

PRVNÍ TŘI ROKY HYDROLOGICKÝCH AKTIVIT NA POVODÍ ČERNÉ OPAVY COBY PŘÍSPĚVEK K VÝZKUMU VLIVU VEGETACE NA ODTOKOVÉ POMĚRY POVODÍ A STUDIUM VARIABILITY PŘÍSPĚVKOVÝCH PLOCH POVODÍ

THE FIRST THREE YEARS OF HYDROLOGICAL ACTIVITIES IN THE ČERNÁ OPAVA RIVER BASIN
AS A CONTRIBUTION TO RESEARCH INTO THE INFLUENCE OF VEGETATION ON THE RUNOFF
CONDITIONS OF THE RIVER BASIN AND THE STUDY OF THE VARIABILITY OF THE CONTRIBUTORY
AREAS OF THE RIVER BASIN

JAN UNUCKA

Český hydrometeorologický ústav Ostrava, K Myslivně 2182/3, 708 00 Ostrava, Czech Republic

✉ e-mail: jan.unucka@chmi.cz

ABSTRACT

The presented article deals with the catchments of three streams, which are right-hand tributaries of the Černá Opava river, where new forest-hydrology research activities of the Forestry and Game Management Research Institute and Czech Hydrometeorological Institute begun. The focus of the work in the years 2019–2021 was on field research and measurements, spatial analyses in GIS and mathematical modelling using rainfall-runoff and hydrodynamic models, thus we can mention HEC-HMS, SIMWE and MIKE SHE/11 models among others. The article provides an overview of current outputs from these activities. It also outlines the issues of the impact of land use, forest health including its extreme phases on hydrological conditions and the response of river basins to precipitation inputs. Besides that, the issue of variable contribution areas of the river basins and the possibilities of their research at the level of monitoring (e.g. measurement of flows and volumetric soil moisture) and mathematical modelling using complex fully distributed precipitation-runoff models are discussed as well. At the same time, basic hydrological characteristics of the studied catchments were provided.

For more information see Summary at the end of the article.

Klíčová slova: lesnická hydrologie; malá horská povodí; hydrometrie; GIS; hydrologické modelování

Key words: forest hydrology; small mountain catchments; hydrometry; GI; hydrologic modelling

ÚVOD

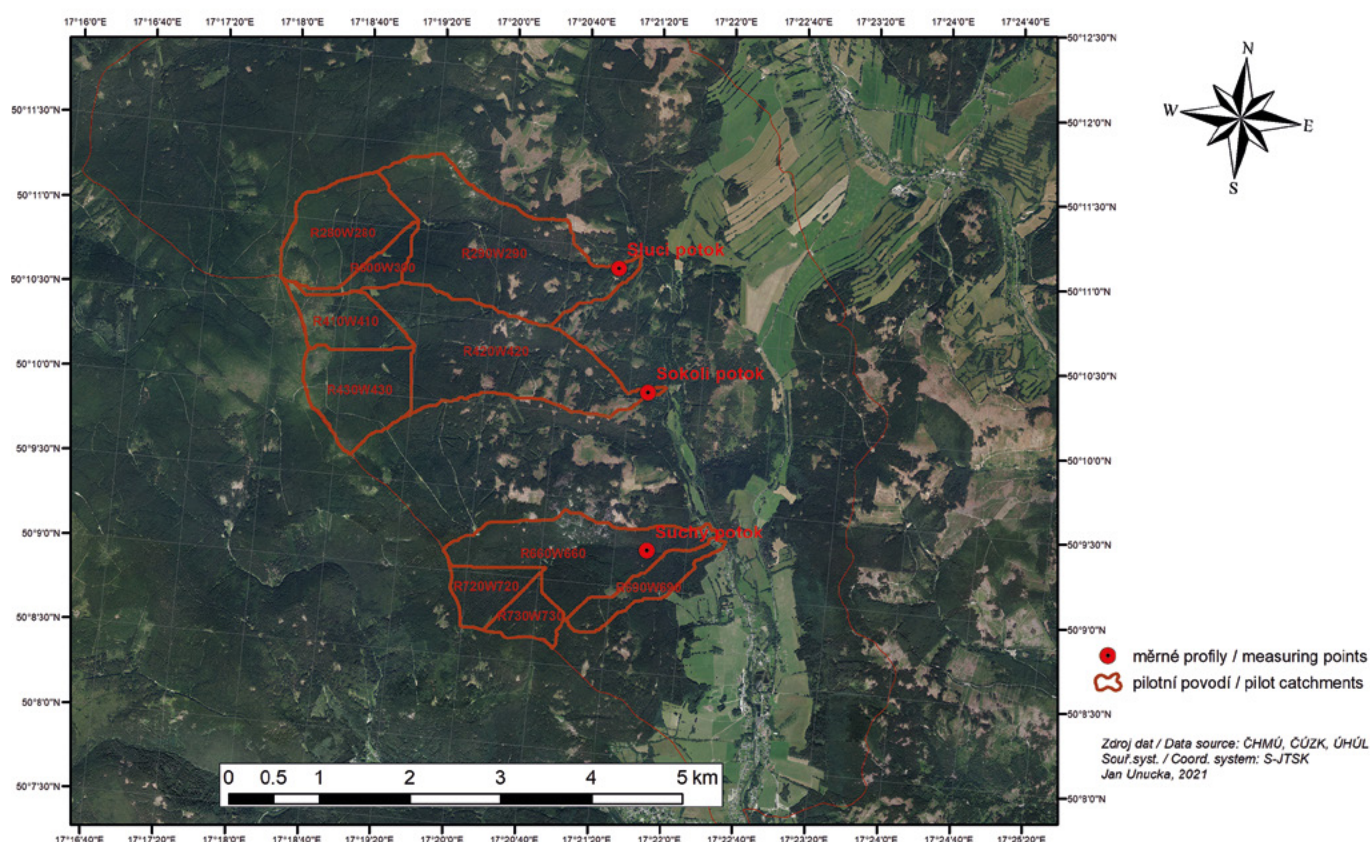
Význam malých lesních povodí pro lesnicko-hydrologický výzkum se stal novým fenoménem 20. století (viz např. SWANK, CROSSLEY 1988; SWANK, WEBSTER 2014) a i v současnosti nenalezneme příliš mnoho argumentů proti zachování a dalšímu rozvoji těchto výzkumných ploch. Experimentální výzkum a měření vybraných hydrometeorologických prvků *in situ* byl postupem času doplňován technologiemi GIT a simulačními nástroji hydrologického modelování, které přinesly zejména možnost predikce a simulace dopadů alternativních scénářů ve virtuální realitě, tedy aniž by došlo k reálným zásahům do porostu nebo dalších klíčových parametrů povodí (terénní úpravy, budování vodních děl, protierozních opatření apod.). Metodicky vzato se však nejedná o soupeření různých přístrojů a technologií, ale o snahu o jejich logické a racionální propojení. Kvalita a přesnost hydrologického

modelu je do značné míry úměrná kvalitě a přesnosti vstupních dat, a naopak efektivita reálných zásahů v povodí může být odvislá od výstupních dat GIS a hydrologických modelů. Dalším podstatným faktorem je i ekonomický aspekt. Z hlediska provozních nákladů je dlouhodobý provoz experimentálních povodí poměrně náročnou záležitostí a ze samotné podstaty výzkumu zároveň vyplývá, že použitelné výsledky a zejména souvislosti jsou produktem až dlouhodobého provozu těchto povodí. Simulační aparát hydrologických modelů a GIS pak část těchto nákladů minimalizuje, protože po kalibraci matematických modelů lze značný počet výstupů obdržet z této infrastruktury formou geodat, kdy měření *in situ* často pouze verifikujeme a dále kalibrujeme použité simulační nástroje. Význam GIS a matematických modelů na úrovni lesnické hydrologie a experimentálních povodí stejně jako v celém lesnickém a vodohospodářském rezortu diskutuje i CHANG

(2006, 2013) ve druhém a třetím vydání již klasické monografie Forest Hydrology, včetně stručného seznamu vhodných programových prostředků pro hydrologické modelování a modelování fluvialní eroze na experimentálních povodích. S uvedeným seznamem lze jen souhlasit (uvedeny jsou hydrologické modely jako HSPF, SWAT nebo WEPP), nicméně autorovou ambicí zřejmě nebylo přinést vyčerpávající seznam, takže bezesporu komplexní a velice mocné nástroje v kategorii srážkoodtokových modelů typu MIKE SHE nebo HEC-HMS (viz např. SINGH 2006 nebo BEVEN 2012) v tomto seznamu nenalezneme. Předložený článek si klade za cíl shrnout epizodu zhruba prvních tří let lesnicko-hydrologického výzkumu na pilotních povodí Černé Opavy (obr. 1), který sestával z terénního měření (geodetická a hydrometrická měření), prostorové analýzy v GIS a hydrologického modelování. Mezi analyzovanými faktory jsou i proměnlivé příspěvkové plochy, které krom terénních měření pomáhají identifikovat právě komplexní hydrologické modely, a dále pak mikrodrsnost reliéfu, kterou lze spolu s hydrologickým modelováním stanovit pomocí analýz digitálního modelu reliéfu (DMR) v GIS. Podstatným aspektem všech těchto přístupů je efekt měřítka, protože na malých experimentálních povodích se uplatňují či přímo dominují faktory, jež se na povodích vyššího řádu stírají v kombinaci s ostatními faktory, které postupně převažují. Kupříkladu u regionálních povodí se vliv reliéfu uplatňuje spíše tvarem údolnic a morfologií inundačních území než samotnou mikrodrsností reliéfu, viz např. WILSON, GALLANT (2000) nebo BROWN, QUINE (1999).

