

Možnosti zvýšení retence vody v povodí horní Klabavy (CHKO Brdy)

Possibilities of water retention increase in the upper Klabava catchment (Brdy PLA)

Martin Stehlík, Miroslav Lubas a Jiří Guziur

Sweco Hydroprojekt a.s., Tábořská 31, 140 16, Praha; e-mail: martin.stehlik@sweco.cz

K článku patří obrázky č. 6–11 zařazené v barevné příloze na str. 453–455.

 **Abstract.** The article presents findings of the study for increasing the retention capacity of the source area of the Brdy Protected Landscape Area – phase I Klabava catchment. In the study the flood regime, hydrographic network and runoff conditions of the catchment were investigated. The hydrological model HEC-HMS of the catchment was created. The proposals for measures to increase of retention were defined in this system: measures for watercourses, measures for water reservoirs, measures for landscape drainage systems, measures for road network drainage and measures for forest management. The effect of these measures on magnitudes of flood waves was estimated.

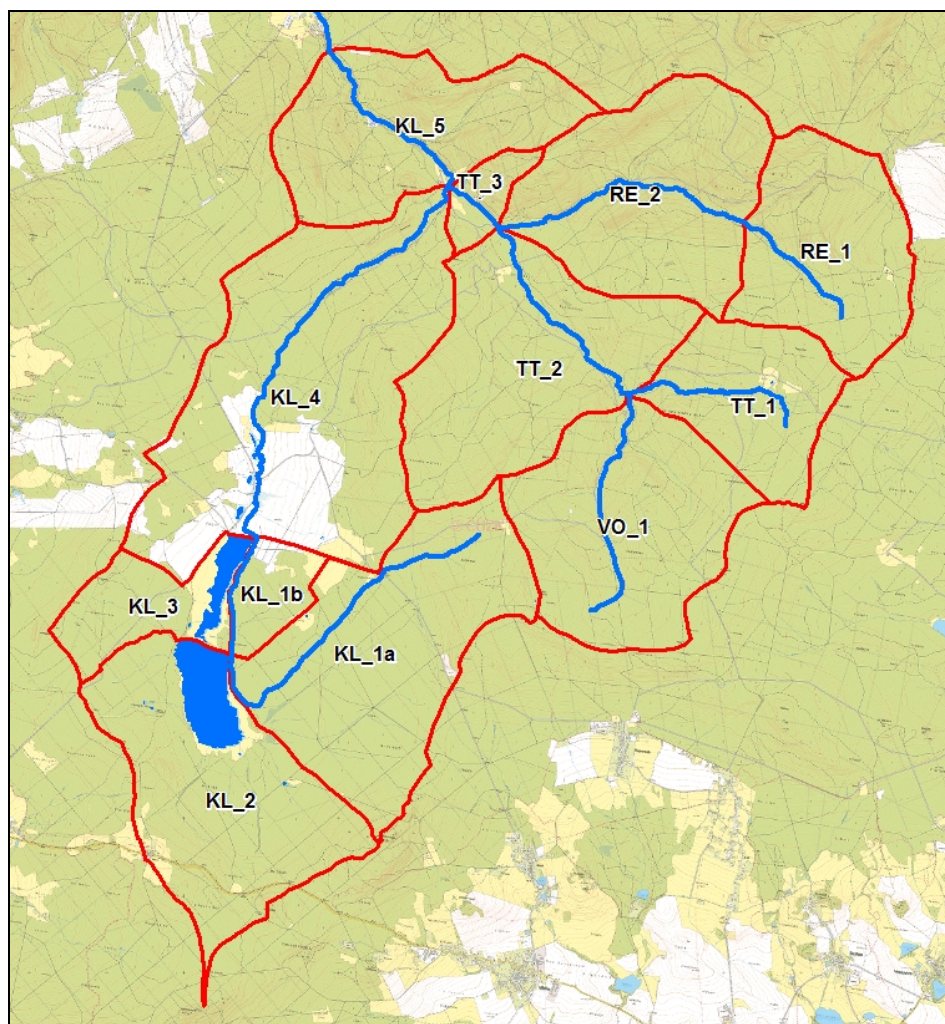
 **Key words:** Klabava catchment, Brdy Protected Landscape Area, water retention in the catchment, measures for water retention increase, evaluation of floods

Úvod a vymezení zájmového povodí

Tento příspěvek vychází z poznatků Studie zvýšení retenční schopnosti pramenné oblasti CHKO Brdy – I. etapa Klabava, která byla dokončena v březnu 2017 společností Sweco Hydroprojekt, a. s., na základě objednávky od AOPK ČR.

Zájmové povodí studie zaujímá cca 72 km² a je vymezeno povodím Klabavy po profil nad zástavbou obce Strašice. Zájmové povodí leží celé v CHKO Brdy a nacházejí se v něm oba nejvyšší vrcholy Brd, Tok 865 m n. m. a Praha 862 m n. m. Pro účely studie bylo zájmové povodí rozděleno na dílčí povodí. Základ říční sítě povodí tvoří vlastní tok Klabavy (KL), Třítrubecký potok (TT) a jeho

významné přítoky Rezerva (RE) a Voložný potok (VO). Podle Konsolidované vrstvy ekosystémů převládají v území z 91,4 % lesní ekosystémy (79,2 % území tvoří hospodářské lesy jehličnaté). Průměrná sklonitost zájmového povodí je 10,8 %. Plošší území se nachází v kotlině v jižní části povodí. Součástí kotliny jsou také nejvýznamnější vodní plochy v území, Hořejší Padrťský rybník a Dolejší Padrťský rybník, na které navazuje jediné souvislejší bezlesí v území. Tato oblast je spolu s přilehlým úsekem toku Klabavy součástí evropsky významné lokality (EVL) Padrťsko CZ0214041, s výskytem raka kamenáče, hnízdištěm orla mořského a dalšími vzácnými předměty ochrany.



Obr. 1. Rozdělení zájmového povodí na dílčí povodí.

Fig. 1. Division of the catchment of interest into sub-basins.

V rámci studie byly vyhodnoceny dostupné podklady o území. Analytická i návrhová část studie je zpracována v prostředí ArcGIS 10.1. Z podkladů od ČÚZK byla mimo jiné zpracována geodatabáze ZABAGED a model terénu DMR 5G, z podkladů ÚHUL Mapy lesních hospodářských celků, Porostní mapy lesů a Mapy lesních typů. Dalším důležitým podkladem poskytnutým AOPK ČR byla Konsolidovaná vrstva ekosystémů. V období září – listopad 2016 byla v území provedena terénní šetření se zaměřením především na vodní toky a plochy, cestní síť a její odvodnění, plošné odvodnění v území a způsoby lesního hospodaření. Zjištění v terénu byla zahrnuta do podkladů, také s nápomocí fotodokumentace s GPS souřadnicemi. Cílem studie bylo získat představu o odtokové situaci v území, navrhnout možná opatření pro zvýšení retence a kvantifikovat potenciál možného snížení parametrů povodňových vln v závěrovém profilu povodí.

Z hlediska ochrany přírody a krajiny je předností zájmového území zmiňovaná EVL Padrťsko, převládající přirozený charakter vodních toků a nezastavěnost území s rozsáhlými lesními porosty. Nepříznivé ovlivnění vyplývá z minulého způsobu využívání území – vedle armádního účelu také se zaměřením na lesnickou produkci a rybochovný účel rybníků. S těmito zaměřením souvisí také způsoby úpravy odtokového režimu v území – odvodnění lesních porostů (odvodňovací příkopy, prohloubení koryta Voložného potoka) a obtoková strouha kolem Padrťských rybníků. Účelem obtokové strouhy je přitom zřejmě zejména omezení nátoky kyselých vod do prostoru rybníků. Blíže o obtokové strouze, včetně jejího vlivu na odvodnění přilehlých rašelinišť, vlivu na chemismus vod v Klabavě a související působení na populaci raka kamenáče pojednává Souhrn doporučených opatření pro EVL Padrťsko. Je zřejmé, že s vyhlášením CHKO Brdy (k 1. lednu 2016) by mělo být v území posíleno hledisko ochrany přírody a krajiny, a to i na úkor produkčních funkcí.

