoff formation is a very complicated system, whose complexity is amplified in areas of high heterogeneity in terms of p-g aspects. Otava River headstream area represents a field laboratory where a variety of parameters influencing the runoff formation and its behavior in terms of the changing landscape can be observed in the long term. It is important to create a hierarchy of influencing factors in terms of their importance and to focus the research on the key parameters. One of the main factors is undoubtedly represented by the existence of peat bogs and peat land in the catchment. Their influence on streamflow generation was therefore one of the main subjects of the research. Equally important phenomenon affecting runoff conditions in this area is in total annual balance the seasonal snow cover which is quite hardly quantifiable element due to its temporal and spatial variability. Optimization of snow cover monitoring in Šumava Mts. conditions is crucial also due to unrepresentativeness of CHMI station measurements for the highest parts of catchments for modelling runoff from melting snow and for specification of inputs for hydrological prediction. Mentioned low representativeness of data from Czech meteorological stations is connected to a large extent with the existence of orographic effect on the windward slopes of Šumava Mts. which significantly affects the local character of a snow cover accumulation. An important peculiarity of the streamflow formation in the study area is also represented by the character of vegetation, especially by the forest stand and its health state. Significantly weakened retention function of local forest considerably increases runoff dynamics and their management has become recently a very controversial issue requiring a multidisciplinary approach.

2) Due to the specific phenomenon of peat bogs in the core zones of the Šumava Mts. a significant attention within the research was given to the assessment of peat bogs hydrological function not only using standard hydrological methods, but also by means of methods of hydrochemical, hydrogeological and geochemical approach. On the base of acquired findings it could be concluded that the existence of the local peat bogs has, in terms of runoff dynamics, a negative influence, especially during extreme hydrological episodes. It can therefore be stated that peat deposits represent in the Otava River headwater region the separate hydrological units with their own typical water regime which does not contribute to runoff balancing, and their hydrological function in this area is stated to be insignificant. In this context, it must be emphasized that all the specifics for the runoff formation need to be evaluated in concrete conditions of each territory whose character must be understood and explained very in detail and any acquired findings cannot be generalized.

3) System of automatic stations was purposefully built in the highest parts of the upper Otava River basin in order to effectively support the existing national network of CHMI profiles and to monitor hydrological processes already at the very birth. Otava River headwaters represents the source area of significant runoff episodes while extremity of h-m phenomena is increasing in recent years. Previous results obtained by means of automatic stations installed in the last six years in the experimental

catchments illustrate the fact that the data obtained this way allow the assessment of r-r relations and of the influence of individual p-g factors on the runoff dynamics in headwater areas very in detail. Continuous records of h-m and other events provide an excellent database for detailed analyses of ascending and descending phases of hydrogram, leading certainly to the improvement of procedures for runoff dynamics evaluation. Present hydrology, however, faces many uncertainties in the correct definition of an environment where hydrological processes take place. We talk about under-described secondary conditions and features that have a direct and indirect influence on the streamflow generation process. Detection of stable oxygen isotopes confirms the complexity of ongoing processes in basins and offers qualitatively better opportunities of their closer description and explanation.

In addition to basic research one part of the study was focused on the possibilities of *application of acquired findings*. As already mentioned, solving current issues of increasing extremity of h-m phenomena related to climate change in recent years requires a multidisciplinary approach to this topic and an accurate assessment of the retention capacity of a landscape. The necessary prerequisite for the quantification of retention potential is represented by the detailed analysis of the influence of the key factors influencing runoff conditions in concrete (!) area. Generalization of partial outcomes for other areas is not possible. Acquired findings should be viewed from different angles. Results of the thesis could be used in the future within the realization of concrete effective flood protection measures and of procedures leading to water retention during dry periods, in cooperation with all concerned institutions. Implementation of such unforceable measures could contribute to reduction of peak flows and to increase of water resources during extreme droughts in future. All questions related to various options and measures to increase the retention capacity in headwater regions should be assessed on the base of qualified discussion among experts of various fields with respect to the objectives and priorities that have supra-regional, regional and local importance (eg Kolejka, 2003; Kovář et al., 2002).

Seznam vybrané literatury / Selected references

- [1] AHEARN, E. A. (2003): Peak-flow frequency estimates for U.S. Geological Survey streamflow-gaging stations in Connecticut. *Water-resources investigations report*, 03-4196. U.S. Geological Survey, East Hartford, Connecticut, 36 s.
- [2] ANDRESSIAN, V. (2004): Water and forest: from historical controversy for scientific debate. *Journal of Hydrology*, 291, s. 1-27.
- [3] BAIRD, A. J. (1997): Field estimation of macropore functioning and surface hydraulic conductivity in a fen peat. *Hydrological Processes*, 11, s. 287-295.
- [4] BATES, B. C., KUNDZEWICZ, Z. W., WU, S., PALUTIKOF, J. P. (2008): Climate Change and Water. *Technical Paper VI* – english. IPCC Secretariat, Geneva, 210 s.
- [5] BEVEN, K. J. (2001): Rainfall-runoff modelling, the primer. John Wiley & Sons Ltd. Chichester, 360 s.
- [6] BLAŽKOVÁ Š., KOLÁŘOVÁ S. (1994): Vliv odlesnění na hydrologický režim v oblasti Jizerských hor. VÚV TGM, Praha, 76 s.
- [7] BÖLSCHER, J., SCHULTE, A. (2007): Hydrological modelling of decentralised flood protection measures in transnational headwater areas of the Natzchung catchment / Mittleres Erzgebirge. In *Proceedings of the 1st Scientific Conference on Integrated catchment management for hazard mitigation 24-26 September* [CD-ROM]. Remote Sensing Department, University of Trier, Trier, s. 29-32.
- [8] 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.
- [9] CRAIG, H., GORDON, L. (1965): Deuterium and oxygen-18 variations in the ocean and the marine atmosphere. In Tongiorgio, E. (Ed.): *Stable isotopes in oceanographic studies and paleotemperatures*, Spoleto, s. 9-130.
- [10] ČURDA, J., JANSKÝ, B., KOCUM, J. (2011): Vliv fyzickogeografických faktorů na extremitu povodní v povodí Vydry. *Geografie*, 116, 3, s. 335–353.
- [11] DRBAL, K., DUMBROVSKÝ, M., GOLÍK, P., STARÝ, M., ŠVANCARA, J. (2007): Koncepce řešení ochrany před povodněmi v povodí horní Opavy. In Jakubíková, A., Broža, V., Szolgay, J. (Eds.): *Extrémní hydrologické jevy v povodích*. Sborník příspěvků z Workshopu Adolfa Patery, Praha a Bratislava, s. 117-128.

