

Měření a modelování změn odtokového režimu v návaznosti na kalamitní rozpad a regeneraci porostů v lesních povodích v Jeseníkách

JAN UNUCKA, MARTIN ADAMEC, IRENA PAVLÍKOVÁ, ONDŘEJ ŠPULÁK, VÍT ŠRÁMEK, KATEŘINA HELLEBRANDOVÁ

Klíčová slova: hydrologické modelování – porostní modelování – povodí Černé Opavy – HEC-HMS – MIKE SHE – SWAT

ABSTRAKT

V článku jsou prezentovány dílčí výsledky monitoringu a modelování na experimentálních lesních povodích Suchého, Sokolího a Slučího potoka, což jsou pravostranné přítoky Černé Opavy v CHKO Jeseníky. Tyto výsledky vznikaly od roku 2022 díky projektu NAZV č. QK22010189 „*Vliv odlesnění na vodní režim malých povodí*“ s pracovním názvem DEFOREST, který evokuje také hlavní cíl projektu – pokusit se postihnout změny v dynamice porostů (rozpad, řízená a spontánní sukcese apod.) a v odtokovém režimu těchto povodí s ohledem na tzv. kůrovcovou kalamitu a na ni navazující kalamitní těžbu. Na všech těchto experimentálních povodích byl založen monitoring vybraných prvků hydrologického režimu (např. srážky na volné ploše, podkorunové srážky, objemové půdní vlhkosti, sněhoměrná čidla) včetně stacionárního měření vodních stavů v závěrových profilech všech tří dílčích povodí. Pro modelování porostních změn a hydrologické odezvy na tyto změny byly použity porostní modely (včetně vlastní vyvíjené aplikace DEFOREST) a hydrologické modely HEC-HMS, SIMWE, MIKE SHE a SWAT. Extrémní povodeň v září 2024 do značné míry zničila vodoměrné stanice a přemodelovala koryta vodních toků, takže v roce 2025 se projektový tým bude soustředit na obnovu monitoringu.

ÚVOD

Lesnicko-hydrologický monitoring na experimentálních povodích má v České republice (ČR) poměrně dlouhou tradici, za všechny lze jmenovat např. experimentální povodí Červík a Malá Ráztoka v Beskydech, která jsou nepřetržitě monitorována a vyhodnocována od roku 1954. Pro srovnání na nejstarším experimentálním povodí Coweeta v Apalačském pohoří bylo zahájeno soustavné měření v roce 1911 [1, 2]. Další z dlouhodobě pozorovaných povodí Hubbard Brook v USA bylo zprovozněno až v roce 1955 [3]. Monitoring meteorologických a hydrologických prvků v rámci WMO a ČHMÚ upravují odborné metodické pokyny, jež respektuje i monitoring VÚLHM, který v zásadě tyto základní sady dat rozšiřuje o další, jako jsou již zmiňované objemové půdní vlhkosti či srovnání podkorunových srážek se srážkami na volné ploše, což jsou mimo jiné i zásadní prvky pro parametrizaci hydrologických modelů. Mezi dalšími pokusy z hlediska monitoringu dynamiky regenerace a sukcese lesního ekosystému na těchto povodích byla i montáž sady vlhkostních čidel instalovaných pod mechový kryt a mimo něj, přičemž dosavadní výsledky přesvědčily realizační tým o vhodnosti pokračování tohoto monitoringu. Na úrovni hydrologického modelování existuje poměrně velké množství odborné literatury a případových studií. Mezi nejzásadnější monografie obsahující teoretický background i prakticky zaměřené informace lze zařadit již klasickou práci Keitha Bevena [4] nebo z hlediska hydrologie a hydrauliky šířeji pojatou učebnici autorů Bedienta, Hubera a Vieux [5]. Mezi již klasické ucelené studie zaměřené na malá a lesní povodí lze zařadit práce Changa [6] nebo Haana, Barfielda a Hayese [7]. V tomto ohledu stojí za zmínku i publikace věnované hydrologickému modelování na neměřených povodích od Wagenera, Wheatera a Gupty [8]. Problematikou dynamiky lesních porostů, disturbancí, regenerace a sukcese se zabývá rovněž několik komplexních monografií, mezi něž lze bezesporu zařadit

starší práci Frelichy [9] nebo novější Pretzsche [10], ve které jsou již diskutovány principy a nástroje modelování dynamiky lesních porostů. Z monografií pojednávajících přímo o modelování lesních porostů a ekosystémů jsou to pak zejména práce Weiskittela a kol. [11] nebo Fabriky a Pretzsche [12].