Povodňový režim území

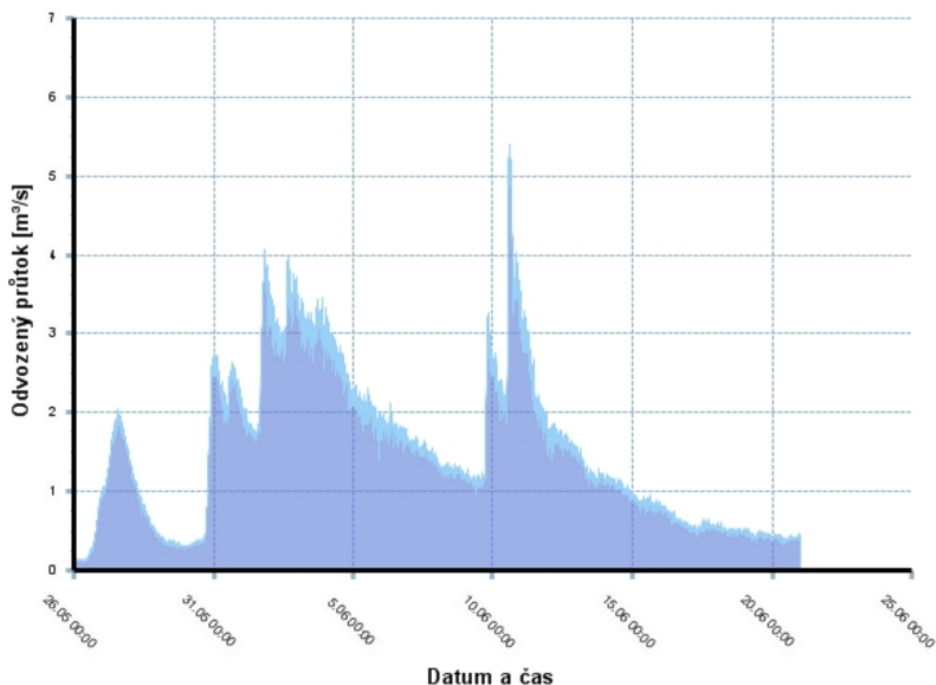
V povodí Klabavy výrazně převládá letní režim povodní, tj. povodně se vyskytují převážně z dešťových srážek, nejčastěji v období květen až srpen. To platí i o zájmovém povodí horní Klabavy. Výskyt zimních a jarních povodní omezuje nižší průměrný výskyt sněhových zásob (v porovnání např. s pohraničními horami) a také jejich postupné odtávání (přítomnost lesa a výškových rozdílů). Letní povodně nejčastěji způsobují vícedenní srážky spojené s přechodem frontálních systémů, působení tlakových níží nebo s výskytem synoptických situací s bouřkovými událostmi.

Z historických povodní bylo povodí Klabavy součástí katastrofální povodně v květnu 1872. Přivalové srážky nebyvalého rozsahu tehdy způsobily např. povodňovou vlnu na Berounce v Berouně s kulminací 3000 m³/s (oproti 2170 m³/s tamtéž v srpnu 2002). Největší povodně na Klabavě v nedávné době byly

zaznamenány v těchto měsících / letech: 5/1978, 7/1980, 7/1981, 6/1995, 8/2002, 5/2006, 6/2013. Podrobněji je jejich průběh popsán v práci M. Kadeřábka (2015).

Povodeň v květnu 2013 byla zaznamenána i v rámci Lokálního varovného povodňového systému Plzeňského kraje. Na srážkoměrné stanici Praha, byly zaznamenány tyto denní úhrny: 29.5 – 22,2 mm, 30.5. – 30,4 mm, 31.5. – 10,6 mm, 1.6. – 33,2 mm, 2.6. – 25,2 mm, 3.6. – 18,8 mm. 9.6. – 19,6 mm (18,2 mm/h), 10.6. – 13 mm. Odtoková odezva na příčné srážky je dále patrná i na stanicích Klabava-Padrť a Třítrubecký potok-Tři trubky. Bohužel stanice Tři trubky vykazuje během povodně poruchu, takže není možné porovnat odtokovou odezvu v obou stanicích. Od května roku 2013 se přitom významnější povodňová situace v zájmovém povodí nevyskytla. Rozmístění stanic však může být přínosné pro rozbor budoucích povodní. Vyhodnocení průtoků z obou stanic spolu s vyhodnocením průtoků ze stanice Klabava-Strašice (provozovatel MěÚ Rokycany, sběr dat RPP ČHMÚ Plzeň) může více napovědět o povodňovém režimu zájmového povodí.

Padrt' F1C - Odvozený průtok

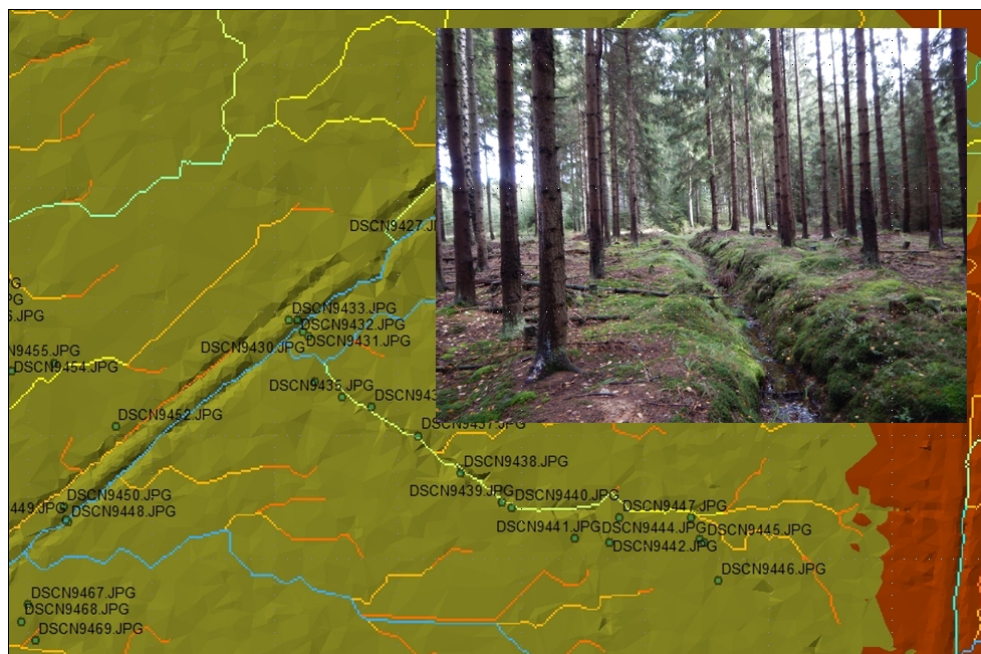


Obr. 2. Průtoky v profilu Klabava-Padrť v období 26.5 až 20.6.2013 podle Lokálního varovného povodňového systému Plzeňského kraje.

Fig. 2. Flows in the profile Klabava-Padrť from May 5th to June 20th 2013 according to the Local flood warning system of the Pilsen Region.

Definování hydrografické sítě povodí

Pro vyhodnocení odtokových poměrů je důležité definování hydrografické sítě povodí. To je určení sítě, kde dochází k soustředěnému odtoku vody. Odtok přitom může být stálý nebo občasný, v závislosti na aktuální situaci v povodí. Základem pro vytvoření hydrografické sítě v povodí jsou vodní toky definované geodatabází ZABAGED.



Obr. 3. Příklad trasování odvodňovacích příkopů podle odtokových linií z terénu DMR 5G.

Fig. 3. Example of tracing of drainage ditches according to runoff lines of the terrain DMR 5G.