- [12] FELDMAN, A. D. (1979): Flood hydrograph and peak flow frequency analysis. *Technical paper*. HEC, Davis, California, 28 s.
- [13] FERDA, J., HLADNÝ, J., BUBENÍČKOVÁ, L., PEŠEK, J. (1971): Odtokový režim a chemismus vod v povodí Horní Otavy se zaměřením na výskyt rašelinišť. In *Sborník prací HMÚ*, 17, HMÚ, Praha, s. 22-126.
- [14] FÖHRER, N. ET AL. (2001): Hydrological response to land use changes on the catchment scale. *Physics and Chemistry of the Earth*, 26, s. 577-582.
- [15] GIDDA, C., WHITELEY, H., RUBINSTEIN, I., DONY, R. (2002): Comparison of satellite-based data with modeled snow-water equivalent for open and forested areas. In *Proceedings of 59th Eastern Snow Conference*, Stowe, Vermont, USA, s. 45-54.
- [16] HAIŠ, M. (2008): Vývoj a spektrální projevy odlesnění centrální části Šumavy hodnocené prostřednictvím DPZ a GIS. *Disertační práce*. PřF UK, Praha, 140 s.
- [17] HEGG, CH., MCARDELL, B. W., BADOUX, A. (2006): One hundred years of mountain hydrology in Switzerland by the WSL. *Hydrological Processes*, 20, s. 371-376.
- [18] HOLDEN, J., CHAPMAN, P. J., LABADZ, J. C. (2004): Artificial drainage of peatlands: hydrological and hydrochemical process and wetland restoration. *Progress in Physical Geography*, 28,1, s. 95-123.
- [19] HOLKO, L. (2001): Priesterová interpretácia meraní charakteristík snehovej pokrývky. *Acta Hydrologica Slovaca*, 2, 2, s. 258-262.
- [20] 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 - Sborník ČGS*, 113, 4, Praha, s. 383-399.
- [21] JELÍNEK, J. (2008): Akumulace a tání sněhové pokrývky v povodí Rokytky v letech 2007 a 2008. *Magisterská práce*, PřF UK v Praze, 85 s.
- [22] JENÍČEK, M. (2008): Modelling the effect of small reservoirs on flood regime in the Chomutovka river basin. In Brilly, M and Šraj, M. (Eds.): *XXIVth Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management* [CD-ROM]. Slovenian National Committee for the IHP UNESCO, Ljubljana.
- [23] JENÍČEK, M. (2009): Modelování průběhu extrémních povodní v kontextu krajinných změn a integrované protipovodňové ochrany. *Disertační práce*, PřF UK, Praha, 128 s.
- [24] KENDALL, C., MCDONNELL, J. J. (Eds.) (1999): *Isotope tracers in catchment hydrology*. Elsevier Science B.V., Amsterdam.
- [25] KLIMENT, Z., MATOUŠKOVÁ, M. (2005): Trendy ve vývoji odtoku v povodí Otavy. *Geografie-Sborník ČGS*, 110, Praha, s. 32-45.
- [26] KLIMENT, Z., MATOUŠKOVÁ, M., LEDVINKA, O., KRÁLOVEC, V. (2010): Analýza trendů srážko-odtokového režimu ve vybraných pramenných oblastech České republiky. In Vrabec, M., Durčanský, I., Hladný, J. (Eds.): *Hydrologické dny 2010 - Voda v měnícím se prostředí. Sborník příspěvků ze 7. národní konference českých a slovenských hydrologů a vodohospodářů*. Nakladatelství ČHMÚ, Praha, s. 63-69.
- [27] KLIMENT, Z., MATOUŠKOVÁ, M., MALÝ, A. (2008): Monitoring odtokového režimu v experimentálních povodích v pramenné oblasti Blanice. In Langhammer, J. (Ed.): *Údolní niva jako prostor ovlivňující průběh a následky povodní*. PřF UK, Praha, s. 144-150.
- [28] 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*. Správa NP a CHKO Šumava, Vimperk, s. 26-48.
- [29] KOLEJKA, J. (2003): Geoeologické aspekty zmírňování povodňových škod. *Geografie – Sborník ČGS*, 108, 1, Praha, s. 1-13.
- [30] KOVÁŘ, P., SKLENIČKA, P., KŘOVÁK, F. (2002): Vliv změn užívání krajiny na její ekologickou stabilitu a vodní režim. In *Extrémní hydrologické jevy v povodích*. ČVUT a ČVVS, Praha, s. 99-106.
- [31] KUBÍČEK, J. (2006): Analýza srážkových dat z centrální Šumavy. *Diplomová práce*. ČZU, Praha, 83 s.
- [32] LANGHAMMER, J., ŠOBR, M., VANĚK, T. (2008): Současné přístupy k řešení protipovodňové ochrany na příkladu povodí horní Opavy. In Langhammer, J. (Ed.): *Údolní niva jako prostor ovlivňující průběh a následky povodní*, PřF UK, Praha, s. 52-70.
- [33] LICHNER, L., ŠÍR, M., TESAŘ, M. (2004): Testování retenční schopnosti půd. *Aktuality šumavského výzkumu*, 2, s. 63–67.
- [34] MACDONALD, L. H., STEDNICK, J. H. (2003): Forest and water: a state-of-the-art review for Colorado. *CWRRRI Completion report*, No. 196, Colorado State University, 75 s.
- [35] MATOUŠKOVÁ, M., HARTVICH, F., BICANOVÁ, M., HAVLÍKOVÁ, P., KRÁLOVÁ, A., MACHÁČKOVÁ, K. (2005): Ecological and hydrological state of wetlands of the cultural european landscape. *Geographical Review*, CXXIX., č. LIII., s. 27-34.