Fenomén proměnlivé příspěvkové plochy a mikrodrsnosti reliéfu

Proměnlivá příspěvková plocha, tedy v čase a s intenzitou deště a infiltrace měnící se plocha, kterou povodí přispívá k přímému odtoku, a mikrodrsnost povrchu (tzn. systém drobných terénních depresí, rýh a elevací) povodí jsou faktory, jimiž se zabýval a zabývá již nezanedbatelný počet autorů. Na velkých povodích I. až III. řádu v rámci této dvojice bezesporu dominuje faktor proměnlivé příspěvkové plochy povodí. Na malých povodích, mezi které můžeme bezesporu zařadit i ta zvolená, se stále více uplatňuje i druhý faktor, zejména pak u povrchového odtoku (*overland flow*). Mezi zásadní studie či práce monografického a komplexního charakteru lze zařadit práce KIRKBY (1978), HEWLETT (1986), KREČMER et al. (2003) nebo BEVEN (2012). Ve své podstatě tento fenomén zcela logicky a očekávaně odráží časovou a prostorovou nelinearitu odezvy povodí na příčinnou srážku, dále také časovou a prostorovou nelinearitu přímého odtoku v rámci srážkoodtokových epizod a konečně rovněž dynamiku retence vody v povodí, akumulace půdní vláhy, podzemní vody a základního odtoku v bezesrážkových obdobích. Dlužno dodat, že ani případové studie z posledních let nepřinášejí definitivní rozluštění tohoto fenoménu, jakkoliv se soustředí na faktor „staré vody“ v povodí a její role během srážkoodtokových epizod (TETZLAFF et al. 2009; SEIBERT et al. 2011; KLAUS, JACKSON 2018), přičemž v principu to ani nelze očekávat – geologické, morfometrické, půdní, klimatické, hydrologické a biotické podmínky na povodích nelze jednoduše generalizovat a kategorizovat



Obr. 1.
Umístění měrných profilů na povodích Slučího, Sokolího a Suchého potoka
Fig. 1.
Measuring profiles in the Slučí, Sokolí and Suchý potok catchments

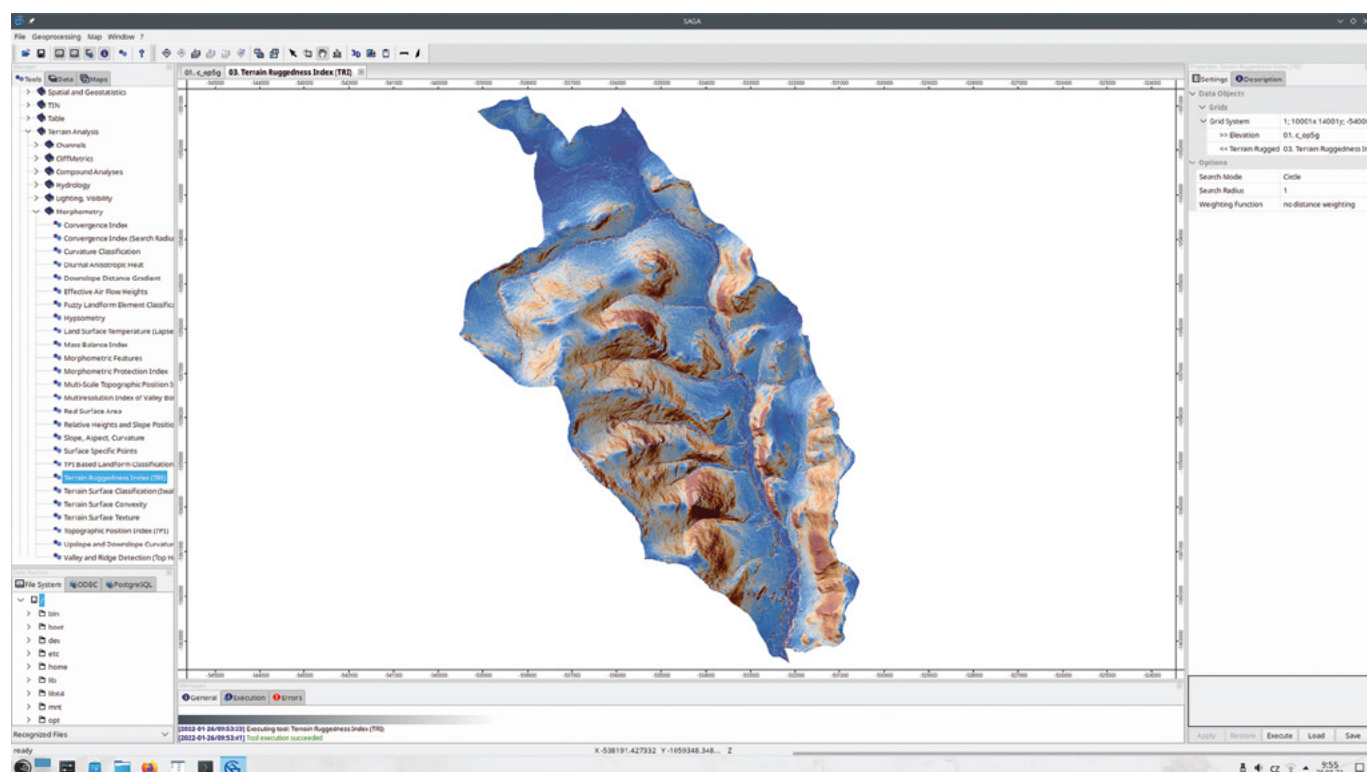
v rámci geomorfologických celků, povodí III. řádu či dokonce prostorově rozlehlejších jednotek. Ve své podstatě je výslednicí interakce fyzicko-geografických poměrů povodí s příčinnou srážkou a její časoprostorovou variabilitou v rámci povodí. Pokud se zamyslíme nad geomorfologickými či morfometrickými parametry, nalezneme hned několik problémů ke studiu a řešení. Bezsporně jsou velice důležité z hlediska formace povrchového odtoku (sklony a délky svahů, horizontální a profilové křivosti, vliv mikroreliefu, viz např. obr. 2 a 3) a vybraných parametrů hydrografické sítě (tvar a hustota, podélné a příčné profily údolnic a vodních toků apod.). Další nezanedbatelnou skupinou faktorů, kterou morfometrie povodí ovlivňuje, je skupina klimatických faktorů. Sem můžeme zařadit sklony a expozice svahů, které ovlivňují návětrný efekt, akumulaci a ablací sněhové pokrývky, evaporaci a dynamiku půdní vláhy. Půdní vlaha a hydrologické poměry území jsou pak spojnicí k další skupině faktorů, do které můžeme zařadit mocnost půdního profilu, půdní druhy a typy, infiltraci a perkolaci povrchové vody z dešťových srážek nebo z tání sněhové pokrývky, dostupnost vody pro lesní porosty a obecně fytoocenózy daného území, doplňování podzemních vod mělkých horizontů, jakožto i retenční vodní kapacitu půdy a aktuální stav půdních horizontů včetně stavu humusové vrstvy. Mezi nejdůležitější mechanismy pro pochopení těchto faktorů a zejména systémových vazeb patří přístrojová technika a metody pro monitorování vybraných prvků srážkoodtokového procesu, software a metody prostorových analýz v GIS (které využívají data z pozemního monitoringu i DPZ) a konečně software a metody hydrologického modelování. Tento článek se za použití těchto nástrojů a metod snaží o studium fenoménu variabilní příspěvkové plochy na povodí Černé Opavy (2-02-01-0030). Výsledky byly mimo jiné konfrontovány s obdobnými studiemi z výzkumných povodí Coweeta a Hubbard Brook v Apalačském pohoří (SWANK, CROSSLEY 1988; SWANK, WEBSTER 2014), Québecu (JAMES, ROULET 2007 nebo Jizerských horách (KULASOVÁ et al. 2014). Pochopení alespoň základních mechanismů fungování variabilních příspěvkových ploch povodí je důležité nejen z hlediska formace povodňových vln během extrémních odtokových fází, ale také během bezsrážkových a suchých epizod, kdy zásoby vody v povodí mohou a často jsou zásadním faktorem pro zdravotní stav lesních porostů, dalších biocenóz a změn vybraných parametrů půd v daném povodí, často i ireverzibilních (WHITAKER et al. 2003; GHIMIRE et al. 2013 nebo GUSTAFSON et al. 2016). O vlivu mikroreliefu se v literatuře intenzivněji diskutuje až s příchodem laserového skenování (lidar) a DMT o vysokém rozlišení (např. DMR 5G Českého úřadu zeměměřičského a katastrálního, ČÚZK), protože u DMT interpolovaných z vrstevnic apod. (např. ZABAGED ČÚZK) nebylo možné informace o mikrodrsnosti a elementárních formách reliéfu získat. Tyto faktory jsou popsány v pracích různých autorů (PECKHAM, JORDAN 2007; HENGL, REUTER 2008; PETRASOVA et al. 2018).

Popis pilotního povodí

Pilotní povodí Černé Opavy (2-02-01-0030) je navzdory vcelku intenzivní zemědělské a manuální činnosti v minulosti (probíhající od středověku s vrcholem a následným útlumem v 19. století) jedním z nejčistších povodí na rozhraní Hrubého a Nízkého Jeseníku. Velký potenciál z hlediska jak ochrany přírody, tak lesnictví a lesnické hydrologie představují maloplošná chráněná území v tomto povodí, konkrétně NPR Rejvíz s horskými rašeliništi a blatkovými porosty a PR Suchý vrch s kamennými moři z bloků spodnosedovského křemence a reliktními bory. Průměrná nadmořská výška povodí je 799 m n. m., průměrná sklonitost povodí je 11°. Dle Quittovy klasifikace území náleží rovněž oblastem CH4, CH6 a CH7 (DEMEK et al. 1992; WEISSMANOVÁ et al. 2004). Orientace hlavní údolnice Černé Opavy stejně jako prakticky celého povodí je ve směru SSZ – JJV. Povodí náleží do geomorfologických podcelků Medvěžská hornatina (4c-7b), Rejvízská hornatina (4c-6b) a Hynčická hornatina (4c-6c).