Definování podrobnější sítě bylo zpracováno na základě zpracování vrstvy terénu. Pro účely studie byla k dispozici vrstva terénu DMR 5G (nepravidelná trojúhelníková síť, střední chyba výšky 18 cm v odkrytém terénu, 30 cm v zalesněném terénu). Podle údajů u výchozích souborů vrstvy pochází z let 2013 až 2014. Tato vrstva byla použita k vytvoření rastru terénu $0,5 \times 0,5$ m ve formátu GRID. Na rastr terénu byly následně aplikovány nástroje ArcGIS (Fill, Flow Direction, Flow Accumulation), které umožnily vygenerovat rastr s definovanými hodnotami přispívajících ploch. Z tohoto rastru byly pro účely studie dále vytvořeny (nástroji Stream Definition, Raster to Polyline) odtokové linie

s přispívajícími plochami nad 0,025 ha, 0,5 ha a 2,5 ha. Tyto linie znázorňují přirozené odtokové linie v povodí. Výjimkou jsou však místa, kde odtok prochází skrz propustky či mosty, v těchto místech DMR 5G zaznamenává povrch terénu a ne proudění vody. To je třeba při posuzování hydrografické sítě zohledňovat. Dále je vhodné zohlednit, zda odtoková linie skutečně prochází určitou sníženinou v terénu, nebo zda byla vytvořena jen poměrně náhodně podle postupné koncentrace vody na delších svazích. To, zda dochází ke skutečné koncentraci odtoku, napovídá vrstva vrstevnic po 0,5 m (vytvořená nástrojem Contour z rastrového terénu $0,5 \times 0,5$ m).

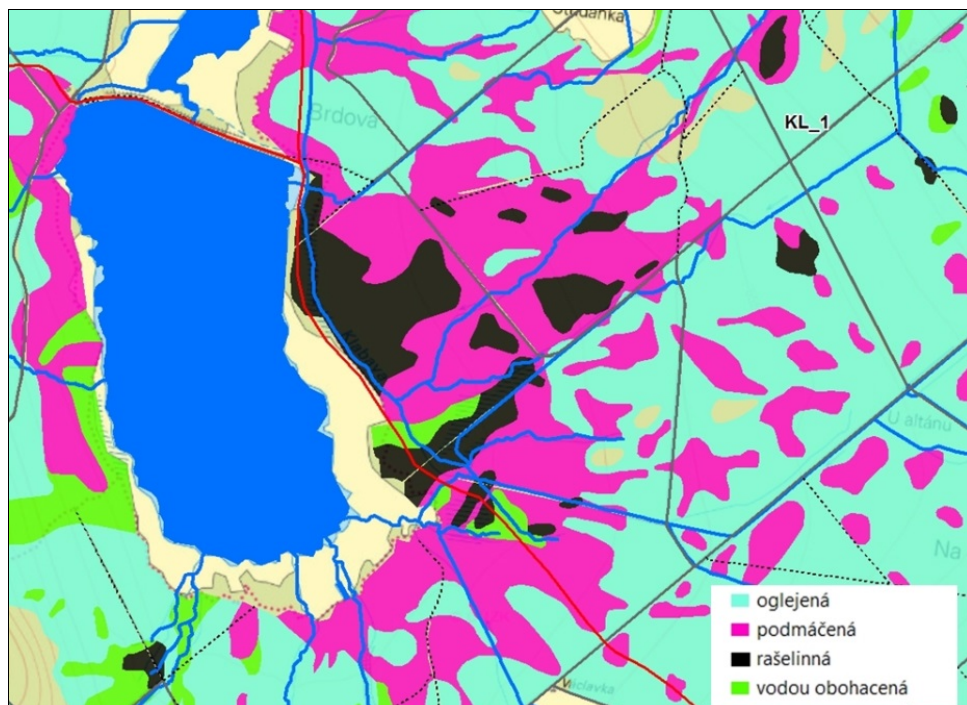
Vybrané odtokové linie v povodí zaznamenávají přirozenou koncentraci odtoku podle morfologie terénu, dále koncentraci odtoku způsobenou cestní sítí (nebo jejím odvodněním) a také odtokové linie vytvořené cíleným plošným odvodněním území. Korytový odtok je obecně rychlejší než plošný povrchový odtok. V některých případech koncentrovaný korytový odtok přechází opět do volného terénu a lze tak počítat s jeho zpomalením. Plošné odvodnění bylo pro účely studie zakresleno do mapy analýzy odtokových poměrů, a to podle zmiňovaných generovaných odtokových linií (napřímené a zahmloubené) a dále s využitím porostní mapy lesů, terénního šetření a ortofotomap (odvodnění v bezlesí).

Odtokové charakteristiky plochy povodí

Současný pokryv zájmového povodí charakterizuje Konsolidovaná vrstva ekosystémů ČR (KVES ČR), která byla vytvořena ve spolupráci Ústavu výzkumu globální změny AV ČR (CzechGlobe) a AOPK ČR jako mapový podklad pro hodnocení služeb ekosystémů. KVES umožňuje rozlišení přírodních biotopů od antropogenních (umělých) typů ekosystémů v rozlišení vhodném pro hodnocení ekosystémových služeb. KVES obsahuje 41 základních kategorií ekosystémů ve čtyřech hierarchických úrovních a šesti širších typech ekosystémů. V zájmovém povodí dominují lesní ekosystémy s 91,4 % zastoupením (nejvíce hospodářské lesy jehličnaté 79,2 %, dále smrčiny 5,1 %, bučiny 3,7 %, hospodářské lesy smíšené 1,6 %, lužní a mokřadní lesy 1,1 %, suché bory 0,35 %, rašelinné lesy 0,12 % a další). Z travinných systémů s 5,3% jsou nejvíce zastoupeny mezofilní louky s 2,8 %, dále hospodářské louky s 1,5 %, aluviální a vlhké louky s 0,9% a vřesoviště s 0,13 %. Vodní systémy zaujímají 1,9 % plochy. Mokřady zaujímají 1,08 % plochy (mokřady a pobřežní vegetace 0,9 %, rašeliniště a prameniště 0,13 %). Pod 0,2 % jsou zastoupeny území bez vegetace, urbánní systémy a zemědělské ekosystémy.

Pro posouzení retence území byla vytvořena vrstva CN křivek. Z hodnot CN křivek byla určena maximální retence v povodí S (viz následující kapitola). Hodnoty CN jsou určovány na základě krajinného pokryvu a hydrologických skupin půd (např. Janeček et al., 2012). Pro studii byla jako výchozí vrstva hodnot CN použita vrstva znázorněná na portálu vodavkrajine.cz, zpřesněná podle Konsolidované vrstvy ekosystémů. Hydrologické skupiny půd dále poměrně úzce

souvisí s hydrickým režimem území. Pro určení hydrického režimu byla využita vrstva s vymezením ekologických řad ovlivněných vodou podle lesnické typologie (oglejené, podmáčené, rašelinné a vodou obohacené řady). Vymezení hydrického režimu znázorňuje dlouhodobý přirozený charakter lokality, méně ovlivněný současným umělým odvodněním.



Obr. 4. Mapa ekologických řad ovlivněných vodou podle lesnické typologie východně od Hořejšího Padrtského rybníka znázorňuje přirozený dlouhodobý vodní režim v území. Rašeliniště a rašelinné lesy se však v současnosti vlivem odvodnění území vyskytují jen na části území s rašelinnou ekologickou řadou.

Fig. 4. Map of ecological series influenced by water according to the forest typology eastwards of Hořejší Padrtský pond represents the natural long-term water regime in the area. Peat bogs and peat bog forests, however, currently exists only on parts of the peat ecological series due to the artificial drainage of the area.