- [36] MOKLYAK, V. I., KUBYSHKIN, G. P., KARKUTSIEV, G. N. (1975): The effect of drainage works on streamflow. *Hydrology of marsh-ridden areas, Proceedings of the Minsk symposium. IAHS Studies and Reports in Hydrology*, 19, Unesco Press, Paris, s. 439-446.
- [37] PEKÁROVÁ, P., KONÍČEK, A., MIKLÁNEK, P. (2005): Influence of landuse on runoff regime in experimental microcatchments of the Institute of hydrology SAS. *Veda*, Bratislava, 216 s.
- [38] POBŘÍŠLOVÁ, J., KULASOVÁ, A. (2000): Ukládání a tání sněhu v lese a na odlesněných plochách. *Opera Corcontica*, 37. vyd. Správa KRNAP, Vrchlabí, s. 113-119.
- [39] POSPÍŠIL, J. (2009): Formování odtoku ze sněhové pokrývky v pramenné oblasti Otavy. *Magisterská práce*, PřF UK, Praha, 119 s.
- [40] RANZI, R. ET AL. (1998): Ten years of monitoring areal snowpack using NOAA-AVHRR radiometry and ground measurements in the Southern Alps. In *International Conference on Snow Hydrology – The Integration of Physical, Chemical and Biological systems*, USACE, Washington, 89 s.
- [41] SCHULTE, A., BÖLSCHER, J., WENZEL, R., ROCH, I., JANSKÝ, B. (2007): INTERREG IIIA Projekt DINGHO: dezentraler, integrierter und grenzübergreifender Hochwasserschutz im Mittleren Erzgebirge. *Hochwasserschutz und Katastrophenmanagement*, 6, s. 25-28.
- [42] SCHULTE, A., ROCH, I., JANSKÝ, B. (2012): Möglichkeiten und Grenzen des dezentralen Hochwasserschutzes im Mittleren Erzgebirge. *Geographische Abhandlungen*, Berlin (v tisku).
- [43] ŠANDA, M. (2011): Formování odtoku v malých horských povodích. *Disertační práce*, ČVUT, Praha, 91 s.
- [44] ŠANDA, M. (1998): Proudění vody v půdním profilu na svahu horského povodí. *Doktorské disertační minimum*. ČVUT, Praha, 12 s.
- [45] ŠANDA, M. (2010): Přírozené stabilní izotopy kyslíku a vodíku v hydrologii experimentálního povodí. In Vrabc, M., Durčanský, I., Hladný, J. (Eds.): *Hydrologické dny 2010 - Voda v měnícím se prostředí. Sborník příspěvků ze 7. národní konference českých a slovenských hydrologů a vodohospodářů*. Nakladatelství ČHMÚ, Praha, s. 255-261.
- [46] ŠANDA, M., CÍSLEROVÁ, M. (2009): Transforming hydrographs in the hillslope subsurface. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, Vol. 57, No. 4, s. 264-275.
- [47] ŠERCL, P. (2009): Vliv fyzicko-geografických faktorů na charakteristiky teoretických návrhových povodňových vln. *Sborník prací ČHMÚ*, sv. 54, ČHMÚ, Praha, 88 s.
- [48] ŠTĚPÁNKOVÁ, R. (2004): Vliv fyzicko-geografického prostředí na vznik a vývoj povodní v povodí Berounky. *Disertační práce*, PřF UK, Praha, 178 s.
- [49] TESAŘ, M., ŠÍR, M., PRAŽÁK, J., LICHNER, Ľ. (2004): Instability driven flow and runoff formation in a small catchment. *Geologica Acta*, 2, 2, s. 147-156.
- [50] VLČEK, L. (2011): Retence vody půdou v experimentálních povodích se zaměřením na organozemě. *Magisterská práce*, PřF UK, Praha, 67 s.
- [51] ZHANG, W. ET AL. (2011): The impact of vegetation and soil on runoff regulation in headwater streams. *Catena*, 87, s. 182-189.

