

Program **Prostředí pro život**

**Metodika tvorby optimálního hydromorfologického managementu
dolních úseků vodních toků ČR ve vztahu k biotopu bahnitých
říčních náplavů M6**



Výstup projektu: Optimalizace managementu dolního úseku Labe s ohledem na přítomnost biotopu 3270 a zlepšení hydromorfologického stavu na základě mezioborové studie.

Číslo projektu: SS03010279

2024

Ostrava

Hlavní příjemce projektu:

Ostravská univerzita

Spolupříjemci projektu:

Botanický ústav AV ČR, v.v.i.

Česká zemědělská univerzita

Biologické centrum AV ČR, v.v.i.

Hlavní řešitel:

doc. RND. Jan Hradecký, Ph.D. **[kap. 1, 2, 6, 7]** (Přírodovědecká fakulta, Ostravská univerzita)

Spoluřešitelé:

Mgr. Jan Čuda Ph.D. (BÚ AV ČR) **[kap. 5]**, prof. Mgr. Jan Frouz, CSc. (BC AV ČR) **[kap. 4]**, prof. Ing. Martin Hanel Ph.D. (FŽP ČZU) **[kap. 3]**

Spolupracovníci:

doc. RNDr. Tomáš Galia, Ph.D. **[kap. 2]**, RNDr. Václav Škarpich, Ph.D. **[kap. 2]**, Mgr. Stanislav Ruman , Ph.D. **[kap. 2]** (PřF OSU)

doc. Ing. Jan Wild **[kap. 5]**, Ph.D., RNDr. Věra Hadincová, CSc. **[kap. 5]** (BÚ AV ČR)

Ing. Luděk Bureš, Ph.D. **[kap. 3]**, Ing. Martin Heřminovský, Ph.D. **[kap. 3]**

Bc. Jiří Hummel **[kap. 5]**, RNDr. Petr Petřík, Ph.D. **[kap. 5]** (FŽP ČZU)

RNDr. Jakub Borovec, Ph.D. **[kap. 4]** (BC AV ČR)

Subdodavatel vodohospodářsko-technické studie:

Envicons, s.r.o., Hradecká 569, 53352 Pardubice-Polabiny, IČ: 275 60 015, zastoupena: Mgr. Lukášem Krejčím, Ph.D. **[kap. 6]**



Text neprošel jazykovou korekturou.

Obsah

Úvod	5
1. Základní metodický rámec.....	6
2. Určení geomorfologických vlastností říčních náplavů.....	7
2.1 Fluviálně-geomorfologické mapování	8
2.1.1 Metodický postup.....	9
2.2 Morfometrie a morfografie	9
2.2.1 Metodický postup.....	9
2.3 Zrnitost náplavů.....	10
2.3.1 Metodický postup.....	10
2.4 Hydromorfologické hodnocení zájmového úseku.....	11
2.5 Literatura	12
3. Hydrologická analýza.....	13
3.1 Hydrologická bilance	14
3.2 Literatura	19
4. Geochemická analýza	21
4.1 Teoretický rámec.....	21
4.2 Metodický postup.....	22
4.2.1 Textura a chemické složení usazeného sedimentu	22
4.2.2 Zpracování dat.....	22
4.3 Literatura	23
5. Botanická analýza	23
5.1 Charakteristika biotopu bahnitých říčních náplavů.....	23
5.2 Mapování bahnitých říčních náplavů	24
5.3 Klasifikace stavu bahnitých náplavů.....	24
5.4 Role zaplavení a narušení.....	25
5.5 Vliv morfologie náplavu.....	26
5.6 Potenciál revitalizace biotopu bahnitých říčních náplavů.....	26
5.7 Kompenzační opatření – uměle vytvořená stanoviště	27
5.8 Monitoring vegetace a semenné banky	27
5.9 Ochrana vzácných druhů – příklad drobnokvětu pobřežního (<i>Corrigiola litoralis</i>).....	28
5.10 Literatura	29
6. Revitalizační a korekční opatření zvyšující potenciál rozvoje biotopu M6.....	29
6.1 Výústní tratě přítoků	30
6.2 Opatření v povodí přítoků	30
6.3 Štěrkopísčité náplavy.....	30

6.4 Příbřežní zóny	31
6.5 Říční dřevo	31
6.6 Urbanizovaná území	31
6.7 Umělé povodňování	32
Literatura	32
7. Závěr	33

Úvod

Biotop bahnitých říčních náplavů (M6) dle Katalogu biotopů ČR (Chytrý et al. 2010) představuje štěrkopísčité a bahnité břehy řek podmíněné jejich erozně-akumulační činností. Tento biotop je v úseku dolního Labe jedinou naší přirozenou lokalitou kriticky ohrožené rostliny – drobnokvětu pobřežního (*Corrigiola litoralis* L., Obr. 1), která je jedním z indikačních druhů těchto náplavů, které jsou typicky světlomilné a málo konkurenceschopné. Certifikovaná metodika vychází z řešení projektu TA ČR (Prostředí pro život): Optimalizace managementu dolního úseku Labe s ohledem na přítomnost biotopu 3270 a zlepšení hydromorfologického stavu na základě mezioborové studie (číslo projektu SS03010279).



Obr. 1 Detail růžice drobnokvětu (*Corrigiola litoralis*).

Udržitelnost řady biotopů v kulturní krajině je založena na dlouhodobém uplatňování zásad kvalitního ochrannářského managementu, který musí vstupovat i do ekologicky orientované správy vodních toků. Dlouhodobá interakce člověka s říčním ekosystémem vedla k eliminaci celé řady podstatných charakteristik prostředí, na jejichž základě došlo ke zmenšení rozlohy typických přirozených biotopů řeky Labe. Moderní ochrannářský management volí opatření k posílení a udržitelnosti výskytu biotopů a na ně vázaných druhů na základě znalostního aparátu vycházejícího z poznání fungování ekologických procesů v dotčených územích. Komplexnost chování a fungování fluvialní krajiny logicky vede k aplikaci interdisciplinárně orientované správy území, která je založená na aktuálních vědeckých poznatcích klíčových disciplín. Metodika proto vychází a shrnuje využitelné postupy pro ochrannářský management posilující hydromorfologickou kvalitu dotčených úseků řeky, jež se opírají o data z oblasti fluvialní geomorfologie, hydrologie, botaniky, geochemie a revitalizačních technik a postupů.

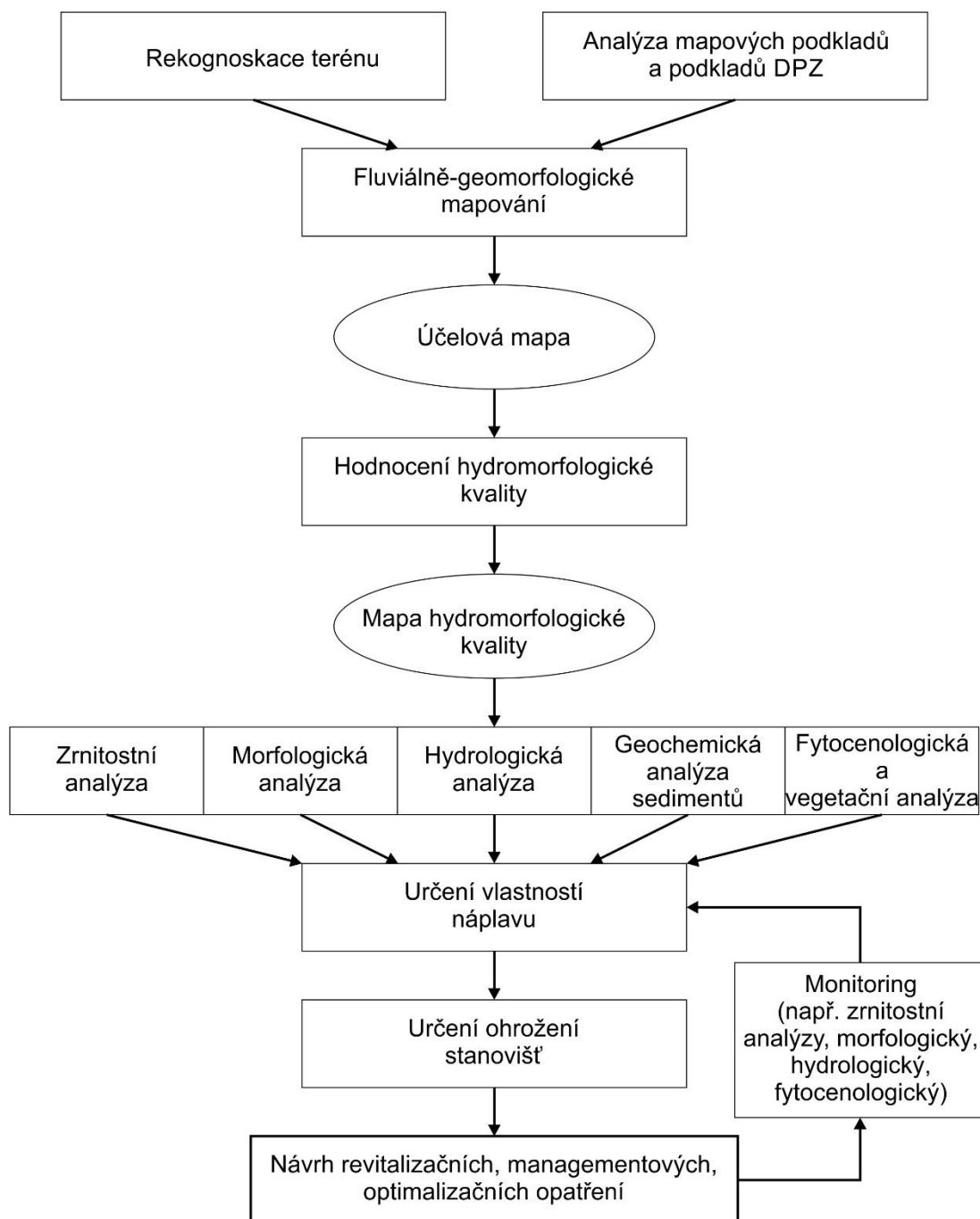
Metodika shrnuje podstatné postupy, tak aby byli v ochrannářské praxi realizovatelné. Zároveň lze při realizaci metodických postupů nahlédnout do výzkumné zprávy projektu, kde jsou postupy využity, ověřeny a lze tak rozšířit metodický rámec o další kroky, které ovšem nejsou primárním předmětem této metodiky.

V textu pracujeme s termínem „dolní Labe“, kdy se jedná o dolní úsek toku Labe na českém území.

Celá zpráva je k dispozici na linku: https://ibotcas-my.sharepoint.com/:f/g/personal/jan_cuda_ibot_cas_cz/EI4k67vPy11Ou9eNh2ZUEgsBKnBWVvO1H11AP3ooiY2Q?e=9aXJZu

1. Základní metodický rámec

Koncipování opatření ke zvýšení hydromorfologické kvality úseků toku s výskytem biotopu bahnitých říčních náplavů M6 vychází z poznatků čtyř vstupních částí z oblasti fluvialní geomorfologie, hydrologie, geochemie a botaniky. Celý koncept popisuje schéma na Obr. 2.

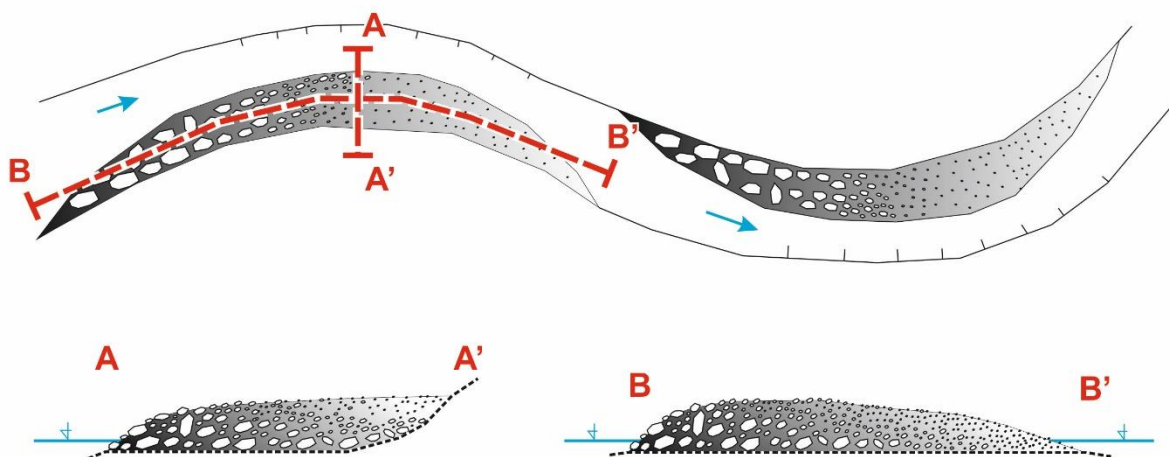


Obr. 2 Schéma postupu stanovení optimalizace hydromorfologické kvality stanovišť bahnitých říčních náplavů M6.

Základním cílem je určení výskytu vhodných lokalit pro vývoj náplavů, především pak ve variantě bočních a vrcholových lavic, které poskytují vhodné podmínky pro iniciaci bahnitých říčních náplavů. Metodou je rekognoskace terénu a využití dat dálkového průzkumu Země. Výstupem je specializovaná mapa informující o distribuci fluvialních forem reliéfu a také antropogenních prvků v korytě a nivě. Data této mapy (spíše by se však mělo jednat o GIS projekt spravující data o území a umožňující jejich další analýzu) vstupují do následného hodnocení hydromorfologické kvality sensu Rinaldi et al. (2016). Výstupem jsou vymezené úseky dle hydromorfologické kvality, jež poukazují na stupeň zachovalosti, resp. degradace říčních úseků. Jde o rámcové vyhodnocení, na které navazuje podrobnější analýza již zájmových typů stanovišť. Jedná se především o vyhodnocení zrnitostních poměrů na lavicích, jež se snaží postihnout distribuci sedimentu v rámci příčných profilů. Současně jsou analyzovány morfometrické a morfologické charakteristiky náplavů. Na studijních plochách probíhá vegetační hodnocení, jehož výstupem jsou podrobné informace o druhové skladbě a početnosti populací jednotlivých druhů a popis vegetačních formací. Zrnitostní analýzu doplňují data o geochemických parametrech sedimentů, jež dále zpřesňují stanovištní vlastnosti náplavů. Především na základě bioindikace lze přistoupit k vyhodnocení ekologické kvality náplavu a stanovení jeho možného ohrožení, ale také potenciálu k optimalizaci nebo revitalizaci. Celá koncepce metodického postupu je završena návrhem revitalizačních zásahů a možností ověření jejich efektu po vlastní realizaci. To představuje zopakování dílčích postupů, které by měly odhalit změnu kvality prostředí daného typu biotopu. Je zřejmé, že ideálním způsobem takového ověření je založení dlouhodobého monitoringu.