POPIS PILOTNÍCH LOKALIT

Pilotní povodí Černé Opavy (2-02-01-0030) bylo historicky poměrně intenzivně zemědělsky a průmyslově využíváno; tyto aktivity probíhaly od středověku s vrcholem do útlumu v 19. století. V současnosti je jedním z nejcennějších povodí na rozhraní Hrubého a Nízkého Jeseníku. Cenné plochy z hlediska ochrany přírody, ale i 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 kamenným mořem z bloků spodnodevonského křemence a reliktními bory. Průměrná nadmořská výška povodí je 799 m n. m., průměrná sklonitost povodí činí 11°. Dle Quittovy klasifikace povodí náleží k oblastem CH4, CH6 a CH7 [13]. Orientace hlavní údolnice Černé Opavy stejně jako prakticky celého povodí je ve směru SSZ–JJV. Povodí patří do geomorfologických podcelků Medvěďská hornatina (4c-7b), Rejvízská hornatina (4c-6b) a Hynčická hornatina (4c-6c). Regionálně-geologicky patří území do desenské klenby silezika, na povodí dominují metamorfované horniny (muskovitické a biotitické fylity, metagranitoidy, kvarcity, amfibolit), místy s výskytem méně metamorfovaných vulkanitů. V oblasti Zámeckého vrchu se nalézají blastomylonity zmiňované desenské skupiny. V masivu Jeleního vrchu nalezneme pak 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 pak typické pro kulm Nízkého Jeseníku. Kvartérní sedimenty jsou výrazněji vyvinuty zejména v deluviích, v okolí vodních toků a v oblasti rašelinišť Rejvízu (Velké a Malé mechové jezírko). V rámci hydrogeologické rajonizace ČR povodí v povodí nalezneme rajon 6431 – Krystalinikum severní části Východních Sudet, jihovýchodní část. Transmisivita kolektorů se v území pohybuje mezi 1 až cca 50 m² · d⁻¹, patří tedy do tříd transmisivity III (střední transmisivita) a IV (nízká transmisivita), specifická vydatnost pak mezi 1–5 l · s⁻¹ pro formace s puklinovým a prūlinovým typem proudění [14]. Těsně za rozvodnicí Černé Opavy jsou také v provozu prameny v rámci monitorovací sítě podzemních vod ČHMÚ, jde o PO4008 (Bublavý pramen u Rejvízu), PO4015 (Horní Údolí) a PO0509 (Heřmanovice – Roviny). Z půd jsou opět nejvíce zastoupeny kambizemě, jež ve vyšších polohách přecházejí v podzoly, v nižších partiích údolnic hlavních vodních toků jsou fluvizemě, v místech výskytu rašelinišť pak organozemě typické a glejové, na které navazují kyselé pseudoglejové kambizemě a ojediněle i samotné gleje [13]. U půd zcela převládá kyselá reakce a relativně malá sorpční kapacita. Mezi lesními dřevinami dominují smrk ztepilý (*Picea excelsior*) a místy i buk lesní (*Fagus sylvatica*). V okolí Rejvízu nalezneme i borovici blatku (*Pinus uncinata*) poblíž Velkého a Malého mechového jezírka a také břízu karpatskou (*Betula carpatica*) na rašeliništích v povodí Bublavého potoka. Okraje vrchovišť již přecházejí v rašelinnou smrčinu (*Sphagno-Piceetum*). Dále je místy k nalezení i jesenický fenotyp modřínu opadavého (*Larix decidua*). V rámci lesnické typologie jsou nejvíce zastoupeny živné řady S a B a v okolí vodních toků lužní řada L a kyselá řada K v oblasti Rejvízu. V povodí Černé Opavy se nachází hydrologická stanice ČHMÚ Černá Opava / Mnichov (DBČ 258100). Jak již bylo zmíněno, všechny závěrové profily Slučího, Sokolího a Suchého potoka jsou vybaveny rovněž stacionárním měřením vodních stavů, teplot a také konduktivity. Měření průtoků a objemových půdních vlhkostí probíhají v pravidelných intervalech nebo při výskytu mimořádných odtokových situací.

Hydrologické charakteristiky závěrových profilů jednotlivých povodí jsou uvedeny v tab. 1.

Tab. 1. [ř21] Základní hydrologické charakteristiky povodí Suchého, Sokolího a Slučího potoka
Tab. 1. Basic hydrologic characteristics of Suchý, Sokolí and Slučí brook catchments

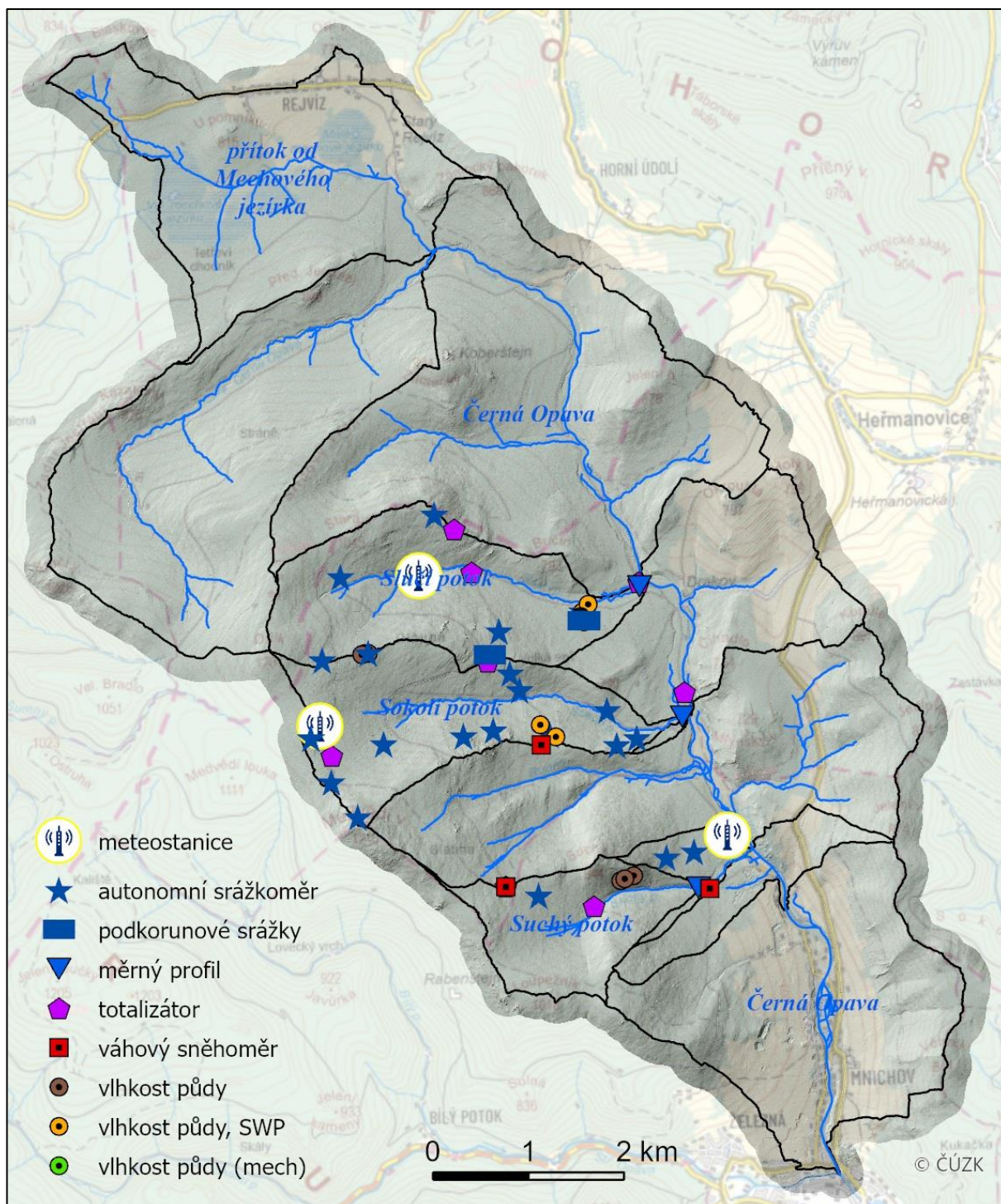
N-leté Q 2-02-01-0030-00-0-60/Year Return Period 2-02-01-0030-00-0-60										
Vodní tok/Stream name	Profil/Profile	Plocha povodí [km ²] / Catchment area [sq. km]	Q _A	1	2	5	10	20	50	100
Suchý potok	měřicí bod/measurement profile	1.90	0.03 2	0.64 3	1.62	3.11	4.35	5.69	7.62	9.1 9
Sokolí potok	měřicí bod	3.98	0.07 3	1.04	2.63	5.03	7.05	9.22	12.3	14. 9
Slučí potok	měřicí bod	4.09	0.07 5	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	0.06 0	0.04 3	0.03 6	0.03 0	0.026	0.024	0.02 2	
Sokolí potok	měřicí bod	3.98	0.13 6	0.09 9	0.08 1	0.06 9	0.06	0.055	0.05 0	
Slučí potok	měřicí bod	4.09	0.13 9	0.10 1	0.08 3	0.07 0	0.062	0.056	0.05 1	
Veškeré průtoky jsou uvedeny v m ³ · s ⁻¹ .			240	270	300	330	355	364		
			0.01 9	0.01 7	0.01 5	0.01 3	0.009 3	0.006 9		
			0.04 4	0.03 9	0.03 4	0.02 9	0.021	0.016		
			0.04 5	0.04 0	0.03 4	0.03 0	0.022	0.016		