Stran geologické stavby je povodí situováno do desenské klenby sílezika s tím, že na celém povodí dominují metamorfované horniny (muskovitické a biotitické fylity, metagranitoidy, kvarcity, amfibolit), místy s příměsí méně metamorfovaných vulkanitů. V oblasti Zámecského vrchu (na kterém nalezneme i zříceninu hradu Koberštejna) se v podloží nalézají blastomylonity zmiňované desenské skupiny. V masívu Jeleního vrchu nalezneme i výchozy krystalického vápence vrbenské skupiny. Zde se již geologicky projevuje rozhraní Hrubého a Nízkého Jeseníku a východně od této linie se v okrajových partiích povodí objevují paleozoické droby, břidlice a prachovce, které jsou typické pro kulm Nízkého Jeseníku. Kvartérní sedimenty jsou pak výrazněji vyvinuty zejména v deluviích, v okolí vodních toků a v oblasti rašeliníšť Rejvízu (Velké a Malé mechové jezírko). V rámci hydrogeologické rajonizace ČR povodí náleží k rajónu 6431 – Krystalinikum severní části Východních Sudet, jihovýchodní část. Transmisivita kolektorů se v území pohybuje mezi 1 až cca 50 m².d⁻¹, náleží tedy do tříd transmisivity III (střední transmisivita) a IV (nízká transmisivita), specifická vydatnost pak mezi 1 až 5 l.s⁻¹ pro formace s puklinovým a průlinovým typem proudění (KRÁSNÝ et al. 2012). Těsně za rozvodnicí Černé Opavy jsou taktéž v provozu prameny v rámci monitorovací sítě podzemních vod ČHMÚ, jedná se o PO4008 (Bublavý pramen u Rejvízu), PO4015 (Horní Údolí) a PO0509 (Heřmanovice – Roviny).

Z půd jsou opět nejvíce zastoupeny kambizemě, které ve vyšších polohách přecházejí v podzoly, v nižších partiích údolnic hlavních vodních toků jsou fluvizemě, v místech výskytu rašeliníšť pak organozemě typické a glejové, na které navazují kyselé pseudoglejové kambizemě a ojediněle i samotné gleje (WEISSMANOVÁ et al. 2004). U půd zcela dominuje kyselá reakce a malá sorpční kapacita. U obou mechových jezírek je patrná progradace zamešňování, přičemž to u Velkého mechového jezírka prokázalo i měření batygrafie sonarem a geodetickou latí provedené v říjnu 2018 pobočkami ČHMÚ Ostrava a Brno (dosud nepublikováno). Krom v rámci celého povodí dominantních lesních dřevin (*Picea excelsior*, *Fagus sylvatica*) zde nalezneme i borovici blatku (*Pinus uncinata*) a břízu karpatskou (*Betula carpatica*) na rašeliníštích v povodí Bublavého potoka. Ze zajímavých druhů keřového a bylinného patra můžeme jmenovat rosnatku okrouhlolistou (*Drosera rotundifolia*), klikvu bahenní (*Oxycoccus palustris*). Okraje vrchovišť již přechází v rašelinou smřčinu (*Sphagnum Piceetum*). Dále je místy k nalezení i jesenický fenotyp modřínu opadavého (*Larix decidua*). Zajímavými faunistickými prvky zájmového povodí je výskyt netopýra severního (*Epistictus nilssonii*), sýce rousného (*Aegolius funereus*), kulíška nejmenšího (*Glaucidium passerinum*), čapa černého (*Ciconia nigra*) či chřástala polního (*Crex crex*) (WEISSMANOVÁ et al. 2004). Opakovaně byli během terénních měření pozorovány druhy jako krkavec velký (*Corvus corax*) či včelojed lesní (*Pernis apivorus*), který sem pravděpodobně zalétá z Vidnavska a Javornicka. V jednom případě i sokol stěhovavý (*Falco peregrinus*) a raroh velký (*Falco cherrug*). Povodí Černé Opavy náleží k přírodním lesní oblastem (PLO) 27 (Hrubý Jeseník) a 28 (Předhoří Hrubého Jeseníku), les pokrývá 84 % jeho plochy. V povodí je zastoupen 3. až 8. LVS. Z hlediska lesnické typologie jsou nejvíce zastoupeny živné řady S a B, dále pak v okolí vodních toků lužní řada L a kyselá řada K v okolí Rejvízu. Povodí Černé Opavy je vybaveno hydrologickou stanicí Černá Opava / Mnichov (DBČ 258100), kterou lze z hlediska příspěvků z mezipovodí označit za závěrový profil povodí. Stanice je od roku 2008 vybavena automatickou jednotkou Fiedler M4016 s přenosem signálu pomocí sítě mobilních operátorů. Celková délka pozorování stanice činí 36 let, přičemž pozorování vodních stavů probíhá od roku 1982 a vyhodnocování průtoků od roku 1983. Základní hydrologické charakteristiky profilu dle normy ČSN 75 1400 shrnuje tab. 1. Specifické odtoky z povodí se pohybují mezi hodnotami 1,5 až 7 l.s⁻¹.km⁻². V povodí se vyskytovalo i několik náhonů, mezi ty nejvýznamnější můžeme zařadit náhon převádějící vodu z Černé Opavy do Horního Údolí a náhon u Brandlova mlýna (pily),

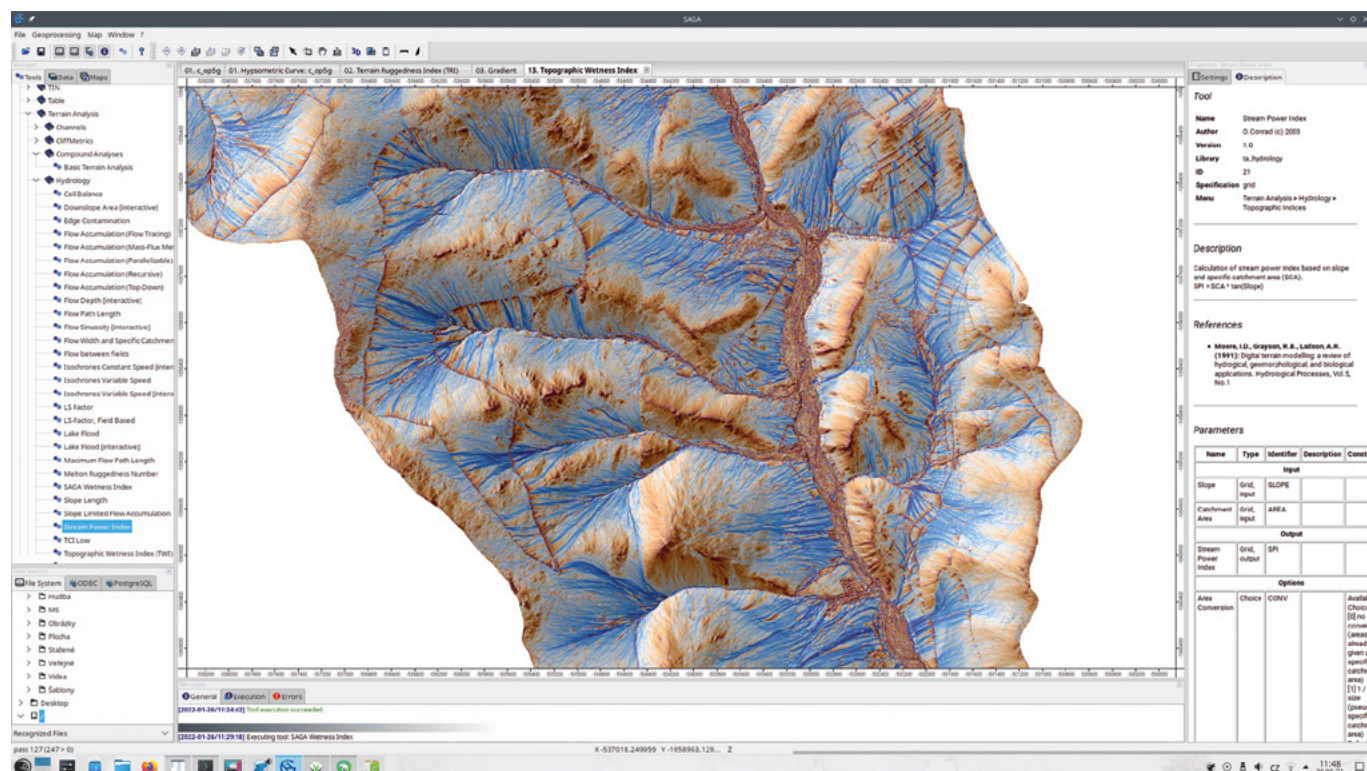


Obr. 2.

Drsnost reliéfu povodí Černé Opavy odvozená z DMR 5G ČÚZK v SAGA GIS

Fig. 2.

Terrain roughness in the Černá Opava basin derived from DMR 5G by ČÚZK in SAGA GIS



Obr. 3.

Vlhkostní index povodí Černé Opavy odvozený z DMR 5G ČÚZK v SAGA GIS

Fig. 3.

Wetness index in the Černá Opava catchment derived from DMR 5G by ČÚZK in SAGA GIS

příčemž z obou objektů zbyla jen torza (JOANIDIS 2007). Koncem 80. let 19. století bylo lesnickým technickým oddělením pro stavby na bystřinách (Forsttechnische Abteilung für Wildbachverbauung) při tehdejší ministerstvu vnitra připraveno a realizováno několik projektů hrazení a dalších úprav toků v povodích Bílé, Střední a Černé Opavy (BROSCH 2005).