Vytvoření hydrologického modelu povodí

Pro zájmové povodí byl sestaven hydrologický model v prostředí programu HEC-HMS 4.0. Model byl v závěrovém profilu nakalibrován podle návrhových průtoků od ČHMÚ ($Q_{100} = 68,7 \text{ m}^3/\text{s}$). Jednodenní návrhové srážky jsou odvozeny

podle srážkoměrné stanice Borovno-Mišov (Šamaj et al. 1985), např. $P_{100} = 105,6$ mm. Stanice leží cca 1,5 km jihozápadně od hranice zájmového povodí. Pro rozdělení srážek do hyetogramů byl zvolen postup podle ČHMÚ (Kulasová et al. 2004). Protože se předpokládá možný vícedenní charakter příčinných srážek, byla u zájmového povodí uvažována vysoká nasycenost povodí, zohledněna v parametru retence povodí typu CN III (kumulativní úhrn srážek za 5 dní před příčinnou srážkou byl větší než 53 mm).

Vytvoření modelu vycházelo z postupů doporučených ČHMÚ (Šercl 2009) a manuálu programu HEC-HMS (Scharffenberg 2013). Pro dílčí povodí byly v prostředí GIS určeny následující parametry: A plocha povodí v km^2 , Y sklon povodí v procentech, $CN\ III$ hodnota čísla odtokových křivek pro vysoký stupeň nasycení, L délka nejdelší údolnice v povodí v m, S_{1085} průměrný sklon povodí podél maximální délky toku ve stopách na míli v úseku mezi 10–85% délky.

Pro výpočet objemu přímého odtoku byla použita metoda CN-křivek. Tato metoda předpokládá, že poměr objemu odtoku k úhrnu přivalové srážky se rovná poměru objemu vody zadržené při odtoku k potenciálnímu objemu, který může být zadržen. Odtok zpravidla začíná až po určité akumulaci srážek, tedy po určité počáteční ztrátě IA , která je součtem intercepce, infiltrace a povrchové akumulace

Odhad počáteční ztráty IA v mm byl vypočítán na základě maximální retence povodí S (odvozené z hodnoty CN).

$$IA = 0,2 \cdot S$$

Pro určení maximální retence povodí platí vztah:

$$S = (25400 - 254 \cdot CN) / CN \text{ (mm)}$$

Pro transformaci přímého odtoku byla v modelu zvolena metoda jednotkového hydrogramu dle Clarka, která disponuje těmito parametry:

T_c – doba koncentrace povodí (h), tj. doba dotoku z nejvzdálenějšího místa povodí do závěrového profilu,

R – retenční (transformační) faktor povodí (h), simulující dobu zdržení vody v povodí.

Výpočet doby koncentrace byl odvozen z hodnoty T_{LAG} (časový posun v hodinách mezi výskytem maxima příčinné srážky a výskytem kulminačního průtoku v závěrovém profilu povodí).

$$T_{LAG} = (L^{0,8} \cdot (S + I)^{0,7}) / 1900 \cdot Y^{0,5}, \text{ kde jsou}$$

L délka údolnice k rozvodnici (feets),

S maximální retence povodí (inches),

Y průměrný sklon povodí (%).

Délky údolnic k rozvodnicím byly v prostředí GIS určeny jako páteřní vodní toky povodí a jejich pokračování směrem k rozvodnicím podle předpokládané největší vodnosti.

Doba koncentrace T_C byla odvozena jako $T_{LAG} / 0,6$.

Pro určení koeficientu R byl použit vzorec ve tvaru:

$$R = A * L^B * S_{1085}^C, \text{ kde jsou}$$

L maximální délka toku v povodí v mílich,

S_{1085} je průměrný sklon povodí podél maximální délky toku ve stopách na míli v úseku mezi 10–85% délky (začátek toku je níže),

$$A = 80, B = 0,342, C = -0,79.$$

Uvedený vzorec pro výpočet koeficientu R byl v modelu brán jako výchozí, při kalibrování modelu byl pro všechna dílčí povodí rovnoměrně korigován.

Pro postup povodňové vlny v říčních úsecích byla použita metoda Muskingum, která vychází z jednoduché bilance přítoku a odtoku v rámci říčního úseku:

$$S = K * [XI + (I-X) * O], \text{ kde jsou}$$

S zadržený objem v retenčním úseku (m^3),

O průměrný odtok z říčního úseku (m^3/s),

I průměrný přítok do říčního úseku (m^3/s),

K doba postupu vlny v daném říčním úseku (hod.),

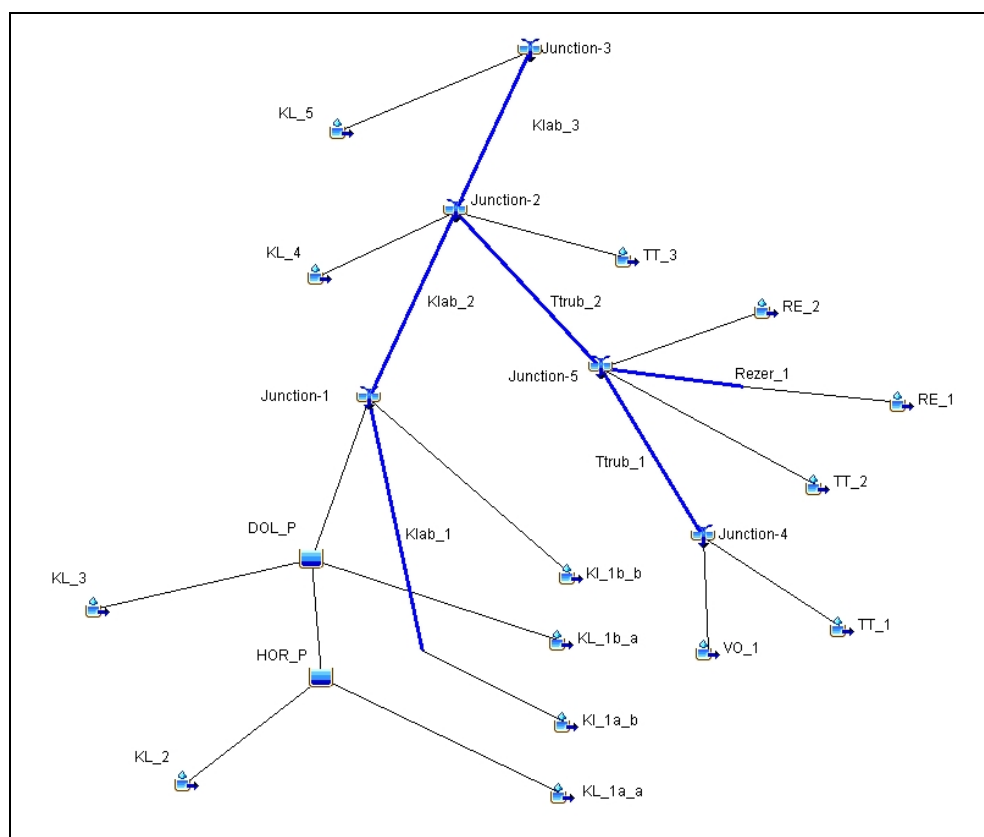
X transformační faktor (bezrozměrné číslo, nabývá hodnot 0–0,5).

Hodnota K byla odvozená z odhadnuté rychlosti postupu povodňové vlny 1,5 m/s, u parametru X byla zvolena hodnota 0,2 (0,5 představuje nulovou transformaci, hodnota 0 maximální).

Model HEC-HMS se skládá z dílčích povodí, přitom povodí KL_1a (Klabava přes obtokovou strouhu po profil pod Hořejším Padrťským rybníkem) bylo v modelu rozděleno na dvě poloviny (s poloviční plochou povodí) KL_1aa a KL_1ab se shodnými parametry. V modelu se tak simuloval odhad současného stavu, že polovina objemu povodňových vln odtéká obtokovým korytem a polovina se přelévá do Horního Padrťského rybníku. Obdobně bylo rozděleno povodí KL_1b (Klabava přes obtokovou strouhu po profil pod Dolejším Padrťským rybníkem) vzhledem

k Dolnímu Padrt'skému rybníku. Kromě rozdělovaných dílčích povodí obsahuje dílčí povodí KL_2, KL_3, KL_4, KL_5, VO_1, TT_1, TT_2, TT_3, RE_1 a RE_2.

