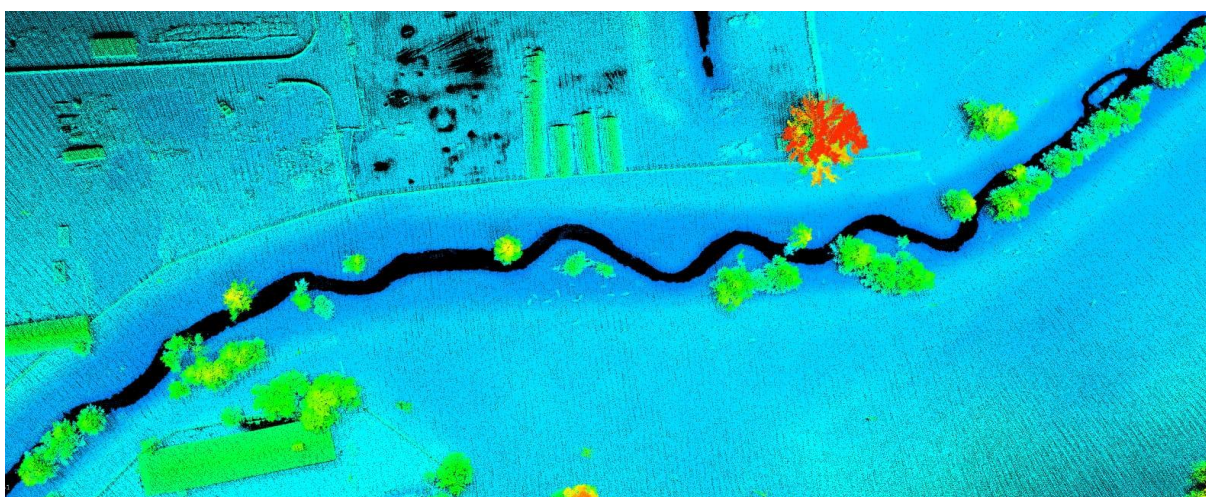


Katarína Holubová, Andrej Škrinár, Emília Mišíková Elexová, Fedor Čiampor,
Peter Baláži, Maroš Kubala, Katarína Mravcová

Metodická príručka postupov pre revitalizácie vodných tokov



Bratislava, jún 2023



Obsah

1. Úvod	2
1.1 Základné východiská.....	2
1.2 Prečo je potrebné revitalizovať upravené rieky	3
2. Situácia vo svete a na Slovensku	4
3. Vodný zákon SR a Koncepcia vodnej politiky do roku 2030	7
4. Základné pojmy a definície.....	9
5. Hydromorfológia a revitalizácie tokov	14
5.1 Riečne procesy a morfológické charakteristiky tokov.....	15
5.2 Korytotvorný, dominantný prietok.....	16
5.3 Kontinuita vytvárania riečnej siete.....	18
5.4 Pôdorysný tvar koryta - morfológická klasifikácia a charakteristika	21
5.5 Riečne sedimenty, transportované sedimenty, dnový materiál, dnové/korytové útvary	24
5.5.1 Dnové sedimenty - charakteristiky.....	25
5.5.2 Dnové útvary v koryte	26
5.5.3 Korytové útvary	27
5.6 Vegetácia –akvatická (makrofyty), príbrežná vegetácia, mŕtve drevo.....	27
6.1 Narušenie pozdĺžnej kontinuity a laterálnej konektivity toku.....	29
6. Priestorové mierky – členenie riečnej siete	30
7. Typy revitalizácie (CEN)	34
8. Príležitosti a obmedzenia	38
8.1 Kedy je revitalizačný zásah účinný a kedy možno rieku nechať, aby sa sama obnovila?.....	38
8.2 Ekologické vplyvy na morfológiu toku a riziká zásahov (opatrení)	40
8.3 Využívanie územia a regulácia rieky (obmedzenia revitalizácii)	40
9. Realizácia obnovy rieky	41
10. Postup pri návrhu revitalizácie rieky	45
10.1 Intravilán - extravilán.....	49
10.1.1 Opatrenia v extraviláne	49
10.1.2 Opatrenia v intraviláne.....	49
10.2 Prírode blízke opatrenia: pre rôzne typy revitalizácie.....	52
10.2.1 Stabilita dna koryta.....	53
10.2.2 Opevnenie svahov koryta	54
11. Opatrenia na zabezpečenie pozdĺžnej kontinuity transportu sedimentov, vodnej bioty a rýb	61
12. Monitorovanie a hodnotenie – abiotický a biotický monitoring.....	65
12.1 Biotický monitoring	70
12.2 Abiotický monitoring	80
L i t e r a t ú r a.....	111

1. Úvod

Cieľom tohto manuálu je uvedenie základných princípov a podmienok, ktoré sú dôležité pre úspešný návrh revitalizácie rieky a poskytnutie súboru potrebných poznatkov, informácií a praktických skúseností (z EÚ i zo Slovenska) správcom tokov, projektantom ako aj všetkým, ktorí sa snažia o sprírodnenie našich upravených riek. Vzhľadom na geografickú, hydrologickú i morfológickú odlišnosť a s ohľadom na rôznosť tlakov pôsobiacich na riečne systémy, manuál nemôže byť podrobným návodom na vykonanie komplexnej revitalizácie. Úlohou manuálu je ukázať cestu, ktorá k úspešnému návrhu revitalizácie rieky vedie, ukazuje dôležitosť základných princípov, ktoré spočívajú najmä v obnove riečnych procesov s pomocou prírody blízkyh opatrení všade tam, kde to miestne podmienky umožňujú.

Teoretické i praktické poznatky boli okrem odbornej literatúry prevzaté z aktualizovanej EÚ normy pre hydromorfológiu platnej aj v SR: STN EN 14614 (2020) Kvalita vody - Norma hodnotenia hydromorfologických charakteristík riek (*Water quality - Guidance standard for assessing the hydromorphological features of rivers*) a z prvej normy pre revitalizáciu CEN/TC 230/WG 25/N191, ktorá je v procese schvaľovania s pracovným názvom: *Water Quality – Guidance standard on a strategic approach to river restoration* (Kvalita vody – Norma usmerňujúca strategický prístup k revitalizácii riek).

1.1 Základné východiská

Väčšina európskych riek a ich povodí už nefunguje v prirodzenom režime. Koniec éry prirodzeného fungovania je výsledkom ľudských zásahov, ktoré sa vykonávali počas mnohých storočí (okrem iného) na ochranu pred povodňami, výrobu elektrickej energie vodnými elektrárnami, zabezpečenie vody pre poľnohospodárstvo, priemysel a pre domácu spotrebu, využívanie pôdy a odvodňovanie. Tieto činnosti často viedli k narušeniu prirodzeného fungovania riek a k degradácii fyzických habitatov a následne k zníženiu biodiverzity, k zníženiu odolnosti voči povodňam a suchu a k zhoršeniu ekosystémových služieb v priľahlých územiach. Klimatické zmeny v súčasnosti znásobujú problémy spôsobené ľudskými zásahmi, takže potreba revitalizácie riek bude čoraz naliehavejšia, aby sa zabezpečila ochrana pôvodných biotopov, živočíšnych druhov a udržateľné poskytovanie ekosystémových služieb. Revitalizácia riek podľa „prírody blízkeho“ prístupu je preto nevyhnutnou požiadavkou, ktorá umožní obnovu riečnych ekosystémov, čo je koncepcia presadzovaná Medzinárodnou úniou na ochranu prírody (IUCN) <https://iucnuk.wordpress.com/projects/river-restoration-and-biodiversity/>.

V súčasnej dobe je väčšina tokov upravených. Neupravené prirodzené úseky tokov sa nachádzajú iba v horných častiach povodia – v pramennej oblasti. Úpravy tokov a ich vodohospodárske využívanie - najmä výstavba vodných diel (pričné bariéry na tokoch) zapríčinili významné hydromorfologické zmeny a postupujúcu morfológickú degradáciu riečnych systémov, ktoré sú hlavnou príčinou nedosiahnutia dobrého ekologického stavu alebo potenciálu (v zmysle požiadaviek RSV). Preto v posledných desaťročiach dochádza k zmene prístupu v manažmente vodných tokov od klasických technických úprav tokov k prírode blízkyh riešeniam a to jednak v prípade potreby určitej stabilizácie koryta prirodzených tokov (najmä v intraviláne) ako aj súčasť asistovanej alebo riadenej revitalizácie upravených tokov. Mimoriadne dôležitá je aj ochrana zvyšných prirodzených úsekov tokov najmä s ohľadom na silnejúce tlaky, či už zo strany developerov alebo ich vodohospodárskeho využitia (najmä energetika - malé vodné elektrárne).

Pod pojmom revitalizácia riek, ktoré boli priamo alebo nepriamo zmenené ľudskou činnosťou, všeobecne rozumieme obnovenie ich prirodzeného režimu a tvaru. V ideálnom prípade by revitalizácia mala zabezpečiť neprerušenú laterálnu, pozdĺžnu a vertikálnu konektivitu (spojitosť) pre hydraulické, sedimentačné, chemické a biologické procesy, ktorá umožní nerušený vývoj koryta a záplavového územia a s tým spojené vytváranie diverzity habitatov, ktoré podporujú typické druhy flóry a fauny. V mnohých lokalitách budú mať fyzikálne a iné obmedzenia vplyv na to, aké revitalizačné opatrenia sa budú môcť uskutočniť, ale ambíciou by malo byť dosiahnutie čo najväčšieho stupňa a priestorového rozsahu obnovy prirodzených riečnych procesov (renaturácie). (CEN/TC 230/WG 25/N191)

Rieky sa revitalizujú z mnohých dôvodov, vrátane týchto: obnova prirodzeného režimu prúdenia vody a pohybu sedimentov, a tým odstránenie nákladov spojených s údržbou upravených koryt; obnova habitatov a biodiverzity; manažment povodňového rizika prostredníctvom prírody blízких opatrení; zlepšenie estetického vzhľadu danej oblasti a vytvorenie rekreačných možností. Medzi kľúčové politické a právne rámce, ktoré podporujú revitalizáciu riek v európskom kontexte, patrí *Rámcová smernica o vode (RSV)*, *Smernica o habitatoch* a *Smernica o povodniach*. Okrem toho, *Stratégia EÚ v oblasti biodiverzity do roku 2030* a *Zmluva OSN o zmene klímy* poskytujú ďalšie podnety na zvýšenie úsilia pri revitalizáciách vodných tokov.

Hoci motivácia na revitalizáciu riek a rozsah, v akom môžu byť rieky revitalizované, sa líšia, **základným východiskom, spoločným pre všetky revitalizačné projekty, by malo byť obnovenie prirodzených fyzikálnych procesov**, ktoré povedú k rozvoju prirodzených riečnych foriem a prvkov, a udržateľný vývoj korytových, pririečnych a inundačných biotopov. Opatrenia ako je napríklad vkladanie štrku do koryta pre vybudovanie špecifických neresísk, môžu byť súčasťou väčšieho revitalizačného programu, ale samy osebe sa nepovažujú za revitalizačné opatrenia, pokiaľ nie sú opatreniami na obnovu prirodzených riečnych procesov. Posúdenie očakávaného výsledku je základným prvkom každého revitalizačného plánu, pričom monitorovanie (abiotické a biotické) a hodnotenie každého projektu bude závisieť od stanovených cieľov.