Na obr. 4 jsou srovnány podélné profily údolnic Slučího, Sokolího, a Suchého potoka, na obr. 5 je pak znázorněna hypsografická křivka povodí Černé Opavy a obr. 6 ukazuje azimuty úseků vodních toků v zájmovém povodí.

Použitá metodika a nástroje

Celou studii lze rozdělit do několika základních etap, které se nadále vzájemně prolínají:

1. Geodetická a hydrometrická měření, primární a sekundární zpracování hydrologických dat (tzn. měřicích kampaní i dlouhodobého monitoringu).
2. Analýzy území v GIS, tvorba odvozených geodat a GIS vrstev.
3. Výstavba, kalibrace a provoz hydrologických modelů (zejména plně distribuovaných srážkoodtokových).

Tab. 1.

Základní hydrologické údaje povrchových vod povodí Černé Opavy odvozené v aplikaci AGPosudek pro ArcGIS 10.6 z katastru základních údajů povrchových vod 1981–2010 dle platných metodik ČHMÚ pro odvozování charakteristik povrchových vod

Tab. 1.

Basic hydrological characteristics of surface waters for the Černá Opava basin derived in the AGPosudek for ArcGIS application from the 1981–2010 reference period based on the official methods of CHMI for the surface waters characteristics derivation

Název lokality/ Locality name	Hydrologické pořadí/ Hydrological order	Q _A	Q ₁	Q ₂	Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀
Černá Opava – stanice ČHMÚ Mnichov	2-02-01-0030	1.19	4.83	9.06	17.0	25.0	34.8	50.8	65.6
			Q _{30d}	Q _{60d}	Q _{90d}	Q _{120d}	Q _{150d}	Q _{180d}	Q _{210d}
			1.62	1.17	0.959	0.814	0.715	0.657	0.589
		A [km ²]	Q _{240d}	Q _{270d}	Q _{300d}	Q _{330d}	Q _{355d}	Q _{364d}	-
			50.5	0.525	0.469	0.404	0.348	0.255	0.190
									-

Pozn.: Veškeré údaje Q jsou uvedeny v m³.s⁻¹.

Note: All discharge values are in the m³.s⁻¹ units.

Tab. 2.

Základní hydrologické údaje povrchových vod dílčích pilotních povodí odvozené v aplikaci AGPosudek pro ArcGIS 10.6 z katastru základních údajů povrchových vod 1981–2010 dle platných metodik ČHMÚ pro odvozování charakteristik povrchových vod

Tab. 2.

Basic hydrological characteristics of surface waters for the pilot subbasins derived in the AGPosudek for ArcGIS application from the 1981–2010 reference period based on the official methods of CHMI for the surface waters characteristics derivation

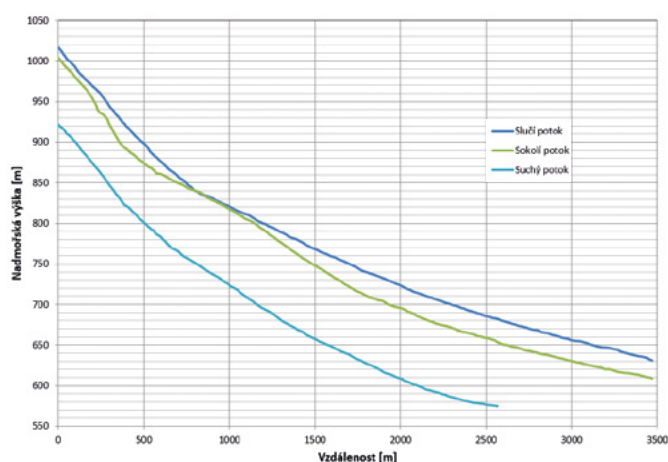
N-leté Q 2-02-01-0030-00-0-60/Year Return Period 2-02-01-0030-00-0-60										
Vodní tok/ Stream name	Profil/Profile	Plocha povodí [km ²]/ Catchment area [sq. km]	QA	1	2	5	10	20	50	100
Suchý potok	měřicí bod/measurement profile	1,90	0,032	0,643	1,62	3,11	4,35	5,69	7,62	9,19
Sokolí potok	měřicí bod	3,98	0,073	1,04	2,63	5,03	7,05	9,22	12,3	14,9
Slučí potok	měřicí bod	4,09	0,075	1,04	2,63	5,03	7,05	9,22	12,3	14,9
M-denní Q 2-02-01-0030-00-0-60/Days of Occurrence 2-02-01-0030-00-0-60										
			30	60	90	120	150	180	210	
Suchý potok	měřicí bod	1,90	0,060	0,043	0,036	0,030	0,026	0,024	0,022	
Sokolí potok	měřicí bod	3,98	0,136	0,099	0,081	0,069	0,06	0,055	0,050	
Slučí potok	měřicí bod	4,09	0,139	0,101	0,083	0,070	0,062	0,056	0,051	
			240	270	300	330	355	364		
			0,019	0,017	0,015	0,013	0,009	0,007		
			0,044	0,039	0,034	0,029	0,021	0,016		
			0,045	0,040	0,034	0,030	0,022	0,016		

Poznámka: Veškeré údaje Q jsou uvedeny v m³.s⁻¹

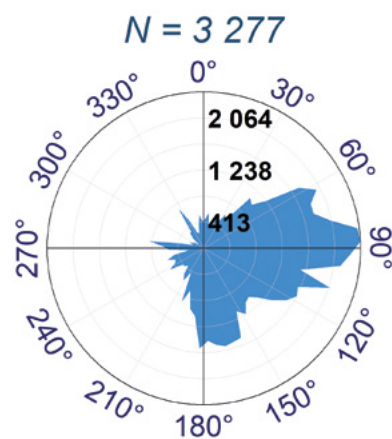
Note: All discharge values are in the m³.s⁻¹ units.

Geodetické zaměření objektů všech pilotních lokalit proběhlo s využitím konvenčních geodetických přístrojů a GNSS technologií (z anglického Global Navigation Satellite System). Pro geodetická měření byly použity přístroje Leica TS07 (totální stanice) a GS07 (geodetická GNSS), které umožňují zaměřit objekty s velmi vysokou (subcentimetrovou) polohovou a výškovou přesností. Tato přesnost je ovlivněna kvalitou přijímaného signálu dostupných družic a signálu mobilních operátorů pro přijímání korekčních dat z referenčních stanic CZEPOS (Czech Positioning System), což je síť permanentních stanic GNSS, kterou spravuje a provozuje ČÚZK. Jelikož většina plochy zájmových povodí je situována v zalesněném území, probíhalo měření na těchto lokalitách v měsících mimo hlavní vegetační sezónu, aby byla zajištěna co možná nejvyšší kvalita signálu, a tím dosaženo nejvyšší možné přesnosti. Nově naměřenými daty byly doplněny a upřesněny stávající

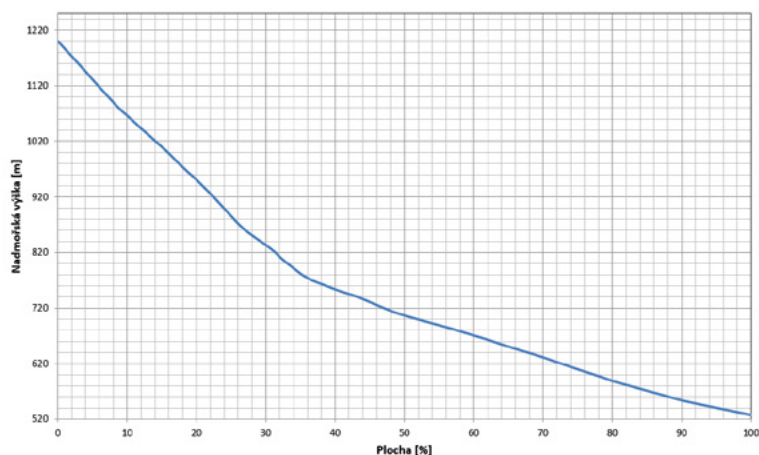
polohopisné a výškopisné údaje pilotních lokalit (DMR5G ČÚZK) a zároveň vytipovány lokality pro měření půdních vlhkostí. Pomocí GNSS a ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler, viz dále v textu) technologií byly taktéž zaměřeny vybrané příčné profily koryt vodních toků, přičemž takto získaná výsledná data sloužila jako další podklad pro schematizaci hydrologických modelů. Hydrometrická měření proběhla a nadále probíhají za využití konvenčních hydrometrických vrtulí, zejména OTT C2 pro nižší průtoky, indukčního přístroje MF-Pro (OTT)/) a akustického přístroje FlowTracker2 (YSI SonTek) a konečně plovákových ADCP RDI Teledyne StreamPro (RDI Teledyne a SonTek RiverSurveyor M9 (YSI SonTek). Vybraná batygrafická a geometrická data z ADCP měření byla importována do schematizací hydraulických modelů pomocí vlastní vyvinuté aplikace (UNUCKA 2014). Vybrané hydropedologické charakteristiky byly měřeny přístrojem na



Obr. 4.
Podélné profily Slučího, Sokolího a Suchého potoka
Fig. 4.
Longitudinal profiles of the observed streams (Nadmořská výška = Altitude; Vzdálenost = Distance)



Obr. 6.
Azimuty vodních toků povodí Černé Opavy
Fig. 6.
Azimuths of the streams in the Černá Opava basin



Obr. 5.
Hypsografická křivka povodí Černé Opavy
Fig. 5.
Hypsographic curve of the Černá Opava basin (Nadmořská výška = Altitude; Plocha = Area)

měření objemové půdní vlhkosti Decagon ProCheck (Decagon). Měření profilových rychlostí a Q výše uvedenými přístroji spolu s daty z dlouhodobého stacionárního monitoringu ve staniční síti sloužilo pro následné parametrizace a kalibrace hydrologických modelů. Vyhodnocení všech měření probíhala dle platných metodických pokynů pro hydrometrická měření a primární zpracování hydrologických dat a výsledky, které nešly zahrnout do požadovaných tříd přesnosti, byly z dalšího zpracování vyřazeny (BOITEN 2008).