V modelu byly dále simulovány Hořejší Padrt'ský rybník (HOR_P) a Dolejší Padrt'ský rybník (DOL_P). Do modelu byly zadány jejich charakteristiky (křivka výšek hladin a objemů, parametry bezpečnostních přelivů) podle platného manipulačního řádu (2008) a jeho aktualizace (2015). V modelu byla také simulována koryta vodních toků Klabavy (Klab_1, Klab_2, Klab_3), Třítrubeckého potoka (Trub_1, Trub_2) a Rezery (Rezer_1). Soutoky v modelu reprezentují prvky Junction_1 až Junction_5. Prvek Junction_3 je zároveň závěrovým profilem zájmového povodí.



Obr. 5. Schematizace zájmového povodí v modelu HEC-HMS.

Fig. 5. Schematization of the catchment of interest in the HEC-HMS model.

Návrhy opatření pro zvýšení retence

Návrhy opatření na zvýšení retence v zájmovém povodí jsou ve studii rozděleny do systému opatření: 1. Opatření na vodních tocích OPVT, 2. Opatření na vodních nádržích OPVN, 3. Opatření na melioracích OPME, 4. Opatření na cestní síti OPCS, 5. Opatření na způsobech lesního hospodaření OPLH.

Opatření na vodních tocích se dále dělí na opatření (OPVT 1 až OPVT 5): Revitalizace Voložného potoka, Revitalizace obtokového koryta Padrt'ských rybníků, Revitalizace Klabavy pod Dolejším Padrt'ským rybníkem, Revitalizace odvodňovacího příkopu podél silnice u Dolejšího Padrt'ského rybníka a Revitalizace toků jihovýchodně od Hořejšího Padrt'ského rybníka.

Revitalizace Voložného potoka by měla napravit nevhodný zásah ve formě prohrábky a zkapacitnění koryta od správce toku. Charakter odtokového režimu, kdy se Voložný potok za menších průtoků ztrácel do hrubých sutí vyplňujících údolní dno, byl totiž vyhodnocen jako vada. Přitom se zřejmě jedná o unikátní akumulace hrubé suti, která může být pozůstatkem kamenného ledovce z posledního glaciálu (Cílek, Mudra, Sůvová a kol., 2015). Určité zamokření údolí by navíc odpovídalo přirozenému výskytu podmáčených a rašelinných smrčín.

Opatření na vodních nádržích se týká Hořejšího a Dolejšího Padrt'ského rybníka a navazuje na opatření Revitalizace obtokového koryta Padrt'ských rybníků. V současné době je část průtoků, které by byly transformovány v prostoru rybníků, sváděna obtokovým korytem pod Dolejší Padrt'ský rybník a to zřejmě z důvodů posílení produkčních schopností rybníků, kdy obtokové koryto omezuje nátok poměrně kyselých vod do rybníční soustavy. Revitalizací obtokového koryta by bylo možné obnovit přirozený rašelinný charakter území a také zpomalit postup povodňových vln. Funkce obtokového koryta navíc není popsána v rámci manipulačního řádu, provozního řádu ani v povolení s nakládání s vodami a v rámci zpracování studie nebylo nikde zjištěno, že by tato stavba byla oficiálně legalizována a povolena. Další součástí opatření by mělo být posouzení stávajících objektů (zejména bezpečnostních přelivů) Padrt'ských rybníků, zda odpovídají aktuálním návrhovým povodňovým vlnám. Pokud by tomu tak nebylo, byly by potřebné patřičné stavební úpravy na objektech nádrží.

Opatření na melioracích se dále dělí na (OPVT 1 až OPVT 4): Ponechání odvodnění samovolnému zaplňování a renaturaci (pro drobnější odvodnění spíše v plošším území), Přerušení odvodnění přehrázkami (zvláště pokud odvodnění drénuje rašelinné biotopy), Zpřirodnění trasy odvodnění (rozčlenění hloubky popř. rozvlnění do stran) a Udržování příp. zřízení nového odvodnění (v některých případech bezlesí může dílčí odvodnění vytvářet ekologicky cennější biotopy než trvalé zamokření). Charakter opatření na melioracích mají také některé části opatření na vodních tocích (např. převládá u návrhu Revitalizace obtokového koryta Padrt'ských rybníků).

Opatření na cestní síti se dále dělí na (OPVT 1 až OPVT 7): Rušení vybraných cest, Podpora cest bez soustředěného odtoku, Přerušení soustředěného odtoku na cestách – svodnice, Přerušení soustředěného odtoku na cestách – průlehy, Přerušení soustředěného odtoku v cestních příkopech – odklon trasy příkopu, Přerušení soustředěného odtoku v cestních příkopech – trubní propustky, Doplnění odvodnění u cest poškozených povrchovým odtokem.

Rušení vybraných cest je navrhováno u cest nejnižší kategorie, které významněji ovlivňují odtokové poměry a zároveň nejsou cestami odvozními. Podpora cest bez soustředěného odtoku znamená mimo jiné zvážení použití cest volně přeléváných, bez příkopů na návodní straně (Keller & Sherar, 2003). Další možností obzvláště v bezlesí je podpora formy odvodnění, kdy jsou příkopy tvarovány spíše do podoby zasakovacích průlehů. Přerušení soustředěného odtoku na cestách formou svodnic je vhodné spíše v případě, že je třeba odvodnit pouze vlastní sklonitější cestu. Pokud by mělo odvodnění sloužit i pro převod vod z přilehlého povodí je vhodné pro větší kapacitu nahradit svodnice průlehy v rámci cestní sítě. Tato alternativa se však zatím v zájmovém povodí nevyskytuje. Za příznivých morfologických podmínek je vhodným způsobem rozptýlení vody z příkopů jejich odkloněním do volného terénu. Poměrně častým typem převedení vod z příkopů na druhou stranu cesty ve směru sklonu terénu je převedení pomocí trubních propustků. Na tento typ převedení by obecně mělo navazovat rozptýlení vody do volného terénu, nemělo by docházet ke koncentraci do podoby např. erozních rýh. Návrhy opatření Doplnění odvodnění u cest poškozených povrchovým odtokem jsou reakcí na relativně časté zjištění poškození cest proudící vodou při terénních šetřeních.

Opatření na způsobech lesního hospodaření (OPLH) jsou vymezená ve čtyřech stupních priorit: 1. lesy v I. zóně CHKO nebo lesy v EVL (2,74 km² lesů v zájmovém povodí), 2. lesy ve II. zóně CHKO (2,94 km² lesů v zájmovém povodí), 3. vybrané lesy mimo I. a II. zónu CHKO nebo EVL (17,18 km² lesů v zájmovém povodí), 4. ostatní lesy. Hranice priorit 1 a 2 byly vymezeny podle hranic zón CHKO a EVL a podle hranic lesa definovaných v lesních hospodářských plánech (LHP). Priorita 3 byla vymezena s přihlédnutím k těmto kritériím: propojení lesů v 1. a 2. prioritě do souvislejších celků, vymezení ekologických řad lesních typů ovlivněných vodním režimem, zahrnutí ploch s přírodním charakterem lesů, vymezení lesů ochranných.

Hlavním cílem navrhovaných opatření je vytvoření trvale udržitelných přirozeně se obnovujících stabilních a odolných lesních porostů s přírodě blízkou cílovou druhovou skladbou, případně s dostatečným podílem melioračních dřevin. Při obhospodařování těchto porostů by měly být využívány principy přírodě blízkého hospodaření (Vacek & Podrázský, 2006). Modelové zhodnocení ekonomické efektivity hospodaření navíc ukazuje, že takové postupy mohou být i ekonomicky výhodné (Remeš a kol., 2011).