POUŽITÁ DATA A METODY

Rozsah článku neumožňuje prezentaci všech výsledků, proto se zde autorský kolektiv soustředil na prezentaci těch výsledků, jež ilustrují změny odtokového režimu v návaznosti na kalamitní rozpad a regeneraci porostů. Z důvodu rozsahu článku budou také prezentovány výsledky simulací modelů MIKE SHE a HEC-HMS, které jsou ostatně v rámci srážkoodtokového modelování používány nejčastěji z důvodu komplexnosti metod a možnosti schematizací v semidistribúvaném i plně distribuovaném režimu. Pro schematizaci modelů byla použita následující data:

1. DMR 5G ČÚZK.
2. Vlastní geodetická měření.
3. Vegetační pokryv dle ZABAGED a porostní data dle dat ÚHÚL a VÚLHM.
4. Půdní data VÚMOP.
5. Měření objemových půdních vlhkostí VÚLHM a ČHMÚ.
6. Družicová data NDVI a Moisture Index (Copernicus / Sentinel).
7. Měření srážek a dalších meteorologických prvků VÚLHM a ČHMÚ.
8. Měření vodních stavů a průtoků VÚLHM a ČHMÚ.

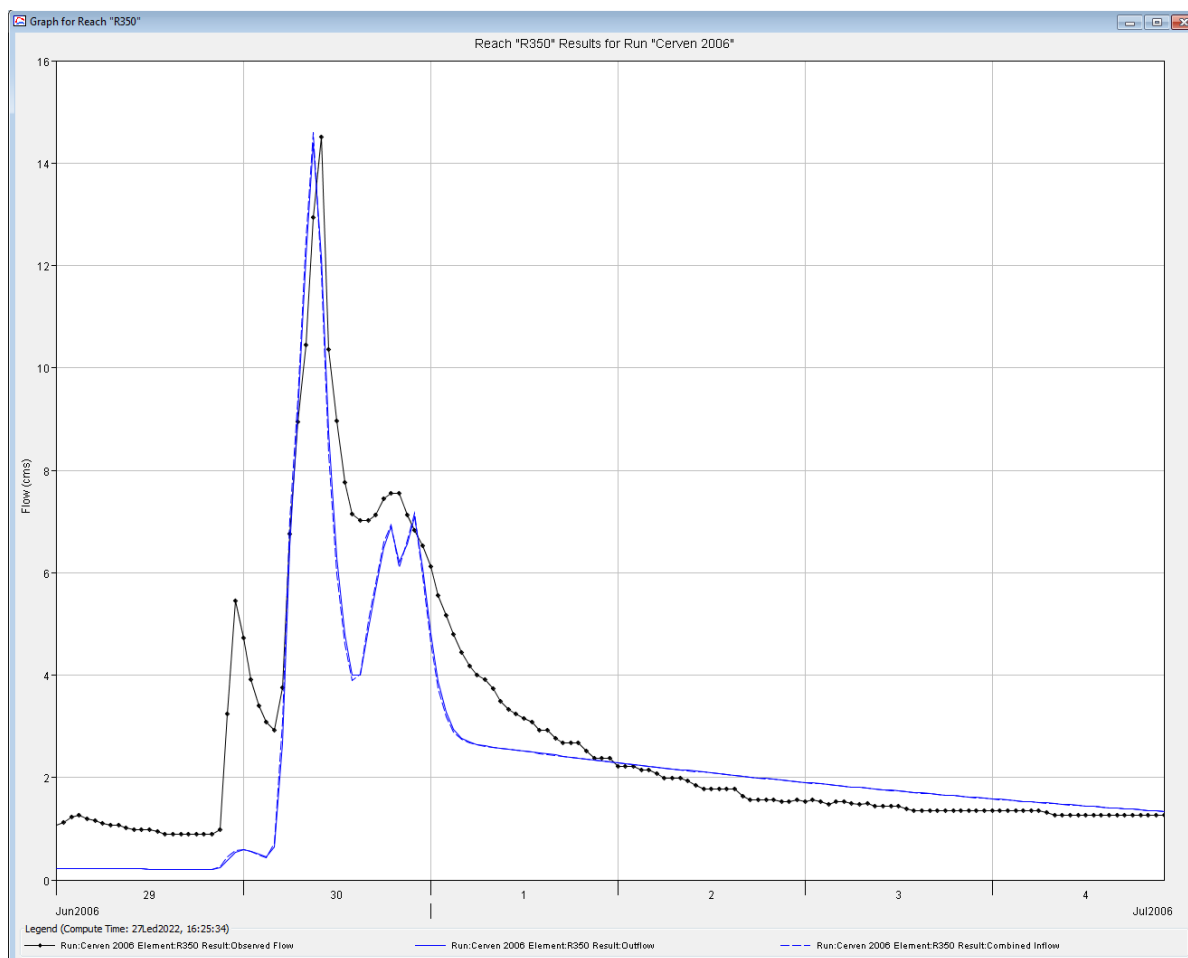
Rozmístění čidel na jednotlivých povodích je znázorněno na obr. 1.