2. Určení geomorfologických vlastností říčních náplavů

Stanoviště formovaná fluvialními procesy (eroze – transport – akumulace) se vyznačují typickou stavbou, která je dána směrem a intenzitou působícího procesu. Nelze vymezit konkrétní metriky, ale lze aspoň rámcově určit, které vlastnosti náplavu jsou pro formování stanoviště a jeho ekologických parametrů podstatné.



Obr. 3 Typická poloha vývoje bočních lavic v konvexních částech koryta (nahore) s vyznačením poproudného zjemňování sedimentů (profil B-B'). Na profilu A-A' je vyznačena změna sedimentace v příčném profilu lavic.

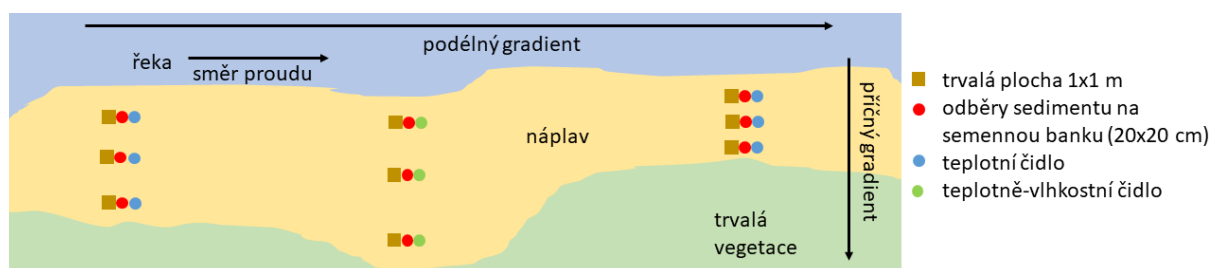
V tomto směru se jako zásadní jeví tři skupiny fluviálně-geomorfologických metod: (a) fluviálněgeomorfologické mapování, (b) morfometrie/morfografie a (c) zrnitostní analýza. Tyto skupiny analýz lze provádět jednorázově, nebo může jít o opakovaná měření v rámci monitoringu, jenž by měl stanovit procesy degradace nebo obnovy stanoviště.



Obr. 4 Ukázky morfologického projevu typických náplavů predisponující stanoviště M6.

2.1 Fluviálně-geomorfologické mapování

Korytové náplavy v řekách jsou klíčovým prvkem v přirozeném vývoji říčních koryt (Brierley a Fryirs 2005). Z fluviálně-geomorfologického pohledu tyto náplavy, tvořené dynamickými šterkovými nebo písčitými lavicemi, vznikají z říčních sedimentů usazených buď u břehů (například jako boční nebo vrcholové lavice) nebo ve středu koryta (například jako příčné, středové či diagonální lavice). Formují se prostřednictvím ukládání a přeplavování sypkého materiálu, který je transportován vodním tokem do míst, kde dochází k lokálnímu snižování transportní kapacity. Tento jev je obvykle spojen s morfologií koryta, přičemž náplavy se nejčastěji nacházejí na vnitřních březích zákrut a meandrů, v místech lokálního rozšíření koryta nebo v oblastech s přirozenými překážkami v toku, které umožňují rozptýlení energie proudící vody (například v souvislosti s přítomností říčního dřeva) (Church a Jones 1982; Olesen 1984; Abbe a Montgomery 1996; Galia a Škarpich 2017). Přitom poměr šířky koryta ku jeho hloubce je kritickým parametrem pro zformování náplavu (Redolfi et al. 2020).



Obr. 5 Lokalizace výzkumných ploch na monitorovaném náplavu s vyznačením směru profilování a sběru parametrů prostředí (zrnitost, morfometrie, botanika, mikroklimatické vlastnosti).

2.1.1 Metodický postup

Metody fluvialně-geomorfologického mapování se opírají o využití podkladových map patřičného měřítka nebo leteckých snímků (dle velikosti toku lze volit snímky z pravidelného snímkování nebo využít metod snímkování dronem), nebo vytvořeného podkladu v podobě digitálního modelu terénu (např. DMR 5G). Do těchto podkladů se provádí interpretace a zakreslování fluvialních forem, a to buď manuálně při terénním šetření, nebo lze využívat dnes velmi přesných metod GPS mapování při zaznamenávání objektů zájmu prostřednictvím aplikace rovnou v GIS prostředí. Na základě těchto postupů získáme přehled o konkrétních lokalitách s výskytem konkrétních, reálně existujících fluvialních forem. Místa potenciálního výskytu vybraných skupin fluvialních forem lze odvodit i na základě předběžné analýzy, nebo je možné vytipovávat lokality, kde lze předpokládat výskyt určitých skupin forem reliéfu (např. v konvexních partiích zákrutů a meandrů jde o vrcholové lavice, v inflexních bodech meandru jde o mělčiny a brody, apod. – viz Obr. 3) na základě teoretického vývoje vodního toku. Je nutné podotknout, že fluvialně-geomorfologické mapování má provádět proškolená nebo v oboru vzdělaná osoba.

2.2 Morfometrie a morfografie

Fluvialní lavice (v tomto případě definované jako bahnité náplavy s dominantně štěrkopísčitou převahou objemu akumulace) se vyznačují **charakteristickou morfometrií**, kterou lze vidět na Obr. 4. V případě výskytu střídavých laterálních náplavů, což je často případ upravených koryt, pak platí, že jejich relativní výška nad hladinou běžných průtoků je proporcionální k hloubce koryta (Tubino et al. 1999). Přitom jejich finální výška je nejvyšší v centrální části lavice a je úměrná k průtokovým charakteristikám souvisejícím s transportní kapacitou řeky, kdy vyšší průtok vede k formování relativně nižšího náplavu (Redolfi et al. 2020). Relativní výška náplavu přirozeně stoupá směrem k okraji nivy, nicméně celková morfologie je ovlivněná geometrií řečiště a hydraulickými poměry (například vrcholové náplavy v ostrých zákrutách nebo meandrech mívají strmější sklony povrchu v příčném profilu – to je dobře pozorovatelné i v případě námi zkoumaných profilů na Labi, kdy střední část náplavu ve Valtířově vykazuje strmější sklon v příčném profilu než náplavy formované v přímějších úsecích).

2.2.1 Metodický postup

Na každém z náplavů jsou totální stanici zaměřeny vždy tři profily ve frontální, tři profily v centrální a tři profily v distální části (Obr. 5) tak, aby jejich polohy překrývaly lokace s odběry sedimentů a botanicky monitorovanými plochami. Jednotlivé body v profilech jsou měřeny v rozestupu jeden metr tak, aby pokrývaly náplav mezi úrovní zaplavení během nízkých průtoků (cca 130 m³/s na vodoměrné stanici Ústí nad Labem) a přechod mezi náplavem a nivou. Tato přechodná zóna byla v terénu nápadná terénním stupněm, případně výskytem souvislého pokryvu bylinné vegetace nebo dřevin měkkého luhu. Zaměřené profily jsou připojeny do souřadnicového systému.

Z naměřených bodů je v rámci jednotlivých profilů vypočtena (i) průměrná konkavita jako aritmetický průměr rozdílů relativních výšek mezi sousedními zaměřenými body a (ii) směrodatná odchylka této konkavity (tj. směrodatná odchylka rozdílu relativních výšek mezi sousedními zaměřenými body). Tyto ukazatele představují heterogenitu povrchu jednotlivých náplavů. Pro vyhodnocení změny v rámci parametru průměrné konkavity a její směrodatné odchylky mezi měřeními v roce X a Y lze použít

neparametrický Mann-Whitney test na hladině významnosti 0,05, do kterého vstupují hodnoty vždy za celý náplav (tzn. celkově devět hodnot výše zmíněných parametrů za jeden náplav).

2.3 Zrnitost náplavů

Náplavy se z hlediska zrnitosti sedimentů často vyznačují určitými rysy. Obvykle jsou tvořeny jemnějším sedimentem než je trvale zaplavená část koryta (Smith 1974). Často bylo pozorováno zjemňování jejich povrchové vrstvy ve směru hlavního proudu, kdy nejhrubší klasty vykazují frontální (horní) část náplavu a nejjemnější sediment je nacházen v distální (dolní) části (Smith 1974; Bluck 1982; Ashworth a Ferguson 1986). Dále obvykle dochází k postupnému zjemňování od hladiny po vnější okraj náplavu s tím, jak klesá hloubka a rychlost proudění během vysokých průtoků (Parker a Andrews 1985). V neposlední řadě se na náplavech setkáváme s armováním jejich povrchové vrstvy, což v důsledku znamená, že sedimenty uložené pod touto vrstvou obsahují jemnější zrnitostní frakce (Smith 1974; Bluck 1982). Výše zmíněné trendy však mohou být narušeny přítomností živé vegetace na náplavu, která hraje roli hydraulicky drsnostního prvku podmiňující ukládání zejména jemných sedimentů (Edwards et al. 1999, Corenblit et al. 2015). Stejně tak mohou výrazné odlišnosti v sedimentární stavbě vykazovat náplavy v technicky upravených širokých korytech (Holušová a Galia 2020), případně náplavy přímo ovlivněné prohrábkou sedimentů. Sledovaný úsek Labe má obecně deficit jemných sedimentů, a to čím jsou lokality položeny výše proti proudu, tím více – důvodem je mj. přítomnost čedičových hornin s blokovým rozpadem a absence významných přítoků (odhlédnuto od zásadního vlivu umělých příčných stupňů, zejména VD Střekov). Lokality pod Děčínem, kde je tok již obohacen o materiál přinesený toky Ploučnice a Jílovského potoka, jsou na tom lépe, a to jak po stránce zrnitostního složení, tak po stránce přinesených živin.

2.3.1 Metodický postup

Určení zrnitostních poměrů se zaměřuje na aspekt povrchové (krycí) vrstvy a první podpovrchové vrstvy akumulace. V rámci zhodnocení povrchových a podpovrchových sedimentů na vybraných náplavech je přistoupeno k odběru a analýze pomocí prosévací granulometrické soustavy. Sedimenty jsou odebrány v návaznosti na zaměřované příčné profily a botanicky monitorované plochy ve frontální (horní), centrální a distální (dolní) části náplavu (ve směru po proudu), tedy na každém náplavu vždy ve 3 transektech od hladiny po vnější okraj náplavu. Vnější okraj transektu je identifikován jako oblast, kde byly patrné znaky pravidelného (alespoň každoročního) ovlivnění proudící vodou během zvýšených průtoků (viditelné odhalení náplavu bez vegetace nebo jen částečně nesouvislé pokrytí náplavu rostlinnými společenstvy). V rámci jednotlivých transektů v horní, centrální a dolní části náplavu jsou odebrány v každém transektu od hladiny po vnější okraj sedimenty vždy ve 2 až 4 odběrných místech dle relativní šířky transektu. Hlavní principy metriky sedimentů vycházejí z práce Folk a Ward (1957) a z metodiky Bunte a Abt (2001).

Při odběru pro síťování je vždy vzorkována povrchová vrstva sedimentů zhruba o mocnosti průměru největších částic vyskytujících se na povrchu (cca zhruba do 5 cm hloubky) v rámci daného odběrného místa za pomoci lopatky. Poté je přistoupeno k odběru podpovrchové vrstvy sedimentů ve stejném odběrném místě. U podpovrchových sedimentů je odebrán vždy vzorek z hloubky od 10 do cca 30 cm. Odebrat je nutné, jak u povrchové vrstvy, tak u podpovrchové vrstvy, vždy množství sedimentů dané provozní kapacitou prosévací soustavy (v případě výzkumu projektu to bylo alespoň 600 g sedimentů nutných pro analýzu na prosévací granulometrické soustavě Fritsch - ANALYSETTE 3PRO). Tyto sedimenty jsou poté prosety, kdy k prosévání byla použita v rámci projektu síta o velikosti ok: 20, 63, 200, 630, 2 000, 5 000 a 10 000 μm . Ideální je pro vzájemné posouzení využít stejná síta o těchto

velikostech ok. Výsledky jsou poté zpracovány za pomoci volně dostupné extenze MS Excel – GRADISTAT (Blott a Pye 2001), která umožňuje vizualizaci zastoupených zrnitostních frakcí v rámci trojúhelníkových diagramů. Pozice vzorkovaných ploch jsou zaznamenány a zaneseny do GIS projektu nebo zaznamenány do analogové mapy.