Vzdělání / Education

2004-2012	doktorské studium - studijní obor Fyzická geografie a geoekologie, PřF UK v Praze; téma disertační práce: Tvorba odtoku a jeho dynamika v pramenné oblasti Otavy
2008	Státní doktorská zkouška v postgr. stud. oboru Fyzická geografie a geoekologie - titul RNDr.
2006-2007	semestrální odborná stáž na Freie Universität Berlin (Německo)
2005	mezinárodní jazyková zkouška First Certificate In English
1999-2004	magisterské studium - studijní obor Fyzická geografie, PřF UK v Praze; téma magisterské práce: Limnologická studie Čertova jezera a režim odtoku v českém povodí Řezné
1999	Státní jazyková zkouška z anglického jazyka
1997-1998	roční středoškolské studium v U.S.A. s maturitou - Liberty (Missouri), Payette (Idaho)
1991-1999	Gymnázium Jaroslava Vrchlického v Klatovech

Výzkumné aktivity / Research projects

od 2007	člen mezinárodní organizace International Association of Hydrological Sciences (IAHS)
od 2009	člen předsednictva České iberoamerické společnosti
2010-2011	vědecký asistent v rámci Výzkumného záměru Geografické sekce PřF UK v Praze
2008-2010	vědecký asistent na Katedře fyzické geografie a geoekologie PřF UK v Praze
2007-2008	samostatný technický pracovník na Katedře fyzické geografie a geoekologie PřF UK v Praze
2007	odborná stáž na Freie Universität Berlin, Institut für Geographische Wissenschaften - spoluúčast na projektu INTERREG IIIA DINGHO - Dezentraler, integrierter und grenzübergreifender Hochwasserschutz in den deutsch-tschechischen Einzugsgebieten der Kammlagen des Mittleren Erzgebirges (hlavní řešitel FU Berlin, Prof. Dr. Achim Schulte)
2007-2009	spoluřešitel grantu GA ČR: Přírodní ohrožení pramenných oblastí Amazonky v důsledku globálních změn klimatu, 205/07/0831
2007-2009	hlavní řešitel grantu GA UK: Retence vody v pramenných oblastech řek jako nástroj integrované protipovodňové ochrany a řešení problému sucha, 2371/2007
2006-2009	spoluřešitel projektů zahraniční rozvojové spolupráce vlády ČR: KYRGYZSTÁN - Monitoring vysokohorských ledovcových jezer Kyrgyzstánu a ochrana obyvatelstva před katastrofálními následky povodní vzniklých průtržemi morénových hrází (2004-2007) a KYRGYZSKÁ REPUBLIKA - Analýza rizik a omezení důsledků protřžení hrází vysokohorských jezer (2007-2010) - gestorský resort: MŽP ČR, řešitelská organizace: Geomin družstvo, Jihlava
2005-2008	spoluřešitel projektu VaV: Dlouhodobé změny porůčních ekosystémů v nivách toků postižených extrémními záplavami (zadavatel: MŽP ČR), SM/2/57/05 spoluúčast na řešení Výzkumného záměru Geografické sekce PřF UK v Praze: Geografická struktura a vývoj interakcí přírodního prostředí a společnosti (zadavatel: MŠMT), MSM 0021620831
2003-2006	spoluúčast při řešení grantu GA ČR: Atlas jezer České republiky - morfometrické, sedimentologické a limnologické poměry jednotlivých genetických typů jezer, 205/03/1264
2002-2003	spoluúčast při řešení grantu GA UK: Jezera České republiky, 182/2000/B-GEO/PřF
2000-2001	příležitostná práce v Geonika s.r.o. a na Přírodovědecké fakultě UK v Praze (geofyzikální průzkum)

Odborné konference / Conferences

od 2007	lektor v rámci výukového kurzu pro učitele středních škol - Voda ve světě a v ČR
2011	světová konference European Geosciences Union, Vídeň, Rakousko: Potential reduction of hydrological extremes in headwaters: case study of upper Vltava River basin, Czechia konference „Říční krajina“, Olomouc: Retence vody v pramenných oblastech řek (potenciální adaptační opatření na snížení hydrologických extrémů)
2010	mezinárodní konference „Hydrologické dny 2010“, Hradec Králové: Hydrologické přístupy k analýze dopadů klimatické změny ve velehorách: výsledky českých projektů v Kyrgyzstánu a Peru; Extremita odtoku v pramenné oblasti Otavy (řešení negativních dopadů klimatické změny); Geografický výzkum českých jezer