Obr. 1. [zř2]Rozmístění čidel a vodoměrných profilů na pilotních povodích Suchého, Sokolího a Slučího potoka

Fig. 1. Distribution of the sensors and water gauges on the pilot catchments of Suchý, Sokolí and Slučí brooks

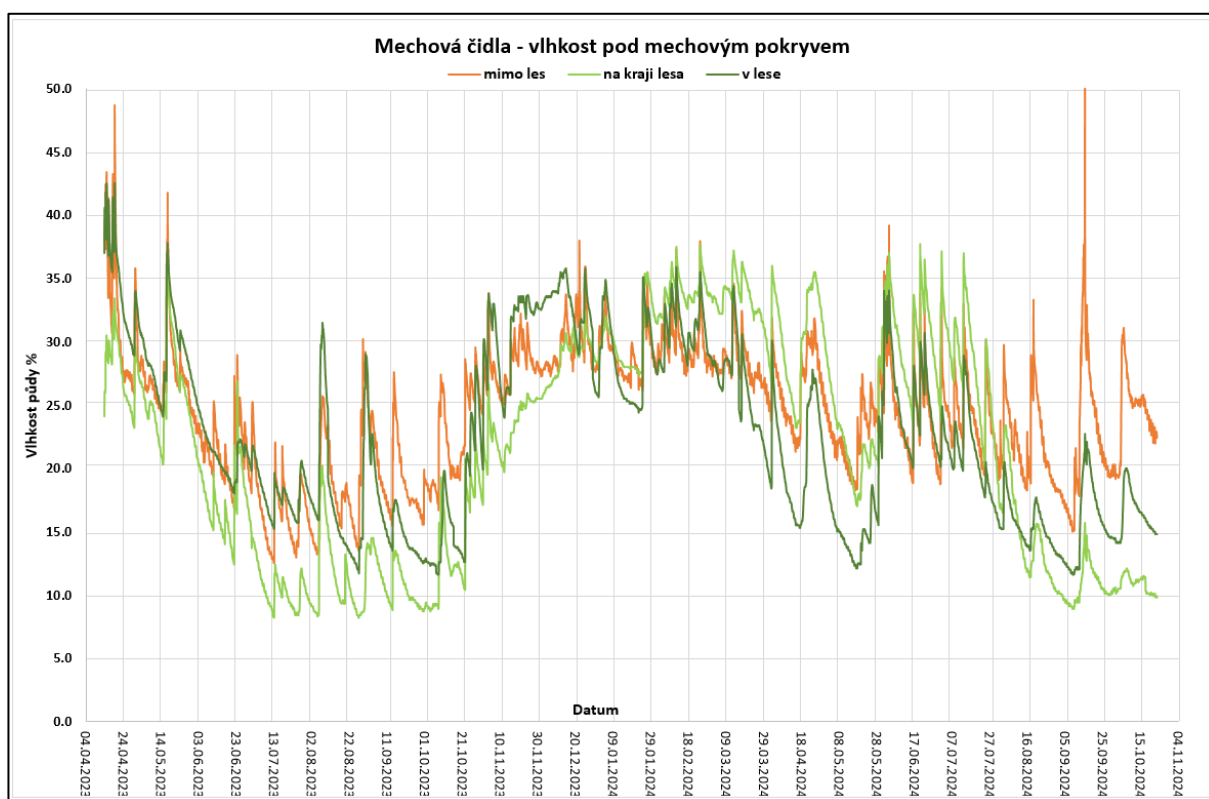
Modely byly kalibrovány na několik srážkoodtokových epizod, a to i starších, než je časový rozsah projektu. Jednu z těchto kalibračních epizod ilustruje hydrogram pro závěrový profil celého povodí Mníchov na obr. 2.



Obr. 2. Kalibrace modelu HEC-HMS pro epizodu 6/2006 a závěrový profil Černá Opava/Mnichov
 Fig. 2. Calibration of the HEC-HMS model for the rainfall-runoff episode June 2006 and closing profile Černá Opava/Mnichov

VÝBĚR Z VÝSLEDKŮ

Jak už bylo zmíněno v úvodu, jedním ze specifik projektu je měření objemových půdních vlhkostí na polygonech zahrnujících půdu s mechovým pokryvem i bez něj. Tyto polygony jsou pro vyšší reprezentativnost měření umístěny na rozhraní lesa a volné plochy. Dosavadní doba měření neumožňuje generalizaci výsledků, nicméně z již dostupných dat je zřejmé, že v rámci srážkových epizod je půda pod mechem o zhruba 20–30 % méně nasycená (s největší pravděpodobností díky zadržení srážkové vody mechem, viz obr. 3) a objemové půdní vlhkosti jsou během srážkových epizod a těsně po jejich odeznění pod lesním vegetačním krytem zhruba o 5–20 % nižší zřejmě vlivem odběru vody kořenovým systémem a transpirací porostu. Naopak v bezsrážkových epizodách jsou o něco vyšší pravděpodobně vlivem nižších teplot povrchu a evaporace. Tuto dynamiku ilustruje obr. 3. V dalších letech řešení se projektový tým chce více zaměřit na tuto problematiku i z hlediska morfologie a druhové struktury mechového patra a vegetačního krytu na těchto polygonech.