Variantním postupem je vzorkování povrchové vrstvy prostřednictvím fotogranulometrie. Povrch akumulace je snímkován ve stejném kroku, tedy podobně jako u odběru sedimentů pro analýzu za pomoci prosévací granulometrické soustavy a v návaznosti na zaměřované příčné profily a botanicky monitorované plochy. Snímkovací plochy mají na všech vybraných náplavech identické pozice jako odběrná místa sedimentů pro síťovací analýzu. Výjimku mohou představovat některé lokality pro fotogranulometrickou analýzu nevhodné, a to z důvodu výskytu jemné (bahnitě) frakce sedimentů nebo pokud jsou silně porostlé vegetací. Fotografie nasnímaných povrchových sedimentů jsou poté zpracovány ve volně dostupném programu PebbleCounts (Purinton a Bookhagen 2019), kdy jsou automaticky změřeny osy b u 150 náhodně programem vybraných na povrchu se nacházejících jednotlivých klastů (lze však využít jakýkoliv podobný software). Výsledky jsou poté zpracovány do vhodných vizualizací, např. pomocí krabicových grafů, kde jednotlivé hrany představují 25. a 75. percentil a vousy krabicového grafu představují 10. a 90. percentil. V případě monitoringu se snímkování stejnou metodou zopakuje (počet opakování záleží na délce monitoringu a proběhlých povodní nebo zvýšených průtoků s korytotvorným efektem). Výsledky jsou vyhodnoceny jako změny v povrchové zrnitosti sedimentů porovnáním jednotlivých souborů zrnitosti v rámci jednotlivých poloh na náplavech (frontální, centrální, distální). Vždy jsou vyhodnoceny kumulativně všechny snímky z dané polohy náplavu (2–3 snímky v rámci frontální, centrální nebo distální polohy náplavu). Pro testování signifikantních rozdílů mezi zrnitostmi lze použít neparametrický Mann-Whitney test na hladině významnosti 0,05, do kterého vstupují délky prostředních os všech změřených klastů (tedy 300 nebo 450 klastů) za celou polohu.

2.4 Hydromorfologické hodnocení zájmového úseku

Moderním trendem hodnocení stavu vodních toků je jejich morfologická, potažmo hydromorfologická kvalita. V rámci projektu byla zvolena moderní metodika dle Rinaldiho et al. (2013, 2016). Metodika je koncipována jako expertní manuál s předpřipravenými formuláři, a to pro uzavřená („confined channel“) nebo polouzavřená koryta („partly confined“) nebo otevřená („unconfined“) koryta, a to ve vztahu k okolním svahům a potenciálu donášky sedimentů. Na základě volby tohoto faktoru se volí příslušná sestava formulářů. Zde se následně dle znalosti situace v terénu a expertního geomorfologického posouzení volí hodnoty příslušných parametrů, které jsou logicky sestaveny do následujících oddílů:

- i. obecná charakteristika a segmentace,
- ii. geomorfologická funkcionalita,
- iii. upravenost,
- iv. korytové přizpůsobení.

Na základě zadaných hodnot je možné získat celkové skóre za dílčí úseky říčního kontinua. Výsledné skóre indexu morfologické kvality (MQI) zařídí daný úsek do jedné z pěti kategorií.

Metodika určení hydromorfologické kvality je ověřený a dostupný nástroj otestovaný na velkém vzorku vodních toků po celé Evropě v rámci projektu REFORM (Buijse 2015). Její objasnění není předmětem této metodiky, ale komplementárním modulem, který lze pro celkové vyhodnocení hydromorfologické kvality použít, a to i opakovaně, pokud koryto a niva řeky dozná změn (např. renaturačních nebo revitalizačních, nebo naopak degradačních procesy jako jsou technické vodohospodářské zásahy nebo

splavňovací projekty). Kompletní průvodce metodikou lze najít na [ZDE](#). Autoři by rádi poznamenali, že v rámci českého prostředí vznikla řada alternativních metodik hodnocení hydromorfologického stavu vodního toku a lze je jistě použít k podobnému celkovému vyhodnocení (např. Langhammer 2014 nebo Šindlar 2008). Doporučená metodika Rinaldi et al. (2016) byla zvolena pro přeshraniční charakter testovaného vodního toku Labe, tak aby anglická mutace umožňovala případná srovnání na české a německé straně.

2.5 Literatura

Abbe, T. B., Montgomery, D. R. (1996): Large woody debris jams, channel hydraulics and habitat formation in large rivers. *Regulated Rivers: research & management*, 12(2-3), 201-221.

Ashworth, P. J., Ferguson, R. I. (1986): Inter-relationships of channel processes, changes and sediments in a proglacial braided river. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography* 68(4), 361–371, <https://doi.org/10.1080/04353676.1986.11880186>.

Bluck, B. J. (1982): Texture of gravel bars in braided streams. In Hey, R. D., Bathurst, J. C. and Thorne, C. R., editors, *Gravel-bed rivers: fluvial processes, engineering and management*, Chichester: Wiley, 339–355, <https://doi.org/10.1002/esp.3290080619>.

Brierley, G.J., Fryirs, K.A. (2005): *Geomorphology and River Management: applications of the river styles framework*. Oxford: Blackwell Publishing. 398 s

Bunte, K., Abt, S. R. (2001): Sampling surface and subsurface particle-size distributions in wadable gravel-and cobble-bed streams for analyses in sediment transport, hydraulics, and streambed monitoring. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-74. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 428 p.

Buijse, T. (2015): *REstoring rivers FOR effective catchment Management – Final Report*. FP7-CP-IP, Project No: 282656. Dostupné z: <https://www.reformrivers.eu/system/files/REFORM%20final%20report%2020151228%20GA%20282656.pdf>

Corenblit, D., Baas, A., Balke, T., Bouma, T., Fromard, F., Garófano-Gómez, V., González, E., Gurnell, A.M., Hortobágyi, B., Julien, F., Kim, D., Lambs, L., Stallins, J.A., Steiger, J., Tabacchi, E., Walcker, R. (2015): Engineer pioneer plants respond to and affect geomorphic constraints similarly along water–terrestrial interfaces world-wide. *Global Ecology and Biogeography* 24, 1363–1376. <https://doi.org/10.1111/geb.12373>.

Edwards, P. J., Kollmann, J., Gurnell, A. M., Petts, G. E., Tockner, K., Ward, J. V. (1999): A conceptual model of vegetation dynamics on gravel bars of a large Alpine river. *Wetlands Ecology and Management* 7, 141–153, <https://doi.org/10.1023/A:1008411311774>.

Folk, R.L., Ward, W.C. (1957): Brazos River bar: A study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology* 27(1), 3–26.

Galia, T., Škaprich, V. (2017): Response of Bed Sediments on the Grade-Control Structure Management of a Small Piedmont Stream. *River research and applications*, 33(4), 483-494.

Holušová, A., Galia, T. (2020): Downstream fining trends of gravel bar sediments: a case study of Czech Carpathian rivers. *AUC Geographica* 55(2), 229–242.

Hradecký, J. et al. (2024): Optimalizace managementu dolního úseku Labe s ohledem na přítomnost biotopu 3270 a zlepšení hydromorfologického stavu na základě mezioborové studie. Výzkumná zpráva, TAČR, Prostředí pro život, Ostrava, 236 s.

Church, M., Jones, D. (1982): Channel bars in gravel-bed rivers. In: Hey R.D., Bathurst J.C., Thorne C.R. (Eds.), *Gravel-bed Rivers*, Wiley, Chichester, pp. 291-324

Langhammer, J. (2014): HEM 2014 - Metodika monitoringu hydromorfologických ukazatelů ekologické kvality vodních toků. SFŽP, MŽP ČR, PŘF UK, 72 s.

Olesen K.W. (1984): Alternate bars in and meandering of alluvial rivers. In: C.M. Elliott (Ed.), *River meandering, proc of the conf rivers '83*, ASCE, New York pp. 873-884.

Parker, G., Andrews, E.D. (1985): Sorting of bedload sediments by flow in meander bends. *Water Resources Research* 21(9), 1361–1373, <https://doi.org/10.1029/WR021i009p01361>.

Purinton, B., Bookhagen, B. (2019): PebbleCounts: a Python grain-sizing algorithm for gravel-bed river imagery. V. 1.0. GFZ Data Services. <https://doi.org/10.5880/fidgeo.2019.007>

Redolfi, M., Welber, M., Carlin, M., Tubino, M., Bertoldi, W. (2020): Morphometric properties of alternate bars and water discharge: a laboratory investigation. *Earth Surface Dynamics* 8, 789–808. <https://doi.org/10.5194/esurf-8-789-2020>.

Rinaldi, M., Bussettini, M., Surian, N., Comiti, F., Gurnell, A.M. (2016): Guidebook for the evaluation of stream morphological conditions by the Morphological Quality Index (MQI). 177 p. (dostupné z https://reformrivers.eu/system/files/Rinaldi%20et%20al%202016%20MQI_final_Aug16.pdf).

Rinaldi, M., Surian, N., Comiti, F., Bussettini, M. (2013): A method for the assessment and analysis of the hydromorphological condition of Italian streams: The Morphological Quality Index (MQI). *Geomorphology*, 180-181, 96-108.

Smith, N. D. (1974): Sedimentology and Bar Formation in the Upper Kicking Horse River, a Braided Outwash Stream. *Journal of Geology* 82(2), 205–223, <https://doi.org/10.1086/627959>.

Šindlar s.r.o. (2009). Přírodě blízká protipovodňová opatření na tocích a v nivách. Zjednodušená metodika určená k podpoře činnosti AOPK ČR v oblasti hodnocení zásahů do vodních toků a údolních niv. Hradec Králové: zakázkové číslo 20080091 (zadavatel Ministerstvo životního prostředí ČR), 20 s.

Tubino, M., Repetto, R., Zolezzi, G. (1999): Free bars in rivers *Journal of Hydraulic Research* 37 (6), 759-775, doi: 10.1080/00221689909498510.

3. Hydrologická analýza

Cílem této části metodiky je návrh postupu modelování dynamiky přeplavování vybraných lokalit v řešeném úseku vodního toku pomocí kombinovaného hydrologicko-hydraulického přístupu. V rámci tohoto přístupu je nejprve aplikován hydrologický model pro simulaci hydrologické bilance zájmového povodí, které je zdrojovým povodím pro řešený úsek vodního toku (uzávěrový profil zdrojového povodí by se měl ideálně nacházet na začátku řešeného úseku vodního toku). Výstupem z hydrologického modelu je časová řada celkového odtoku ze zdrojového povodí, která je vstupem do hydraulického

modelu řešeného úseku vodního toku. V případě, že do řešeného úseku vodního toku ústí další vodní toky, je nutné řešit simulaci hydrologické bilance i pro povodí těchto přítoků, neboť výstupy z těchto povodí ve formě časových řad celkového odtoku jsou také vstupem do hydraulického modelu.

3.1 Hydrologická bilance

V rámci modelování hydrologické bilance povodí je nutné:

- vybrat vhodný hydrologický model,
- sestavit kolekci vstupních dat,
- provést kalibraci a verifikaci hydrologického modelu.

Výběr hydrologického modelu je prvním krokem v rámci modelování hydrologické bilance povodí. Před výběrem vlastního modelu je nutné nejprve specifikovat, v jakém časovém (např. v denním či měsíčním časovém kroku) a prostorovém (řešíme povodí jako celek, nebo ho chceme rozdělit do více hydrologických jednotek) měřítku budeme hydrologickou bilancí povodí řešit. Protože hydrologická bilance povodí je nejčastěji řešena v denním kroku a pro povodí jako celek, je nejvýhodnější volbou hydrologický model ze skupiny celistvých konceptuálních modelů. Tyto modely jsou schopné, i při nižším nároku na vstupní data, relativně spolehlivě simulovat hydrologickou bilanci povodí. Mezi často využívané modely hydrologické bilance patří např.: BILAN (Tallaksen a van Lanen, 2004; Kašpárek et al., 2016), GR4J (Perrin et al., 2003), HBV (Bergström, 1992) a z něj odvozený model TUW (Parajka et al., 2007). Uvedené modely jsou široce využívány v rámci studií hydrologického bilance povodí (Kožín et al., 2017; Perrin et al., 2003, Vizina et al., 2017; Vizina et al., 2018), tak i její změny v podmínkách klimatické změny (Brigode et al., 2013; Hanel et al., 2012; Tian et al., 2013) v ČR i v zahraničí. Při výběru hydrologického modelu, který bude použit při simulaci hydrologické bilance v podmínkách ČR, je nutné se přesvědčit, že ve své struktuře obsahuje modul řešící akumulaci a tání sněhové pokrývky (sněhový modul). Pokud hydrologický model tuto část neobsahuje (viz např. model GR4J), je nutné hydrologický model o sněhový modul doplnit. Velmi často používaný sněhový modul, v kombinaci právě s modelem GR4J, je CemaNeige (Valéry et al., 2014).

Druhým krokem při modelování hydrologické bilance povodí je sestavení kolekce vstupních dat. Tato data lze rozdělit do tří kategorií:

- geografická data,
- meteorologická data,
- hydrologická data.

Geografická data jsou využita k vymezení rozvodnic řešených povodí, určení souřadnic těžiště povodí a jejich hypsografie a představují je digitální model terénu v podobě DEM, který lze získat např. z projektu SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). Rozvodnice povodí jsou následně využity při odvození časových řad srážek a teploty. Hypsografická data slouží jako vstup do sněhového modulu CemaNeige a souřadnice těžiště povodí jsou jedním ze vstupů pro výpočet časových řad potenciální evapotranspirace.

Mezi meteorologická data patří časové řady srážek a průměrné teploty v takovém časovém kroku, který je zvolen při simulaci hydrologické bilance povodí. Nejčastěji jsou využívána denní srážková a teplotní data, která je možné odvodit z datasetu gridovaných srážek a teploty v rozlišení 25 km × 25 km (Štěpánek et al., 2011). Alternativně lze využít staniční data z měřících stanic sítě ČHMI. Veškerá data je následně nutné přepočítat na průměrné hodnoty na povodí zvolenou interpolační technikou (např. Thiessenovy polygony). Dalším meteorologickým vstupem do modelu hydrologické bilance jsou časové řady potenciální evapotranspirace (PET). V současné době existuje celá řada metod odhadu

PET, které se mezi sebou liší jednak svou strukturou, nárokem na dodatečná vstupní data, tak i výslednými hodnotami PET. Pro praktické účely je vhodnější volit takové metody, které mají nižší nároky na dodatečné vstupy, např. metody dle Hammona (Hammon, 1961), Hargreaves a Samaniho (Hargreaves a Samani, 1982), nebo Oudina (Oudin et al., 2005), které vyžadují jako vstup průměrnou denní teplotu, informaci o souřadnicích těžiště povodí a v případě metody Hargreaves a Samaniho i denní teplotní minima a maxima. Souřadnice těžiště povodí jsou v rámci těchto metod využity při stanovení extraterestriální radiace, která je vypočtena na základě vztahů, které prezentovali Allen et al. (1998).