Vyhodnocení návrhů opatření

Návrhy opatření mají vliv na zvýšení retenční schopnosti území a zpomalení odtoku. Při zrušení obtokového koryta Padrtských rybníků (OPVT 2) bude větší část odtoku z povodí Klabavy východně od rybníků transformována nádržemi. Pro současný stav je odhadována situace, že polovina objemu povodňových vln z území východně od rybníků (dílčí povodí KL_1a a KL_1b) odtéká obtokovým korytem a polovina se přelévá do rybníků. Po návrhu zrušení obtokového koryta přehrazením je modelováno, že veškerá voda z tohoto území bude odtékat přes rybníky.

Kvantifikace zvýšení retenční schopnosti území využívá rozdělení lesních porostů na kategorie lesů hospodářských a lesů s přírodním charakterem. Tedy tak, jak je to uvedeno v Konsolidované vrstvě ekosystémů. Pro lesy hospodářské se předpokládá při určování hodnot CN se „středními hydrologickými podmínkami“ (podle Janeček et al. 2012). Pro lesy s přírodním charakterem se předpokládají hodnoty CN s „dobrymi hydrologickými podmínkami“ (podle Janeček et al. 2012) a to zejména vlivem příznivějšího pokryvu a svrchní vrstvy půdy a lepšího prokořenění půdního profilu. Po přijetí opatření na způsobech lesního hospodaření na dalších územích se předpokládá postupný posun v těchto územích ze „středních hydrologických podmínek“ na „dobré hydrologické podmínky“ a tím i zvýšení retenční schopnosti území. To je korigováno mírným snížením retence, kdy se předpokládá, že při příznivém způsobu lesního hospodaření budou obnovena rašeliniště v rozsahu rašelinné ekologické řady podle lesnické typologie.

Dalším příznivým efektem úpravy lesního hospodaření může být vyloučení holosečného způsobu těžby. Kompletně odlesněný povrch je náchylnější pro urychlený odtok a erozní projevy. Navíc je často při následném zalesnění používáno odvodnění příkopy, neboť na povrchu byla přerušena desukční (odsávací) funkce lesa. Lesy s přírodní skladbou jsou také méně náchylné na kalamitní situace.

Při kvantifikaci vlivů revitalizací, rušení odvodnění a použití vhodného odvodnění cestní sítě je uvažováno s prodloužením doby koncentrace v dílčích povodích. Návrh prodloužení doby koncentrace vychází z pojetí Kirpichova faktoru úpravy (Chow et al., 1988). Kirpich mimo jiné uvažuje s dvojnásobnou dobou koncentrace u přírodních koryt oproti umělým příkopům. Při vyhodnocení je uvažováno, že se doba koncentrace v povodí zdvojnásobí u revitalizovaných toků, odvodnění přerušeno přehrázkami, odvodnění se zpřírodněnou trasou a úpravou odvodnění u cestních příkopů s přímou návazností na vodní toky. Aby se podchytila proporce vlivu opatření mezi sebou navzájem i vzhledem k ploše dílčího povodí byl kolem linií opatření vytvořen buffer o celkové šířce 5 m. Pro celé dílčí povodí byla vypočtena suma hodnot v bufferu nad vrstvou Flow Accumulation (rastr $0,5 \times 0,5$ m). Ve vrstvě Flow Accumulation je zachyceno jaká plocha se podílí na odtoku v dané buňce rastru. Podílem sumy hodnot nad bufferem

a sumy hodnot nad celou plochou dílčího povodí byl získán proporční odhad vhodného zvýšení doby koncentrace pro dílčí povodí.

Pro vyhodnocení vlivu přijatých opatření na povodňové průtoky byly posuzovány následující varianty modelů zájmového povodí:

a) CN III, odhad současného stavu povodí – polovina povodňového odtoku z povodí KL_1a a KL_1b směřuje do Padrtských rybníků a polovina odtéká podél obtokové strouhy;

b) CN III, hypotetická úprava současného stavu, Padrtské rybníky jsou prázdné a absorbují bez odtoku veškerý objem z povodí (KL_1a, KL_1b, KL_2, KL_3);

c) CN III, oproti současnému stavu je zrušena obtoková strouha (odtok z povodí KL_1a a KL_1b směřuje celý přes Padrtské rybníky);

d) CN III, oproti současnému stavu je zrušena obtoková strouha (odtok z povodí KL_1a a KL_1b směřuje celý přes Padrtské rybníky), na územích s prioritou 1, 2 a 3 jsou uplatňována opatření na lesním hospodářství (OPLH);

e) CN III, oproti současnému stavu je zrušena obtoková strouha (odtok z povodí KL_1a a KL_1b směřuje celý přes Padrtské rybníky), na územích s prioritou 1, 2 a 3 jsou uplatňována opatření na lesním hospodářství (OPLH), připouští se nižší retence na nově vzniklých rašeliništích;

f) CN III, oproti současnému stavu je zrušena obtoková strouha (odtok z povodí KL_1a a KL_1b směřuje celý přes Padrtské rybníky), na celém zájmovém povodí jsou uplatňována opatření na lesním hospodářství (OPLH), připouští se nižší retence na nově vzniklých rašeliništích;

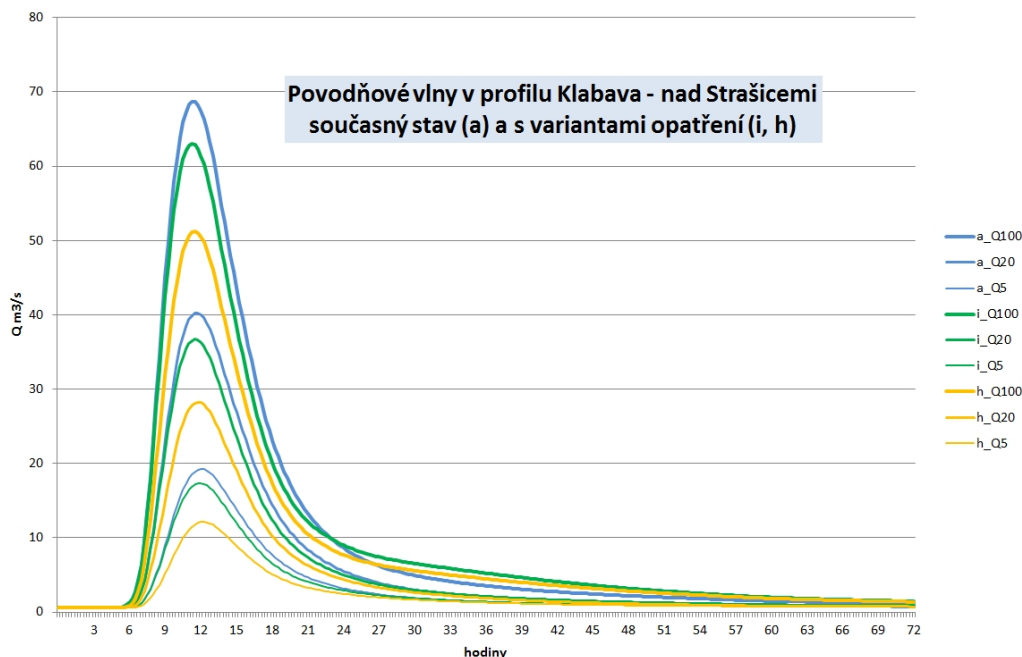
g) CN III, oproti současnému stavu je zrušena obtoková strouha (odtok z povodí KL_1a a KL_1b směřuje celý přes Padrtské rybníky), na územích s prioritou 1, 2 a 3 jsou uplatňována opatření na lesním hospodářství (OPLH), připouští se nižší retence na nově vzniklých rašeliništích, doby koncentrace v modelu jsou korigovány podle opatření na vodních tocích (OPVT), opatření na melioracích (OPME) a opatření na cestní síti (OPCS);

h) CN III, oproti současnému stavu je zrušena obtoková strouha (odtok z povodí KL_1a a KL_1b směřuje celý přes Padrtské rybníky), na celém zájmovém povodí jsou uplatňována opatření na lesním hospodářství (OPLH), připouští se nižší retence na nově vzniklých rašeliništích, doby koncentrace v modelu jsou korigovány podle opatření na vodních tocích (OPVT), opatření na melioracích (OPME) a opatření na cestní síti (OPCS);

i) CN III, oproti současnému stavu je zrušena obtoková strouha (odtok z povodí KL_1a a KL_1b směřuje celý přes Padrtské rybníky), doby koncentrace v modelu jsou korigovány podle opatření na vodních tocích (OPVT), opatření na melioracích (OPME) a opatření na cestní síti (OPCS).