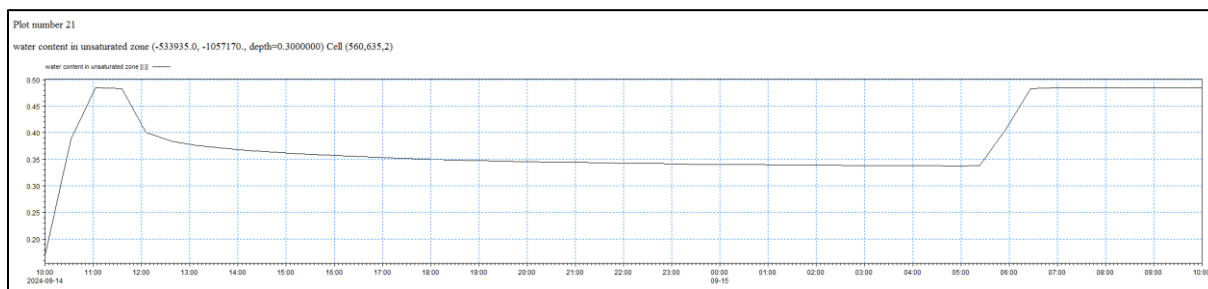


Obr. 3. [zř3]Dynamika objemové půdní vlhkosti pod mechovým pokryvem v lese, na okraji lesa a mimo les

Fig. 3. Volumetric soil moisture under the moss cover in forest, forest edge and outside the forest

Na obr. 3 je patrné i značné nasycení půdního profilu během extrémní povodně 13.–16. září 2024, kdy čidla v lesním porostu a na jeho okraji naměřila zhruba 20% nasycení půdního profilu, kdežto čidlo na volné ploše maximální nasycení 50 %. V této souvislosti opět vyvstává původní argument lesnické hydrologie o tlumení povodňových průtoků lesními porosty. Samozřejmě i tato hydrická funkce lesa má své limity, ale tato diskuze je obsahově i rozsahem nad rámec předloženého článku. Přes všechnu složitost vazeb v lesním ekosystému dosavadní výsledky poukazují na skutečnost, že hydrická funkce lesa je v krajině zásadní, což dokládají i práce uvedené v úvodu nebo studie Krečmera a kol. [15]. Nicméně faktem zůstává, že při extrémních srážkách a povodních je překročena retenční kapacita lesních půd a stejně jako na jiných typech ploch (pole, louky apod.) dominuje povrchový odtok. Kulminační průtok na profilu Mnichov byl dosažen 15. září 2024 8:50 SEČ s hodnotou $168 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, což odpovídá tisícileté vodě Q_{1000} a specifickému odtoku $3,30 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$.

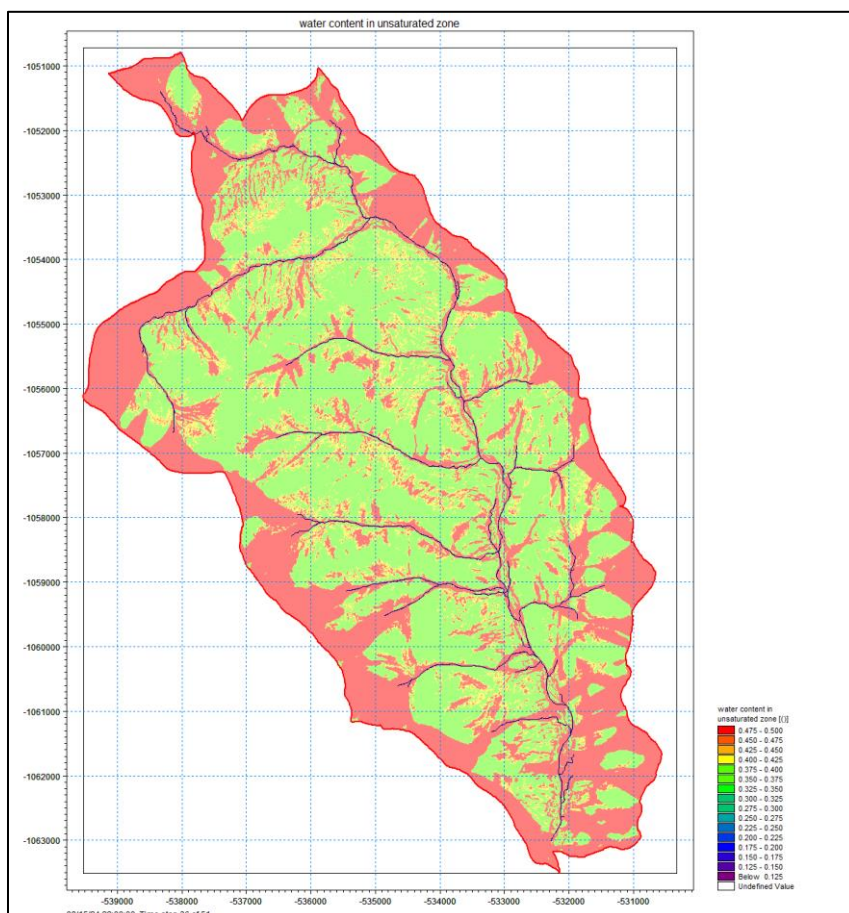
Výsledky simulace modelu MIKE SHE pro povodňovou epizodu 14.–15. září 2024 pro jeden z bodů polygonu mechových čidel na Slučím potoce znázorňuje obr. 4. Je zde patrné, že MIKE SHE kalibrováný pro závěrový profil povodí simuloval obdobně extrémní hodnoty nasycení až 50 %.



Obr. 4. [zř4] Simulace dynamiky povrchové (hloubka 10 cm) objemové půdní vlhkosti v modelu MIKE SHE pro epizodu 14.–16. září 2024

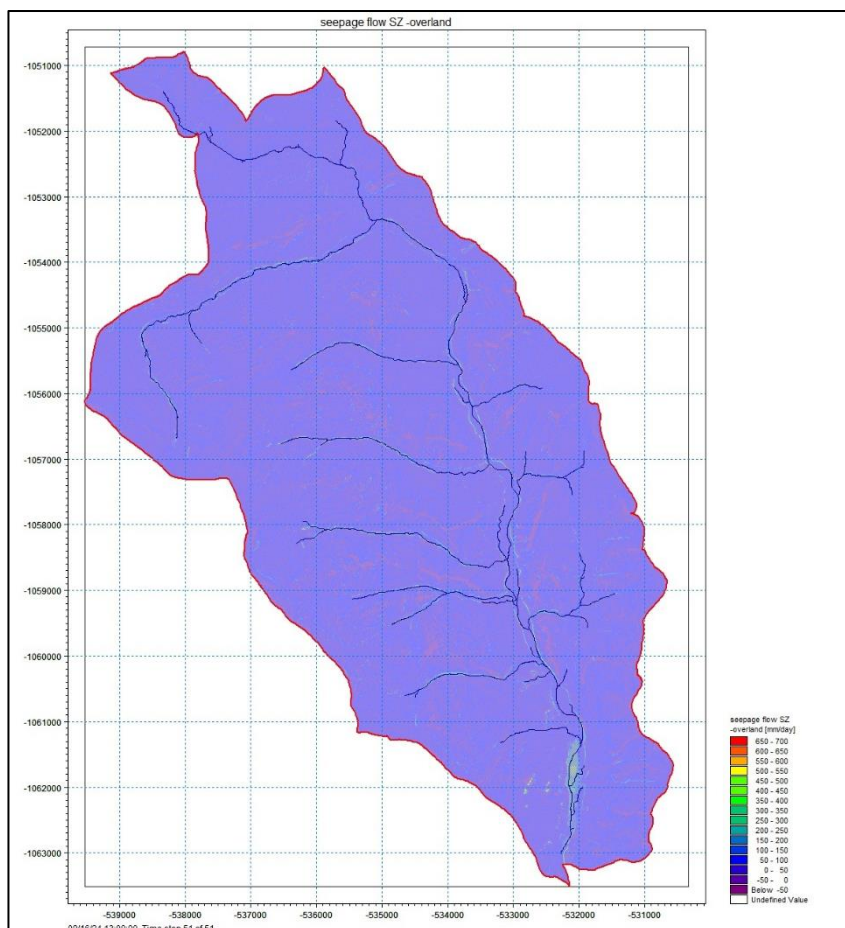
Fig. 4. The soil water volumetric content in 10 cm depth during the rainfall episode 14–16 September 2024 simulated by MIKE SHE model