1.2 Prečo je potrebné revitalizovať upravené rieky

Revitalizácia riek je proces nápravy regulovaných riek s cieľom podpory prirodzených procesov, ktoré vedú k obnove a zachovaniu biodiverzity riečneho ekosystému. Oživenie dynamiky prirodzených procesov umožňuje preformovanie riek a vytváranie rozmanitých riečnych biotopov, ktoré sú typické pre zdravý riečny ekosystém, čo zabezpečí ich dlhodobú udržateľnosť tým, že sa rieši hlavná príčina problému (RRC, 2020). V odbornej literatúre možno nájsť pre pojem "revitalizácia" mnoho definícií a tiež rôznu terminológiu pre označenie procesu obnovy riečneho ekosystému napr. rehabilitácia, renaturácia, pričom sa často nerozoznávajú rozdiely, ktoré medzi nimi existujú. Pre potreby rovnakého chápania významu jednotlivých termínov, uvádzame v stručnej forme základné pojmy a definície, ktoré sa vzťahujú aj k terminológii používanej v RSV (nenárokujú si univerzálnu platnosť, ale vystihujú podstatu obsahu).

Revitalizácia riečnych systémov je širší pojem, ktorý zahŕňa: renaturáciu i rehabilitáciu. (Lisický, 1993). **Renaturácia (prirodzená obnova)**- je obnova prírodnej štruktúry vodného útvaru (VÚ) a funkcií jeho ekosystému, ktorá znamená obnovu prirodzených procesov a environmentálnych podmienok z

obdobia pred realizáciou technických zásahov do prírodného prostredia. Ide teda o obnovu prirodzených procesov, ktoré umožnia, aby si rieka vlastnou energiou obnovila svoj pôvodný morfológický charakter. Renaturácia zahŕňa popri obnove biologickej kvality aj návrat k pôvodným abiotickým charakteristikám (geomorfologickým, hydrologickým podmienkam). Je teda radikálnejšou zmenou. V zmysle pripravovanej CEN normy sa jedná o **prírodzenú obnovu** (2022). Renaturácia má v súčasnej krajine viaceré limity a preto býva často priestorovo a funkčne obmedzená na čiastkovú renaturáciu. Napr. renaturácia celej dĺžky vodného toku by znamenala systémové zmeny v celom povodí, odstránenie protipovodňových stavieb, zabránenie veľkým odberom vody a pod., t.j. striktná obnova, ktorá by viedla k návratu ekosystému do pôvodného prírodného stavu, s autochtónnou biodiverzitou a jednoznačne autoregulačným fungovaním. Vzhľadom na vzájomnú prepojenosť a závislosť susedných ekosystémov, resp. na hierarchické väzby je v človekom osídlenej krajine takmer nemožné renaturovať ekosystém dostatočne veľkého rádu, napríklad celé povodie (Haaren, 1988, Ložek, 1993).

Rehabilitácia – je implementácia niektorých prirodzených prvkov a biotopov do vodohospodársky využívannej krajiny. To znamená, že vonkajšie obmedzenia (využívanie vôd, infraštruktúra, osídlenie, atď.) neumožňujú obnovu pôvodných prirodzených podmienok.

V bežnej praxi sa najčastejšie používa termín revitalizácia zväčša bez rozoznávania rozdielov, uvedených vyššie, ktorá spočíva v možnostiach obnovy pôvodného charakteru rieky v rozsahu danom vonkajším obmedzením. Dosiahnutie úplnej renaturácie - teda obnovy pôvodného stavu a fungovania riečnych systémov vo využívannej krajine je väčšinou obmedzené na úseky tokov, kde to okolité podmienky umožňujú.

Je potrebné vytvoriť podporný nástroj pre dôsledné napĺňanie požiadaviek RSV 2000/60/ES a ďalších smerníc o ochrane vôd (Smernica o biotopoch, Natura 2000) a povodňovej smernice 2007/60/ES (opatrenia s integrovaným účinkom), prostredníctvom návrhov a implementácie nápravných opatrení s cieľom dosiahnuť dobrý ekologický stav alebo zmierňujúcich opatrení s cieľom dosiahnuť dobrý ekologický potenciál na vybraných vodných útvaroch (výber podľa definovaných priorít) v nasledujúcom plánovacom období 2021-2027.

Zdôvodnenie: S rastúcim dôrazom na revitalizáciu riek prichádza potreba aplikovania nových techník - postupov a usmernení. Jedná sa o nástroje na hodnotenie hydromorfologického a ekologického stavu riek a ich povodí, ktoré umožňujú definovať aktuálny stav a najmä identifikovať príčiny degradácie vodných biotopov a následne vybrať vhodné revitalizačné opatrenia. Veľmi dôležitou súčasťou je aj nastavenie hydromorfologického a biologického monitorovania a následné hodnotenie účinku realizovaných nápravných a/alebo zmierňujúcich opatrení vo vhodných časových a priestorových mierkach (Kail, J., Angelopoulos, N., 2014).

2. Situácia vo svete a na Slovensku

Pokusy aplikovať rôzne nevhodné technické opatrenia, ktoré z hľadiska prirodzených podmienok prostredia môžu pôsobiť ako cudzorodé prvky, sú z hľadiska inžinierskeho a environmentálneho veľmi často neúčinné (Brooks, 1998). Realizáciou takýchto nevhodných opatrení sa obyčajne nedosiahne pôvodný cieľ úpravy toku, naopak dochádza k narušeniu jeho prirodzenej stability, čoho dôsledkom môže byť aj pomerne rozsiahla devastácia územia (Brooks, 1988; Hey, Heritage, Pattenon). Takéto postupy ani v súčasnom období nie sú výnimkou v oblasti revitalizácie tokov, kde by hlavným cieľom mala byť obnova prirodzených funkcií toku. Stáva sa tak v prípade, ak sú revitalizačné opatrenia

navrhované ako lokálne, bez poznatkov o riečnych procesoch, a bez vzájomnej súvislosti medzi nimi. Implementácia takýchto opatrení, ktorá spočiatku môže pôsobiť esteticky i ekologicky pozitívne, môže byť v dlhšom časovom horizonte hydromorfologicky a environmentálne málo účinná. Navyše nevhodný zásah do riečneho systému môže paradoxne posilniť negatívne trendy vývoja a podmieniť resp. urýchliť degradáciu rieky i záplavového územia. Takýmto príkladom je nevhodné sprietočnenie odrezaných meandrov na rieke Morava, kde po počiatočnom oživení došlo k intenzívnemu zanášaní s následným zrýchlením morfolologickej a ekologickej degradácie (súčasný stav je horší ako pred revitalizáciou). Realizácia revitalizačných opatrení bez dôkladného poznania dynamiky riečnych a environmentálnych procesov bola hlavnou príčinou neúspešnej revitalizácie na Morave (Holubová, Lisický, 2005). Je preto potrebné navrhovať a realizovať systematické a komplexné opatrenia na dlhších úsekoch – segmentoch, aj s ohľadom celkovú situáciu a hlavné tlaky v pôsobiaci v povodí. Iba takýto postup umožní dosiahnuť reálne a udržateľné zlepšenie a dosiahnutie environmentálnych cieľov.

V súvislosti s potrebou revitalizácie tokov je potrebné sformulovať základné princípy a postupy pri plánovaní a návrhoch revitalizačných opatrení vrátane definovania programu monitorovania, s cieľom zabrániť resp. znížiť riziko realizácií neefektívnych alebo málo účinných revitalizácií. Tiež je potrebné vypracovať „usmernenie“ ako súčasť Konceptie revitalizácie tokov SR a to v nadväznosti na aktuálne výstupy pracovnej skupiny WFD CIS Working Group on Ecological Status.

Hlavné princípy revitalizácie, ktoré by sa mali dodržať pri návrhoch revitalizácií riek možno formulovať do nasledovných bodov:

- minimum údržby v dlhodobom horizonte, využitie potenciálnej energie rieky ako prirodzenej sily pre jej obnovu
- prispôbenie návrhu revitalizácie hydrologickému režimu a klíme
- revitalizácia musí byť adaptovaná tak na povodňové situácie ako aj na priemerné a minimálne prietokové podmienky
- zahrnutie rôznych zainteresovaných strán už pri návrhoch opatrení – aplikovať integrovaný prístup
- uplatniť dlhodobý prístup k hodnoteniu účinnosti opatrení (monitorovanie) – rehabilitačná schéma nezačne fungovať „za deň“
- opatrenia by mali byť navrhnuté pre ich fungovanie a nie pre ich formu (uprednostniť obnovu prirodzených procesov pred „skrášľovaním“ rieky a záplavového územia)
- vyhnúť sa príliš inžinierskym opatreniam (čo najmenej štrukturálnych opatrení - objektov) a orientovať sa najmä na prírodu blízke opatrenia

Uvedené princípy nadväzujú na ciele obnovy hydromorfológie zmenených riek, ktoré sú definované v revidovanej EÚ CEN norme pre Hodnotenie hydromorfologických vlastností riek (EN 14614:2018, Guidance standard for assessing the hydromorphological features of rivers), na výsledky projektu REFORM (D4.2, D5.1, 2015) a sú v súlade s cieľmi RSV v oblasti obnovy hydromorfológie zmenených vodných útvarov, ktoré umožňujú zlepšenie ekologického stavu tokov a dosiahnutie GES / GEP/MEP.

Fryiers a kol. (2008) konštatoval, že je potrebné striktne rozoznávať medzi tzv. riečnym auditom, ktorý reprezentuje napr. metóda „*hodnotenia fyzikálnych habitatov*“ a hodnotením riečnych podmienok (napr. Healey a kol., 2012). Metódy „*hodnotenia fyzikálnych habitatov*“ sa predovšetkým sústreďujú na zber údajov, ktoré generujú informácie o výskyte a frekvencii fyzikálnych habitatov (nazývané aj prvky hymo kvality), zatiaľ čo metódy „*hodnotenie riečnych podmienok*“ sa orientujú na obe premenné „*tlaky*“ i „*dôsledky*“ (hydromorfologické i biologické indikátory) a vytvárajú tak predpoklady

pre pochopenie vzťahu tlakov a dôsledkov (príčina-účinok), ktorý triedi pozorované zmeny systémovým spôsobom.