Hydrologická data zde reprezentují časové řady pozorovaného odtoku příp. průtoku, jejichž zdrojem je Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ; viz <https://isvs.chmi.cz>). Vždy je vhodné, aby monitorovací stanice ČHMÚ, jejíž záznamy jsou využity při kalibraci hydrologického modelu, byla co nejblíže uzávěrovému profilu řešeného povodí. V případě, že pozorované časové řady průtoku nejsou pro řešené povodí k dispozici, je vhodnou alternativou využití sady odvozených hydrologických charakteristik (M-denní průtoky a dlouhodobý průměrný průtok), jejichž poskytovatelem je ČHMÚ (v tomto případě je nutné znát zeměpisné souřadnice uzávěrového profilu řešeného povodí, které se poskytnou ČHMÚ za účelem vymezení řešeného povodí a následného odvození hydrologických charakteristik).

Zásadní informací při získávání hydrologických dat, zejména časových řad pozorovaného průtoku, je informace o užívání vody v rámci řešených povodí (tj. o odběrech povrchové a podzemní vody, o vypouštění vody do recipientu). Databázi o užívání spravuje výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka (VÚV TGM). Databáze obsahuje informace o užívání vod významných subjektů (průmyslové podniky, zemědělské podniky, čistírny odpadních vod a jiné). Na základě těchto informací je nutné upravit časové řady pozorovaného průtoku, čímž jsou získány časové řady reprezentující přirozený režim povodí. V případě, že se v povodí nacházejí významné vodní nádrže, je dále nutné upravit pozorované průtokové řady na základě informací uvedených v manipulačních řádech těchto nádrží. Takto upravené časové řady pozorovaného průtoku jsou použity při kalibraci a verifikaci hydrologického modelu.

Důležité je, aby časové řady pozorovaného odtoku byly dostatečně dlouhé a kvalitní (tj. neobsahovaly zřejmé chyby), neboť jsou využity při kalibraci a verifikaci hydrologického modelu. Minimální délka kalibračního souboru by dle Gupty a Sorooshiana (1985) měla být cca desetinásobek počtu kalibrovaných parametrů hydrologického modelu za předpokladu, že tato data mají dostatečný informační obsah, tj. jsou dostatečně variabilní. To odpovídá přibližně délce dvou až tří let pro modely do deseti kalibrovaných parametrů. Pro modely s vyšším počtem kalibrovaných parametrů jsou potřeba časové řady delší (minimální délka zde nejčastěji bývá cca 5 let).

Při sestavování kalibračních i verifikačních časových řad je nutné vzít v úvahu zařazení tzv. warm-up periody, o kterou jsou tyto časové řady prodlouženy. Warm-up perioda je vždy umístěna na začátku časové řady a její délka by měla být dle studie Kim et al. (2018) alespoň jeden rok (tedy celková délka kalibračního nebo verifikačního souboru je vždy součet warm-up periody a dat použitých pro vlastní kalibraci/verifikaci hydrologického modelu). Důvodem pro zařazení warm-up periody je fakt, že v rámci kalibrace hydrologického modelu nejsou kalibrovány počáteční hodnoty stavových proměnných. V případě, že použitý hydrologický model umožňuje i kalibraci počátečních hodnot stavových proměnných, pak lze tyto hodnoty kalibrovat. Problémem zde však je, že se výrazně zvyšuje dimenzionalita v rámci optimalizační úlohy.

Před kalibrací hydrologického modelu je nutné vybrat vhodné hodnotící kritérium simulační účinnosti hydrologického modelu. V současné době existuje celá řada kritérií, které jsou standartně využívány:

Nash-Sutcliffeův koeficient (Nash a Sutcliffe, 1970), Kling-Guptův koeficient (Gupta a Kling, 2011), index shody (Willmott, 1981) a jiné. Před výběrem hodnotícího kritéria je nutné specifikovat, na jaké části hydrogramu by měl hydrologický model cílit: zda na nízké odtoky, střední odtoky nebo vysoké odtoky a podle toho vybrat správné kritérium. Např. Nash-Sutcliffeův koeficient je velmi citlivý na rozdíly ve vysokých odtocích, a proto vhodným kritériem při požadavku na přesnější simulace vysokých odtoků. Pokud jsou požadovány přesnější simulace středních a nízkých průtoků, pak je vhodnější zvolit jiné kritérium (např. Kling-Guptův koeficient), nebo využít některou z metod transformace časových řad odtoku před výpočtem hodnotícího kritéria (např. transformace druhou odmocninou, přirozeným či dekadickým logaritmem, případně Box-Cox transformací).

Při kalibraci hydrologického modelu je hledána optimální sada parametrů hydrologického modelu, která nejlépe reprezentuje hydrologické chování povodí. Identifikované optimální hodnoty parametrů jsou při daných vstupech závislé na tom, jaký optimalizační algoritmus je použit a jaké hodnotící kritérium je použito v rámci kalibračního procesu. Zároveň je nutné počítat s problémem ekvifinality, tj. s možností existence více parametrických sad lišících se hodnotami parametrů, ale vedoucích k velmi podobným simulačním účinnostem modelu v kalibrační fázi. Poté, co byl hydrologický model zkalibrován, je nutné provést jeho verifikaci na verifikační časové řadě. Pokud nebylo dosaženo uspokojivého poklesu simulační účinnosti při přechodu z kalibrační do verifikační fáze, je nutné se navrátit do procesu kalibrace.

Výstupem ze zkalibrovaného hydrologického modelu je časová řada simulovaného odtoku, která pak po příslušných korekcích (převod odtoku v mm/den na průtok v m³/s) je vstupem do hydraulického modelu.

V rámci hydraulické části navrženého postupu (tj. provedení analýzy přeplavení vybraných lokalit – konkrétní náplav, část náplavu) je nutné znát, jaká část lokality a jak často byla (nebo bude) zaplavena vodou během sledovaného časového období. Pro tyto účely je tedy nutné stanovit rozsahy hladin ve studovaném úseku vodního toku, které se stanovují zpravidla v určitém časovém kroku (hodina, den, ...). Rozsahy hladin jsou pak definovány hodnotou průtoku vody (pro daný časový krok) v říčním korytě v kombinaci s jeho topografií (morfologií). Jejich určení je stanoveno na základě hydrodynamických výpočtů. K tomu se využívají různé hydrodynamické modely.

Hydrodynamické modely se od sebe navzájem liší stupněm prostorové schematizace (1D, 2D) a s tím spojenými nároky na množství a kvalitu vstupních dat (Bates a De Roo, 2000; Horritt a Bates, 2001; Merwade et al., 2008). Volba mezi 1D a 2D modelem záleží na konkrétních podmínkách a potřebách modelování. Pro stanovení rozsahu hladiny lze s úspěchem využít obě varianty.

1D modely předpokládají pohyb vody pouze ve směru spádu toku. Jsou výpočetně méně náročné a výpočty jsou celkově rychlejší. Výpočetní geometrie je sestavena ze souboru příčných profilů a příslušných vzdáleností. Výpočet je realizován pro každý jednotlivý profil. Není vhodný pro meandrující toky.

2D modely předpokládají pohyb vody ve směru spádu i příčném k ose proudění. Výsledný vektor pohybu je pak skalárním součinem těchto dvou směrů. Jejich sestavení vyžaduje vytvoření výpočetní sítě. Mohou být problematické pro rozsáhlé říční úseky a dlouhá časová období (vzhledem k výpočetním nárokům). Jsou také vhodnější pro stanovení některých hydraulických veličin (smykové napětí, rychlosti).

Základní vstupní data do hydraulických modelů jsou:

- topografická data,

- hydrologická data,
- odpor vůči proudění.

Topografická data popisují tvar koryta vodního toku a jeho přilehlého okolí. Kvalita topografické reprezentace zpravidla závisí na množství zaměřených topografických bodů. Do hydrodynamických modelů tato data vstupují obvykle ve formě digitálního modelu terénu (DMT) případně jeho derivátů. Tyto DMT se obvykle skládají z několika datových sad:

- topografie širšího okolí,
- batymetrie koryta vodního toku,
- topografie/batymetrie příbřežních oblastí.

Pro popis topografie širšího okolí lze s úspěchem využít digitálního modelu reliéfu území České republiky 5. generace (DMR 5G). Jedná se o výškopisná data se střední výškovou chybou 0,18 m ve volném a 0,3 m v zalesněném území. Data DMR 5G jsou jedním z produktů výškopisného mapování, které bylo na území ČR provedeno v letech 2009–2013. Zaměření bylo provedeno metodou leteckého laserového skenování (LLS) za pomoci systému LiteMapper 6800 firmy IGI GmbH. Využit byl infračervený laserový skener RIEGEL LMS-Q680 (Brázdil et al., 2016). Tato data poskytuje a spravuje Český úřad zeměměřický a katastrální (ČÚZK). Data DMR 5G jsou průběžně aktualizována, avšak pouze lokálně.

Alternativou k těmto datům mohou být datové sady zaměřené tachymetrickými (totální stanice) nebo GPS (GPS stanice) metodami. Tyto dvě metody však nejsou standardně používány pro plošný sběr dat v rozsahu potřebném pro dostatečný popis okolí vodního toku. Další alternativou mohou být datové sady zaměřené metodou LLS, které byly pořízeny za pomoci dronů (Gallay et al., 2016). V případě použití alternativních zdrojů dat je nutné tyto zhodnotit z hlediska jejich výškové přesnosti (LLS) a bodové hustoty (tachymetrie, GPS).

Batymetrická data jsou topografická data popisující průběh terénu pod vodní hladinou. V současnosti neexistuje žádná veřejně dostupná datová sada, ze které by bylo možné batymetrická data čerpat. Nicméně některé státní podniky povodí (Povodí Labe s.p. a Povodí Vltavy s.p.) disponují měřicími zařízeními, která batymetrická data pořizují. Obvykle se jedná o MBS (multi-beam sonar) lodě. Je tedy možné obrátit se na příslušné správce povodí a dotázat se na existenci a podmínky užití těchto dat. Vzhledem k umístění měřicí aparatury na lodích, lze však předpokládat dostupnost těchto dat pouze pro vodní toky s dostatečnou plavební hloubkou. Specifikem těchto dat je, že vzhledem k umístění měřicí aparatury na plavidle není možné zaměřit mělké příbřežní části (obvykle s hloubkou menší než 1 m).

Pro místa s neexistujícími batymetrickými daty nezbývá než data zaměřit. K tomu jsou obvykle využívána SONARová (SOund Navigation And Ranging) nebo tachymetrická měření. Sonarová měření jsou obvykle realizována jedno paprskovými SONARy z jedoucích lodí. Realizace tachymetrických měření je obvykle limitována rychlostí a hloubkou vody v toku. Tyto metody však nejsou přímo uzpůsobeny pro plošný sběr dat. Obvykle jsou tak pořizována data ve formě příčných průřezů.

Příbřežní oblasti jsou přechodové části mezi vlastním korytem toku a jeho okolím. Sonarová měření zde často nelze realizovat z důvodu nedostatečné hloubky pro průjezd plavidla nebo nedostatečné hloubky pro samotné měření (minimální hloubka vyžadovaná pro SONARová měření je okolo 1 m). Zároveň ale tuto oblast nepokrývají data DMR 5G z důvodu zaplavení vodou (trvalé, nebo v době snímání dat DMR 5G). V případě písčiny náplavů se může jednat i o rozsáhlejší plochy.

Zaměření těchto specifických oblastí zpravidla neexistuje a je nutné je dodatečně realizovat. Pro tyto účely je nutné využít tachymetrických metod, GPS metod nebo ADCP (Acoustic doppler current profiler) zařízení, které je podobné SONARu, ale je krom jiného schopné měřit od hloubek 0,2 m (SonTek, 2010). ADCP je obvykle umístěno na speciálním plavidle s nízkým ponorem (Hradilek et al., 2017). Opět je nutné zhodnotit zejména bodovou hustotu pořízených datových sad.

Ze skupiny hydrologických dat jsou v hydraulickém modelování nejčastěji využívána data o průtocích. Pro potřeby analýzy přeplavení výzkumné lokality je nutné znát průtoková data zpravidla za delší časové období (více vegetačních sezón). Aktuální i historická data jsou měřena a poskytována ČHMÚ, která na území ČR provozuje okolo 500 stálých limnigrafických stanic. V případě, když limnigrafická stanice na vybraném toku chybí, nebo je nevhodně umístěna vzhledem k zájmové oblasti, je nutné data o průtocích odhadnout pomocí hydrologických modelů. Stejná situace nastává i ve chvíli, chceme-li znát průtoky budoucí (např. pro hodnocení klimatických změn). Další skupinou hydrologických dat jsou informace o M-denních, N-letých a průměrných ročních průtocích. Tato data patří do skupiny standardních hydrologických údajů, které jsou definovány normou ČSN 75 1400.

V procesu hydraulického modelování podstatnou charakteristikou drsnost. Jedná se o odpor/y vůči proudění, které vytváří dnový materiál koryta toku (písek, kameny, balvany, ...), případná vegetace a jiné složky (např. překážky v toku, splávi) a tím brání průtoku vody (zpomaluje její pohyb). Variabilita drsnosti záleží na konkrétním toku a v prostoru se může měnit. Drsnost bývá obvykle rozdílná na dně, březích a v záplavovém území (tj. mimo vlastní koryto). Její hodnota je volena na základě tabulek a katalogů drsností. Nejčastěji je využívána Manningova drsnost „n“. Volba konkrétní hodnoty s sebou nese značné nejistoty, proto bývá upřesněna v rámci kalibrace a ověřena v rámci verifikace během sestavování hydrodynamického modelu.

Každý konkrétní hydrodynamický model má svá specifika pro sestavení. Obecně se ale jedná o tyto kroky:

- vložení topografických dat a sestavení výpočetní geometrie, vložení hydrologických dat a definice odporů vůči proudění,
- prvotní spuštění výpočtu,
- kalibrace a verifikace modelu.