Výsledky simulace, konkrétně simulované hodnoty objemové půdní vlhkosti a tzv. return flow (exfiltrace či výstup hladiny podzemní vody nad úroveň terénu) znázorňují obr. 5 a 6. Intenzitu dnové a břehové eroze a chodu sedimentů i hrubé frakce ilustrují obr. 7 a 8.



Obr. 5. [zř5] Hodnoty objemové půdní vlhkosti pro epizodu 14.–16. září 2024 simulované modelem MIKE SHE

Fig. 5. Volumetric soil moisture content for the rainfall episode 14–16 September 2024 simulated by MIKE SHE model

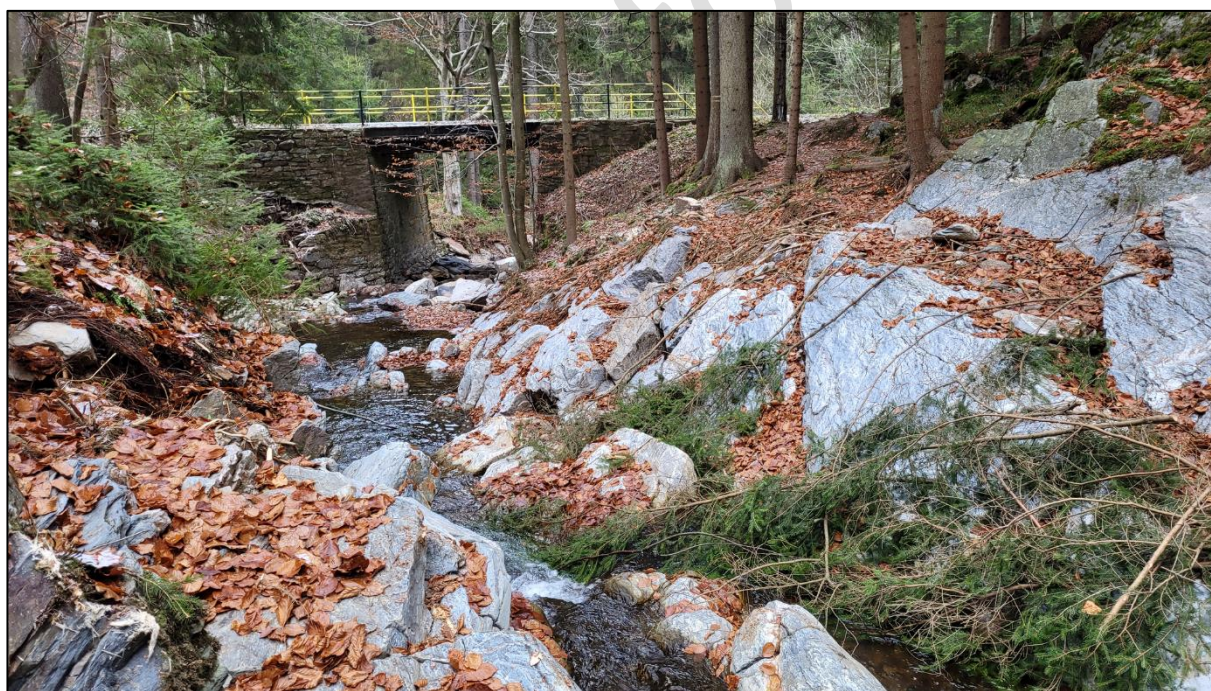


Obr. 6. [zřetelitelné] Hodnoty return flow (exfiltrace) pro epizodu 14.–16. září 2024 simulované modelem MIKE SHE

Fig. 6. Return flow values for the rainfall episode 14–16 September 2024 simulated by MIKE SHE model



Obr. 7. Dnová a břehová eroze způsobená povodní v září 2024 na Sokolím potoce (foto: Jan Unucka)
 Fig. 7. Bank and river bed erosion accelerated by the extreme flood in September 2004 on Sokolí brook (photo: Jan Unucka)



Obr. 8. Eroze akcelerovaná povodní v září 2024 vedoucí až k destrukci stupňů v korytě Slučího potoka a obnažení skalního podloží (foto: Jan Unucka)
 Fig. 8. Accelerated erosion by flood in September 2024 caused particular destruction of the rock steps in the channel of Slučí brook (photo: Jan Unucka)