Tab. 1. Vyhodnocení vlivu opatření pro zvýšení retence na povodňové průtoky v závěrovém profilu zájmového povodí.**Tab. 1.** Evaluation of the influence of measures increasing the retention on flood flows in the final profile of the catchment of interest.

varianta modelu	Q ₁₀₀ (m ³ /s)	W ₁₀₀ (tis. m ³)	Q ₅₀ (m ³ /s)	W ₅₀ (tis. m ³)	Q ₂₀ (m ³ /s)	W ₂₀ (tis. m ³)	Q ₁₀ (m ³ /s)	W ₁₀ (tis. m ³ /s)	Q ₅ (m ³ /s)	W ₅ (tis. m ³ /s)
a	68,674	2623,4	55,807	2100,7	40,238	1539,9	28,947	1152,2	19,219	820,0
b	62,839	2086,6	50,951	1718,1	36,576	1274,1	26,195	951,4	17,262	677,2
c	63,356	2599,5	51,349	2064,5	36,879	1434,8	26,395	1058,4	17,407	754,8
d	61,513	2505,4	49,686	1981,4	35,519	1375,5	25,292	1022,5	16,556	726,7
e	61,541	2512,2	49,711	1987,2	35,539	1378,2	25,308	1022,9	16,568	727,0
f	51,503	2168,6	40,906	1685,0	28,383	1147,2	19,524	842,1	12,183	588,8
g	61,219	2512,1	49,444	1987,2	35,348	1378,2	25,185	1022,9	16,490	727,0
h	51,258	2168,5	40,682	1685,0	28,237	1147,2	19,429	842,1	12,122	588,8
i	63,035	2599,5	51,054	2064,4	36,689	1434,8	26,273	1058,4	17,329	754,9
	Q ₁₀₀ (%)	W ₁₀₀ (%)	Q ₅₀ (%)	W ₅₀ (%)	Q ₂₀ (%)	W ₂₀ (%)	Q ₁₀ (%)	W ₁₀ (%)	Q ₅ (%)	W ₅ (%)
a	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
b	91,5	79,5	91,3	81,8	90,9	82,7	90,5	82,6	89,8	82,6
c	92,3	99,1	92,0	98,3	91,7	93,2	91,2	91,9	90,6	92,0
d	89,6	95,5	89,0	94,3	88,3	89,3	87,4	88,7	86,1	88,6
e	89,6	95,8	89,1	94,6	88,3	89,5	87,4	88,8	86,2	88,7
f	75,0	82,7	73,3	80,2	70,5	74,5	67,4	73,1	63,4	71,8
g	89,1	95,8	88,6	94,6	87,8	89,5	87,0	88,8	85,8	88,7
h	74,6	82,7	72,9	80,2	70,2	74,5	67,1	73,1	63,1	71,8
i	91,8	99,1	91,5	98,3	91,2	93,2	90,8	91,9	90,2	92,1



Obr. 6. Povodňové vlny Q100, Q20 a Q5 v závěrovém profilu zájmového povodí pro současný stav (**a**) a pro dvě varianty opatření **i** (zrušení obtokového kanálu Padrtských rybníků, opatření na vodních tocích, melioracích a cestní síti v povodí) a **h** (jako opatření **i** plus opatření na lesním hospodaření v celé ploše povodí).

Fig. 6. The flood waves Q100, Q20 and Q5 in the final profile of the catchment of interest for the current state (**a**) and for two variants of the measures **i** (cancellation of the bypass channel of the Padrtské ponds, measures on the watercourses, meliorations and the road network in the catchment area) and **h** (like measure **i** plus forest management measures across the entire catchment area).

Souhrn a závěr

V rámci studie zvýšení retenční schopnosti byly zkoumány odtokové poměry zájmového povodí Klabavy po profil Strašice-nad náhonem na Hájkův mlýn (cca 72 km²). V prostředí GIS byla zmapována plošná odvodnění a definována hydrografická síť povodí. Byl vytvořen hydrologický model povodí v prostředí HEC-HMS, který byl nakalibrován na data od ČHMÚ.

Pro zlepšení retenční schopnosti území byl vytvořen systém návrhů opatření na vodních tocích, vodních nádržích, melioracích, cestní síti a způsobech lesního hospodaření. Návrhy opatření jsou zakresleny ve formátu Esri shapefile. Za nejvýznamnější problémy v území z hlediska zaměření studie lze označit nevhodnou úpravu koryta Voložného potoka, svedení Klabavy před Padrtskými

rybníky do obtokového koryta a převládající intenzivní způsob lesního hospodaření (monokultury smrkových porostů, holosečné těžby, odvodnění porostů).

Bylo prokázáno, že návrhy opatření mohou mít poměrně významný pozitivní vliv na zvýšení retenční schopnosti území a zpomalení odtoku. Při zrušení obtokového koryta Padrťských rybníků bude větší část odtoku z povodí Klabavy východně od rybníků transformována nádržemi. Při kvantifikaci vlivu opatření na lesním hospodaření (OPLH) na retenci se pracuje s úvahou, že hospodářské lesy mají retenční schopnost odpovídající „středním hydrologickým podmínkám“, zatímco přírodě blízké lesy mají retenční schopnost odpovídající „dobrým hydrologickým podmínkám“ (hodnoty CN podle Janeček et al., 2012). Při kvantifikaci vlivů revitalizací, rušení odvodnění a vhodného odvodnění cestní sítě bylo uvažováno s odpovídajícím prodloužením doby koncentrace v dílčích povodích. V tabulce je shrnuta kvantifikace vlivu možných opatření na kulminace povodňových vln s vybranými dobami opakování 100, 20 a 5 let.

Tab. 2. Vliv navrhovaných opatření na kulminace povodňových vln v závěrovém profilu zájmového povodí.

Tab. 2. Influence of the proposed measures on the culmination of flood waves in the final profile of the catchment of interest.

varianta	Q_{100} (m³/s)	Q_{20} (m³/s)	Q_5 (m³/s)
a (výchozí stav)	68,7 (100 %)	40,2 (100 %)	19,2 (100 %)
c (zrušen obtokový kanál)	63,4 (-7,7 %)	36,9 (-8,3 %)	17,4 (-9,4 %)
i (zrušen obtokový kanál, úprava doby koncentrace)	63,0 (-8,2 %)	36,7 (-8,8 %)	17,3 (-9,8 %)
g (zrušen obtokový kanál, úprava doby koncentrace, OPLH v prior. zónách 1,2 a 3)	61,2 (-10,9 %)	35,3 (-12,2 %)	16,5 (-14,2 %)
h (zrušen obtokový kanál, úprava doby koncentrace, OPLH v celém povodí)	51,3 (-25,4 %)	28,2 (-29,8 %)	12,1 (-36,9 %)

Zrušení obtokového kanálu kolem Padrťských rybníků přispěje ke snížení kulminace stoleté povodně v závěrovém profilu o 7,7 % (u menších povodní bude snížení mírně výraznější). Pokud kromě zrušení obtokového kanálu budou realizována i ostatní opatření na vodních tocích, opatření na melioracích a cestní

síti dojde k dalšímu (nepříliš velkému) snížení kulminace, u stoleté povodně v souhrnu o 8,2 %.