V európskych krajinách stáročia ľudských zásahov, ktoré boli orientované na podporu poľnohospodárstva, rozvoja miest, ochrany pred povodňami a rozvoja lodnej dopravy, zmenili chemickú, hydromorfologickú a ekologickú integritu riek a potokov (EEA, 2012). Za posledných 25 rokov sa zlepšilo čistenie odpadových vôd, znížilo sa množstvo vypúšťaných priemyselných i komunálnych odpadových vôd, a tiež úroveň znečistenia ovzdušia, čo viedlo k významnej redukcii účinkov chemického a organického znečistenia v európskych riekach (EEA, 2012). Aby však bolo možné naďalej zlepšovať stav vodných útvarov, je potrebné identifikovať a prehodnotiť rozsah poškodenia morfológie a hydrológie vodných útvarov. Tlaky na hydromorfológiu (späté s využívaním vôd) spôsobujú významné zmeny na vodných tokoch, ktoré sa prejavujú narušením kontinuity (priehrady, hate, stavidlá, odrezanie bočných ramien a pod.), morfológie (úprava tokov: napriamanie a skrátenie korýt tokov, opevnenie brehov, oddelenie inundácii) a hydrológie (odbery vody, regulácia prietokov). Garcia de Jalón a kol. (REFORM D1.2, 2014) hodnotia vplyv tlakov na hydromorfologické premenné vo vzťahu k relevantným ekologickým procesom.

Hlavné tlaky podmienené antropogénnou činnosťou pôsobia na:

- hydrologický režim vrátane odberov vody a regulácie prietokov
- fragmentáciu riek (narušenie kontinuity)
- morfológiu koryta (zmeny morfologických parametrov riek)

Ostatné ovplyvnené prvky a procesy (fyzikálno-chemické) spôsobujú zmeny v prirodzenej štruktúre a fungovaní tečúcich vôd, ku ktorým dochádza narušením prirodzeného prietokového režimu (napr. veľkosť a trvanie prietoku) a zásobami, transportom a ukladaním anorganických a organických látok a sedimentov, ktoré formujú a udržiavajú dynamické usporiadanie riečneho biotopu. Vodné útvary, ovplyvnené tlakmi na hydromorfológiu sa teda vyznačujú fyzikálnymi zmenami, ktoré menia ich brehy, príbrežné a litorálne zóny, hladinu a prietok (ETC/ICM, 2012).

Dôsledkom týchto hydromorfologických zmien sú zjednodušené, štrukturálne deficitné a fragmentované riečne systémy, ktoré už nevytvárajú podmienky pre rozmanitosť vodnej flóry a fauny, ktorá by zodpovedala dobrému ekologickému stavu. Rámcová smernica o vode od roku 2000 zaväzuje členské štáty EÚ k ochrane, zlepšeniu a revitalizácii vodných útvarov podzemných a povrchových vôd. Podľa RSV majú všetky vnútrozemské vodné útvary dosiahnuť "dobrý ekologický stav" (GES) alebo v prípade nezvratnej modifikácie (výrazne zmenené vodné útvary, HMWB) "dobrý ekologický potenciál" (GEP) v horizonte do konca roku 2015 alebo najneskôr do roku 2027. Dosiahnutie GES znamená splnenie určitých štandardov, ktoré sú stanovené pre chémiu vody, hydromorfológiu a ekológiu. Dobrý ekologický stav reprezentuje stav, ktorý sa iba mierne líši od stavu, ktorý by zodpovedal nenarušeným – prirodzeným podmienkam (ETC/ICM, 2012).

Dosiahnutie GES alebo GEP do roku 2015 bolo možné predĺžiť do konca druhého plánovacieho cyklu v roku 2021 alebo do konca tretieho cyklu v roku 2027, ak sa uplatnilo jedno alebo viac z kritérií (EEA, 2012), ktoré umožnili výnimku z dosiahnutia cieľov. Pri stanovení ekologického stavu sa ciele RSV sústreďujú na hodnotenie kvality vody, hydromorfológie a biológie vodných útvarov. Na základe tohto hodnotenia sa navrhujú nápravné alebo zmierňujúce opatrenia. Podľa RSV sa v každom povodí má implementovať Program opatrení (PoM), aby sa do konca plánovacieho cyklu RSV dosiahol GES alebo GEP na všetkých vodných útvaroch. Väčšina riek a jazier vo všetkých členských štátoch EÚ nedosiahla environmentálne ciele nielen do roku 2015, ale ani v nasledujúcom období do roku 2021. Podobná

situácia je aj v SR, kde sa v priebehu prvého i druhého plánovacieho cyklu zrealizovalo len málo opatrení z Programov opatrení Vodného plánu I a II (obdobie 2010-2015, 2016-2021). Zameranie RSV na dosiahnutie dobrého ekologického stavu (GES) ako konečného environmentálneho cieľa je v histórii európskych právnych predpisov o vode unikátne a začlenenie opatrení na zlepšenie hydromorfológie do viac ako 90% Plánov manažmentov povodí (RBMP) v európskych krajinách reflektuje potrebu opatrení na zmiernenie po stáročia vykonávaných modifikácií hydromorfológie riek a ich povodí v celej Európe (EEA, 2012). Podľa Rámcovej smernice o vode je hydromorfológia (formy a procesy) podporná pre hodnotenie biologických prvkov kvality (BQE).

Pre rieky sú hydromorfologické komponenty definované nasledovne:

- **Hydrologický režim** (množstvo vody a dynamika prúdenia, napojenie na útvary podzemnej vody)
- **Kontinuita riek – pozdĺžna a laterálna** (možnosť voľného pohybu sedimentov, rýb a vodnej bioty v toku a jeho záplavovom území v pozdĺžnom i priečnom smere)
- **Morfologické charakteristiky** (morfologický typ, variabilita hĺbky a šírky koryta, sklonové pomery, fyzikálne charakteristiky dnových sedimentov a ich štruktúra, štruktúra pobrežnej zóny, atď.)

Analýza plánov manažmentu povodí vo väčšine krajín EÚ ukazuje, že ekologický stav viac ako polovice vodných útvarov povrchových vôd nedosahuje dobrý ekologický stav ani dobrý ekologický potenciál. Podobná situácia je v SR, kde GES alebo GEP nie je dosiahnutý u viac ako 600 vodných útvarov (59%). Okrem kvality vôd sú to predovšetkým tlaky na hydromorfológiu riek (späté s využívaním vôd a krajiny), ktoré vedú k modifikácii biotopov a pokračujúcemu zhoršovaniu ekologického stavu väčšiny útvarov povrchovej vody (EEA, 2012; REFORM D1.2, 2015).

3. Vodný zákon SR a Koncepcia vodnej politiky do roku 2030

Pomerne nepriaznivú situáciu v oblasti zlepšovania ekologického stavu vôd Slovenska (prostredníctvom revitalizácie tokov) spôsobilo viacero faktorov, ktoré podporila nedostatočná legislatíva (Vodný zákon) v oblasti vodného hospodárstva (nekonkrétny 1. a 2. Vodný plán SR), alebo aj chýbajúce strategické dokumenty. Tieto nedostatky sa odstránili až v posledných rokoch. V období 2021 až 22 bola formulovaná **Koncepcia vodnej politiky**, v rámci ktorej boli identifikované problémy vodného hospodárstva, stanovili sa priority, ciele a harmonogram ich postupného naplňovania. K hlavným cieľom patrí aj novela **Vodného zákona č. 364/2004 Z.z.** (realizovaná 2023), zostavenie, prípadne prevzatie príslušných európskych technických noriem pre revitalizáciu a tiež vypracovanie **metodiky revitalizácie tokov**. Naše zaostávanie za európskymi krajinami, ale aj za Českou republikou (minimálne 20 rokov), bolo spôsobené aj nečinnosťou správcov tokov a zotrvávaním na technokratickom prístupe k starostlivosti o vodné toky – tak upravené ako aj neupravené.

V súčasnej dobe už právny a strategický rámec pre revitalizácie vodných tokov na Slovensku tvoria nasledovné národné a medzinárodné dokumenty:

- Smernica 2000/60/EC - Rámcová smernica o vode (3. Vodný plán Slovenska)
- Koncepcia vodnej politiky SR (Uznesenie vlády SR č. 372/2022 z 1.6.2022) čl. **6 Živé rieky** „Rieky a riečna krajina sú schopné poskytovať širokú škálu ekosystémových služieb pre spoločnosť.“
- Novela Zákona o vodách č. 364/2004 Z-z., ktorá je účinná od 1.5.2023

Novela Vodného zákona zo 17.2.2023 priniesla zásadné zmeny do vodohospodárskej praxe v oblasti starostlivosti o vodné toky a ich záplavové územia. Tieto zmeny odstránili základné bariéry, ktoré existovali v projektovej príprave a najmä realizácii revitalizácie tokov. Z tohto pohľadu sa úradný postup od projekcie po realizáciu skrátil a revitalizácie tokov sú jednoduchšie uskutočniteľné.

Novelizácia Vodného zákona po prvýkrát zavádza termín revitalizácia vodného toku pridaním nového paragrafu § 46 Revitalizácia, ktorý znie:

(1) Cieľom revitalizácie je zlepšenie ekologického stavu vodných tokov prostredníctvom podpory prirodzených procesov, ktoré vedú k obnove a zachovaniu biodiverzity riečneho ekosystému alebo k adaptácii na zmenu klímy.

(2) Revitalizácia sa uskutočňuje na základe projektovej dokumentácie, ktorá je vypracovaná na základe štúdie revitalizácie. Za uskutočnenie revitalizácie je zodpovedný správca príslušného toku. Ak sa revitalizáciou zriaďuje nová vodná stavba, je na jej uskutočnenie potrebné stavebné povolenie.

(3) Vykonávanie činností podľa odsekov 1 a 2 je vo verejnom záujme.

(4) Ak o tom rozhodne vláda, revitalizácia môže byť významnou investíciou podľa osobitného predpisu.

Významnou zmenou vo Vodnom zákone v rámci jeho novely zo 17.2.2023 je možnosť uskutočnenia revitalizácie toku alebo odstránenia starej úpravy toku na Ohlásenie podľa § 26a, ktorý znie:

„(1) Ak sa revitalizáciou nezriaďuje nová vodná stavba, postačuje na uskutočnenie revitalizácie (§ 46) ohlásenie orgánu štátnej vodnej správy.“

Tento odsek môže významne uľahčiť a skrátiť povoľovací proces. Povinnými prílohami ohlásenia sú, okrem iného, projektová dokumentácia vypracovaná odborne spôsobilou osobou a súhlasné záväzné stanovisko organizácie ochrany prírody a správcu vodného toku, ak revitalizáciu nevykoná správca.

Novela vodného zákona v § 45 zároveň ruší aj doterajšiu povinnosť správcu vodného toku vrátiť prirodzený vodný tok po zmenách spôsobených prírodnými vplyvmi (povodne a pod.) do pôvodného koryta. To v praxi znamená, že prirodzeným riekam bude ponechaný väčší stupeň voľnosti pre ich prirodzený dynamický vývoj vyvolaný riečnymi procesmi a nebudú upravované po každej povodni.