DISKUZE

Dynamika vody v lesních porostech a povodích je bezesporu složitým fenoménem, který je navíc ovlivněn řadou dalších faktorů, zejména morfometrickými poměry povodí (jako jsou hypsografická

křivka, podélné profily údolnic, expozice a sklony reliéfu apod.), geologickými a hydrogeologickými poměry povodí a půdním pokryvem, v němž se dominantně odehrává hydrologická transformace ovzdušné srážky na odtok. Stejně tak nelze tyto vztahy zjednodušit na pouhé dva extrémy – les a holinu. Je nutné uvažovat věkovou a druhovou skladbu lesa, stav keřového a bylinného patra. Keřové a bylinné patro zároveň sehrává klíčovou roli z hlediska transformace odtoku a ochrany půdního profilu po odtěžení lesa. Přesto je vliv těchto změn neoddiskutovatelný, což je kromě prací citovaných v úvodu podloženo výsledky i v další literatuře, např. [16–19]. Specifikem lesních povodí je pak role mechového patra na hydrologickou transformaci ovzdušné srážky a dynamiku půdní vláhly. K této problematice neexistuje vyšší počet případových studií z reálných povodí, spíše články popisující laboratorní experimenty. Mezi příspěvky zaměřené na vliv mechu na dynamiku odtoku v povodí lze zařadit [20 a 21]. V práci [21] je také diskutován vliv hloubek měření objemové půdní vlhkosti pod mechovým krytem. Kombinaci měření, prostorových analýz a modelování v GIS a hydrologického modelování coby nejvíce efektivní soubor nástrojů a metod pro pochopení dynamiky lesních povodí nelze zpochybňovat, což lze nalézt i v literatuře [1, 2, 5, 12 nebo 22]. V poslední zmíněné práci je konkrétně diskutována vhodnost modelu MIKE SHE pro podobné analýzy. Pro veškeré podobné analýzy sehrávají zásadní roli prostorový a časový kontext experimentů a studií. Lesní povodí jsou až na výjimky malá povodí o ploše v řádu hektarů nebo prvních kilometrů čtverečních. Výsledky z těchto povodí nelze automaticky aplikovat na další povodí s odlišnými klimatickými, geologickými či morfologickými parametry. Stejně tak výsledky měření a simulací v modelech v časovém horizontu čtyř let nelze zobecňovat – i s přihlédnutím k faktu, že standardní referenční období pro odvození hydrologických charakteristik dle ČSN 75 1400 je 30 let.

ZÁVĚR

Autorský kolektiv si kladl za cíl přiblížit čtenářům zajímavé aspekty lesnické hydrologie na experimentálních povodích v Jeseníkách, uvést metody výzkumu a vybrat zajímavé výsledky s ohledem na nové postupy či extrémní povodně ze září 2024. Jde o příliš krátké časové řady pro zobecnění, navíc ještě není postižen celý cyklus rozpadu a regenerace lesních porostů, ať již spontánní, či řízené. Zkušenosti i z jiných povodí, kde probíhá lesnicko-hydrologický výzkum VÚLHM a ČHMÚ již delší dobu (např. U dvou louček v Orlických horách, Červík a Malá Ráztoka v Beskydech) poukazují na skutečnost, že kombinace měření *in situ* a matematického modelování přináší nejlepší výsledky. Je však nutné uvažovat nejistotu vstupních dat a metod. Nejistotu vstupních dat lze snížit výběrem vhodných povodí a reprezentativních ploch pro monitoring hydrometeorologických prvků. Nejistotu metod je možné snížit výběrem vhodné měřicí techniky (ideálně s možností vyhodnocení nejistot přímo během měření, např. u přístroje YSI FlowTracker2) a samotných matematických modelů. V této kategorii je vhodné zvolit verifikované a validované nástroje. S modely HEC-HMS a MIKE SHE má ČHMÚ dobré zkušenosti v operativní praxi (hydrologická prognóza a hydrologické studie), proto byly zcela logicky upřednostněny. V tomto ohledu lze zmínit i fakt, že open source GIS nástroje typu GRASS GIS nebo SAGA GIS nabízejí daleko větší možnosti morfometrických a prostorových analýz než platforma ESRI ArcGIS. Závěrem lze zmínit i zásadní skutečnost výskytu katastrofální povodně ze září 2024, která de facto přerušila řady pozorování destrukcí vodoměrných profilů a intenzivních remodelací hydrografické sítě. VÚLHM i ČHMÚ přesto chtějí pokračovat v lesnicko-hydrologickém výzkumu těchto povodí, jelikož tyto výsledky považují za zásadní jak v kontextu vodního a lesního hospodářství, tak i ekologie horských povodí.

Poděkování

Autoři by rádi poděkovali projektům NAZV č. QK22010189 „Vliv odlesnění na vodní režim malých povodí (DEFOREST)“ a NAZV č. QL24010054 „Dopady klimatické změny na malá lesní povodí a

možnosti jejich zmírnění prostřednictvím lesnického managementu a vodohospodářských opatření“, bez jejichž podpory by článek vznikl mnohem déle a komplikovaněji. Stejně tak patří poděkování DKRVO (Dlouhodobá koncepce rozvoje výzkumné organizace na období 2023–2027) ČHMÚ, zejména oblastem 6 a 12 zaměřeným na zlepšení metod a nástrojů hydrologického modelování a využití dat dálkového průzkumu Země v hydrologii a environmentálních aplikacích.