Pořadí kroků, kterými jsou vložení topografických dat, sestavení výpočetní geometrie, vložení hydrologických dat a definice odporů vůči proudění, se může navzájem lišit v závislosti na potřebách a typu konkrétního modelu. Často je nejprve vložen DMT, který pak definuje maximální rozsah výpočetní oblasti. Následuje sestavení výpočetní geometrie, kde dojde k definování koryta toku a převzetí topografie z DMT. Následuje zadání případných objektů na toku (mosty) nebo definování soutoků.

V rámci prvotního spuštění výpočtu se testuje primární funkčnost modelu. Produkují se primární výsledky pro kalibraci. Nastavuje se časový krok pro výpočet (hodiny, dny, ...), pro který mají být vytvořeny výsledky a celková doba simulace. Pokud bude celková doba simulace 30 dnů a časový krok bude nastaven na jednu hodinu, dojde k vytvoření 30 výsledků (30 map s rozsahem hladiny).

Předtím, než můžeme přijmout výsledky produkované hydrodynamickým modelem, je nutné provést jeho kalibraci a verifikaci. Bez těchto kroků nelze považovat výsledky za plně věrohodné. Důvodem je nejistota v primární definici odporů vůči proudění ve výpočetní oblasti. Kalibrace i verifikace vyžadují dodatečná data pro jejich realizaci. Zpravidla se jedná o kontrolní data, která jsou známa k nějakému místu ve výpočetní oblasti. Těmito daty jsou zpravidla poloha (výška) hladiny v kontrolním místě (např. měrná lať). V kontrolním místě pak můžeme porovnat, zda hladiny vypočtené modelem dosahují stejných hodnot jako měřená data. Pro hodnocení míry shody můžeme použít např. chyby MAE (mean

absolute error) nebo RMSE (Root mean square error). Čím je hodnota chyby menší, tím je míra shody obou hladin (měřená, vypočtená) větší.

V rámci kalibrace modelu použijeme kalibrační data při úpravě primárních hodnot odporu vůči proudění. Hodnotu odporu upravujeme tak dlouho, dokud nedosáhneme uspokojivých hodnot chyby mezi měřenou a vypočtenou hladinou. Při verifikaci modelu použijeme verifikační data (jiná než kalibrační) při ověření upravených hodnot odporu vůči proudění (již je neměníme). Pokud nebylo dosaženo uspokojivé hodnoty chyby při verifikaci, je nutné se navrátit do procesu kalibrace.

Hydrodynamické modely produkují širokou škálu výsledků. Pro analýzu přeplavení vybraných lokalit je relevantní rozsah hladin. Počet jednotlivých hladin je závislý na časovém kroku výpočtu. Výsledkem často bývají rozsáhlé mapové sady. Například, pokud byl proveden výpočet v celkové délce jednoho roku s časovým krokem jeden den, bude výsledkem 365 map rozsahu hladiny, které bude možné využít pro stanovení dynamiky přeplavení. V případě modelování M-denních, N-letých a průměrných ročních průtoků jsou analogicky definovány rozsahy hladin odpovídající těmto průtokům.

Výše popsáný přístup zahrnuje celou řadu nejistot, které musí být při interpretaci výsledků brány v úvahu. Mezi tyto nejistoty patří:

- nejistota vstupních dat (např. volba metody odhadu PET ovlivní hydrologickou bilanci povodí, simulace hydrologickým modelem jako vstup do hydraulického modelu),
- nejistota spojená s vybraným hydrologickým modelem,
- nejistota spojená s výběrem hodnotícího kritéria při kalibraci hydrologického modelu.

3.2 Literatura

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M. (1998) Crop evapotranspiration – guidelines for computing crop water requirements. FAO irrigation and drainage paper 56. Rome: FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Bates, P. D., De Roo, A. P. J. (2000) A simple raster-based model for flood inundation simulation. *Journal of Hydrology*, 236(1–2), 54–77.

Bergström, J. (1992) The HBV model – its structure and applications. Report No. 4, Swedish Meteorological and Hydrological Institute, 21, 435–446.

Brázdil, K. et al. (2016) Technická zpráva k digitálnímu modelu reliéfu 5. generace (DMR 5G). Zeměměřičský úřad a Vojenská geografický a hydrometeorologický úřad, http://geoportal.cuzk.cz/Dokumenty/TECHNICKA_ZPRAVA_DMR_5G.pdf cit. (7. 2. 2024).

Brigode, P., Oudin, L., Perrin, C. (2013) Hydrological model parameter instability: A source of additional uncertainty in estimating the hydrological impacts of climate change? *Journal of hydrology*, 476, 410–425.

Gallay, M., et al. (2016) High resolution airborne laser scanning and hyperspectral imaging with a small UAV platform. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 41: 823–827.

Gupta, H. V., Kling, H. (2011) On typical range, sensitivity and normalization of Mean Squared Error and Nash–Sutcliffe Efficiency type metrics. *Water Resources Research*, 47 (10).

- Gupta, V. K., Sorooshian, S. (1985) The relationship between data and precision of parameter estimates of hydrologic models. *Journal of Hydrology*, 81, 57–77.
- Hammon, W. R. (1961) Estimating potential evapotranspiration. *Journal of Hydraulic Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, 871, 107–120.
- Hanel, M., Vizina, A., Maca, P., Pavlasek, J. (2012) A multi-model assessment of climate change impact on hydrological regime in the Czech republic. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 60(3), 152–161.
- Hargreaves, G. H., Samani, Z. A. (1982) Estimating potential evapotranspiration. *Journal of Irrigation and Drainage Division*, 108, 225–230.
- Horritt, M. S., Bates, P. D. (2001) Effects of spatial resolution on a raster based model of flood flow. *Journal of Hydrology*, 253(1–4), 239–249.
- Hradilek, V., Roub, R., Novák, P., Vybíral, T., Marval, Š., Hlaváček J., Bureš, L. (2017). Technologie připevnění a stabilizace měřicí aparatury RiverSurveyor M9 na kajaku za účelem měření batymetrie malých vodních nádrží, ověřená technologie. 47 str. ISBN 978-80-87361-71-6.
- Kašpárek, L., Hanel, M., Horáček, S., Máca, P., Vizina, A. (2016) BILAN: Bilan water balance model. VÚV T.G.M. v.v.i., R balík verze 2016-10-20.
- Kim, K. B., Kwon, H.-H., Han, D. (2018) Exploration of warm-up period in conceptual hydrological modelling. *Journal of Hydrology*, 556, 194-210.
- Kožín, R., Bašta, P., Moravec, V. (2017) Modelování efektu přírodě blízkých opatření na hydrologickou bilanci v povodí Trkmanky. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*, 59(4), 21–24.
- Merwade, V., Cook, A., Coonrod, J. (2008) GIS techniques for creating river terrain models for hydrodynamic modeling and flood inundation mapping. *Environmental Modelling & Software*, 23(10–11), 1300–1311.
- Nash, J. E., Sutcliffe, J. V. (1970) River flow forecasting through conceptual models part I – A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10 (3), 282–290.
- Oudin, L., Hervieu, F., Michel, C., et al. (2005) Which potential evapotranspiration input for a lumped rainfall–runoff model? Part 2 – Towards a simple and efficient potential evapotranspiration model for rainfall–runoff modelling. *Journal of Hydrology*, 303, 290–306.
- Parajka, J., Merz, R., Blöschl, G. (2007) Uncertainty and multiple objective calibration in regional water balance modelling: case study in 320 Austrian catchments. *Hydrological processes*, 21, 435–446.
- Perrin, C., Michel, C., Andréassian, V. (2003) Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation. *Journal of hydrology*, 279, 275–289.
- SonTek/YSI. (2010). *Riversurveyor s5/m9 system manual*. Tech. Rep. SonTek, San Diego, CA.
- Štěpánek, P., Zahradníček, P., Huth, R. (2011) Interpolation techniques used for data quality control and calculation of technical series: an example of a Central European daily time series. *IDŐJÁRÁS - Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service*, 115(1–2), 87–98.
- Tallaksen, L., van Lanen, H. (2004) *Hydrological Drought: Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater*. Developments in Water Science, Elsevier Science, ISBN 9780444517678.

Tian, Y., Xu, Y. P., Zhang, X. J. (2013) Assessment of Climate Change Impacts on River High Flows through Comparative Use of GR4J, HBV and Xinanjiang Models. *Water Resources Management*, 27, 2871–2888.

Valéry, A., Andréassian, V., Perrin, C. (2014) As simple as possible but not simpler': What is useful in a temperature-based snow-accounting routine? Part 2 – Sensitivity analysis of the Cemaneige snow accounting routine on 380 catchments. *Journal of hydrology*, 517, 1176–1187.

Vizina, A., Vlnas, R., Hanel, M., Kašpárek, L., Melišová, E., Beran, A., Kožín, R., Strnad, F. (2017) Hydrologická bilance a disponibilní vodní zdroje v České republice v době hydrologického sucha. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*, 59(4), 6–11.

Vizina, A., Strouhal, L., Dzuráková, M., Moravec, V., Melišová, E. (2018) Studie hodnocení účinku přírodě blízkých opatření v povodí Olešné u Pelhřimova pomocí modelu BILAN, HEC-HMS a HYPE. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*, 60(5), 12–20.

Willmott, C. J. (1981) On the validation of models. *Physical Geography*, 2, 184–194.

4. Geochemická analýza

4.1 Teoretický rámec

Některé typy fluvialních sedimentů se svou povahou mohou blížit terestrickým půdám, a proto metody použité při studiu fyzikálně-chemických vlastností sedimentů jsou analogické jako metody používané v pedologickém výzkumu půd. Nicméně jsou zde určité odlišnosti, které jsou dány charakterem povahou a specifikem fluvialních sedimentů. Sedimenty se typicky skládají z materiálu s různým zrnitostním složením a s velkým obsahem skeletu, především pak kamenitého materiálu nad 2 mm. Proto je třeba oproti běžným půdám věnovat větší pozornost zrnitostnímu složení frakce skeletu, která je zpravidla rozdělována do jednotlivých velikostních frakcí pomocí síťování. Přítomnost skeletu také neumožňuje použít klasické metody odběru půd založené na použití půdních sond, ale je nutné provádět odběry formou kopaných sond o větší ploše a do definované hloubky. Zatímco při studiu vertikálních aspektů půd můžeme použít buďto hloubku jako takovou nebo půdní horizonty, u fluvialních sedimentů na korytových akumulacích (lavicích) toto použít nelze. V sedimentech, které jsou neustále utvářeny depozicí a erozí materiálu nedochází k vzniku jasně oddělených horizontů, a proto je hloubka patrně lepším parametrem při studiu vertikální distribuce materiálů látek než pojetí horizontů. Značná heterogenita materiálu se následně projevuje i ve volbě metod chemické analýzy. Obecně se předpokládá, že částice o větší velikosti zrna se na chemismu materiálu podílí jenom málo, protože jejich povrch je vzhledem k velkému objemu relativně malý, a tedy nedochází z hlediska plochy k zásadnímu ovlivnění chemických procesů, kterými je vyluhování nebo sorpce. Proto jsou pro studium chemických procesů použity velikostní frakce pod 0,5 mm. Heterogenita materiálu ovlivňuje i volbu analytických metod, zde lze s výhodou použít větších vzorků tak, aby analyzovaný vzorek lépe reprezentoval heterogenitu studovaného materiálu. To je zejména důležité při studiu obsahu organické hmoty, případně uhlíku a dalších prvků na organickou hmotu vázaných. Zde lze doporučit použití metod, které pracují s vyšší vahou či objemem vzorkovaného sedimentu. Například ztráta váhy žiháním, která typicky pracuje s navážkami v řádu jednotek gramů. Lze též s výhodou použít elementární analyzátory, které pracují s velkými navážkami. Dnes jsou k dispozici elementární analyzátory pracujícími s navážkami jednotek gramů, nejsou však příliš rozšířeny. V dalším textu

uvádíme podrobnější komentář k jednotlivým krokům odběru a analýzy vzorků spolu s příklady metodiky použitých v práci Frouz a Borovec (2024).

4.2 Metodický postup

Sediment je významně heterogenní, proto se pro jeho odběr nedají použít postupy běžně používané v pedologii, kdy se používají půdní sondy o relativně malém průměru typicky několik cm. Vzorky je proto třeba odebrat vysbíráním sedimentu z větší plochy o definované hloubce. Použití větší plochy snižuje nepřesnost danou kombinací okrajového efektu a heterogenity ve velikosti zrn. Lze aplikovat postup, kdy je sediment odebrán z ploch o velikosti 20 × 20 cm do hloubky. Zároveň je při odběru vzorků důležité vztáhnout odběrná místa k průběhu koryta řeky, což samo o sobě představuje problém, protože výška hladiny se během roku mění. Je proto potřeba využít referenční průtok a jemu odpovídající výšku hladiny, ke které lze odběrná místa vztáhnout. Například v naší studii každý příčný transekt začínal v místě přizpůsobeném na vodní hladinu 150 cm na vodočtu v Děčíně a končil před trvalou suchozemskou vegetací. Lze pracovat také sofistikovanějším postupem a provést identifikaci jednotlivých úrovní hladin v průběhu roku a na základě takto stanovené běžně zaplavené, nebo naopak odhalené plochy provést výběr vzorkovacích míst, tak aby byla vystižena příčná i podélná heterogenita říčního náplavu.

Vzorky je vhodné transportovat do laboratoře v původní vlhkosti, v případě teplého počasí zamezit jejich přehřívání, tak aby nedocházelo u urychlení některých degradačních a transformačních procesů látek v sedimentu obsažených.

4.2.1 Textura a chemické složení usazeného sedimentu

K výpočtu obsahu vody lze použít hmotnost čerstvého vzorku a vzorku po vysušení při 60 °C. Textury u celého suchého vzorku, lze rozdělit na jednotlivé frakce, kdy frakce >200 mm, 200–50 mm a 50–20 mm lze oddělit ručně; frakce 20–5 mm, 5–2 mm, 2–0,5 mm suchým proséváním a částice pod 0,5 mm je nutné analyzovat v suspenzi pomocí speciálního přístroje na zrnitostní analýzu např. MasterSizer 2000 MU (Malvern Instruments, Anglie).