Koncepcia vodnej politiky do roku 2030 s výhľadom do roku 2050

Koncepcia v kapitole 6 Živé rieky definuje základné východiská pre ekologickú obnovu riek a ich záplavových území, ktoré spočívajú v plnení cieľov Rámcovej smernice o vode a ďalších EÚ smerníc o ochrane vôd a prírody (smernica o biotopoch, Natura 2000). Jeden z kľúčových záväzkov formulovaných v Stratégii EÚ pre biodiverzitu do roku 2030 sa týka obnovy najmenej 25 000 km voľne tečúcich úsekov riek prostredníctvom odstránenia bariér a revitalizáciou záplavových území¹. Predpokladáme, že na Slovensko pripadne obnova dĺžky približne 250 km voľne tečúcich tokov.

Štáty EÚ by sa súčasne mali podieľať aj na napĺňaní globálnych cieľov pre biodiverzitu, ktoré sa týkajú zvýšenia rozlohy, spojitosti a integrity prírodných systémov prostredníctvom ochrany zostávajúcich nedotknutých území a divočiny. Cieľom je zväčšenie prísne chránených území aspoň o 10%, vytváranie a integrovanie ekologických koridorov. Preto by sa aj na Slovensku malo aktívne pristúpiť k zmierňovaniu negatívnych vplyvov jestvujúcich vodných stavieb – bariér rôzneho typu, nevhodných úprav tokov a záplavových území a snažiť sa o zlepšenie kvality vody v znečistených úsekoch nedosahujúcich dobrý stav/potenciál (Koncepcia vodnej politiky do roku 2030).

Ambíciou je obnova prirodzeného charakteru vodných tokov a záplavových území (vrátane mokradí), zníženie ich fragmentácie (odstránenie bariér) a obnova biologickej a morfolologickej spojitosti tokov (umožnenie migrácie vodných organizmov, najmä rýb, transport sedimentov) tak, aby vodné útvary dosahovali aspoň dobrý ekologický stav/potenciál. Toto všetko je dôležité pre zvýšenie retenčnej kapacity krajiny, podporu samočistiacej schopnosti tokov, obnovu a rozvoj biodiverzity, adaptáciu krajiny na očakávané negatívne dôsledky zmeny klímy, vrátane extrémnych hydrologických situácií

¹ <https://damremoval.eu/25000-km-of-rivers-to-be-restored-through-barrier-removals/>

(povodne, sucho) a v neposlednom rade aj pre schopnosť riek a riečnej krajiny poskytovať ekosystémové služby, vrátane rybárstva.

4. Základné pojmy a definície

alúvium (angl. **aluvium**): náplavové sedimenty tvoriace záplavové územie rieky

anastomózna rieka, vetvená (angl. **anabranching river**): rieka, ktorá sa rozvetvuje do viacerých ramien oddelených ostrovmi zarastenými vegetáciou

breh (angl. **bank**): bočná strana riečného koryta alebo ostrova, ktorá presahuje normálnu (napr. priemernú) hladinu vody a je úplne ponorená len počas vysokých prietokov

Poznámka: vrchol brehu daný prvým väčším zlomom svahu, nad ktorým je možná kultivácia pôdy alebo zástavba.

lavica: vyvýšený nános sedimentov v koryte toku, ktorý sa odкрýva počas nízkych prietokov; môžu to byť príbrežné lavice (vrátane vrcholovej vnútornej lavice alebo vrcholovej vonkajšej lavice, ktoré sú situované pozdĺž konvexných a konkávných brehov oblúkov meandrov) alebo stredové lavice

divočenie (angl. **braiding**): rieka, ktorej koryto je pri základnom odtoku rozdelené stredovými lavicami aspoň na dve samostatné vetvy

základný tok [baseflow]: trvalá zložka prietoku vody v rieke, ktorá pochádza prevažne zo zásob podzemných vôd, ale aj z veľkých jazier, močiarov, pôdy, snehu a ľadových kryh

Pred-Po-Overenie-Dopad (BACI, Before-After-Control-Impact): skúmanie účinku **dopadu revitalizácie** na určitom mieste porovnaním podmienok **pred** realizáciou s podmienkami **po** realizácii, pričom sa zohľadňujú prirodzené zmeny pozadia na základe overovacej lokality (kontrolné miesto)

berma: prirodzená alebo umelá lavica s plochou hornou časťou pozdĺž okraja koryta rieky, ktorá vyčnieva nad hladinu vody počas nízkych prietokov, ale počas vysokých prietokov je ponorená

Poznámka: Prirodzené bermy sú vegetáciou pokryté prvky zložené zo sedimentov usadených riekou do úrovně základného toku.

koryto: hlavná vyhlbená časť fluvialneho reliéfu v rámci riečnych systémov, ktorá odvádza vodu.

charakterizácia: výber vlastností alebo osobitných znakov určitej priestorovej jednotky, ktoré sú jedinečne relevantné pre identifikáciu príslušných hydromorfologických procesov, foriem a tlakov.

hrubý sediment: hrubozrnný sediment s veľkosťou zrn rovnakou alebo väčšou než veľkosť zrn „veľmi jemného štrku“ (priemer zrn $\geq 2 \text{ mm}$, $\leq -1 \text{ phi}$).

potvrdzujúce hodnotenie [confirmatory appraisal]: proces potvrdenia očakávaní po revitalizačnom zásahu prostredníctvom jednoduchého pozorovania (porovnaj s vyšetrovacím hodnotením).

jemnozrnný sediment (angl. **fine sediment**): sediment s veľkosťou zrn rovnakou alebo menšou ako „veľmi hrubý piesok“ (priemer zrn $\leq 2 \text{ mm}$, $\geq 2 \text{ mm} - 1 \text{ phi}$), t. j. piesok, íl, hlina

Poznámka 1 k termínu: Stupnica phi definuje stupnicu zrnitosti sedimentov ako záporný logaritmus so základom 2 priemeru zrn v milimetroch.

záplavové územie (angl. **floodplain**): územie na najnižšej úrovni údolia priliehajúce k rieke, ktoré je (alebo v minulosti bolo) pravidelne zaplavované povodňovými vodami a je vytvorené sedimentmi, ktoré akumuluje rieka

režim prúdenia (angl. **flow regime**): typická veľkosť, frekvencia, výskyt a trvanie prietokov v rieke, ktoré riadi fyzikálne a niektoré ekologické procesy a v rámci obmedzení daných sklonom údolia a ohraničením, ovplyvňuje veľkosť a typ koryta

fluviálna geomorfológia (angl. **fluvial geomorphology**): vedecký odbor, ktorý sa zaoberá skúmaním fyzikálnych procesov, formovaním a fungovaním riek a potokov a ich fyzikálnymi interakciami s okolitou krajinou

laterálna konektivita; laterálna kontinuita (pričná): voľný pohyb vody, sedimentov a bioty medzi korytom a záplavovým územím rieky/svahmi údolia

laterálny pohyb (angl. **lateral movement**): voľný pohyb riečného koryta naprieč záplavovým územím

overovacia (kontrolná) lokalita: miesto, v ktorom sú rovnaké podmienky ako v mieste dopadu

priepust [culvert]: oblúkový, uzavretý alebo potrubný objekt vybudovaný na prevedenie vody pod cestami, železnicami a budovami.

ekosystémové služby: prospech, ktorý ľudia získavajú z fungujúcich ekosystémov

ochranná hrádza: umelá líniová stavba pozdĺž toku slúžiaca na zvýšenie prirodzenej úrovne brehu a na zníženie frekvencie zaplavovania priľahlého územia.

rovnovážny stav: morfológický stav rieky s rovnováhou medzi prísunom a odtokom sedimentov (stabilný, ale nie nevyhnutne statický stav)

jemný sediment: sediment s veľkosťou zŕn totožnou alebo menšou ako veľkosť zŕn „veľmi hrubého piesku“ (priemer zŕn $\leq 2 \text{ mm}$, $\geq 2 \text{ mm} - 1 \text{ phi}$), t. j. piesky, íly, hlíny.

Poznámka: Stupnica phi definuje stupnicu zrnitosti sedimentov ako záporný logaritmus so základom 2 priemeru zŕn v milimetroch.

záplavové územie: dno riečnej doliny, ktoré je (alebo v minulosti bolo) pravidelne zaplavované povodňami a je tvorené sedimentmi usadenými riekou.

fluviálny audit: metóda hodnotenia stavu rieky a s ňou súvisiacich ľudských zásahov s využitím informácií z terénnych a diaľkových prieskumov, historických a aktuálnych máp, vedeckej literatúry a z iných zdrojov.

fluviálna geomorfológia: vedný odbor zaoberajúci sa skúmaním fyzikálnych procesov ovplyvňujúcich formovanie a fungovanie riek a iných vodných tokov ako aj ich fyzikálnych interakcií s okolitou krajinou.

hydrodynamické modelovanie: numerický nástroj – model používaný na predpovedanie hydraulických procesov vo vodných tokoch

hydrológia: vedný odbor zaoberajúci sa skúmaním rozloženia zásob vody na Zemi a jej pohybom na zemskom povrchu aj pod ním.

hydromorfológia: morfológické a hydrologické charakteristiky riek a iných vodných tokov vrátane základných procesov, z ktorých rieky vznikajú

hyporeická zóna: časopriestorovo dynamický ekotón medzi povrchovým bentickým substrátom a pod ním ležiacou vodonosnou vrstvou.

miesto dopadu: miesto, na ktorom sa merajú účinky revitalizačných zásahov.

prieskumné hodnotenie [investigative appraisal]: proces skúmania výsledkov revitalizačných zásahov prostredníctvom experimentálneho prístupu (porovnaj s potvrdzujúcim hodnotením).

veľké zvyšky dreva (mŕtve drevo): zvyšky dreva dlhšie než 1 m s priemerom aspoň 10 cm.