Průzkum pilotních povodí a lokalit v programových prostředcích GIS využívaly zejména nástrojů pro analýzy digitálního modelu reliéfu (DMR), popř. povrchu (DMP). V rámci studia příspěvkových ploch povodí představují důležité nástroje moduly SAGA Wetness Index a Topographic Wetness Index v SAGA GIS a GRASS GIS (varianta TOPMODEL, tzn. topografický index dle BEVEN 2012), pomocí kterých byly v první etapě přímo vytipovány hlavní příspěvkové zóny povodí. Ty pak byly v dalších etapách ověřeny pomocí výše jmenovaných hydrometrických měření a simulacemi odezvy povodí na příčinnou srážku pomocí plně distribuovaných srážkoodtokových modelů SIMWE a MIKE SHE.

Pro samotné simulace srážkoodtokového procesu, hydrologické bilance a příspěvkových ploch povodí byly použity semidistribuovaný model HEC-HMS, distribuované modely SIMWE, HEC-HMS a komplexní distribuovaný model MIKE SHE s napojením na hydraulický model MIKE 11. V rámci této studie byly použity metody SCS-CN a jednotkového hydrogramu spolu s metodou lineární nádrže a kinematické vlnové aproximace a konečně s difúzní vlnovou aproximací pro řešení povrchového odtoku (diffusive wave 2D overland flow). Plně distribuovaný srážkoodtokový model SIMWE je jedním z nejčastěji využívaných srážkoodtokových modelů v rámci platformy GRASS GIS / QGIS (UNUČKA 2014; FÁREK et al. 2017). Byť se nejedná o plnohodnotný srážkoodtokový model řešící všechny komponenty srážkoodtokového procesu (v současnosti např. zanedbává hypodermický a základní odtok, viz UNUČKA 2014), je velice vhodný pro determinaci hlavních zón povrchového odtoku díky svému řešení

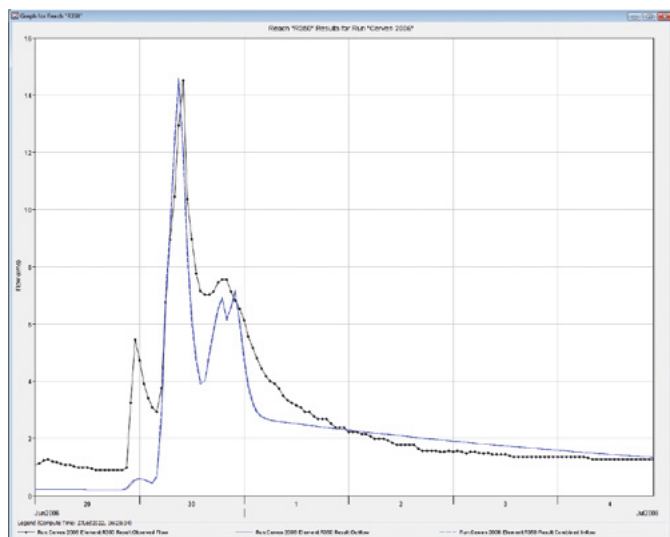
za využití tzv. walkers, což výrazně urychluje simulaci povrchového odtoku zejména nad velkými DMR o rozsahu větším než 2 tis. buněk v jakémkoliv směru. To platilo i v rámci simulací na pilotních povodích, kdy počet buněk byl dán velikostí povodí a rozlišením DMR 4G a 5G a ve všech případech (včetně nejnižšího rozlišení 5 × 5 m) přesahoval 2 tis. buněk rastru podél obou os. Pro samotné komplexní analýzy srážkoodtokového procesu a jeho časoprostorové variability byl využit plně distribuovaný model MIKE SHE (Danish Hydraulic Institute – DHI) s napojením na hydraulický model MIKE 11 (Danish Hydraulic Institute). Toto řešení umožňuje simulovat prakticky všechny fáze a komponenty srážkoodtokového procesu a hydrologické bilance povodí (UNUČKA 2014), včetně dynamiky pásem aerace a saturace a explicitního řešení Dunneho odtoku (return flow). V modelu byly využity metody difúzní a dynamické vlnové aproximace pro povrchový odtok 1D (MIKE 11) a 2D (MIKE SHE), Richardsova metoda pro infiltraci a perkolaci, zjednodušené implicitní schéma hypodermického odtoku (bypass flow), metoda Kristensen-Jensen pro evapotranspiraci a metoda konečných rozdílů pro simulaci dynamiky nasycené zóny a její komunikaci s vodotečemi a nenasyčenou zónou. Výstupy GIS analýz a srážkoodtokových modelů byly opět konfrontovány s daty ČHMÚ, ÚHÚL (hydrické řady SLT) a VÚMOP (retenční vodní kapacita půd), stejně jako s daty zmiňovaných terénních měření průtoků a objemových půdních vlhkostí, přičemž tato data byla použita i pro verifikaci a kalibraci modelů (REFSGAARD 1997; CHENG et al. 2016).

VÝSLEDKY A DISKUSE

Výsledky lze obdobně jako u metod rozdělit na výsledky terénních měření a výsledky prostorových analýz a matematického modelování. Rozsah a zaměření článku neumožňuje uvést komplexní přehled dosažených výstupů, takže byly vybrány určitým způsobem reprezentativní či zajímavé výstupy z jednotlivých činností a nástrojů. V této souvislosti je nutné zmínit i fakt, že v rámci výzkumu těchto povodí a dopadů degradace či kalamitního rozpadu porostů na hydrologické poměry pilotního povodí Černé Opavy stojíme na začátku výzkumu, takže je bezesporu předčasné tyto výsledky zobecňovat. Přesto se již v této chvíli nabízí několik zajímavých výstupů či srovnání s dalšími výzkumnými plochami (např. povodí Červíku a Malé Ráztoky v Beskydech nebo U Dvou louček v Orlických horách). Na úrovni měření průtoků a objemových půdních vlhkostí lze konstatovat, že měření byla bezesporu cenná jak na úrovni získání primárních terénních dat, tak na úrovni parametrizace, verifikace a kalibrace matematických modelů, konkrétně nástrojů HEC-HMS a MIKE SHE. Oba modely byly zároveň kalibrovány pro závěrový profil celého povodí, tzn. staniční Černá Opava / Mnichov (viz obr. 7). Z tabelárního přehledu měření je patrné, že Slučí potok s přibližně dvojnásobnou plochou povodí (vztaheno k měrnému profilu) vykazuje obdobné hodnoty Q jak v rámci odvozených charakteristik, tak v rámci měřených a simulovaných hodnot Q (viz tab. 2 a 3). Jako dlouhodobě nejvhodnější se jeví Slučí potok, jedním z možných faktorů jsou i morfologické charakteristiky povodí (např. podélný profil a orientace hlavní údolnice vůči světovým stranám, sklony povodí atd.). Pokračování měření a modelování epizod pak bezesporu poskytne odpovědi na tyto otázky.

V některých termínech měření byly zároveň měřeny Q v profilech Josefský hamr, Brandlův mlýn, Wurzlův mlýn a Černá Opava – most pro kalibraci modelů, nicméně vzhledem k již zmíněnému limitovanému rozsahu článku nebyly uvedeny v tab. 3.

Model MIKE SHE umožňuje díky své komplexitě simulovat i procesy v povodí, které ostatní modely explicitně nesimulují nebo jen parametrizují. Jedním z příkladů je i volumetrický objem vody v nenasyčené zóně nebo Dunneho odtok (return flow). Nevýhodou je délka simulace u takto komplexního modelu, která trvá řádově hodiny i na konfiguracích s výkonným procesorem, dostatkem RAM a GPU pod-



Obr. 7.

Kalibrace modelu HEC-HMS pro závěrový profil Mnichov a epizodu červen 2009

Fig. 7.

HEC-HMS model calibration for the closing profile Mnichov and June 2009 runoff episode

porují technologii CUDA a více vláken procesů (tzv. *multithreading*). Tyto faktory tento model mírně diskvalifikují pro použití v operativní prognóze průtoků (k čemuž nebyl ani primárně určen), nicméně pro komplexní bilanční studie povodí představuje model MIKE SHE pravděpodobně ten nejkompaktnější nástroj (BEVEN 2012; BEDIENT et al. 2013), zejména pak s napojením na hydrodynamický model MIKE 11 a model proudění podzemních vod MODFLOW. Taková kombinace byla použita i v těchto analýzách. Výstupy modelu demonstrují grafy dynamiky nenasycené zóny (volumetrický objem vody v jednotlivých hloubkách, viz obr. 8 a 9) a rastry nasycení povodí (obr. 10 a 11).