Pro stanovení obsahu organické hmoty lze doporučit využití nejjemnější frakce částic pod 0,5 mm a metodu ztráty váhy žháním (550 °C po dobu 2 hodin) nebo jinou metodu pracující s velkou navázkou a tuto frakci pak lze využít i pro všechny ostatní chemické analýzy.

Pro stanovení rostlinám přístupných živin a vybraných kovů (P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Al, Cr, As) lze použít extrakční roztok Mehlich III (Mehlich 1984), kdy 1 g vzorku byl extrahován 10 ml roztoku po dobu 5 min. Vzorky jsou před analýzou na ICP-QQQ (Agilent, Japonsko) odstředěny a přefiltrovány (0,4 µm GF filtry). Pro analýzu složení částic menších než 0,5 mm lze použít semimikro modifikace metody rozkladu kyselinou chloristou pro stanovení celkového P v půdách, sedimentech a organických materiálech (Kopáček et al. 2001). Vzorky jsou před analýzami na ICP-QQQ (Agilent, Japonsko) rozkládány 30 minut kyselinou dusičnou při 115 °C a poté 2 hodiny kyselinou chlorovou při 170 °C v hliníkovém topném bloku. Měřeny jsou i všechny standardní charakteristiky jako např. pH a konduktivita.

4.2.2 Zpracování dat

K popisu vztahů mezi fyzikálními a chemickými vlastnostmi substrátu a jejich polohou na bahnitém říčním náplavu (pro polohu na náplavu, která byla zadána kategoricky) lze použít koeficienty lineární regrese a Pearsonovy korelační koeficienty.

4.3 Literatura

Frouz, J, Borovec, J (in press 2024) Physical and chemical properties of sediment in natural and artificial river bars in Elbe River. European Journal of Environmental Sciences, in press.

Kopáček J, Borovec J, Hejzlar J, Porcal P (2001) Spectrophotometric determination of iron, aluminum, and phosphorus in soil and sediment extracts after their nitric and perchloric acid digestion. Commun. Soil Sci Plant Anal 32: 1431–1443.

Mehlich A (1984) Mehlich 3 Soil Test Extractant. A Modification of the Mehlich 2 Extractant. – Commun. Soil Sci Plant Anal 15: 1409–1416.

5. Botanická analýza

Cílem botanické části metodiky optimalizace managementu bahnitých říčních náplavů je především podpora druhů cévnatých rostlin typických pro biotop bahnitých říčních náplavů (M6), podle Natury 2000 klasifikovaný jako typ přírodního stanoviště 3270 (bahnité břehy řek s vegetací svazů *Chenopodium rubri* p. p. a *Bidentia* p. p.), s důrazem na druhy ohrožené a vzácné. Seznam biotopů přináší Katalog biotopů ČR (Chytrý et al. 2010) a typy přírodních stanovišť (European Union Habitats) jsou definovány interpretačním manuálem (European Commission 2013). Z předchozích studií a našich výsledků plyne, že stanoviště je vázáno zejména na náplavy situované na vnitřních okrajích meandrů (jesepy) a dále na břehy s mírným sklonem, které jsou obnažené především v období většího poklesu vodní hladiny. V tomto textu uvádíme příklady z projektu realizovaného na úseku Labe mezi Ústím nad Labem a státní hranicí se snahou o zobecnění získaných poznatků a jejich možné uplatnění i na jiných řekách, na kterých se vyskytuje toto přírodní stanoviště. Popisujeme zde jednotlivé části výzkumu od vymapování stanoviště, klasifikaci jeho stavu, identifikaci škodlivých faktorů, jejich možnou nápravu po následný monitoring. Základem, ze kterého vycházíme při managementových doporučeních, jsou procesy, které zásadně ovlivňují vznik a fungování biotopu bahnitých říčních náplavů.

5.1 Charakteristika biotopu bahnitých říčních náplavů

Bahnité říční náplavy se vyskytují na dolních, vzácněji i na středních tocích řek, přičemž námi studovaný úsek Labe je v České republice jedním z mála posledních dochovaných úseků dolního toku, který nebyl zcela zregulován. Zároveň je nejvýznamnější tuzemskou lokalitou s výskytem biotopu bahnitých říčních náplavů. Tělesa náplavů jsou tvořena polohami štěrků a písků, přičemž povrch je často překryt tenkou vrstvou bahna. Zásadním faktorem, který podmiňuje rozvoj vegetace, je střídání zaplavování a obnažování náplavu. Největší rozvoj vegetace nastává při minimálních průtocích, obvykle v průběhu srpna a září. Vegetace se skládá převážně z vlhkomilných jednoletých a suchomilných rudérálních druhů. Vysoké zastoupení mají nepůvodní a též vzácné a ohrožené druhy rostlin. Vlajkovým prvkem námi studovaných labských náplavů je kriticky ohrožený drobnokvět pobřežní (*Corrigiola litoralis*).

5.2 Mapování bahnitých říčních náplavů

Základním zdrojem informací o výskytu biotopu bahnitých říčních náplavů v ČR je průběžně aktualizovaná vrstva mapování biotopů spravovaná AOPK ČR. Jelikož aktualizace této vrstvy probíhá postupně v rámci mapovacích okrsků, nebyla pro zájmové území k dispozici jednotná sada dat. Z tohoto důvodu bylo nutné provést nové mapování podle aktuální metodiky mapování biotopů AOPK ČR (Lustyk 2023a). Vymezení mapovaných vegetačních jednotek a určení charakteristik jednotlivých výskytů bylo provedeno v souladu s Katalogem biotopů ČR (Chytrý et al. 2010) a aktuální verzí příručky hodnocení biotopů (Lustyk 2023b). Mapování zahrnuje veškeré dostatečně reprezentativní výskyt biotopu M6 na obou labských březích v úseku mezi hrází VD Střekov a státní hranicí. Z dalších biotopů jen ty, které tvořily s biotopem bahnitých náplavů mozaiku, nejčastěji se jednalo o říční rákosiny (M1.4) a vrbové křoviny náplavů (K2.1). Štěrkové náplavy bez vegetace (biotop M4.1) nebyly vůbec vymezovány – na dolním Labi se tento biotop momentálně nevyskytuje (díky složení substrátu a dynamice kolísání hladiny obnažené náplavy prakticky okamžitě zarůstají vegetací). Naše mapování pomíjelo úzké (obvykle jen 1–2 m široké) a druhově chudé mokřadní porosty na opevněných březích, které svým druhovým složením sice připomínají vegetaci bahnitých náplavů, nicméně neplní dostatečně ekologické funkce tohoto biotopu. Analogicky jsme v souladu s metodikou nemapovali vegetaci uměle vytvořených zemních těles, tzv. výhonů, (V1, V3, V4/5) vybudovaných na pravém břehu Labe mezi Prostředním a Dolním Žlebem. Mapování doporučujeme provádět z lodi v době optimálního rozvoje vegetace.

5.3 Klasifikace stavu bahnitých náplavů

Údaje o stavu stanoviště je možné získat studiem přírodních podmínek jako je: morfologie náplavu (šířka, délka a topografie), zrnitost (zastoupení velikostních frakcí substrátu) a chemismus sedimentu (především obsah dostupných živin) a dále hydrologický režim (průtoky a jejich kolísání). Cenné nepřímé údaje o prostředí odvozené z ekologických nároků rostlin pak lze získat z tzv. Ellenbergovských indikačních hodnot (světlo, teplo, reakce půdy, vlhkost, živiny a salinita) na základě přítomných druhů rostlin pro jednotlivé záznamy vegetace ve fytocenologických snímcích. Tyto hodnoty je nutné chápat spíše jako indikační, mají ale výhodu v tom, že ze starých záznamů vegetace lze přibližně rekonstruovat podmínky prostředí.

Pro souhrnné vyhodnocení kvality jednotlivých náplavů lze dobře využít kategorie určované v rámci mapování biotopů podle aktuální metodiky (Lustyk 2023a). Kvalitu a význam konkrétního segmentu mapování odrážejí zejména: reprezentativnost, degradace a regionální hodnocení. Reprezentativnost (RB) vyjadřuje míry shody biotopu včetně vegetace s popisem podle Katalogu biotopů ČR: V – vyhraněný, P – přechodný, F – silně nevyhraněný (přechodný k více biotopům). Degradace (DG) má celkem 5 stupňů: škála 0–3 + W (tj. silně degradovaná vegetace na pomezí nepřírodního biotopu ze skupiny X). Mezi nejčastější důvody degradace na Labi patří: prohrábky dna, nepřírozená morfologie břehů, nepříznivá granulometrie náplavů, invaze neofytů a malá šířka náplavu. Materiál z prohrábek by měl být mapován jako biotop M6 pouze pokud má (i) morfologii blízkou přirozeným náplavům, (ii) vyskytuje se v úsecích s přirozenou tvorbou náplavů (zejména vnitřní okraje meandrů) a (iii) hostí odpovídající vegetaci. Regionální hodnocení (RH) určuje kvalitu vegetace v širším prostorovém měřítku: 1 – nadregionální význam, 2 – regionální nadprůměr, 3 – regionální průměr, 4 – regionální podprůměr. K vyhodnocení doporučujeme využívat dostupné databázové zdroje NDOP či Pladias.

5.4 Role zaplavení a narušení

Existence stanoviště je závislá na střídání zaplavení a obnažení, literatura udává jako minimální nutnou dobu pro rozvoj vegetace cca 8–10 týdnů. V našich pokusech s indikačním druhem *Corrigiola litoralis* (drobnokvět pobřežní), zástupcem zachovalých náplavů dolního Labe, trvalo vytvoření semen 44 dnů a bohatě plodící rostliny jsme pozorovali za dvojnásobnou dobu. Podle našich údajů získaných pomocí hydrologického modelování byla v letech 2020–2023 průměrná doba obnažení ploch 138 dnů. Minimální doba obnažení byla u nejnižše položených ploch přibližně jeden týden a minimální doba zaplavení u nejvýše položených ploch sedm týdnů. Na krátce obnažených částech náplavů nedochází během jedné vegetační sezóny k vytvoření plodných rostlin a obnově semenné banky nutné k přežití místních populací rostlin. Přitom převážně semenná banka je zdrojem typických druhů náplavů. Naopak dlouho obnažené plochy zarůstají vytrvalými druhy, které vytlačují typické světlo- a teplomilné druhy náplavů a sukcese se proměňují v biotopy říčních rákosin či měkkého luhu. K udržování rozvolněné vegetace na výše položených částech náplavů přispívá i přehřívání a následné přesychání sedimentu v létě. Teploty vzduchu a sedimentu dosahují i přes 50 °C, což může vést až k uschnutí vegetace – typickým příkladem byla studovaná lokalita Valtířov s výrazným převýšením náplavu nad řekou.

Z hlediska managementu sledovaných stanovišť je nejlepším přístupem zachování přirozeného kolísání vodních stavů a posílení občasných vysokých průtoků umožňující pohyb sedimentu a přetváření stanovišť, které vede k optimálnímu rozvoji biotopu i vegetace. Naše výsledky ukázaly, že v říčním sedimentu je přítomná hojná semenná banka, která umožňuje obnovu rostlinných společenstev i v případě, že v některých vegetačních sezónách nejsou náplavy obnaženy, nebo jen příliš krátce a u rostlin nedojde k vytvoření semen. Přirozené kolísání vodní hladiny vytváří pestrou mozaiku stanovišť, která je dynamická v čase i prostoru. **Z hlediska managementu jsou také žádoucí občasně velké průtoky, které narušují vytrvalou vegetaci, omezují rozsah společenstva říčních rákosin a přemísťují sediment,** čímž dochází k tvorbě nových stanovišť. Příkladem druhu říčních rákosin často zarůstajícího náplavy je *Phalaris arundinacea* (chrastice rákosovitá).

Naše výsledky ukázaly, že celková nejvyšší druhová bohatost, bohatost vzácných a ohrožených druhů rostlin (včetně drobnokvětu pobřežního) je vázána na jemný písčité sediment. Na druhou stranu je nutné mít na paměti, že písčité části náplavů jsou hojně osidlovány i invazními druhy, které mohou kompetičně vytlačovat ohrožené druhy rostoucí na stejném stanovišti. Výskyt dominantních invazních druhů by měl být průběžně sledován v rámci monitoringu dalších druhů rostlin. Je proto důležité **v rámci managementových zásahů dbát o podporu procesů umožňujících transport a ukládání jemného sedimentu na lokalitách.**

Druhy typické pro biotop bahnitých říčních náplavů jsou většinou r-stratégové s krátkým životním cyklem přizpůsobené velké intenzitě a frekvenci narušování. To obnáší přežití nepříznivých podmínek ve formě semen (v semenné bance přežívají obvykle více let), dále nízký vzrůst a případně tvorbu přizemních listových růžic nebo oddenků. Mírný sešlap, který vytváří mozaiku méně a více narušovaných ploch na náplavech, snáší většina druhů rostlin dobře. Proto **neškodí využití lokalit vodáky, ke koupání nebo pro rekreační rybolov. Naopak může být i přirozenou cestou, jak sblížit místní obyvatele s řekou, jako je tomu například u hojně navštěvované lokality ústí Ploučnice.** Vliv těchto aktivit na populace ohrožených druhů rostlin je ovšem dobré průběžně monitorovat.