Poznámka: „drevo“ znamená prírodné drevo (napr. zvyšky kmeňov a konárov stromov nachádzajúce sa v koryte).

laterálna (bočná) konektivita/kontinuita: voľný pohyb vody, sedimentov a bioty medzi korytom a záplavovým územím rieky / svahmi riečnej doliny.

pozdlžna konektivita/kontinuita [longitudinal connectivity/continuity]: voľný pohyb vody, sedimentov a bioty pozdĺž riečného koryta

meander: jeden zo série pravidelných, klukatých oblúkov pozdĺž rieky alebo iného vodného toku.

morfológia [morphology]: veda resp. charakteristika popisujúca fyzické tvary a štruktúry koryt vodných tokov

prirodzený manažment povodní: spolupráca s prírodou s cieľom znížiť a kontrolovať následky povodní

meandrové jazero: malé jazero v opustenej meandrovej slučke riečného koryta

paleo koryto: pozostatok prvku v záplavovej oblasti, ktorý naznačuje polohu predtým aktívneho koryta.

pôdorys: geometrický tvar riečného koryta pri pohľade zhora

Príklad: zvlnené, meandrujúce, vetvené - anastomózne, priame koryto

tôň (pool): prehĺbená časť riečného koryta, ktorá zvyčajne nie je dlhšia ako jeden až trojnásobok šírky plného koryta a ktorá sa udržiava vymývaním v oblasti konkávneho brehu oblúka

kvantitatívny odber vzoriek: proces zberu nameraných informácií (napr. prietok vody meraný v m s^{-1}).

kvalitatívny odber vzoriek: proces zberu informácií, ktoré sa hodnotia subjektívne (napr. prietok podľa kategórie toku ako napríklad „plytčina“, „tíšina“, „rýchlo tečúca voda“, atď.)

riečny úsek: úsek rieky, pozdĺž ktorého sú hraničné podmienky dostatočne jednotné, aby si rieka zachovala takmer konzistentný vnútorný súbor interakcií medzi procesmi a formami

Poznámka 1 k položke: V niektorých situáciách môžu byť pri definovaní riečnych úsekov dôležité aj chemické zmeny, ako aj fyzikálne a hydrologické zmeny zaznamenané pozdĺž predmetnej rieky

brod (plytčina): plytký úsek rieky s vyššou rýchlosťou prúdenia vody s výrazne rozbitou alebo narušenou hladinou na stredne až hrubom štrkovom alebo kamennom substráte (obvykle sa vyskytuje v priamom úseku medzi protiľahlými oblúkmi)

pririečna zóna: prechodné polosuchozemské územie nadväzujúce priamo na koryto rieky (vrátane jej brehov), ktoré je pravidelne zaplavované a ovplyvňované sladkou vodou a môže preto ovplyvňovať stav vodného ekosystému (napr. zatienením koryta, znečistením vody listovou drťou v jesenných mesiacoch, a prostredníctvom biogeochemickej výmeny)

Poznámka 1 k položke: „Pririečny koridor“ je lineárnym rozšírením tejto zóny pozdĺž danej rieky alebo riečného úseku; v tomto dokumente pojem „pririečna zóna“ nezahŕňa širšie záplavové územie

zarezávanie dna koryta (erózia dna, degradácia dna): proces, pri ktorom sa rieka vertikálne zarezáva do dna čím sa znižuje úroveň dna koryta rieky

povrchový odtok (angl. runoff): množstvo vody odtekajúcej do toku zo zdrojov povrchovej a podzemnej vody, so zohľadnením strát spôsobených evapotranspiráciou a spotrebou vody

plné koryto (angl. bankfull): úroveň, pri ktorej sa voda začína vylievať z koryta na záplavové územie

korytový prietok: prietok pri brehovej vode pri ktorom vodný prúd disponuje najväčšiu energiu na formovanie koryta

transport sedimentov: pohyb častíc sedimentov rôznej veľkosti vodným prúdom, vrátane ich mobilizácie a usadzovania

sínusoida (zvlnenie): vzdialenosť medzi dvoma bodmi meraná pozdĺž osi koryta v smere prúdu, vydelená vzdialenosťou meranou medzi tými istými bodmi pozdĺž doliny rieky

priestorová jednotka: časť povodia určitej rieky v rôznych geografických mierkach
príklad: povodie, krajinná jednotka, údolný segment, riečny úsek.

energia toku: rýchlosť rozptylu energie proti dnu a brehom rieky na jednotku dĺžky po prúde, ktorá po vydelení šírkou koryta dáva špecifickú energiu toku

dnový materiál (dnové sedimenty) materiál tvoriaci dno riečného koryta

opevnenie: spevnenie dna a/alebo brehov toku na rôzne účely (napr. budovanie brodu, obmedzenie erózie), s použitím materiálov ako napríklad balvany, štetovnice, geotextílie a pod

dvojstupňové koryto: koryto vhodné na odvedenie vysokých aj nízkych prietokov

vertikálna konektivita (spojitosť): voľný pohyb vody, bioty a živín medzi bentickým substrátom dna koryta a podkladovou vodonosnou vrstvou

priečný profil riečneho koryta (angl. **river channel cross profile**): dvojrozmerné zobrazenie morfológie riečneho koryta kolmé na smer prúdenia

hydromorfologický typ rieky (angl. **river hydromorphological type**): skupina riečnych koryt s podobnými morfológickými a hydrologickými charakteristikami a s nimi spojenými procesmi

pozdlžný profil rieky (angl. **river long profile**): dvojrozmerné zobrazenie topografie koryta rieky, kde je nadmorská výška dna zobrazená vo vzťahu k pozdlžnej vzdialenosti v smere prúdenia pozdlž koryta

prechodný hydromorfologický typ rieky: prechodný pôdorysný tvar koryta, ktorý vzniká pri prechode od jednoduchého k rozvetvenému korytu (divočenie, anatomóza), vyznačujúci sa jedným hlavným korytom pri brehovej vode, ktoré sa lokálne rozdeľuje do dvoch alebo viacerých ramien oddelených lavicami alebo do koryt oddelených trvalo zarastenými plochami (ostrovmi)

revitalizácia rieky (river restoration): obnova prirodzených fyzikálnych procesov (napr. variabilita prúdenia a pohybu sedimentov), charakteristík (napr. zrnitosť sedimentov a tvar rieky) a fyzických habitatov riečneho systému (vrátane ponorenej časti koryta, brehov a záplavových území)

výmol' (angl. **scour hole; scour pool**): lokálna, často hlboká vyhlbenina na dne rieky, vymieľaná v mäkkších horninách alebo v smere po prúde za veľkými prvkami ako sú skaly, balvany alebo drevené stupne

stupeň, pevná hať: umelý objekt vybudovaný v koryte rieky priečne na smer prúdenia za účelom vodohospodárskeho využitia (odberu vody, stabilizácia dna)

mokrad': biotop, ktorý sa nachádza v prechodnom pásme medzi trvale zaplaveným a väčšinou suchým prostredím

príklad: močiar, bažina, dočasná plytká voda

vodný útvar podľa RSV [WFD water body] riečný úsek, ktorého dĺžka je definovaná a vymedzená podľa kritérií uvedených v Európskej Rámcovej smernici o vode (RSV)

5. Hydromorfológia a revitalizácie tokov

Revitalizácia riek nie je len technické riešenie na ich fyzickú úpravu. Jej cieľom je napraviť negatívne zmeny a poruchy vo fungovaní riek, ich prvkov a habitatov v kontexte záplavového územia a povodia rieky, a obnoviť podmienky, ktoré umožňujú nerušené fungovanie prírodných procesov – označované ako „referenčné podmienky“ (EN 14614:2020). Zjednodušene povedané, „referenčné podmienky“ sa vzťahujú na úplnú absenciu ľudských zásahov a tlakov, ale tieto podmienky nemusia byť nevyhnutne želanými podmienkami pre daný riečny systém alebo úsek po revitalizácii. Referenčné podmienky predstavujú referenčné kritéria, na základe ktorých sa posudzuje miera vplyvu ľudského pôsobenia na súčasný stav rieky, na základe ktorých je možné objektívne posúdiť ciele revitalizácie. V dôsledku obnovy riečnych procesov, prúdenie vody a transport materiálu (sedimentov a dreva) z územia povodia do ústia rieky (alebo do vnútrozemského jazera) môže formovať a udržiavať dynamické a komplexné fyzikálne prostredie, ich habitáty a charakteristickú flóru, faunu.

Prečo je úspešná revitalizácia založená na pochopení riečnych procesov a opatreniach na ich obnovu?

Výhody obnovy fyzikálnych riečnych procesov, namiesto jednoduchej úpravy fyzikálnej formy rieky, sú nasledovné:

- rieky s obnovenými fyzikálnymi procesmi sú **udržateľné** a podporujú obnovu pôvodných prírodných habitatov
- obnova fyzikálnych riečnych procesov sa zameriava na riešenie **príčin degradácie, a nie jej príznakov**
- obnova fyzikálnych procesov vytvára vhodnejšie prírodné podmienky pre úseky riek, ktoré **podporujú charakteristickú biodiverzitu**
- obnova fyzikálnych procesov implicitne **zahŕňa dynamické fyzikálne procesy**, ktoré sú základnou charakteristikou prirodzene fungujúcich riek a sú nevyhnutné pre vývoj rozmanitých habitatov;
- výsledkom obnovy fyzikálnych procesov je **dynamické riečne prostredie**, ktoré je odolnejšie a udržateľnejšie ako umelé koryto, najmä vzhľadom na zmenu klímy;
- obnova fyzikálnych procesov **zniži náklady** na realizáciu a údržbu revitalizácie vďaka iniciovaniu alebo obnove dynamických fyzikálnych procesov, ktorých výsledkom je vývoj koryta a záplavového územia a s tým spojenej rozmanitosti habitatov;
- v prípade obnovy fyzikálnych riečnych procesov je väčšia pravdepodobnosť, že sa dosiahnu širšie **ekosystémové a spoločenské prínosy** (t. j. ekosystémové služby)

Kvalita a množstvo vody potrebné pre udržiavanie biologicky rozmanitého riečneho systému umožňuje nákladovo efektívnejšie zásobovanie pitnou vodou (t. j. vyžaduje menej úpravy) a udržateľné zásobovanie potravinami a materiálmi. Dobre fungujúci riečny systém dokáže lepšie splniť požiadavky vyplývajúce zo sociálnych a hospodárskych potrieb, ak tieto požiadavky sú stanovené so zreteľom na potrebu zachovania rovnováhy (napr. ak vodárenské spoločnosti investujú do manažmentu povodí v hornej časti toku s cieľom zlepšiť kvalitu vody a znížiť náklady na zásobovanie vodou).

Rieky, ktoré sú (znovu) prepojené so svojím záplavovým územím v plnom rozsahu (na rozdiel od tých, ktoré boli v minulosti prehĺbené, ohradzované, izolované, fragmentované), pomáhajú regulovať

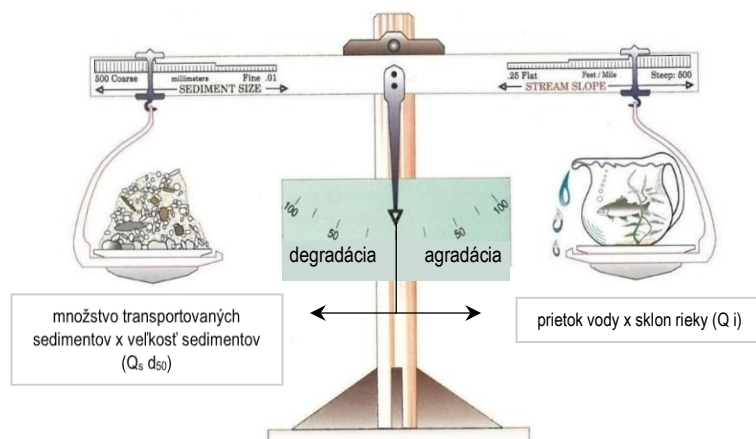
povodňové prietoky tým, že spomaľujú a rozptyľujú povodňové vody, a znižujú výšku povodňových hladín a oddávajú kulmináciu. Obnova hydrologických pomerov v záplavovom území týmto spôsobom môže doplniť alebo nahradiť tradičné protipovodňové opatrenia a pomôcť prispôbiť sa zmene klímy. Záplavové územia sú dôležité pre ukladanie jemných sedimentov a pre kolobeh a ukladanie živín, ktoré prijímajú živočíšne spoločenstvá mokradí, lužných lesov a lúk v záplavovom území. Obnovenie týchto procesov má veľký potenciálny prínos pre ukladanie uhlíka v záplavovej oblasti (napr. 110 t.ha⁻¹ uhlíka vo vrchnej 10 cm hrubej vrstve pôdy lužných lúk – takmer dvojnásobok v porovnaní so suchými trávnatými plochami).