Literatura

- [1] SWANK, W. T., WEBSTER, J. R. (eds.) *Long-Term Response of a Forest Watershed Ecosystem. Clearcutting in the Southern Appalachians*. New York: Oxford University Press, 2014. 253 s. ISBN 978-0-19-537015-7.
- [2] SWANK, W. T., CROSSLEY, D. A. (eds.) *Forest Hydrology and Ecology at Coweeta*. New York: Springer-Verlag, 1986. 469 s. ISBN 978-1-4612-8324-9.
- [3] HOLMES, R. T., LIKENS G. E. *Hubbard Brook. The Story of a Forest Ecosystem*. New Haven: Yale University Press, 2016. 271 s. ISBN 978-0-300-20364-6.
- [4] BEVEN, K. *Rainfall-Runoff Modelling. The Primer*. 2nd ed. Chichester: John Wiley and Sons, 2012. 455 s. ISBN 978-0-470-71459-1.
- [5] BEDIENT, P. E., HUBER, W., C. VIEUX, B. E. *Hydrology and Floodplain Analysis*. 5th ed. Harlow: Pearson Education Limited, 2013. 815 s. ISBN 978-0-273-77427-3
- [6] CHANG, M. *Forest Hydrology. An Introduction to Water and Forests*. 3rd ed. Boca Raton: Taylor and Francis, 2013. 556 s. ISBN 978-4665-8667-3.
- [7] HAAN, C. T., BARFIELD, B. J., HAYES, J. C. *Design Hydrology and Sedimentology for Small Catchments*. Sand Diego: Academic Press, 1994. 588 s. ISBN 978-0-12-312340-4.
- [8] WAGENER, T., WHEATER, H. S., GUPTA, H. V. *Rainfall-Runoff Modelling in Gauged and Ungauged Catchments*. London: Imperial College Press, 2004. 306 s. ISBN 1-86094-466-3.
- [9] FREELICH, L. E. *Forest Dynamics and Disturbance Regimes. Studies from Temperate Evergreen–Deciduous Forests*. Cambridge: Cambridge University Press, 2002. 266 s. ISBN 978-0-511-06843-0.
- [10] PRETZSCH, H. *Forest Dynamics, Growth and Yield. From Measurement to Model*. Berlin: Springer-Verlag, 2009. 653 s. ISBN 978-3-540-88306-7.
- [11] WEISKITTEL, A. R., HANN, D. W., KERSHAW, J. A., VANCLAY, J. K. *Forest Growth and Yield Modelling*. Chichester: Wiley-Blackwell, 2011. 415 s. ISBN 978-0-47066500-8.
- [12] FABRIKA, M., PRETZSCH, H. *Analýza a modelovanie lesných ekosystémov*. Zvolen: Technická Univerzita vo Zvolene, 2011. 599 s. ISBN 978-80-228-2181-0.
- [13] WEISSMANOVÁ H. et al. Ostravsko. In: MACKOVČIN, P., SEDLÁČEK, M. (eds.). *Chráněná území ČR*. Sv. X. Praha, Brno: AOPK, EkoCentrum, 2004. 454 s. ISBN 80-86064-67-0.
- [14] KRÁSNÝ J. et al. *Podzemní vody České republiky. Regionální hydrogeologie prostých a minerálních vod*. Praha: Česká geologická služba, 2012. 1 143 s. ISBN 978-80-7075-797-0.
- [15] KREČMER V. et al. *Lesy a povodně. Souhrnná studie*. Praha, MŽP, 2003. 48 s. ISBN 80-7212-255-X.
- [16] LEUSCHNER, CH., ELLENBERG, H. *Ecology of Central European Forests*. Cham: Springer, 2017. 971 s. ISBN 978-3-319-43040-9.
- [17] KŘEČEK, J., HAIGH, M. et al. *Ecosystem Services of Headwater Catchments*. Cham: Springer, 2017. 308 s. ISBN 978-3-319-57945-0.
- [18] BREDEMEIER, M., COHEN, S. et al. *Forest Management and the Water Cycle*. Dordrecht: Springer, 2011. 531 s. ISBN 978-90-481-9833-7.
- [19] ZHANG, S., ZHANG, J., LIU, Y., LIU, Y., WANG, Z. The Effects of Vegetation Distribution Pattern on Overland Flow. *Water and Environment Journal*. 2018, 32, s. 392–403. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/wej.12341>
- [20] ZHENG, Z., LIU, D., DAI, Q., ZENG, J., JIANG, J. Effects of Moss Patches on the Sediment Loss, Flow Hydraulics and Surface Microtopography of Soil Slopes in Karst Mountainous Areas.

- CATENA. 2025, 249, 108672. ISSN 0341-8162. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2024.108672>
- [21] GOLUBEV, V., MCCARTER, C., WHITTINGTON, P. Ecohydrological Implications of the Variability of Soil Hydrophysical Properties between Two Sphagnum Moss Microforms and the Impact of Different Sample Heights. *Journal of Hydrology*. 2021, 603(Part B), 126956. ISSN 0022-1694. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126956>
- [22] SANDU, M. A., VIRSTA, A. Applicability of MIKE SHE to Simulate Hydrology in Argesel River Catchment. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*. 2015, 6, s. 517–524. ISSN 2210-7843. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.08.135>

Autoři

doc. RNDr. Jan Unucka, Ph.D.¹

jan.unucka@chmi.cz

ORCID: 0000-0003-4339-0726

RNDr. Martin Adamec, Ph.D.¹

martin.adamec@chmi.cz

ORCID: 0000-0002-1732-0102

Ing. Irena Pavlíková²

irena.pavlikova@chmi.cz

ORCID: 0000-0001-6409-7532

Ing. Ondřej Špulák, Ph.D.²

spulak@vulhmop.cz

ORCID: 0000-0002-4924-3068

doc. Ing. Vít Šrámek, Ph.D.³

sramek@vulhm.cz

ORCID: 0000-0002-0655-2872

Mgr. Kateřina Hellebrandová, Ph.D.³

hellebrandova@vulhm.cz

ORCID: 0000-0001-8467-0201

¹Český hydrometeorologický ústav, pobočka Ostrava (Česká republika)

²Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, Opočno (Česká republika)

³Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, Jíloviště (Česká republika)

Příspěvek prošel recenzním řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2025.01.002

ISSN 0322-8916/© 2025 Autoři. Tuto práci je kdokoli oprávněn šířit a využívat za podmínek licence CC BY-NC 4.0

MEASUREMENT AND MODELING OF CHANGES IN THE RUNOFF REGIME FOLLOWING CALAMITOUS DECAY AND REGENERATION OF FOREST STANDS IN SMALL CATCHMENTS IN THE JESENÍKY MOUNTAINS

UNUCKA, J.¹; ADAMEC, M.¹; PAVLÍKOVÁ, I.²; ŠPULÁK, O.²; ŠRÁMEK, V.³; HELLEBRANDOVÁ, K.³

¹Czech Hydrometeorological Institute, Ostrava (Czech Republic)

²Forestry and Game Management Research Institute [řz], Opočno (Czech Republic)

³Forestry and Game Management Research Institute, Jíloviště (Czech Republic)

Keywords: hydrologic modelling – forest stand modelling – Černá Opava basin – HEC-HMS – MIKE SHE – SWAT

The presented article deals with selected issues of forestry hydrology in the experimental catchments of Suchý, Sokolí and Slučí brooks in the Jeseníky Mountains. As part of the project research, hydrometeorological elements and stand characteristics are systematically monitored in these catchments. The aim is to capture and understand the links between the decay and regeneration of forest stands and runoff characteristics. In addition to measurements, the catchments are analysed in GIS and complex hydrological models, such as HEC-HMS and MIKE SHE. At the same time, the influence of stand dynamics on runoff characteristics is simulated in ecological and stand models. The extreme floods of September 2024 fundamentally changed the character of catchments and watercourse beds, yet this forestry-hydrological research continues, as well as in other joint areas of the Forestry and Game Research Institute and Czech Hydrometeorological Institute. Increasing emphasis is placed on the influence of moss cover on soil moisture dynamics in experimental areas.