5.5 Vliv morfologie náplavu

Nejreprezentativnější společenstva náplavů se vyskytovala na velkých náplavech s pozvolným sklonem a dostatečným vertikálním převýšením, které umožňuje přežití druhů, které jsou buď více suchomilné, vyžadují delší dobu k ukončení životního cyklu, nebo nesnáší delší přeplavení ve vegetační sezóně. Příkladem ze studovaného úseku Labe jsou lokality Dolní Žleb a Hřensko, které i při měnících se podmínkách (průtok, intenzita narušení povodní) mohou poskytnout náhradní stanoviště ohroženým druhům rostlin. Malé náplavy, nebo ty s malým příčným převýšením, zůstávají značnou část roku pod vodou, a nemůže tudíž u nich dojít k rozvoji typické vegetace. To je příklad lokality Těchlovice, která je často celá zaplavená a nedochází zde k typickému souběhu různých fenofází rostlin. V ideálním případě můžeme na déle obnažené části náplavu nalézt plodící jedince a na čerstvě obnažené části semenáče stejného druhu. Toto rozložení fenofází do delšího období vede k větší stabilitě populací a jejich menšímu ohrožení nahodilými událostmi.

Z hlediska managementu je cílem se co nejvíce přiblížit přirozené morfologii náplavů, tedy s pozvolným přechodem z vodního prostředí do terestrického tak, aby se čerstvě obnažená zóna při typických průtocích mohla vyskytovat na dostatečné ploše náplavu. **Nevhodné jsou příkré svahy a břehová opevnění,** které omezují rozsah litorální zóny a ovlivňují proudění a sedimentaci. Problematické jsou také prohrábký vodního toku využívané správci vodních toků k udržení hloubky plavební dráhy. **Vyhrnutý hrubozrnný materiál z prohrábek je nevhodně umísťován podél břehové linie náplavu, čímž je náplav oddělen od fluviální činnosti řeky, je omezeno přeplavování a sedimentace částic unášených řekou.** Sediment vyhrnutý z říčního dna má navíc hrubší zrnitost (převažují balvany a hrubý štěrk), takže mění zrnitostní strukturu náplavů, které jsou tvořeny střídáním přirozené sedimentace jemných i hrubších částic. Rozhrnutí materiálu z prohrábek na ploše náplavu také není optimální řešení, protože překryje semennou banku a rostliny nejsou schopny prorůst na povrch. **Materiál z prohrábek by mohl být využit k vytvoření charakteristického mírného sklonu některých degradovaných náplavů.** Je proto třeba monitorovat nakládání s tímto materiálem a vždy konzultovat ukládání tohoto materiálu s orgány ochrany přírody.

5.6 Potenciál revitalizace biotopu bahnitých říčních náplavů

Nejvhodnějšími kandidáty jsou přirozené lokality, které byly v minulosti větší a došlo k jejich částečnému zániku či degradaci. Předpokladem úspěšné revitalizace je zachování části lokality včetně rostlinných společenstev, což umožňuje po odstranění rušivých faktorů jejich spontánní regeneraci. **Možnost spontánní regenerace je možné ověřit mj. i kultivací semenné banky,** například po terénních úpravách potřebných k vytvoření typické morfologie stanovišť. Tato poměrně jednoduchá metoda spočívající v odběru sedimentu a jeho kultivaci a určení vyklíčených druhů rostlin ukáže, jaká je zásoba diaspor na lokalitě a které druhy jsou přítomny v semenné bance. Například námi studovaná lokalita Heger i přes velkou degradaci hostí řadu typických a vzácných druhů náplavů, které mohou sloužit jako zdroj diaspor pro obnovení celé lokality. V případě Hegeru degradace spočívá především v ohrazení přední části náplavu, což způsobuje menší zaplavování a narušování stanoviště a následnou expanzi vrb. Náprava by spočívala v rozebrání ohrazení a opětovném propojení náplavu s řekou, což by vedlo ke zvýšenému narušování řekou a zvýšené sedimentaci písku, který v přední části lokality chybí. Heger je kromě nevhodné změny morfologie, tj. přehrnutí sedimentem z říčního koryta a vyvýšení na úroveň řeky, ovlivněn i znečištěním, které přináší splašková voda z výpusti kanalizace. Řešení by zde bylo

poměrně jednoduché, stačilo by zaústit kanalizaci více do proudu tak, aby odpadní voda neprotékala přes náplav.

Na základě orientačního studia starých leteckých snímků poskytnutých Českým úřadem zeměměřičským a katastrálním lze k prověřování možných revitalizací navrhnout některé další lokality. Je ovšem nutné zdůraznit, že uvedené lokality jsou navrhovány bez ohledu na vlastnické vztahy či omezení vyplývající ze současného způsobu využívání. Jedná se o **Valtířov** (pravý břeh) – odstranění vybetonovaného břehu pod bývalými loděnicemi a dále odstranění zpevněného břehu (kamenný zához) za stávající pláží směrem po proudu (náplav byl v minulosti mnohem delší). Úsek **Boletice–Křešice** (pravý břeh nad areálem společnosti České loděnice) – v minulosti zde byly vybudovány výhony, které jsou dnes kompletně zazemněné a břeh je opevněn kamenným záhozem. **Prostřední Žleb** (levý břeh) je v současnosti silně degradován prohrábkami s nepřirozenou morfologií náplavu, břeh je opevněn kamenným záhozem; v minulosti zde bylo koryto zúženo podélnými hrázemi, jejichž laguny jsou dnes kompletně zazemněné.

Kromě revitalizace stávajících náplavů je velký potenciál u stanovišť tzv. výplavových kuželů spontánně vzniklých v ústí přítoků. Tato raně sukcesní stanoviště hostí společenstva rostlin, která jsou ve studovaném území vzácná a mohou sloužit jako náhrada již dříve zaniklých stanovišť bez potřeby investice jakýchkoliv finančních prostředků. **Management spočívá v zachování výplavových kuželů drobných přítoků a udržování jejich přirozené morfologie bez odtěžování sedimentu, který je významným zdrojem jemného písčitého materiálu náplavů. Výplavové kužele by měly být chráněny jako zdroje diaspor a jemného sedimentu.**

5.7 Kompenzační opatření – uměle vytvořená stanoviště

Naše výsledky ukázaly, že uměle vytvořené (tzv. experimentální) výhony v úseku mezi Čertovou Vodou a Dolním Žlebem se oproti přirozeným náplavům liší ve druhovém složení rostlin a především ve směru svého vývoje. Všechny experimentální výhony (čiště technicky se ovšem nejedná o výhony, ale o podélné hráze či příbřežní akumulace vyhrnutého materiálu) postrádající dostatečnou disturbanci postupně zarůstají vytrvalými konkurenčně silnými druhy trav, kde světlo- a teplomilné jednoleté druhy jsou nahrazovány druhy vytrvalými snášejícími vyšší zástin. Toto se projevilo i u nejperspektivnějších výhonů V3 a V4/5, které jsou rozhrnuty do větší plochy tak, aby se jejich morfologie blížila přirozeným náplavům. Nedostatečné narušování souvisí pravděpodobně i s nevhodnou pozicí experimentálních výhonů na rovném úseku řeky, kde nedochází k tak intenzivnímu narušování a erozně-akumulační činnosti jako v říčních meandrech. To ukazuje, že **stávající uměle vytvořené výhony jsou jako kompenzační a trvale udržitelné opatření nevhodné, protože se svojí ekologií liší od přirozených stanovišť.**

5.8 Monitoring vegetace a semenné banky

Uvedené zásahy se neobejdou bez průběžného monitoringu vývoje vegetace a stanoviště. Z našich výsledků plyne, že vegetace bahnitých říčních náplavů je velmi dynamická a sezónní rozdíly ve složení a abundanci druhů rostlin mohou být značné. Optimální doba pro botanický monitoring je přibližně dva měsíce od obnažení náplavu, typicky to bývá v druhé polovině července a v průběhu září. Pro zachycení maximálního počtu druhů je možné provést dva monitorinky, první v průběhu července a druhý v závěru září či začátku října. Načasování je nutné přizpůsobit podmínkám dané vegetační sezóny, především opětovnému přeplavení v průběhu vegetace. Pro posouzení trajektorie vývoje je proto nutné vycházet z dlouhodobých dat, která jsou pořizována podle jednotné metodiky a na přesně zaměřených a fixovaných plochách. V případě studovaného úseku Labe předcházela výběru lokalit monitoringu nejprve rešerše, v níž jsme posoudili reprezentativnost náplavů (druhové složení rostlin,

velikost náplavu, kompletnost botanických záznamů v čase a dostatečné pokrytí zájmového území dolního Labe lokalitami). Na příkladu studovaného úseku Labe je evidentní, že z hlediska statistického vyhodnocení jsou velmi cenná data z pravidelných monitoringů. Monitoringy zadávané ŘVC ale nebyly prováděny opakovaně na stejném souboru lokalit, u řady fytocenologických snímků chybí přesná lokalizace a nemají všechny stejnou velikost. Proto je při monitoringu třeba **používat standardizovaný botanický průzkum, který se bude opakovat každoročně na stejných lokalitách** se stejnou velikostí ploch (u tohoto typu biotopu doporučujeme čtverce 4 × 4 m s fixovanými rohy příp. kruhy o srovnatelné velikosti s centrálním bodem) lokalizovaných pomocí GPS souřadnic.

Semennou banku doporučujeme zkoumat metodou kultivace sedimentu, kdy v zájmové lokalitě z přiměřeně velké plochy odebereme svrchní vrstvu sedimentu (např. do hloubky 5 cm). Z odebraného sedimentu je vhodné přeseť oddělit hrubý štěr a kameny. Sediment pak rozprostřeme v tenké vrstvě o mocnosti cca 1 cm tak aby semena byla schopna vyklíčit skrz sediment. Sediment pak rozprostřeme na pískovém loži několik centimetrů (3-5) vysokém, které slouží jako vlhčící médium a kultivační nádoby umístíme na podmisky, kde můžeme udržovat nízkou hladinu vody (cca 1 cm), tak aby povrch sedimentu byl udržován stále vlhký. Kultivační misky je nutné během celého pokusu ochránit před kontaminací cizích semen, například pomocí klecí potažených jemnou tkaninou. Semenáčky určujeme a v pravidelných intervalech odstraňujeme, aby nebránily růstu dalším jedincům. Některé druhy je nutné přesadit a dopěstovat do dospělosti, tak aby je bylo možno bezpečně určit. Doba kultivace by měla být nejméně 3 měsíce, tak aby v době jejího ukončení již klíčilo minimální množství semen. Je nutné si uvědomit, že některé druhy není možné kultivací zachytit, například protože se rozmnožují vegetativně, nebo že vyžadují specifické podmínky pro klíčení. Nicméně **většinu druhů lze pomocí metody kultivace sedimentu determinovat. Tento postup je vhodný např. pro posouzení spontánní regenerace stanovišť, případně pro srovnání aktuální vegetace a semenné banky.**

Doporučujeme dlouhodobě sledovat minimálně pět lokalit a na každé větší lokalitě pak doporučujeme provést tři záznamy vegetace v přední, střední a koncové části náplavu umístěné ideálně uprostřed mezi říčním břehem a trvalou vegetací. Na malých lokalitách, kde by docházelo k těsnému kontaktu trvalých ploch, postačí jeden fytocenologický snímek. Záznam vegetace by měl probíhat v době optimálního rozvoje vegetace. Například v námi studovaném úseku Labe by bylo vhodné sledovat nejreprezentativnější lokality (Hřensko, Dolní Žleb), dále lokality větších náplavů s nejvíce kompletními záznamy v čase (Ústí nad Labem, Těchlovice, ústí Ploučnice, Rozbělesy, Valtířov) a poškozené lokality (Heger). Data pořízená z veřejných prostředků by měla být umístěna na volně přístupném úložišti, v případě vegetačních snímků doporučujeme využití České národní fytocenologické databáze.

5.9 Ochrana vzácných druhů – příklad drobnokvětu pobřežního (*Corrigiola litoralis*)

Sledovaný úsek Labe hostí kriticky ohrožený druh drobnokvět pobřežní (*Corrigiola litoralis*), který se na našem území přirozeně vyskytuje **pouze zde na několika lokalitách**. Tento druh má v současnosti bohatší populace jen na čtyřech lokalitách: Hřensko, Dolní Žleb, Heger a ústí Ploučnice, kde se za vhodných podmínek alespoň jednou za několik let objevují řádově vyšší desítky až desítky tisíc jedinců (Hřensko). Na zbylých lokalitách se druh v poslední dekádě objevuje nepravidelně v počtu několika rostlin (Rozbělesy, PP Nebočadský luh), nebo je znám pouze z historických botanických záznamů (Ústí nad Labem). Z našich dat je zřejmé, že drobnokvět je schopen vytvořit během krátké doby po obnažení náplavu značné množství semen, která jsou schopna klíčit po dlouhou dobu v širokém rozmezí podmínek prostředí. Pro klíčení a další růst je ovšem nejvhodnější vysoký podíl štěrkopískové složky v substrátu. Nezodpovězenou otázkou nicméně zůstává sporadický výskyt na lokalitách položených výše

proti proudu. Limitujícím faktorem jeho výskytu tak může být jeho schopnost šířit se proti proudu nebo ochuzení lokalit položených blíže vodnímu dílu Střekov o jemnější frakce sedimentu a organickou hmotu. Otázka možnosti posílení stávajících populací drobnokvětu je dosud otevřená a předpokládá mj. získání informací o genetické odlišnosti jednotlivých populací. Nejprve je potřebné zpracovat záchranný program nebo podobný dokument, který se bude zabývat stanovištními podmínkami a ekologií druhu v širším kontextu studovaného území včetně vhodných historických lokalit výskytu.

5.10 Literatura

European Commission (2013): Interpretation Manual of European Union Habitats, version EUR 28. – European Commission, DG-ENV. April 2013.

Chytrý M., Kučera T., Kočí M., Grulich V. & Lustyk P. [eds.] (2010): Katalog biotopů České republiky. Ed. 2. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Praha. URL: https://portal.nature.cz/publik_syst/files/katalog-biotopu-cr-2-vydani.pdf

Lustyk P. (2023a): Metodika mapování biotopů České republiky. Verze: květen 2023. – Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky, Praha. URL: portal.nature.cz

Lustyk P. [ed.] (2023b): Příručka hodnocení biotopů. Verze: březen 2023. – Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky, Praha. URL: portal.nature.cz

6. Revitalizační a korekční opatření zvyšující potenciál rozvoje biotopu M6

Podpora rozvoje ohrožených biotopů M6 vychází z koncepce navržené pro úsek dolního Labe na území ČR, tedy od VD Střekov po státní hranici se SRN. Každé revitalizační nebo optimalizační opatření představuje individuální zásah, jež je však nutné vždy vyhodnocovat v rámci dotčeného vodního toku v kontextu hydromorfologické kvality, a to jak z hlediska zachovalosti/poškození fluviálních forem, tak především z hlediska existence/omezení fluviálních procesů.