Obrázky 10 a 11 pak ilustrují hlavní cíl výzkumů – simulaci hydrologické bilance s aktuálním stavem lesního porostu na povodí a se scénářem kalamitního rozpadu porostu. Tento scénář byl nastaven pomocí parametrů vegetace (parametry a okrajové podmínky jako jsou intercepce, typická transpirace, drsnost dle Manninga, Leaf Area Index a Rooting Depth index) s tím, že další procesy jsou řešeny v rámci samotné simulace modelem MIKE SHE. Mezi očekávané výsledky

patří samozřejmě snížení intercepce a celkové transpirace, mezi další výsledky, které nemusí být vždy okamžité nebo jednoznačné, můžeme zařadit evaporaci v důsledku změn insolace, nasycení půdního profilu, povrchový odtok a jeho rychlost, infiltraci a perkolaci. Je proto zřejmé, že určitá shrnutí a zobecnění poznatků umožní až dlouhodobější výzkum. Na obr. 10 je znázorněna prostorová distribuce deficitu nenasycené zóny zhruba 4 hodiny po nástupu příčné srážky a vzestupné fáze hydrogramu na dolních částech povodí Slučího (nahore) a Sokolího potoka (dole). Dle očekávání se tento deficit pomaleji snižuje na exponovaných částech virtuálně odlesněného povodí vlivem vyšší evaporační složky (u „lesní“ varianty pak dominuje intercepce a transpirační složka), naopak v údolnicích se půdní profil rychleji sytí rychlejším vzestupem nesoustředěného a soustředěného povrchového odtoku. Pomalejší syčení půdního profilu „lesního“ povodí je jedním z faktorů retardačního efektu lesního porostu na povodí, kdy postupem času v rámci dané srážkoodtokové epizody dochází k postupnému nasycení pásma aerace a hypodermický odtok celkové do-

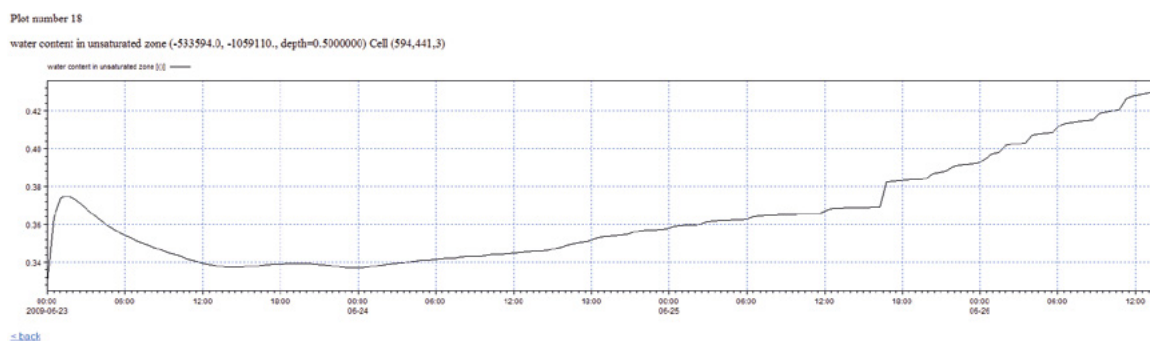
Tab. 3.

Srovnání měřených hodnot Q [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$] v měrných profilech pilotních povodí; uvedený čas měření je časem konce měření

Tab. 3.

Comparison of measured discharge values [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$] in the measuring profiles of the pilot catchments; given time is the time of discharge measuring end

Datum měření/ Measurement date	Suchý potok Q	Čas měření/ Measurement time	Sokolí potok Q	Čas měření/ Measurement time	Slučí potok Q	Čas měření/ Measurement time	Přístroj/ Hydrometric equipment
4/29/2020	0,014	7:35	0,024	8:14	0,025	9:26	OTT MF-Pro
6/1/2020	0,007	11:29	0,025	12:23	0,026	14:33	YSI FlowTracker2
6/19/2020	0,032	11:34	0,253	12:37	0,263	13:10	YSI FlowTracker2
7/24/2020	0,036	11:54	0,063	10:58	0,068	10:12	YSI FlowTracker2
10/9/2020	0,033	9:48	0,095	10:24	0,112	11:28	OTT MF-Pro
10/14/2020	0,259	15:45	0,94	15:07	1,184	14:01	YSI FlowTracker2
5/17/2021	0,061	10:15	0,246	11:07	0,23	12:11	YSI FlowTracker2
9/2/2021	0,091	11:24	0,302	12:10	0,409	12:45	YSI FlowTracker2

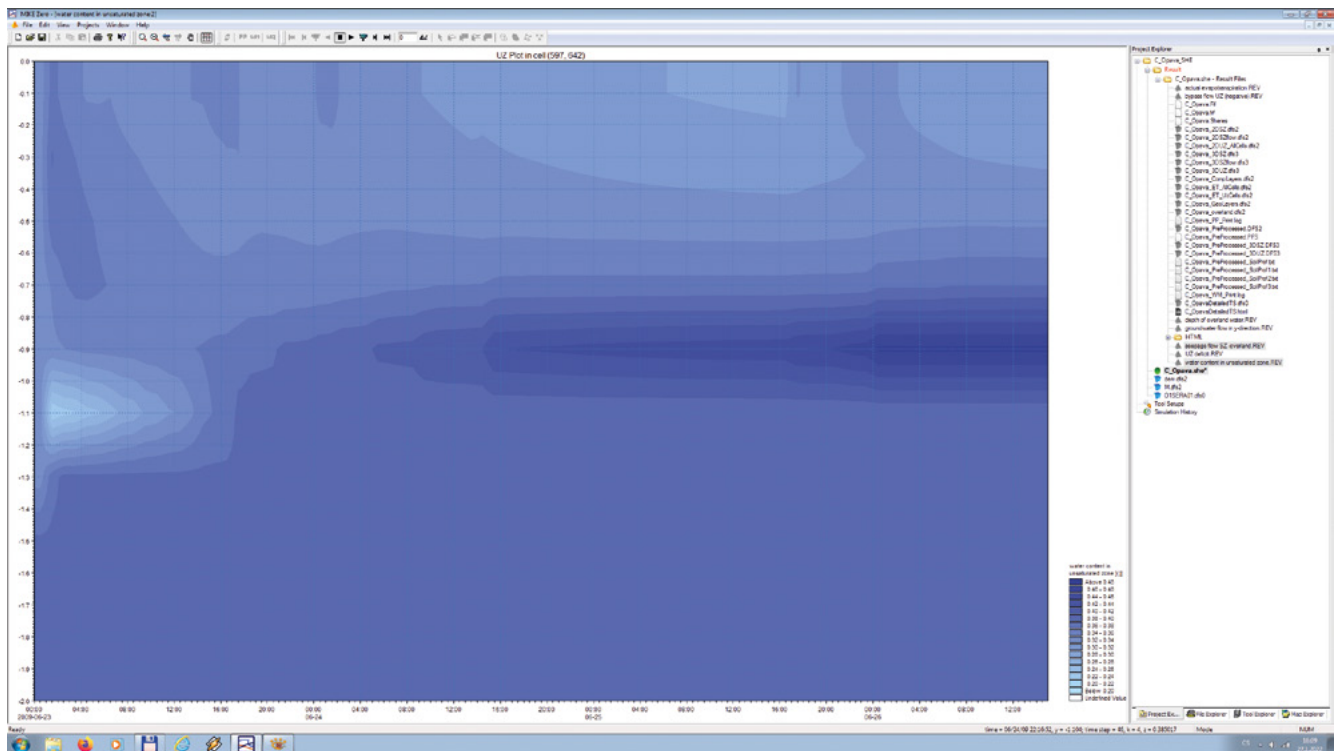


Obr. 8.

Graf postupného zvyšování nasycení půdního profilu (volumetrický objem) na vybraném transektu pilotního povodí Slučího potoka, výsledek simulace MIKE SHE

Fig. 8.

Graph of the gradual increasing of the volumetric water content in the soil profile of the selected transect in the Slučí potok catchment, result of the MIKE SHE model simulation

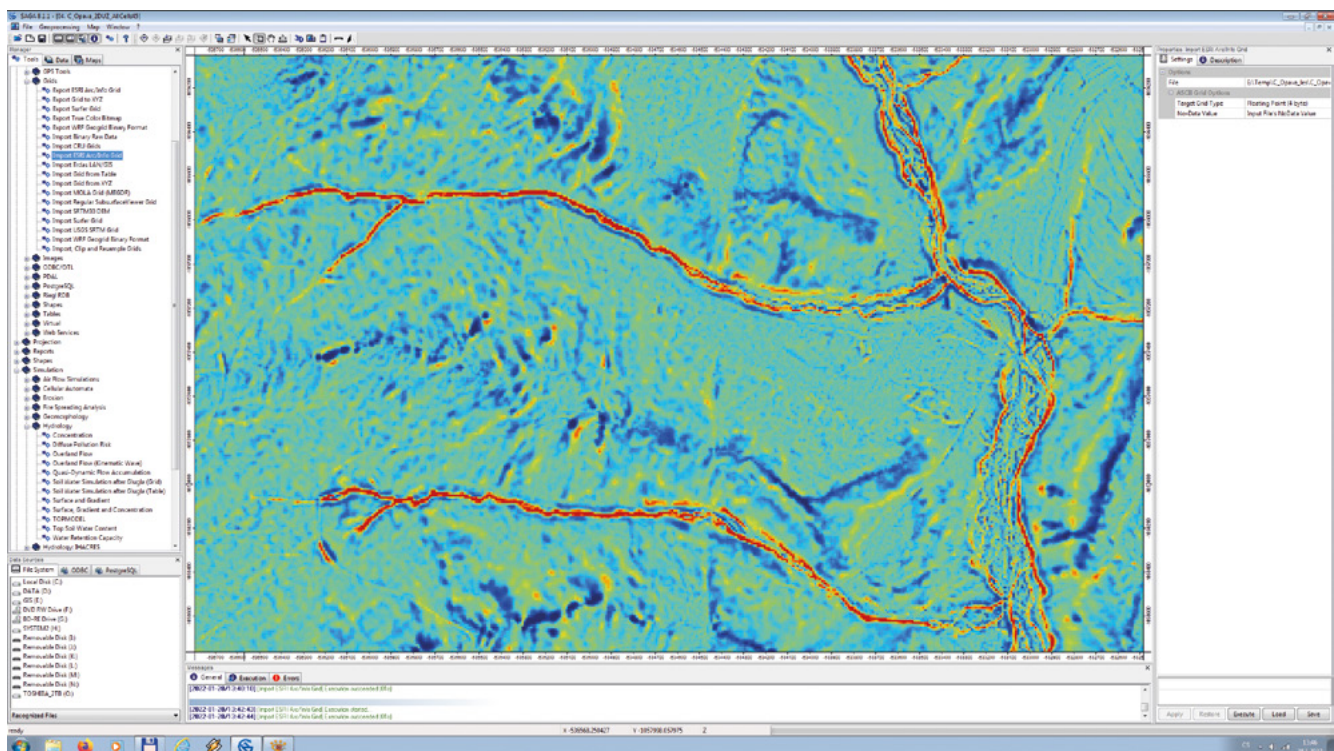


Obr. 9.