Mnohé mestá boli postavené na brehoch riek, aby mali možnosť využívať výhody zásobovania vodou, vodnej dopravy, rybolovu a bezpečnosti. Revitalizované čisté, zdravé rieky s pobrežím bohatým na faunu a flóru dnes predstavujú atraktívne zelené koridory v husto zaľudnených urbanizovaných oblastiach. Riečne koridory môžu byť vybavené chodníkmi a cyklotrasami, ktoré umožňujú ľuďom pohyb a šport v prírode, čo posilňuje ich fyzické a duševné zdravie. Priame využitie riek zahŕňa tiež rybolov, vodné športy a kúpanie vo voľnej prírode. Využívanie týchto možností zvyšuje povedomie a spoločenské chápanie tlakov a vplyvov na kvalitu vôd a habitatov v prírode, pričom ich znečistenie a iné zhoršovanie sa rýchlo zaznamenáva a stáva sa predmetom miestnej politiky a plánovania.

5.1 Riečne procesy a morfológické charakteristiky tokov

Rieky sú veľmi účinným eróznym a sedimentačným činiteľom, ktorý sa v priebehu určitého časového úseku v konkrétnom geologickom období významne podieľa na utváraní krajiny. V prvých fázach vývoja riečného koryta predstavuje pôsobenie morfológických a sedimentačných procesov komplexnú interakciu medzi tzv. „plnením a prázdnením systému“. Obdobia stability sú na tokoch relatívne vzácné. Ak zásoby transportovateľného materiálu klesajú, riečny systém má tendenciu vytvoriť si stabilnejšie režimové podmienky. Počas pôsobenia procesov erózie a sedimentácie sa charakteristiky režimu prúdenia a transportu sedimentov systematickým spôsobom menia ako odozva k časovým a priestorovým zmenám v geometrii koryta a veľkosti dnového materiálu.

$$Q_i \approx Q_s d_{50}$$



Obr.5.1 Schéma vzťahu základných premenných ktoré určujú fyzikálne procesy v riekach (Lane, 1955)

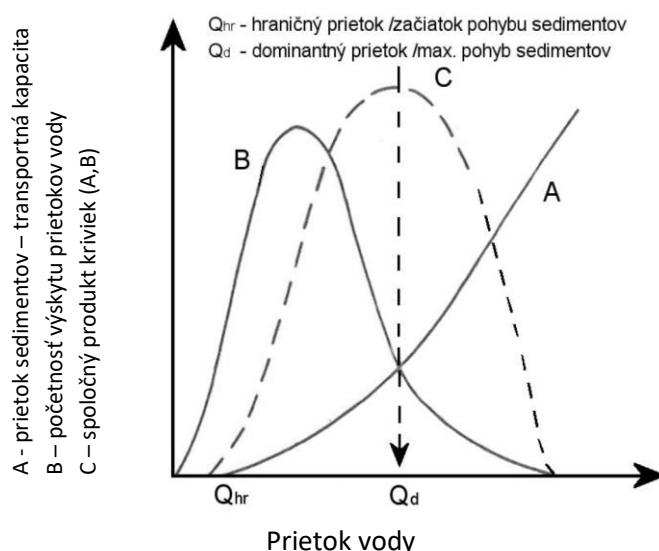
Rieky si prirodzene vytvárajú svoj tvar a dimenzie v závislosti od prietoku a zásob disponibilných sedimentov. Vytvorené habitáty sú neskôr kolonizované bezstavovcami, flórou a rybami, ktoré sú typické pre daný morfológický typ rieky.

Morfologické typy tokov sú teda determinované veľkosťou a typom dnového materiálu (d – priemer zrna) a sklonom rieky (i - sklon). Obe tieto charakteristiky sa obyčajne zmenšujú v smere po prúde (Leopold et. al., 1964). V procese interakcie vody s dnovými sedimentami a sklonom toku sa vytvára určitý typ koryta s charakteristickými dnovými útvarmi, rýchlostným profilom, drsnosťou koryta a transportom sedimentov.

Lane (1955) interpretuje vzťah “stabilného koryta” schematickým obrázkom (Obr 5.1.), na ktorom vzťah $Q_s d_{50} \sim Q_i$ reprezentuje proporionalitu medzi prietokom sedimentov (Q_s), prietokom vody (Q), veľkosťou sedimentov (d_{50}) a sklonom (i). Zmena ktorejkoľvek premennej spôsobí celý rad vzájomných modifikácií ďalších premenných, čo sa výsledne prejaví na zmene morfologických charakteristík rieky. Napríklad zmena v množstve sedimentov ovplyvňuje zmenu šírky, hĺbky a sklonu koryta rieky. Zmenené morfologické a hydraulické charakteristiky ovplyvňujú prietokovú kapacitu koryta, ktoré opäť vplývajú zmenu v množstva sedimentov.

5.2 Korytotvorný, dominantný prietok

Výraz *plné koryto (bankfull)* sa pôvodne používal k popisu začiatku zaplavovania inundácie. Zodpovedal stavu, keď je koryto naplnené vodou po úroveň brehov. Až v neskoršom období sa spojilo *plné koryto* s prietokom, ktorý je významný pre formovanie koryta. Podľa definície, ktorú uviedol Dunne a Leopold (1978) stav pri *plnom koryte* korešponduje s prietokom, pri ktorom je formovanie koryta najefektívnejšie, tento prietok transportuje sedimenty, formuje alebo odstraňuje riečne lavice, formuje alebo mení oblúky a meandre. Všeobecnejšie je to teda prietok, ktorý vykonáva najviac práce pri formovaní koryta s priemernými morfologickými charakteristikami.



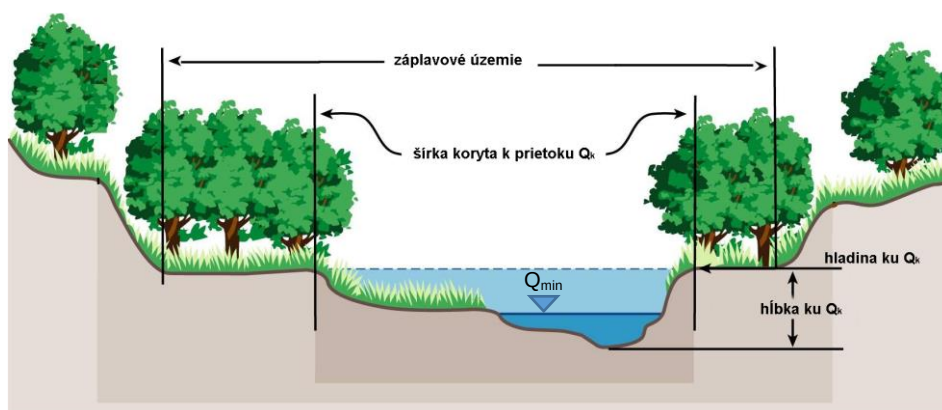
Obr. 5.2 Vzťah medzi prietokom vody, transportnou kapacitou, frekvenciou výskytu a výsledným produktom frekvencie a transportnej kapacity (Wolman and Miller, 1960)

Empirický vzťah medzi prietokom v koryte a jeho geometriou bol zahrnutý napríklad už aj v teórii hydraulickej geometrie Leopold a Maddock's (1953). Kľúčovou otázkou však bolo identifikovanie hodnoty korytotvorného alebo dominantného prietoku. Najčastejšie sa používa definícia Wolmana a Millera (1960), ktorá označuje dominantný prietok ako prietok, ktorý prináša maximum transportovaných sedimentov. Neskôr sa korytotvorný prietok spája s prietokom, ktorý kumulatívne transportuje najviac sedimentov a označuje sa ako efektívny prietok (Andrews, 1980). Tak sa odvodil vzťah medzi dominantným prietokom, efektívnym prietokom a korytovým prietokom (Knight, 1984).

Avšak stanovenie hodnoty korytotvorného prietoku bolo spojené s problémami, nakoľko doba opakovania sa môže pohybovať v rozsahu medzi 1 až 32 rokov (Williams, 1978). Hey (1975) na základe pozorovaní uvádza, že doba opakovania korytotvorného prietoku pre štrkonosné toky je približne jeden rok, zatiaľ čo tak na tokoch s pieskovým dnom je to oveľa menej.

V súvislosti so stanovením korytotvorného prietoku sa riešila aj otázka vplyvu extrémnych povodní na formovanie koryta. V tejto súvislosti najmä geomorfologický význam menších a stredných povodní, ktoré sa vyskytujú niekoľkokrát do roka a extrémnymi povodňami, ktorých intenzita je veľká ale s krátkym trvaním. Pre objasnenie tejto otázky Wolman a Miller (1960) spojil veľkosť povodne s jej dobou opakovania (početnosťou výskytu) a vyvrátil prevládajúci laický pohľad, ktorý pripisuje povodniám najväčší vplyv na formovanie koryta. Menšie prietoky s vysokou početnosťou výskytu sú v kontexte kumulatívneho transportu sedimentov významnejšie ako veľké povodne, ktoré sa vyskytujú zriedkavo. Tento vzťah je znázornený na grafe Obr. 5.2, kde krivky A a B sú zostavené osobitne a potom spoločne - krivka C. Wolman a Miller (1960) uvádza, že táto závislosť je platná v tokoch, kde pohyb sedimentov začína už pri relatívne nízkych prietokoch (toky s pieskovým dnom) a zároveň špecifikoval podmienky, pre ktoré táto závislosť neplatí:

- s rastúcou variabilitou prietokov sa zväčšuje percento transportovaných sedimentov pri vyšších prietokoch (povodne majú väčší vplyv v semi-aridných oblastiach)
- so zmenšovaním povodia toku sa zvyšuje množstvo transportovaných sedimentov vysokými prietokmi