Pokud budou kromě výše uvedených opatření použita i opatření na způsobech lesního hospodaření na prioritních územích 1, 2 a 3 (tedy na cca 1/3 plochy povodí) lze očekávat snížení kulminace stoleté povodně v závěrovém profilu o 10,9 % (u menších povodní bude snížení výraznější). Pokud by byla opatření na způsobech lesního hospodaření použita na celém povodí, lze očekávat snížení kulminace stoleté povodně v závěrovém profilu o 25,4 % (u menších povodní bude snížení podstatně výraznější). Opatření na způsobech lesního hospodaření však souvisí s dobou obmýtí a postupných změnách svrchní vrstvy půdy, jejich komplexní efekt se tedy může projevit až v horizontu cca 100 let. Přirozenou skladbu lesů budou přitom dále korigovat očekávané změny klimatu.

Výše uvedená tabulka je vázána na popsané předpoklady vlivů opatření a měla by být přístupná další diskusi. Rovněž není vhodné zužovat problematiku retence vody v povodí pouze na kvantifikaci zmenšení povodňových vln. Zpomalení odtoku vody z území má vliv také na vyrovnání druhého extrému vodního režimu krajiny – zmenšení projevů sucha. Navrhovaná opatření mohou mít pozitivní vliv také na jakost vod a podporují na vodu vázané ekosystémy.

Předložené výsledky mohou také přispět k úvahám o potřebnosti výstavby vodního díla Amerika. Uvažovaný profil hráze nádrže má povodí jen o cca 5 km² menší než je zájmové povodí studie. Vodní dílo (suchá retenční nádrž) by přispělo k posílení protipovodňové ochrany v úseku Klabavy od Strašic po začátek Rokycan. Zároveň však podstatným způsobem zasahuje do krajinného rázu území a s jeho výstavbou v současné době nesouhlasí např. také zastupitelstvo obce Strašice.

Literatura

- Aktualizace manipulačního a provozního řádu soustavy Padrtských rybníků (2015). Vodní díla – TBD. 12 s.
- Cílek V., Mudra P., Šůvová Z. a kol. (2015): Střední Brdy – hory uprostřed Čech. – Dokořán. 184 s.
- Chow V.T., Maidment D.R. & Mays L.W. (1988): Applied Hydrology. – McGraw Hill. 572 s.
- Janeček M. a kol. (2012): Ochrana zemědělské půdy před erozí. – ČZÚ. 113 s.
- Kadefábek M. (2015): Vliv VD Amerika na průtoky na Klabavě. – Bakalářská práce. Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Katedra fyzické geografie a geoekologie. 68 s.
- Keller G. & Sherar J. (2003): Low-Volume Roads Engineering. Best Management Practices Field Guide. – US Agency for International Development. 158 s.
- Kulasová B., Šercl P., Boháč M. a kol. (2004): Verifikace metod odvození hydrologických podkladů pro posuzování bezpečnosti vodních děl za povodní. Závěrečná zpráva projektu QD1368. – ČHMÚ, Praha. 71 s.
- Manipulační a provozní řád soustavy Padrtských rybníků (2008) HYDROEKO, Příbram. 20 s.
- Remeš J. a kol. (2011): Modelové zhodnocení ekonomické efektivity hospodaření při uplatnění variantních pěstebních způsobů. – Zprávy lesnického výzkumu. ČZU. 56: 20–26.
- Scharffenberg W.A. (2013): Hydrologic Modeling System HEC-HMS. User's Manual, Version 4.0. – US Army Corps of Engineers 441 s.
- Souhrn doporučených opatření pro evropsky významnou lokalitu Padrtsko CZ021042. – AOPK ČR. 33 s.
- Šamaj F., Valovič Š. & Brázdil R. (1985): Denní úhrny srážek s mimoriadnou výdatností v ČSSR v období 1901–1980. – Zborník prác SHMÚ, Bratislava. 112 s.

Šercl P. (2009): Vliv fyzickogeografických faktorů na charakteristiky teoretických návrhových povodňových vln. – Sborník prací ČHMÚ, Praha. 88 s.

Vacek S. & Podrázský V. (2006): Přírodě blízké lesní hospodářství v podmínkách střední Evropy. – ČZU. Praha. 74 s.

Recenzoval ing. Tomáš Just



Obr. 6. Voda z propustků by měla odtékat nesoustředěným odtokem, vytvoření umělého koryta pod propustkem je nežádoucí.

Fig. 6. Water from the culverts should flow away in the diffused outflow, creating an artificial channel under the culvert is undesirable.



Obr. 7. Přírodní charakter toku Klabavy nad soutokem s Třítrubeckým potokem (foto č. 6 a 7 M. Stehlík).

Fig. 7. Natural character of the Klabava river before the confluence with the Třítrubecký brook (photos No. 6 and 7 by M. Stehlík).



Obr. 8. Odvodnění při zalesňování po holosečném způsobu těžby v povodí horní Rezervy (ortofotomapa: ČÚZK, 2015).

Fig. 8. Drainage by afforestation after the clearcutting way of logging in the upper Rezerva catchment (orthophotomap: ČÚZK, 2015).



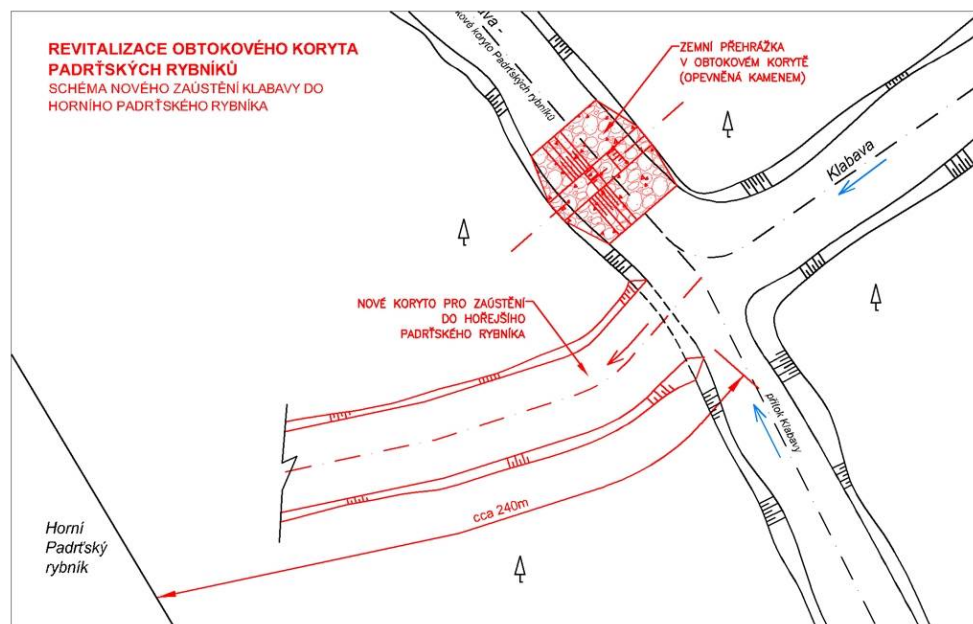
Obr. 9. Zhloubené upravené koryto Voložného potoka snižuje dobu koncentrace T_c v povodí, tj. urychluje odtok.

Fig. 9. Deepened modified trough of the Voložný creek reduces the time of concentration T_c in the catchment, i.e. speeds up the runoff.



Obr. 10. Litorály rybníků (na snímku Dolní Padrťský) jsou prostorem pro retenci povodní (foto č. 8–10 M. Stehlík).

Fig. 10. The litorals of ponds (Dolní Padrťský displayed) is the place for the retention of floods (photos No. 8–10 by M. Stehlík).



Obr. 11. Výkres návrhu obnovy zaústění Klabavy do Horního Padrťského rybníka.

Fig. 11. Drawing of the proposed reconstruction of the Klabava outflow to the Horní Padrťský pond.