Jedním z klíčových parametrů jsou:

- i. existence vhodného průběhu (geometrie) koryta,
- ii. chod sedimentů,
- iii. existence korytotvorných průtoků.

Na těchto principech a jejich znalosti lze stanovit skupinu realizovatelných podpůrných opatření, jež reálně zlepší i hydromorfologickou kvalitu vodního toku. Zároveň je nutné stanovit omezení, jež jsou dána především:

- i. regulační úpravy (výhony, podélné soustředovací stavby, traverzy, apod.),
- ii. navrhovaná opatření v plánech dílčích povodí (např. rybí přechody, úpravy zaústění, apod.),
- iii. záplavová území ($Q_5 - Q_{500}$, Q_{100} přítoků),
- iv. limity ochrany přírody a krajiny (např. ZCHÚ),
- v. plavební dráha (plavební hloubky, rozměry koryta, apod.),
- vi. další limity (další infrastruktura – především dopravní).

Přirozený či alespoň zásadním způsobem neovlivněný splaveninový režim je základním předpokladem kvalitní korytové morfologie. Donáška splavenin do zájmového úseku přímo řekou Labe je ovlivněna antropogenními zásahy v celém povodí. Za běžných průtokových situací je přísun prakticky nulový. Až při větších povodních, kdy je potřeba manipulace na vodních dílech, lze určitý pohyb dnových splavenin předpokládat. V sousedním Německu byl deficit splavenin v Labi kvantifikován. Dnový substrát Labe byl dále přetvořen managementem plavební dráhy. Za takto změněných podmínek je velmi problematické se splaveninovým režimem Labe efektivně pracovat. Zvolené koncepční postupy se opírají o opatření v následujících segmentech:

6.1 Výústní tratě přítoků

Značný potenciál tak představují splaveniny přinesené z přítoků Labe v řešeném úseku. Zrnitostně se jedná o velmi různorodý materiál, tolik potřebný pro diverzitu řeky. Přítoky vykazují ve výústní trati značnou proměnlivost ve vztahu k upravenosti koryta. Většina průtoků má vyvinut svůj vlastní, různě velký výplavový kužel. Jedná se o velice dynamický prvek, který je ovlivňován jak povodněmi na přítoku, tak i povodněmi na hlavním toku. Sedimenty z přítoků jsou Labem průběžně rozplavovány. V případě, že přítok ústí přímo do plavební dráhy, a ještě k tomu do vnějšího oblouku, je rozplavování poměrně rychlé. Stavební opatření spočívá v takových úpravách, že do profilu nátoky vodního toku do kužele bude umístěn vodorovný práh (různě konstrukčně řešen), který bude přítok rozptylovat do plochy kužele. V závislosti na velikosti kužele by se těchto objektů mohlo nacházet více nad sebou. Toto opatření bude mít za cíl pravidelnější přeplavování celé plochy kužele a častější disturbance náletové vegetace. Zároveň se nevytvoří do kužele zahloubené jedno dominantní rameno. Nejdůležitější je, aby se i během menší povodně na přítoku přelévala voda na co největší plochu kužele. Součástí opatření je také modelace kužele do iniciální podoby. Ta spočívá ve srovnání celého povrchu kužele a rozhrnutí materiálu do co největší plochy. V případě absence dostatečného množství materiálu, bude tento vzat z nejbližšího možného okolí z břehu. Managementová část je velice jednoduchá a spočívá v neodstraňování a nerozhrnování splavenin vně iniciální plochy kužele, dokud nedojde k takovému rozsahu výplavového kužele, který by představoval konkrétní riziko. V případě Labe je toto riziko definováno zasahováním kužele do plavební dráhy. Nepředpokládá se, že by výplavový kužel narostl do takové velikosti, která by ovlivnila průtočnou kapacitu Labe. Pro každý řešený přítok je stanovena maximální velikost kužele. Součástí managementu přítoků je též odstraňování náletové vegetace. V úsecích v zastavěných územích (typický Jílovský potok) může být v širším okolí ústí vymodelována „delta“. Ta může mít jedno hlavní rameno na běžné průtoky a pak další ramena v různých úrovních, která se budou plnit v závislosti na průtoku. Povrch delty by byl ze štěrkopísku. Jednotlivé úrovně by byly vymezeny kamennými nebo dřevěnými prahy.

6.2 Opatření v povodí přítoků

Tato problematika je již výrazně nad rámec předkládané metodiky. V každém případě by mělo dojít k uvolnění tvorby a transportu splavenin v celé ploše povodí při zachování stávající úrovně ochrany obyvatel a majetku. Za tímto účelem je vhodné provést splaveninové posouzení povodí jednotlivých řešených přítoků. Lze v tomto směru doporučit aplikace metodického rámce zpracovaného pro Lesy ČR (Krejčí et al. 2021).

6.3 Štěrkopísčité náplavy

Postupnými úpravami Labe a udržovacími pracemi na plavební dráze došlo k podstatným změnám říčního substrátu. Rozsah štěrkových náplavů byl výrazně redukován a v současnosti je vázán pouze na jesepy zákrutů a na lokality, kam je nahrnován materiál při údržbě koryta. Při nízkých vodních stavech

se obnažuje též substrát pozvolných břehů. V každém případě je v řešeném úseku velmi malé zastoupení štěrkopískových povrchů a jejich zrnitost se výrazným způsobem posunula k hrubším frakcím. Jemná písková frakce téměř absentuje. Úkolem navrhovaných opatření je podpořit sedimentaci jemné frakce. Tohoto je dosahováno následujícími způsoby:

- i. umístováním jemného mrtvého dřeva, případně hrubého mrtvého dřeva s jemnou částí – tj. stromy s celými korunami, případně větší větve,
- ii. vytvářením rozsáhlých plochých partií jesepních břehů,
- iii. modelací zpětných zálivů,
- iv. vytvářením bočních lagun.

6.4 Příbřežní zóny

Postupnými úpravami Labe došlo k omezení komunikace mezi korytem a velmi úzkou pořiční nivou. Podíváme-li se na rozsah záplavy Q5, zjistíme, že řeka Labe se téměř do svého okolí nerozlévá. Tudíž zde neexistuje terestrický koridor (niva), v němž by se mohla uplatňovat fluviální dynamika. Cílem tohoto typu opatření je identifikovat lokality, v nichž by mohl být vymodelován nižší nivní stupeň. Z důvodu minimalizace zemních prací, a tedy i investičních nákladů jsou hledány ty úseky, v nichž není současná niva výrazně úrovněově vzdálena od dna koryta Labe, a zároveň je v blízkém okolí úseku dostatek místa pro depozici materiálu. Současně se zde nenacházejí žádné technické či administrativní limity a jsou zde jednoduché majetkoprávní vztahy.

Opatření spočívá v odtěžení různě široké části nivy a vytvoření nižšího nivního stupně neboli bermy. Úrovněově je povrch bermy navržen tak, aby byl při Q1 přeplavován sloupцем vody minimálně 0,5 m. Pokud to výškové poměry dovolují (zejména s ohledem na bilanci zemních prací), pak je snížení části bermy takové, že v její části odvrácené od koryta vznikne periodicky protékané paralelní rameno.

6.5 Říční dřevo

Základem je důkladná inventarizace přítomnosti dřevní hmoty v dosahu vodního toku. V řešeném úseku Labe říční dřevo v podstatě zcela absentuje, byť na řadě míst existují potenciální zdroje. To má za následek jednak malou morfologickou, tak i stanovištní diverzitu. Říční dřevo či mrtvé dřevo je uznávanou a důležitou komponentou říčních systémů. Oporu lze najít v četných vědeckých publikacích. V posledních letech se i v České republice stalo říční dřevo běžným revitalizačním nástrojem. Jedná se o jednoduchý prvek, který významně zlepšuje ekologický stav vodního toku. Říční dřevo je v rámci návrhů nejběžněji umísťováno do úrovně běžné hladiny, tj. do četné interakce s proudem, nicméně jsou zpracovány i lokality, kde je říční dřevo hluboce ponořeno i umístěno výše nad běžnou hladinou. Způsob kotvení odpovídá velikosti a významu řeky (např. Labe). Tyto návrhy musí být v dalších fázích staticky a hydrotechnicky posouzeny. Dalším aspektem říčního dřeva je zvýšení povodňového rizika. To má běžně dva projevy. Prvním je omezení průtočného profilu in-situ materiálem (strom vyvrácený ze břehu) nebo materiálem naplaveným. Plavený materiál se většinou ucpává na objektech na korytě vodního toku (jezy, mosty). V případě koryta velikosti Labe je za běžných povodní tato možnost málo pravděpodobná. Druhým projevem je destrukční účinek plaveného dřeva na objekty na toku, tzn. narážení kmenů do mostních či jiných konstrukcí. Při velkých povodních toto riziko na Labi existuje.

6.6 Urbanizovaná území

Na každé řece v ČR leží významná urbanizovaná území – ne jinak je tomu i u Labe - Ústí nad Labem a Děčín. V posledních letech jsou urbanisty a architekty vyzdvihovány řeky ve městech jakožto jedinečný

prvek a obrovským potenciálem. Vzhledem ke skutečnosti, že Labe je naše největší řeka, velikostí se rovnající největším evropským řekám a zároveň evokující téměř přímořské prostředí, záliv s přílehlými útesy.

Návrhy v urbanizovaných územích Ústí nad Labem a Děčína vycházejí z níže uvedených třech principů:

- zpřístupnění pro obyvatele,
- zapojení do urbanistické struktury města,
- dílčí zpřírodnění.

Součástí pojetí městských území, tedy spojení člověka s vodním tokem, je řešení cyklostezky vedoucí podél Labe od Ústí nad Labem až do Německa.

6.7 Umělé povodňování

Zcela základním předpokladem kvalitní korytové morfologie je povodňová dynamika. Vzhledem ke skutečnosti, že zájmový úsek leží na dolním toku říční sítě se značnou upraveností, jsou korytotvorné povodně na dolním Labi spíše vzácné. Korytotvornost povodní byla navíc ovlivněna antropogenní modifikací korytového materiálu, kdy k remobilizaci sedimentu jsou za potřebí průtoky větší než Q_{10} . Největší doložitelný korytotvorný účinek měla povodeň v srpnu 2002 s kulminací Q_{100} . Dle sdělení místních správců i povodeň v roce 2013 měla významnější morfologické efekty. Ta dosahovala kulminace $3700 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ což odpovídá Q_{20-50} . Nicméně zavedme předpoklad, že k přeplavování jemnějších frakcí je zapotřebí průtok alespoň $Q_1 = 1300 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Podíváme-li se na četnost těchto průtoků za posledních 10 let, zjistíme, že byl dosažen nebo překročen pouze 2krát. Tato dynamika je i s ohledem na další navrhovaná opatření zcela nedostatečná. Z tohoto důvodu se navrhuje prověření možnosti umělého povodňování řešeného úseku pomocí manipulace na zdymadle Střekov. Tento managementový krok bude v následujících fázích projektu hydrotechnicky posouzen pro několik potenciálních scénářů.

Výše uvedené postupy jsou zobecněním návrhů, které lze v detailu získat v závěrečné výzkumné zprávě Hradecký et al. (2024).

Literatura

Krejčí, L., Řádek, L., Vopršalová, S., Galia, T., Škarpich V., Hradecký, J., Máčka, Z., Šulc Michalková, M. (2021): Optimalizace managementu splavenin v drobných vodních tocích, Výzkumné projekty grantové služby LČR, Pardubice.

Hradecký, J., Čuda, J., Frouz, J., Hanel, M., Krejčí, L. et al. (2024): Optimalizace managementu dolního úseku Labe s ohledem na přítomnost biotopu 3270 a zlepšení hydromorfologického stavu na základě mezioborové studie. Výzkumná zpráva, TA ČR, Prostředí pro život, číslo projektu: SS03010279. Ostrava, 236 s.

7. Závěr

Metodika vycházející z výzkumné zprávy kolektivu autorů (Hradecký et al., 2024) shrnuje zásadní části přístupu interdisciplinárního pohledu na ohrožené stanoviště bahnitých říčních náplavů M6. Přístup k odhalení vlastností stanovišť je řešen prostřednictvím sady analytických postupů. Tyto jsou prezentovány jako ověřené, vhodné postupy pro systematické sledování vývoje stanovišť, s tím, že velmi podstatná je bioindikační část postupů interpretující reakci vegetace a jednotlivých druhů na potenciální změny stanovišť, a to jak degradační, tak změny projevující se jejich rozšiřováním nebo zlepšováním ekologických podmínek. Je třeba zmínit fakt, že postupy lze opakovat a provádět buď trvalejší pravidelný monitoring, nebo tyto postupy využívat ad hoc dle potřeb ochrannářského managementu. Samostatnou aplikaci metodiky spatřujeme v momentu před a po realizaci optimalizačních opatření, která jsou navržena a v metodice zmíněna tak, aby zvyšovala hydromorfologickou kvalitu prostředí toků s přítomností bahnitých říčních náplavů. Interdisciplinární rámec metodiky vyžaduje zapojení zkušených specialistů a optimalizační (revitalizační) opatření jsou zmíněny jako typové a před jejich implementací je nutná jejich adaptace na lokální podmínky, jež by měly reflektovat a dlouhodobější trendy hydrologického, potažmo klimatického režimu každého území a především pak dlouhodobou koncepci využívání daného úseku říčního kontinua člověkem.



Porost drobnokvětu (*Corrigiola litoralis*) na náplavu Hřensko v roce, kdy byly optimální podmínky pro jeho růst, foto ze dne 25. 8. 2019