- Magdeburský seminář „Magdeburger Gewässerschutzseminar 2010“, Magdeburg, Německo: Potenciální adaptační opatření na snížení hydrologických extrémů na horních tocích. Studie povodí horní Vltavy, ČR
- 2009 mezinárodní konference „Mitigation of Natural Hazards in Mountain Areas“, Bishkek, Kyrgyzstán: The Petrov Lake dynamic evolution with regard to risk of moraine dam rupture
- světová konference „Water Policy 2009“, Praha: Headstream area retention capacity enhancement as an implement against floods and droughts; Climate change impact on mountain lakes of Kyrgyzstan with regard to the risk of their rupture
- odborný seminář „Weitfällerské slatě“, Srní: Retence vody v pramenných oblastech Vydry a Křemelné – případová studie povodí Rokytky
- mezinárodní odborný seminář „Stretnutie Sneharov“, Kubova Huť: Monitoring sněhové pokrývky v pramenné oblasti Otavy v letech 2007 a 2008: případová studie Rokytky
- mezinár. odborný seminář „Česko-polsko-slovenské seminárium“, Sedlec-Prčice: Possibilities of headwaters retention potential enhancement - case study upper Otava River basin
- odborný seminář „Voda v krajině“, České Budějovice: Retence vody v pramenných oblastech řek (povodí Vydry a Křemelné)
- 2008 světová konference „XIIIth World Water Congress“, Montpellier, Francie: Peatbogs hydrological function: case study of upper otava river basin
- světová konf. „XXIVth Conference of the Danubian Countries“, Bled, Slovinsko: Possibilities of headwaters retention potential enhancement - case study upper Otava River basin
- Magdeburský seminář „Magdeburger Gewässerschutzseminar 2008“, Magdeburg, Německo: Možnosti kompensace dopadů klimatických změn ve vodním hospodářství; Analysis of headwaters runoff regime - case study upper Otava River basin
- národní konference „Ekosystémové služby říční nivy“, Třeboň: Retence vody v pramenných oblastech toků a na území říční nivy
- Workshop Adolfa Patery „Extrémní hydrologické jevy v povodích“, Praha: Monitoring sněhové pokrývky v povodí Rokytky v letech 2007 a 2008
- 2007 světová konference IUGG „XXIV General Assembly“, Perugia, Itálie: Water retention in river headstream areas as an instrument of integrated flood protection and drought problem solving; Dangerous lakes in Kyrgyzstan - case study Petrov Lake (Tien-Shan)
- Projektworkshop „DINGHO“, Marienberg, Německo: Hydrological regime in river headstream areas
- mezin. kurz UNESCO „Ecohydrological Approaches to Wise Use, Restoration, Management and Conservation of Wetlands“, Třeboň: Retention potential in river headstream areas
- odborný seminář „Povodně a změny v krajině“, Praha: Retence vody v pramenných oblastech řek a hydrologická funkce rašelinišť
- mezinárodní konference „Evolution on geographical systems and risk processes in global context“, Praha: Water retention in river headstream areas as an instrument of integrated flood protection and drought problem solving
- 2006 mezinárodní konference „European Large Lakes Symposium - Ecosystem Changes and their Ecological and Socioeconomic Impacts“, Tartu, Estonsko: Lakes in the Czech Republic - preparation of the Atlas; Lake Petrova (Tien Shan, Kyrgyzstan) - danger of a large-scale ecological disaster
- světová konf. „3rd International Symposium on Integrated Water Resources Management“, Bochum, Německo: Hydrological regime in the upper part of the Regen River catchment
- Magdeburský seminář „Magdeburger Gewässerschutzseminar 2006“, Český Krumlov: Jezera České republiky: současné a budoucí využití s ohledem na rámcovou směrnici o vodách; Hydrological regime and the analysis of the catastrophic flood in August 2002 in the upper part of Regen River catchment
- Mezinárodní konference „Geografie: minulost, přítomnost, budoucnost“, Praha: Současný limnologický výzkum glaciálních jezer na české straně Šumavy; Režim odtoku a analýza

katastrofické povodně v srpnu 2002 v českém povodí Regenu

2005 odborný seminář „9th European seminar on the Geography of Water - Integrated Water Management of Small River Basins“, Tartu, Estonsko: Present limnological research of the Bohemian Forest glacial lakes

Pedagogická činnost / Pedagogical activities

od 2005 výuka v rámci cvičení a přednášek z hydrologie, výuka v rámci terénního cvičení z fyzické geografie, zkoušení z předmětu hydrologie

od 2009 člen zkušební komise pro Státní bakalářské zkoušky ve studijním programu Geografie

od 2006 školitel obhájených bakalářských (3) a magisterských prací (2), konzultace prací (10) a oponentní posuzování bakalářských a magisterských prací, recenzní činnost

2008-2011 garant cvičení z hydrologie v oboru Ochrana životního prostředí

2009-2011 výuka v rámci přednášky „Selected Chapters from Physical Geography and Geoecology“

2009-2011 výuka v rámci přednášky „Povodně v krajině“

od 2008 účast na výukovém kurzu pro učitele středních škol - Voda ve světě a v ČR

2005 spoluvedení komplexní zahraniční geografické exkurze, Francie

Seznam publikací / References

Články v časopisech s recenzním řízením a IF

JANSKÝ, B., ENGEL, Z., KOCUM, J., ŠEFRNA, L., ČESÁK, J. (2011): The Amazon River headstream area in the Cordillera Chila, Peru: hydrographical, hydrological and glaciological conditions. *Hydrological Sciences Journal* 56(1). Taylor & Francis, IAHS Press, p. 138-151. ISSN 0262-6667, doi: 10.1080/02626667.2010.544257, IF 1.447 (2010), IF 1.914 (Five-Year)

ČURDA, J., JANSKÝ, B., KOCUM, J. (2011): Vliv fyzickogeografických faktorů na extremitu povodní v povodí Vydry. *Geografie*, 116, No. 3, pp. 335–353. ISSN 1212-0014, IF 0.787

KOCUM, J., OULEHLE, F., JANSKÝ, B., BŮZEK, F., HRUŠKA, J., ČESÁK, J. (2012): Geochemical evidence for a bog contribution to streamflow generation process: case study of the Vltava River headwaters, Czech Republic. *Wetlands, Society of Wetland Scientists*. IF 1.238 (2010) (in rev.)

VLČEK, L., KOCUM, J., JANSKÝ, B., ŠEFRNA, L., KUČEROVÁ, A. (2012): Retenční potenciál a hydrologická bilance horského vrchoviště – případová studie Rokytecké slatě, povodí horní Otavy, JZ Česko. *Geografie*. ISSN 1212-0014, IF 0.787 (in rev.)