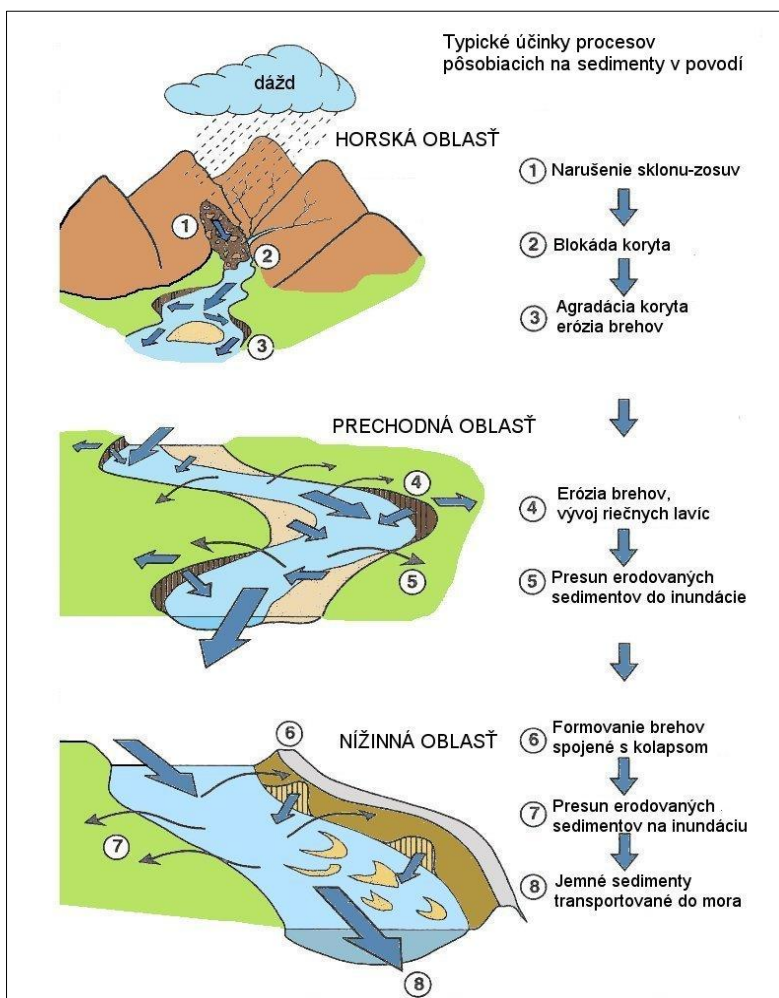
Obr.5.3 Pôsobenie riečnych procesov pri vytváraní a formovaní riečneho koryta: hladina, šírka a hĺbka pri korytotvornom prietoku (Q_k), koryto nízkych prietokov (Q_{min}), inundačné územie

Korytotvorný prietok (Q_k) sa najčastejšie stanovuje ako prietok s pravdepodobnosťou výskytu 1,5 až 2 roky (Dunne a Leopold, 1978) avšak, ako už bolo uvedené, táto hodnota sa môže meniť v závislosti od konkrétnych fyzickogeografických a hydrologických podmienok. Stanoveniu korytotvorného prietoku je potrebné venovať patričnú pozornosť najmä s ohľadom na jeho význam pre fyzikálne procesy pôsobiace v koryte. Konkrétna hodnota korytotvorného prietoku by teda mala byť určená s ohľadom na konkrétne geomorfologické a hydrologické špecifiká každého toku, nakoľko aj viaceré hydromorfologické charakteristiky (vstupujúce do hodnotenia hydromorfologickej kvality) sa stanovujú práve k tomuto prietoku napríklad: šírka koryta, pomer šírky a hĺbky – variabilita koryta (obr. 5.3). Zmeny korytotvorného prietoku (Q_k) v danom časovom intervale naznačujú zmeny morfológie koryta, čo sa často využíva pri hodnotení hydromorfologickej modifikácie tokov. V tomto kontexte zvýšenú pozornosť treba venovať najmä stredným a veľkým tokom s aktívnym transportom splavenín.

Možnosti stanovenia: analýza hydrologických údajov a údajov o transporte splavenín, modelovanie transportnej kapacity, terénny prieskum

5.3 Kontinuita vytvárania riečnej siete

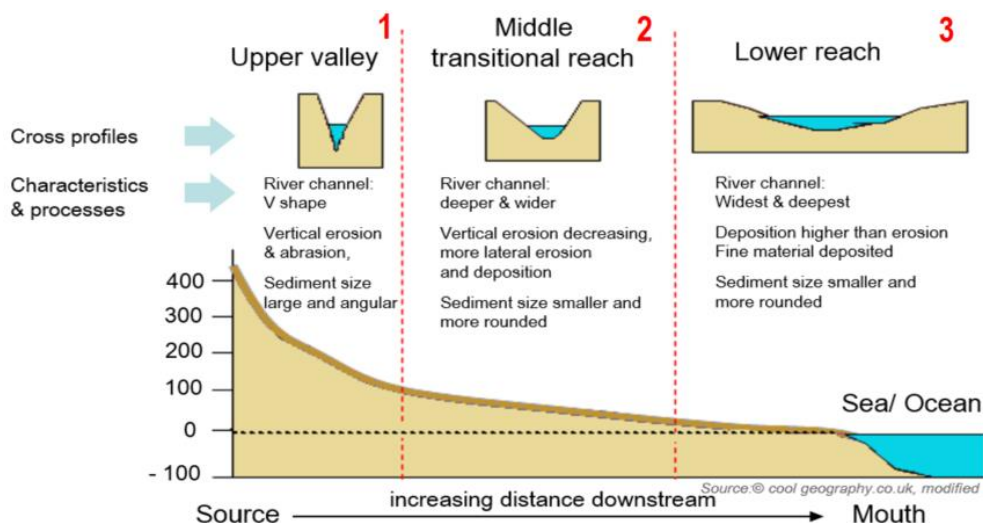
Morfológia koryta (veľkosť koryta, priečny profil, pozdĺžny profil, pôdorysný tvar) je výsledkom procesov erózie, transportu a sedimentácie, ktoré pôsobia v rámci určitých limitujúcich podmienok ovplyvnených geológiou a povrchom povodia. Preto treba aj pohyb sedimentov v riekach chápať ako kontinuum zásob, presunu a ukladania, ktoré pôsobí tak na úrovni *povodia* ako aj na úrovni *úsekov* riek.



Obr.5.4 Typické účinky procesov pôsobiach na sedimenty v povodí riek (Shear a Newson, 1993)

Shear a Newson (1993) na obrázku 5.4 dokumentuje nárazový efekt prísunu veľkého objemu sedimentov do rieky v hornej časti povodia a dôsledky zvýšeného prísunu sedimentov v smere po toku. V hornej časti povodia sa vplyvom zosuvu uvoľní veľké množstvo sedimentov (1), ktoré sa dostane do toku a vytvorí blokádu koryta (2), sedimenty sú postupne transportované do nižších úsekov, kde dochádza k erózii brehov a následnej agradácii koryta (3). V strednom úseku toku dochádza vplyvom erózie brehov k vytváraniu riečnych lavíc a presunu erodovaných sedimentov do inundácie (4,5). Vplyvom rozsiahlejších kolapsov brehov v nížinnom úseku rieky dochádza k presunu erodovaných

sedimentov do koryta, kde sa vplyvom sedimentácie vytvárajú ostrovy. Časť sedimentov sa tiež presúva do inundácie a jemnozrnné sedimenty (plaveniny) sú transportované do mora (6,7,8).

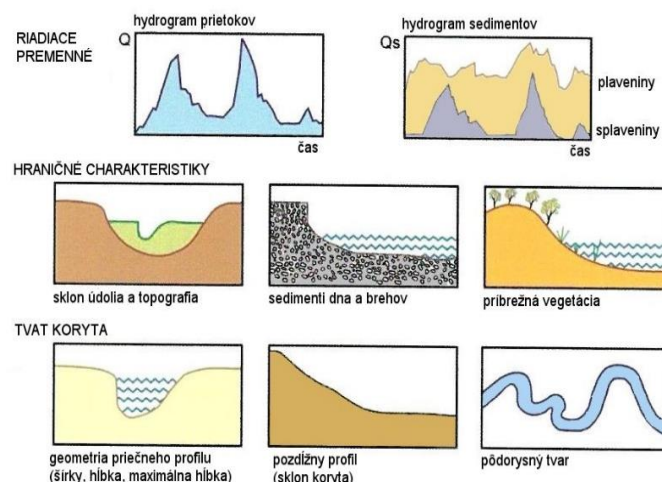


Obr.5.5 Schematický vývoj pozdĺžneho profilu a korešpondujúce procesy od prameňa do delty

Kontinuita formovania tvaru riečneho koryta sa prejavuje aj vo vývoji pozdĺžneho a priečneho profilu (obr.5.5). Pozdĺžny profil prirodzených tokov sa z hľadiska pôsobenia prevládajúcich riečnych procesov rozdeľuje na tri základné oblasti. V hornom úseku rieky prevláda erózia dna, koryto je väčšinu úzke, zarezané do podložia. Vplyvom erózie dna a abrácie brehov koryto transportuje veľké množstvo sedimentov v smere po toku (zvýšený transport, obmedzený prísun sedimentov). V strednej časti je koryto hlbšie a širšie, na jeho formovanie pôsobí laterálna erózia brehov a mierna erózia/ zanášanie dna. V tomto úseku rieky vykazujú stabilnejšie morfológické podmienky (dynamická rovnováha). V dolnom, nížinnom úseku je koryto široké a hlboké s prevahou laterálnej erózie a so zanášaním koryta, kde dominuje prísun sedimentov a klesá transportná kapacita.

Toky sa formujú v danom fyzicko-geografickom prostredí ako odozva na konkrétne podmienky prúdenia v nadväznosti na špecifické klimatické a hydrologické pomery povodia (obdobia záplav a sucha). Definovanie priestorovej geometrie koryta, ilustruje Thorne (1997) na schéme (obr.5.6) vzťahu medzi faktormi priamo vplyvajúcimi na fluviálny systém pri vytváraní koryta (riadiace, nezávisle premenné–príetok vody a sedimentov), charakteristikami fyzickogeografického prostredia, v ktorom sa koryto nachádza (hraničné podmienky – sklon údolia, topografia, dnový a brehový materiál,

pririekna vegetácia) a tými, ktoré reagujú na riadiace premenné a hraničné podmienky (tvar koryta–priechy a pozdlýny profil, trasa toku–pôdorysný tvar).



Obr.5.6 Schematické znázornenie spolupôsobenia hlavných faktorov určujúcich morfológiu koryta vo fluvialnom systéme (vertikálny, laterálny), (Thorne, Hey, Newson, 1997)

1. **Riadiace premenné:** voda a sedimenty (splaveniny a plaveniny), určujú procesy formovania koryta v riečnom systéme
2. **Okrajové podmienky–charakteristiky prostredia:** sklon údolia a topografia, materiál dna a brehov, príbežná vegetácia - opisujú fyzikálne podmienky prostredia, v ktorom prúdi rieka
3. **Tvar koryta** (priečny aj pôdorysný tvar): je výsledkom spolupôsobenia riadiacich premenných a okrajových podmienok, ktoré vytvárajú priestorovú geometriu koryta

Vstupné hodnoty, voda a sedimenty sú v čase značne premenlivé. Rovnováha medzi odtokom z povodia a množstvom sedimentov určuje tendenciu k agradácii alebo degradácii koryta. Pre účely klasifikácie koryt tokov sú vstupy - voda a sedimenty - považované za riadiace premenné, ktoré sú nezávislé od morfológie koryta.