Graf vertikálního profilu nasycení půdního profilu na povodí Slučího potoka, výsledek simulace MIKE SHE

Fig. 9.

Graph of the vertical profile of the volumetric water content in the soil profile of the selected transect in the Slučí potok catchment, result of the MIKE SHE model simulation



Obr. 10.

Prostorová distribuce dynamiky pásma aerace na povodích Slučího a Sokolího potoka během simulované srážkoodtokové epizody; výstup z modelu MIKE SHE importovaný do SAGA GIS

Fig. 10.

Spatial distribution of the unsaturated zone dynamics in the Slučí and Sokolí potok catchments during the simulated rainfall-runoff episode; MIKE SHE result imported into the SAGA GIS

minuje nad povrchovým, vyjma hlavních drah soustředěného odtoku z povodí (KIRKBY 1978; KREČMER et al. 2003; TETZLAFF et al. 2011; BEVEN 2012; PFISTER et al. 2017; KLAUS, JACKSON 2018). Obrázek 11 poté znázorňuje korelaci, kdy dle očekávání se dříve prohlubuje deficit na odlesněném povodí (nárůst teploty vzduchu a evaporační složky), kdežto na povodí s lesním porostem se vlaha v pásnu aerace udržuje déle. Tyto výsledky tedy podporují původní hypotézu o veskrze pozitivním vlivu lesa na odtok a vláhovou bilanci povodí (HAAN et al. 1994; KREČMER et al. 2003; CHANG 2013; SWANK, WEBSTER 2014; SUN, VOSE 2017) a zároveň jednoznačně poukazují na časoprostorovou proměnlivost hydrologických parametrů i v rámci poměrně krátké srážkoodtokové epizody. Hypotéza byla částečně ověřena měřením objemových vlhkostí půdního profilu na zvolených transektech. Vhodně umístěné stacionární měření v několika hloubkách by pomohlo tyto vstupní hypotézy ověřit, takže nezbyvá než doufat, že lesnicko-hydrologický výzkum bude nejen na povodí Černé Opavy pokračovat.

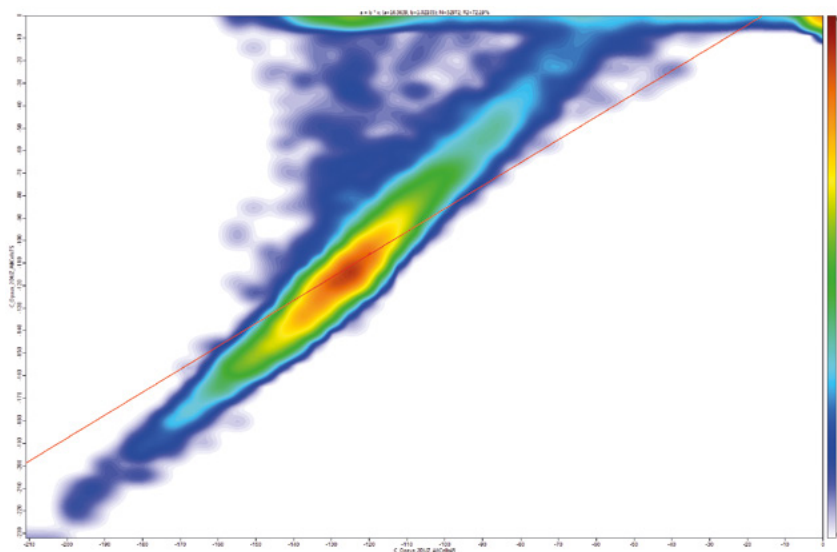
ZÁVĚR

Z výše uvedeného je patrné, že lesnicko-hydrologický výzkum má nesporný význam pro poznání hydrologických procesů zejména v nejvyšší položené a zdrojových částech povodí. Zde dochází k počáteční hydrologické transformaci ovzdušné srážky na odtok a v závislosti na klíčových parametrech těchto částí povodí také k retenci a retardaci odtoku (KIRKBY 1978; HAAN et al. 1994; KREČMER et al. 2003). Krom samotného pochopení těchto faktorů a jejich významu pro vodohospodářskou bilanci, protipovodňovou ochranu a samotné lesní hospodářství umožňují takto detailně zaměřené modely zpřesnění srážkoodtokových modelů používaných operativně v rámci Hlásné a předpovědní hydrologické služby ČR. Zde je stále logickou variantou použití semidistribovaných modelů, které nabízejí ideální poměr mezi prostorovou přesností modelu a rychlostí výpočtu, nicméně parametrizace, verifikace a potažmo kalibrace těchto modelů může

být minimálně ve vybraných částech schematizace podpořena za pomoci komplexních plně distribuovaných modelů. Stejně tak měření Q mimo staniční síť ČHMÚ a podniků Povodí umožňují získat další poznatky o časoprostorovém rozložení průtoků během jednotlivých epizod. V rámci semidistribovaných modelů není možné detailněji sledovat jednotlivé příspěvkové plochy povodí, proto je využití plně distribuovaných komplexních modelů cenné i v tomto ohledu. Distribuci nasycení půdního profilu v rámci povodí ilustrují již zmiňované obr. 10 a 11. Další vývoj meteorologických podmínek a zdravotního stavu porostů včetně případného gradocenu vybraných „škůdců“ dominantních dřevin pak bezesporu ovlivní vláhovou bilanci a odtokové poměry pilotních povodí. Na otázku do jaké míry, nám s velkou pravděpodobností odpoví pokračující lesnicko-hydrologický výzkum, nicméně bude jen dobře, pokud k těmto extrémním situacím nedojde. Samotným závěrem lze dodat ještě jeden podstatný faktor, doposud v článku explicitně nezmiňovaný – všechny tyto procesy, ať již probíhají v povodí reálném nebo virtuálním v rámci schematizace hydrologického modelu, jsou záležitostí měřítka. Prostorového i časového. Faktory dominující na malé výzkumné ploše se v měřítku povodí III. a vyššího řádu nemusí zásadně projevit. Stejně tak faktory a procesy zjištěné během jedné srážkoodtokové epizody mohou ztrácet na významu během delší sezóny. Z dosavadních prací vyplývá, že právě dynamika nenasycené zóny a nasycení povodí jsou toho dokonalým příkladem. Jedním z výsledků tedy může být i částečná revize ukazatele předchozích srážek, který je pro spoustu metod hydrologické transformace (Hortonova, SCS-CN nebo Green-Ampt) de facto jediným parametrem pro počáteční nasycení povodí. Lze očekávat, že vyšší míra distribuce tohoto faktoru na povodí může zpřesnit výstupy operativních srážkoodtokových modelů.

Poděkování:

Autor by rád na závěr poděkoval projektu „Hydrometeorologická rizika v České republice – změny rizik a zlepšení jejich predikcí“ (VI20192021166), s jehož podporou článek vznikl.



Obr. 11.

Korelace hodnot deficitu pásma aerace během simulované epizody pro scénáře „aktuální stav porostu“ a „odlesnění“; výstup z modelu MIKE SHE importovaný do SAGA GIS

Fig. 11.

Unsaturated zone deficit correlation for the simulated episode and „actual“ and „fully deforested“ catchment scenario; MIKE SHE result imported into the SAGA GIS

LITERATURA:

- BEDIENT P.B., HUBER W.C., VIEUX B.E. 2013. Hydrology and floodplain analysis. Harlow, Pearson Education: 815 s.
- BEVEN K.J. 2012. Rainfall-runoff modelling: The Primer. Oxford, Wiley-Blackwell: 457 s.
- BOITEN W. 2008. Hydrometry. IHE Delft Lecture Note Series (UNESCO-IHE Lecture Notes). Boca Raton, Taylor & Francis: 256 s. ISBN 978-0415467636
- BROSCH O. 2005. Povodí Odry. Ostrava, Anagram: 323 s. ISBN: 80-7342-048-1
- BROWN A.G., QUINE T.A. (eds.) 1999. Fluvial processes and environmental change. Chichester, John Wiley & Sons: 413 s. ISBN 0-471-98548-1
- DEMEK J., NOVÁK V. et al. 1992. Vlastivěda moravská. Brno, Muzejní a vlastivědná společnost v Brně: 242 s. ISBN 80-85048-30-2
- FÁREK V., KOSÍK O., PONÍŽILOVÁ I., UNUCKA J. 2017. Zhodnocení nástrojů open source GIS a nástrojů hydrologických modelů pro hydrologickou praxi. Praha, Český hydrometeorologický ústav: 45 s. Práce a studie ČHMÚ, svazek 63. ISBN 978-80-87577-64-6
- GHIMIRE C.P., BONELL M., BRUIJNZEEL L.A., COLES N.A., LUBCZYNSKI M.W. 2013. Reforesting severely degraded grassland in the Lesser Himalaya of Nepal: Effects on soil hydraulic conductivity and overland flow production. Journal of Geophysical Research, Earth Surface, 118: 2528–2545. DOI: 10.1002/2013JF002888
- GUSTAFSON E.J., DE BRUIJN A.M.G., MIRANDA B.R., STURTEVANT B.R. 2016. Implications of mechanistic modeling of drought effects on growth and competition in forest landscape models. Ecosphere, 7(4): e01253. DOI: 10.1002/ecs2.1253
- HAAN C.T., BARFIELD B.J., HAYES J.C. 1994. Design hydrology and sedimentology for small catchments. San Diego, Academic Press: 588 s. ISBN 978-0-1231-2340-4
- HENGL T., REUTER H. (eds.) 2008. Geomorphometry. Concepts, software, applications. Amsterdam, Elsevier: 765 s. ISBN: 978-0-12-374345-9
- HEWLETT J.D. 1986. Principles of forest hydrology. Athens, University of Georgia Press: 183 s.
- CHANG M. 2006. Forest hydrology. An introduction to water and forests. Boca Raton, Taylor & Francis: 474 s. ISBN 978-0-8493-5332-1
- CHANG M. 2013. Forest hydrology. An introduction to water and forests. London, Taylor & Francis: 569 s. ISBN 978-1-4398-7994-8
- CHENG Q.-B., REINHARDT-IMJELA CH., CHEN X., SCHULTE A., JI X., LI F.-L. 2016. Improvement and comparison of the rainfall-runoff methods in SWAT at the monsoonal watershed of Baocun, Eastern China. Hydrological Sciences Journal, 61 (8): 1460–1476. DOI: 10.1080/02626667.2015.1051485
- JAMES A., ROULET N. 2007. Investigating hydrologic connectivity and its association with threshold change in runoff response in a temperate forested watershed. Hydrological Processes, 21 (25): 3391–3408. DOI: 10.1002/hyp.6554
- JOANIDIS S. 2007. Pracující potoky. Zlaté Hory, Rula: 122 s. ISBN 978-80-902929-8-7
- KIRKBY M.J. (ed.) 1978. Hillslope hydrology. Chichester, John Wiley & Sons: 389 s. ISBN 0-471-99510-X
- KLAUS J., JACKSON R.C. 2018. Interflow is not binary. A continuous shallow perched layer does not imply continuous connectivity. Water Resources Research, 54: 5921–5932. DOI: 10.1029/2018WR022920
- KRÁSNÝ J. et al. 2012. Podzemní vody České republiky. Regionální hydrogeologie prostých a minerálních vod. Praha, Česká geologická služba: 1143 s. ISBN 978-80-7075-797-0
- KREČMER V. et al. 2003. Lesy a povodně. Souhrnná studie. Praha, MŽP: 48 s. ISBN 80-7212-255-X
- KULASOVÁ A., BEVEN K.J., BLAŽKOVÁ S.D., ŘEŽÁČOVÁ D., CAJTHAML J. 2014. Comparison of saturated areas mapping methods in the Jizera Mountains, Czech Republic. Journal of Hydrology and Hydromechanics, 62 (2): 160–168. DOI: 10.2478/johh-2014-0002
- PECKHAM R.J., JORDAN G. (eds.) 2007. Digital terrain modelling. Development and applications in a policy support environment. Berlin, Springer: 313 s. ISBN 978-3-540-36730-7
- PETRASOVA A., HARMON B., PETRAS V., TABRIZIAN P., MITASOVA H. 2018. Tangible modeling with open source GIS. Cham, Springer: 202 s. ISBN 978-3-319-89303-7
- PFISTER L., MARTÍNEZ-CARRERAS N., HISSLER C., KLAUS J., CARRER G.E., STEWART M.K., McDONNELL J.J. 2017. Bedrock geology controls on catchment storage, mixing, and release: A comparative analysis of 16 nested catchments. Hydrological Processes, 31 (10):1828–1845. DOI: 10.1002/hyp.11134
- REFSGAARD J.CH. 1997. Parameterisation, calibration and validation of distributed hydrological models. Journal of Hydrology, 198 (1–4): 69–97. DOI: 10.1016/S0022-1694(96)03329-X
- SEIBERT J., BISHOP K., NYBERG L., RODHE A. 2011. Water storage in a till catchment. I. Distributed modelling and relationship to runoff. Hydrological Processes, 25: 3937–3949. DOI: 10.1002/hyp.8309
- SINGH V.P. (ed.) 2006. Watershed models. Boca Raton, CRC Press: 653 s. ISBN 978-08493-3609-6
- SUN G., VOSE J.M. (eds.) 2017. Forest management and water resources in the Anthropocene. Basel, MDPI Forests: 222 s. ISBN 978-3-03842-576-2
- SWANK W.T., CROSSLEY D.A. (eds.) 1988. Forest hydrology and ecology at Coweeta. New York, Springer: 469 s. ISBN 0-387-96547-5
- SWANK W.T., WEBSTER J.R. (eds.) 2014. Long-term response of a forest watershed ecosystem. Clearcutting in the Southern Appalachians. Oxford, Oxford University Press: 253 s. ISBN 978-0-19-537015-7
- TETZLAFF D., SEIBERT J., SOULSBY C. 2009. Inter-catchment comparison to assess the influence of topography and soils on catchment transit times in a geomorphic province; the Cairngorm Mountains, Scotland. Hydrological Processes, 23: 1874–1886. DOI: 10.1002/hyp.7318
- TETZLAFF D., McNAMARA J., CAREY S.K. 2011. Measurements and modelling of storage dynamics across scales. Hydrological Processes, 25: 3831–3835. DOI: 10.1002/hyp.8396
- UNUCKA J. 2014. Environmentální modelování 1. Ostrava, Ostravská univerzita v Ostravě: 209 s.
- WEISSMANOVÁ H. et al. 2004. Ostravsko. In: Mackovčín, P., Sedláček, M. (ed.): Chráněná území ČR. Svazek X. Praha, AOPK; Brno, EkoCentrum: 454 s. ISBN 80-86064-67-0
- WHITAKER A., ALILA Y., BECKERS J., TOEWS D. 2003. Application of the distributed hydrology soil vegetation model to Redfish Creek, British Columbia: Model evaluation using internal catchment data. Hydrological Processes, 17 (2): 199–224. DOI: 10.1002/hyp.1119
- WILSON J.P., GALLANT J.C. 2000. Terrain analysis. Principles and applications. London, John Wiley & Sons: 479 s. ISBN: 978-0-471-32188-0

THE FIRST THREE YEARS OF HYDROLOGICAL ACTIVITIES IN THE ČERNÁ OPAVA RIVER BASIN AS A CONTRIBUTION TO RESEARCH INTO THE INFLUENCE OF VEGETATION ON THE RUNOFF CONDITIONS OF THE RIVER BASIN AND THE STUDY OF THE VARIABILITY OF THE CONTRIBUTORY AREAS OF THE RIVER BASIN

SUMMARY

The article deals with the first three years of hydrological research on the three right-hand tributaries of the Černá Opava river (Czech Republic). These are small forest catchments with an area of up to 4 square km (Tab. 2), which are currently affected by the population outbreak of the bark beetle (*Ips typographus*) that leads to Norway spruce forest structural changes, degradation and also calamity logging. These vegetation changes are progressively reflected in the climatic and hydrological conditions of the catchments, and it is also obvious that only long-term research will show the extent of these changes.

These first three years can therefore be seen as a preliminary phase of the continuous research in these study sites. Research activities consist in three basic methodical areas. The first one is field measurements, which include geodetic (longitudinal and cross-sectional profiles of streams) and hydrometric measurements (discharge and soil moisture measurements). In addition to the use of the data for the mathematical modelling, the basic hydrological characteristics of the pilot catchments were derived (Tab. 2; Fig. 2 and 4). The second area is the analysis of pilot catchments in GIS, while the main efforts were directed to the analysis of morphometric parameters of the catchments using a digital terrain model (terrain roughness, profile and tangential curvature, slope length and slope indices, convergence and wetness indexes; see Fig. 5 and 6) and preparation of GIS data for schematic mathematical models including land cover and land use data. ESRI ArcGIS, QGIS / GRASS GIS and SAGA GIS software were used for the analyses. The choice of these software is due to the fact that morphometric and hydrological analyses extensively handle the GRASS GIS and SAGA GIS software packages together with the UNIX / Linux operation systems support, so that calculations over huge or detailed digital terrain models are faster and more stable with better multithreading support. The last area of these three mentioned activities within this stage was the schematization of the mathematical models. The aim is to simulate and predict changes of the land use and forest stand vitality changes to runoff conditions and fluvial erosion within the pilot catchments. In order to simulate particular hydrological processes at a higher level of spatial or process detail, it was necessary to choose semi-distributed and fully distributed rainfall-runoff models. The HEC-HMS and MIKE SHE models, which are also globally validated models and industrial standards, currently offer the greatest potential in this regard. Their other advantages include the possibility to choose between several methods for hydrological (e.g. determination of runoff loss, infiltration, evapotranspiration) and hydraulic transformation (overland, channel and base flow) of the input rainfall within the river basin. For a detailed solution of runoff in river channels, there is a possibility of connection to hydraulic models HEC-RAS and MIKE 11, which are also industrial standards and worldwide validated hydrodynamic models. Besides that, there is also a possibility of connection with the hydrogeological models MODFLOW and FEFLOW. The possibility of simulating the return flow (Dunne flow) is also of considerable importance of these models' potential in such analyses. While the MIKE SHE and HEC-HMS models represent a complex solution, the SIMWE model for GRASS GIS is a suitable tool for relatively simpler surface runoff analyses within a river basin. Among its undeniable advantages, it allows us to use so-called walkers, where surface runoff simulation focuses on the main runoff lines, which can be determined within the schematization of the model using analyses of slopes, profile, tangential curvature and first derivatives of digital terrain model in X and Y axis directions. This rainfall-runoff model can then be used as a dynamic erosion model too, which in addition to soil loss itself simulates the transport and the final accumulation of soil particles in the basin.

The aim of the further research is therefore, in addition to the expansion of monitoring, to build a comprehensive infrastructure for simulating the impacts of climate change and land use scenarios on runoff conditions and fluvial erosion in the river basin.

Zasláno/Received: 09. 02. 2022

Přijato do tisku/Accepted: 06. 06. 2022