Články v národních časopisech s recenzním řízením

JANSKÝ, B., KOCUM, J. (2008): Peat bogs influence on runoff process: case study of the Vydra and Křemelná River basins in the Bohemian Forest, southwestern Czechia. *Geografie - Sborník ČGS*, 113, 4, Praha, pp. 383-399. ISSN 1212-0014

JANSKÝ, B., ŠOBR, M., KOCUM, J., ČESÁK, J. (2005): Nová batymetrická mapování glaciálních jezer na české straně Šumavy. *Geografie - Sborník ČGS*, 110, 3, Praha, s. 176-187. ISSN 1212-0014

KOCUM, J., JANSKÝ, B. (2005): Limnologická studie Čertova jezera. *Geografie - Sborník ČGS*, 110, 3, Praha, s. 152-175. ISSN 1212-0014

Kapitoly v monografiích

JANSKÝ, B., KOCUM, J. (2012): Wasserrückhaltung in den Quellgebieten der Flüsse. In: Schulte, A., Reinhardt, CH., Bölscher, J., Roch, I., Janský, B. (Eds.). *Möglichkeiten und Grenzen des dezentralen Hochwasserschutzes im Mittleren Erzgebirge. Berliner Geographische Abhandlungen*. in print.

KOCUM, J., JANSKÝ, B. (2008): Dynamika hydrologického režimu v pramenných oblastech vodních toků. In Langhammer, J. (Ed.): *Údolní niva jako prostor ovlivňující průběh a následky povodní*. PřF UK, Praha, 2008, s. 72-82. ISBN 978-80-86561-59-2

JANSKÝ, B., KOCUM, J. (2008): Retence vody v pramenných oblastech toků a na území říční nivy. In Pithart, D., Benedová, Z., Křováková, K. (Eds.): *Ekosystémové služby říční nivy*. Ústav systémové biologie a ekologie AV ČR, Třeboň, s. 101-108. ISBN 978-80-254-1834-5

JANSKÝ, B., KOCUM, J. (2007): Retenční potenciál v pramenných oblastech toků. In Langhammer, J. (Ed.): *Povodně a změny v krajině*. MŽP ČR a PřF UK, Praha, 2007, s. 307-315. ISBN 978-80-86561-86-8

JANSKÝ, B., KOCUM, J. (2007): Hydrologická funkce rašelinišť. In Langhammer, J. (Ed.): *Změny v krajině a*

povodňové riziko. *Sborník příspěvků semináře Povodně a změny v krajině*. PŕF UK a MŽP ČR, Praha, s. 173-180. ISBN 978-80-86561-87-5

Kapitoly ve sbornících

KOCUM, J., JANSKÝ, B., ČESÁK, J., ČURDA, J. (2011): Potential reduction of hydrological extremes in headwaters: case study of upper Vltava River basin, Czechia. In Nachtnebel, H.-P., Kovář, K. (Eds.): *HydroEco 2011, Hydrology and Ecology: Ecosystems, Groundwater and Surface Water – Pressures and Options. Volume of Abstracts, Wien, Austria, 2-5 May 2011*. Austrian Federal Ministry of Agriculture, Forestry, Environment and Water Management & Inst. of Water Management, Hydrology and Hydraulic Engineering, Vienna, Austria, s. 109-110. ISBN 978-3-900962-95-1

JANSKÝ, B., ŠOBR, M., KOCUM, J., ČESÁK, J., JEROCHIN, S. (2010): Hydrologické přístupy v analýze dopadů klimatické změny ve velehorách: výsledky českých projektů v Kyrgyzstánu a Peru. In Vrabc, M., Durčanský, I., Hladný, J. (Eds.): *Hydrologické dny 2010 - Voda v měnicím se prostředí. Sborník příspěvků ze 7. národní konference českých a slovenských hydrologů a vodohospodářů*. Nakladatelství ČHMÚ, Praha, s. 123-130. ISBN 978-80-86690-84-1

KOCUM, J., JANSKÝ, B., ČURDA, J., ČESÁK, J. (2010): Extremita odtoku v pramenné oblasti Otavy (řešení negativních dopadů klimatické změny). In Vrabc, M., Durčanský, I., Hladný, J. (Eds.): *Hydrologické dny 2010 - Voda v měnicím se prostředí. Sborník příspěvků ze 7. národní konference českých a slovenských hydrologů a vodohospodářů*. Nakladatelství ČHMÚ, Praha, s. 597-604. ISBN 978-80-86690-84-1

ŠOBR, M., JANSKÝ, B., HRDINKA, T., ČESÁK, J., KOCUM, J. (2010): Geografický výzkum českých jezer. In Vrabc, M., Durčanský, I., Hladný, J. (Eds.): *Hydrologické dny 2010 - Voda v měnicím se prostředí. Sborník příspěvků ze 7. národní konference českých a slovenských hydrologů a vodohospodářů*. Nakladatelství ČHMÚ, Praha, s. 619-624. ISBN 978-80-86690-84-1

KOCUM, J., JANSKÝ, B., ČESÁK, J. (2010): Potenciální adaptační opatření na snížení hydrologických extrémů na horních tocích. Studie povodí horní Vltavy, ČR. In *Magdeburský seminář o ochraně vod 2010*. Povodí Ohře, s.p., Teplice, 2010, s. 65-69.

JANSKÝ, B., ČERNÝ, M., ŠOBR, M., ENGEL, Z., BENEŠ, V., KOCUM, J., EROCHIN, S. A. (2009): The Petrov Lake dynamic evolution with regard to risk of moraine dam rupture. In Tuzova, T. V. (Ed.): *Mitigation of natural hazards in mountain areas. Materials of International conference, Kyrgyz Republic, Bishkek City, 15-18 September 2009*, Bishkek: Salam, 2008, s. 48-52. ISBN 978-9967-25-623-1

ŠOBR, M., JANSKÝ, B., ENGEL, Z., KOCUM, J., ČERNÝ, M., ČESÁK, J., BENEŠ, V., EROCHIN, S. A. (2009): Risk of dam rupture of the Koltor Lake. In Tuzova, T. V. (Ed.): *Mitigation of natural hazards in mountain areas. Materials of International conference, Kyrgyz Republic, Bishkek City, 15-18 September 2009*, Bishkek: Salam, 2008, s. 78-81. ISBN 978-9967-25-623-1

KOCUM, J., JANSKÝ, B. (2009): Headstream area retention capacity enhancement as an implement against floods and droughts. In Kovář, P., Máca, P., Ředinová, J. (Eds.): *Water policy 2009 - Water as a vulnerable and exhaustible resource. Sborník příspěvků z Water policy 2009 22.-26.6.2009*. Czech University of Life Sciences, Prague, pp. 158-161. ISBN 978-80-213-1944-8

JANSKÝ, B., ČERNÝ, M., ŠOBR, M., KOCUM, J., ENGEL, Z., YEROKHIN, S. (2009): Climate change impact on mountain lakes of Kyrgyzstan with regard to the risk of their rupture. In Kovář, P., Máca, P., Ředinová, J. (Eds.): *Water policy 2009 - Water as a vulnerable and exhaustible resource. Sborník příspěvků z konference Water policy 2009 22.-26.6.2009*. Czech University of Life Sciences, Prague, pp. 98-100. ISBN 978-80-213-1944-8

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. ISBN 978-80-87257-00-5, ISSN 1803-4470

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. Medzinárodné stretnutie snehárov. Sborník příspěvků ze semináře 18.-20.3.2009*. ČZÚ v Praze, Praha, s. 105-113. ISBN 978-80-213-2027-7

JENÍČEK, M., KOCUM, J., JELÍNEK, J. (2008): Monitoring sněhové pokrývky v povodí Rokytky v letech 2007 a 2008. In Broža, V., Szolgay, J., Fošumpaur, P. (Eds.): *Extrémní hydrologické jevy v povodích. Sborník příspěvků z Workshopu Adolfa Patery 4.11.2008*. ČVÚT, Praha, s. 227-236.

KOCUM, J., JANSKÝ, B. (2008): Analysis of headwaters runoff regime - case study upper Otava River basin. In *Magdeburger Gewässerschutzseminar 2008*. PMG 2008 and IKSE, Magdeburg, 2008, s. 193.

KOCUM, J., JANSKÝ, B. (2008): Peatbogs hydrological function: case study of upper Otava River basin. In Varis, O., Tortajada, C., Chevallier, P., Pouyau, B., Servat, E. (Eds.): *Global changes and water resources: confronting the expanding and diversifying pressures. XIIIth World Water Congress [CD-ROM]*. 1.-4. September 2008, VERSeau, Montpellier. ISBN pending

KOCUM, J., JANSKÝ, B. (2008): Possibilities of headwaters retention potential enhancement - case study upper Otava River basin. In Brilly, M. and Šraj, M. (Eds.): *XXIVth Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management [CD-ROM]*. 2.-4. June 2008, Slovenian National Committee for the IHP UNESCO, Ljubljana. ISBN 978-961-91090-2-1

KOCUM, J., JANSKÝ, B. (2008): Possibilities of headwaters retention potential enhancement - case study upper Otava River basin. In Brilly, M. and Šraj, M. (Eds.): *XXIVth Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management. Conference abstracts*. Ljubljana, 2008, s. 53. ISBN 978-961-91090-3-8

KOCUM, J., JANSKÝ, B. (2007): Water retention in river headstream areas as an instrument of integrated flood protection and drought problem solving. In *Earth: Our Changing Planet. Sborník příspěvků konference IUGG XXIV General Assembly Earth: our changing planet*. USMA, Perugia, Itálie, s. 887. ISBN 978-88-95852-25-4

JANSKÝ, B., ENGEL, Z., ŠOBR, M., KOCUM, J., YEROKHIN, S. (2007): Dangerous lakes in Kyrgyzstan - case study Petrov Lake (Tien-Shan). In *Earth: Our Changing Planet. Sborník příspěvků IUGG XXIV General Assembly Earth: our changing planet*. USMA, Perugia, Itálie, s. 954. ISBN 978-88-95852-25-4

KOCUM, J., JANSKÝ, B. (2007): Retention potential in river headstream areas. In *Ecohydrological Approaches to Wise Use, Restoration, Management and Conservation of Wetlands*. Třeboň, 2007, s. 8-16.

JANSKÝ, B., KOCUM, J. (2006): Hydrologický režim v pramenných oblastech toků (Hydrologická funkce rašeliníšť). In Langhammer, J. (Ed.): *Upravenost toků a údolní nivy jako faktor ovlivňující průběh a následky povodně 2006 v povodí Sázavy*. PŕF UK, Praha, s. 153-160.

KOCUM, J., JANSKÝ, B., ŠOBR, M., ČESÁK, J. (2006): Lakes in the Czech Republic - preparation of the Atlas. In *Ecosystem changes and their ecological and socioeconomic impacts. Sborník příspěvků konference European Large Lakes Symposium*. Tartu, 2006, s. 63.

JANSKÝ, B., ŠOBR, M., ČESÁK, J., KOCUM, J. (2006): Lake Petrova (Tien Shan, Kyrgyzstan) – danger of a large-scale ecological disaster. In *Ecosystem changes and their ecological and socioeconomic impacts. Sborník příspěvků konference European Large Lakes Symposium*. Tartu, 2006, s. 64.

KOCUM, J. (2006): Hydrological regime in the upper part of the Regen River catchment. In *3rd International Symposium on Integrated Water Resources Management*. Bochum, 2006.

KOCUM, J. (2006): Hydrological regime and the analysis of the catastrophic flood in August 2002 in the upper part of the Regen River catchment. In *12. Magdeburský seminář o ochraně vod*. Český Krumlov, 2006, s. 187.

JANSKÝ, B., ŠOBR, M., ČESÁK, J., KOCUM, J., HRDINKA, T., POŠTA, P. (2006): Jezera České republiky: současné a budoucí využití s ohledem na Rámcovou směrnici o vodách. In *12. Magdeburský seminář o ochraně vod*. Český Krumlov, 2006, s. 25-27.

KOCUM, J., JANSKÝ, B., ŠOBR, M., ČESÁK, J. (2006): Současný limnologický výzkum glaciálních jezer na české straně Šumavy. In *Geografie: minulost, přítomnost, budoucnost*. Praha, 2006, s. 10.

KOCUM, J. (2006): Režim odtoku a analýza katastrofické povodně v srpnu 2002 v českém povodí Regenu. In *Geografie: minulost, přítomnost, budoucnost*. Praha, 2006, s. 10.

Závěrečné zprávy

KOCUM, J. (2010): Retenční potenciál v pramenných oblastech řek jako nástroj integrované protipovodňové ochrany a řešení problému sucha. *Závěrečná zpráva z projektu GA UK č. 2371/2007*. PŕF UK v Praze, Praha, 64 s.

ČERNÝ, M., ŠOBR, M., ENGEL, Z., KOCUM, J., HRDINKA, T., JANSKÝ, B., HŪLKA, L., ŽÁČEK, M., (2010): Analýza rizik a omezení důsledků protržení hrází vysokohorských jezer. *Závěrečná zpráva projektu rozvojové spolupráce mezi Českou a Kyrgyzskou republikou RP9/2007*, GEOMIN družstvo, Jihlava, 2 části + 20 příloh, 242 s.

JANSKÝ, B., ENGEL, Z., KOCUM, J., ŠEFRNA, L., ČESÁK, J. (2009): Přírodní ohrožení pramenných oblastí Amazonky v důsledku globálních změn klimatu. *Závěrečná zpráva z projektu GA ČR 205/07/0831*.

KOCUM, J., JANSKÝ, B. (2008): Retence vody v pramenných oblastech vodních toků. In Langhammer, J. (Ed.):

Změny v krajině a povodňové riziko. Závěrečná zpráva z projektu VaV SM/2/57/05. PŘF UK, Praha, s. 41-58.

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. Závěrečná zpráva z projektu VaV SM/2/57/05. PŘF UK, Praha, s. 80-85.*

JENÍČEK, M., KOCUM, J., JELÍNEK, J., JANSKÝ, B. (2008): Monitoring sněhové pokrývky v pramenných oblastech toků. In Langhammer, J. (Ed.): *Změny v krajině a povodňové riziko. Závěrečná zpráva z projektu VaV SM/2/57/05. PŘF UK, Praha, s. 148-159.*

ČESÁK, J., ŠOBR, M., JENÍČEK, M., KOCUM, J., NĚMEČKOVÁ, S. (2008): Geodetická měření pro sestavení hydrologických modelů. In Langhammer, J. (Ed.): *Změny v krajině a povodňové riziko. Závěrečná zpráva z projektu VaV SM/2/57/05. PŘF UK, Praha, s. 269-274.*

SEIFERT, S., KOCUM, J. (2007): Lokalisierung und Vermessung von potentiellen Standorten für dezentrale Hochwasserrückhaltebecken im Einzugsgebiet der Flöha. Schlussbericht des Projekts INTERREG IIIA DINGHO - Dezentraler, integrierter und grenzübergreifender Hochwasserschutz in den deutsch-tschechischen Einzugsgebieten der Kammlagen des Mittleren Erzgebirges. FU Berlin.

ČERNÝ, M., JANSKÝ, B., ŠOBR, M., ENGEL, Z., ČESÁK, J., KOCUM, J., ŽÁČEK, M., JEROCHIN, S. (2006): Monitoring vysokohorských ledovcových jezer a ochrana obyvatelstva před katastrofálními následky povodní vzniklých průtržemi morénových hrází. *Závěrečná zpráva projektu rozvojové spolupráce mezi Českou a Kyrgyzskou republikou RP/27/2004, GEOMIN družstvo, Jihlava, 2 části + přílohy, 206 s.*

JANSKÝ, B., ŠOBR, M., KOCUM, J. ET AL. (2006): Atlas jezer České republiky – morfometrické, sedimentologické a limnologické poměry jednotlivých genetických typů jezer. *Závěrečná zpráva z projektu GA ČR 205/03/1264.*

JANSKÝ, B. ET AL. (2003): Jezera České republiky. *Závěrečná zpráva z projektu GA UK 182/2000/B-GEO/PŘF.*

Diplomová práce

KOCUM, J. (2004): Limnologická studie Čertova jezera a režim odtoku v českém povodí Řezné. *Magisterská práce, PŘF UK, Praha, 210 s.*