Voda a sedimenty v interakcii s krajinou vytvárajú koryto toku. Krajina, ktorou koryto rieky preteká je definovaná charakteristikami terénu a materiálu, v ktorom sa koryto formuje. Najdôležitejšou charakteristikou tohto prostredia je topografia údolia, ktorú možno definovať na základe: **sklonu údolia, dnových a brehových sedimentov a príbežnej vegetácie**. Výsledkom pôsobenia riadiacich premenných – vody a sedimentov (obr.5.6) na hraničné podmienky, ktoré sú dané topografiou inundačného územia, dnovými sedimentami, materiálom brehov a príbežnou vegetáciou, je charakteristická morfológia koryta aluviálnych tokov v **neohraničenom prostredí** (Thorne et al.1997).

Sklon údolia, určuje energiu toku pri danom prietoku. Energia toku je úmerná erodovateľnosti dna a brehov koryta a transportnej kapacite toku pri danej veľkosti dnového materiálu a množstve sedimentov vstupujúcich do koryta z povodia.

Dnový materiál a materiál brehov, vplývajú na odolnosť koryta (dno a brehy) proti pôsobeniu erózie. Treba rozlišovať, či sa koryto vytvára v skalnatom prostredí (skalné dno, kolúvium) alebo v aluviálnych sedimentoch. Toky, ktoré sa vytvárajú v sedimentoch, ktoré môžu byť erodované, transportované a ukladané pôsobením prúdenia vody, sa označujú ako aluviálne. Charakter, tvar a dimenzie koryt takýchto tokov sú dané prúdením a jeho charakteristikami na rozdiel od tokov, ktoré sa utvárajú v skalnatom prostredí a ktorých tvar a rozmery koryta priamo závisia od geologických podmienok. Ďalej treba rozlišovať medzi tokmi, ktoré pretekajú v ohraničenom alebo neohraničenom prostredí.

Rieky v ohraničenom prostredí - pretekajú cez úzke údolia a často spolupôsobia so svahmi údolia. Ich laterálny vývoj je obmedzený interakciou so svahmi údolia. Svahové procesy môžu byť priamo ovplyvnené fluviálnym systémom, napríklad podmývanie svahov údolia môže zapríčiniť svahové zosuvy i pomerne veľkého rozsahu. Veľké objemy sedimentov, ktoré sa dostanú do toku vplyvom svahových zosuvov už rieka nie je schopná ďalej transportovať. V takom prípade je trasa toku ovplyvnená najmä priestorovým rozdelením hlavných zdrojov sedimentov pozdĺž údolia.

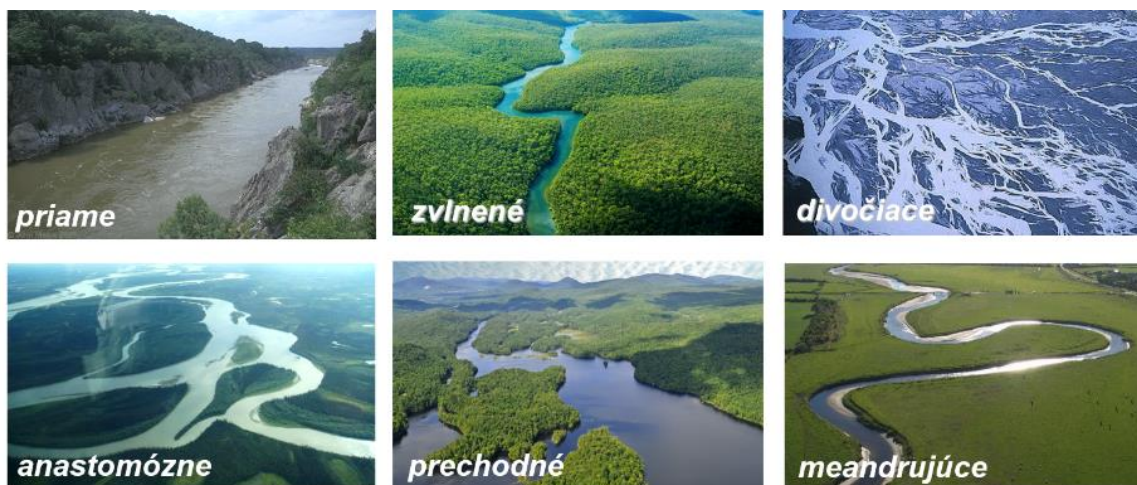
Rieky v neohraničenom prostredí - pretekajú širokými údoliami bez výraznejších obmedzení laterálneho vývoja, koryto je formované v nesúdržných sedimentoch (aluviálne sedimenty). Tieto toky len veľmi zriedka (pri výskyte extrémnych povodní) spolupôsobia priamo so svahmi údolia. Sedimenty, ktoré sú produktmi svahových procesov sa ukladajú zväčša pri päte svahu a dostávajú sa do rieky iba pri povodniach alebo tam, kde sa koryto rieky laterálnym vývojom dostáva do blízkosti svahu.

Vegetácia v inundácii a príbrežná vegetácia, má dôležitú úlohu pri obmedzení intenzity brehovej erózie po obvode koryta. Zmeny tvaru koryta a jeho stability sú dané rovnováhou medzi eróznou schopnosťou prúdu a náchylnosťou materiálov brehov a dna k erózii.

Hydromorfologické charakteristiky, formy a procesy sú mimoriadne dôležité pre úspešnú revitalizáciu rieky, nakoľko zásadným spôsobom určujú funkčnosť a udržateľnosť navrhovanej revitalizačnej schémy (súbor prírody blízkejších opatrení). Preto je potrebné pochopiť nielen to, ako rieka funguje dnes za súčasných podmienok, ale s dostatočnou spoľahlivosťou treba prognózovať aj budúci vývoj (modelové riešenia pre stav po revitalizácii).

5.4 Pôdorysný tvar koryta - morfológická klasifikácia a charakteristika

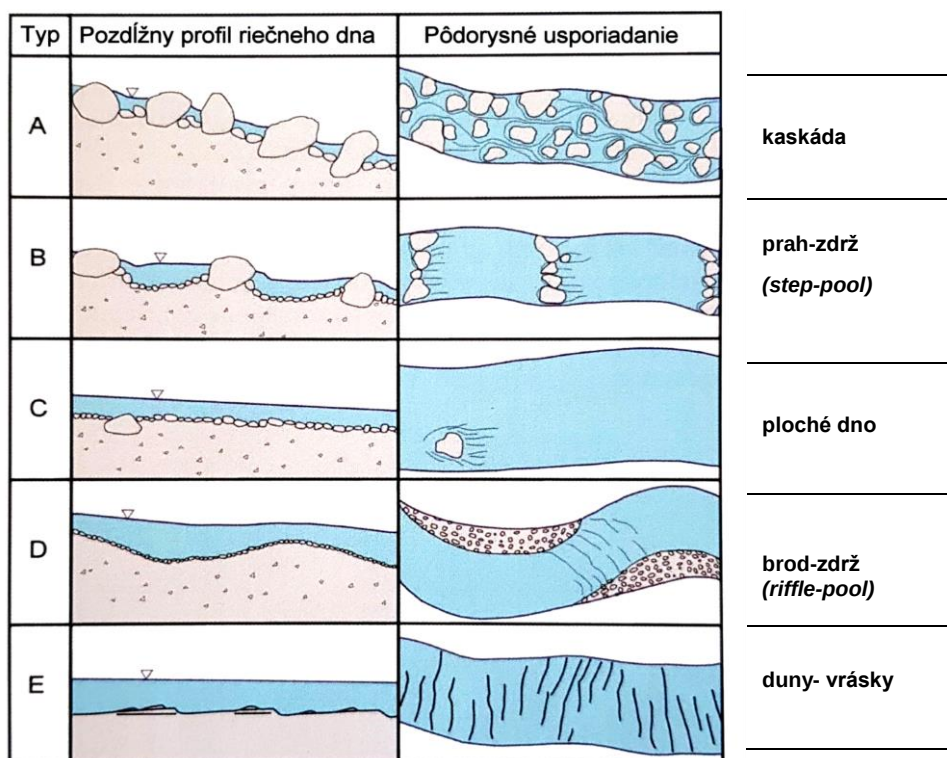
Geomorfologická klasifikácia typov tokov dáva do kvalitatívnych súvislostí korytové procesy, tvar koryta a jeho stabilitu. V literatúre sa stretávame s mnohými systémami morfológickej klasifikácie tokov, ktoré sú založené na rôznych kritériách. Leopold a Wolman (1957) uviedol prvé členenie rôznych typov prirodzených tokov, v ktorom popísali tri základné typy koryt: *priame, meandrujúce a divočiace*. Klasifikáciu typov koryt na základe vzťahu medzi sedimentmi (plaveniny a splaveniny), stabilitou koryta a pôdorysným tvarom koryta po prvý krát publikoval Schumm (1977).



Obr.5.7 Príklady rôznych morfológických typov riek

Postupná premena tvaru koryta od priameho koryta cez meandrujúce k divočiacemu bez náhlych prerušení je znázornený na obrázku 5.7. Morfologické typy tokov dávajú do kvalitatívnych súvislostí (vzájomného vzťahu) korytové procesy, tvar toku (pôdorysný) a ich stabilitu. Hranice medzi nimi zohľadňujú postupnosť kontinuity zmien vo vzťahu ku geometrii pôdorysného tvaru. Základné typy koryt sú: jednoduché, vetvené prechodné koryto, vetvené koryto s viacerými korytami. Detailnejšiu klasifikáciu pôdorysného tvaru koryt, ktorá je založená na koncepte Mollard (1973) a Schumm (1985) vypracoval Church (1992). Táto klasifikácia predstavuje ucelenejší systém rôznych typov koryt, ktoré sú rozdelené podľa dnového materiálu, sklonových pomerov a stability koryta. Prepracovaný systém morfolologickej klasifikácie tokov zostavil Rosgen (1994) na základe rozsiahleho terénneho prieskumu amerických tokov. Okrem základných typov Rosgen (1996) zostavil aj schematickú tabuľku ďalších sub-typov (94 typov), ktoré sú rozlíšené na základe veľkosti dnového a brehového materiálu.

Korytá horských tokov sa však odlišujú na základe rôzneho usporiadania útvarov dna, ktoré sa viac prejavujú v pozdĺžnom profile ako v pôdorysnom tvare. Klasifikáciu horských tokov zostavili Montgomery a Buffington (1997) na základe vzťahu medzi dnovými útvarmi, množstvom sedimentov a transportnou schopnosťou rieky. Podľa tejto klasifikácie sú toky v ohraničenom prostredí rozdelené do 5 typov A až E: A- kaskáda, B -prah-zdrž (*step-pool*), C- ploché dno, D- brod-zdrž (*riffle-pool*), E- vrásky-duny (obr.5.8). Morfológia dna sa mení pozdĺž toku v závislosti na množstve sedimentov a transportnej kapacite toku.

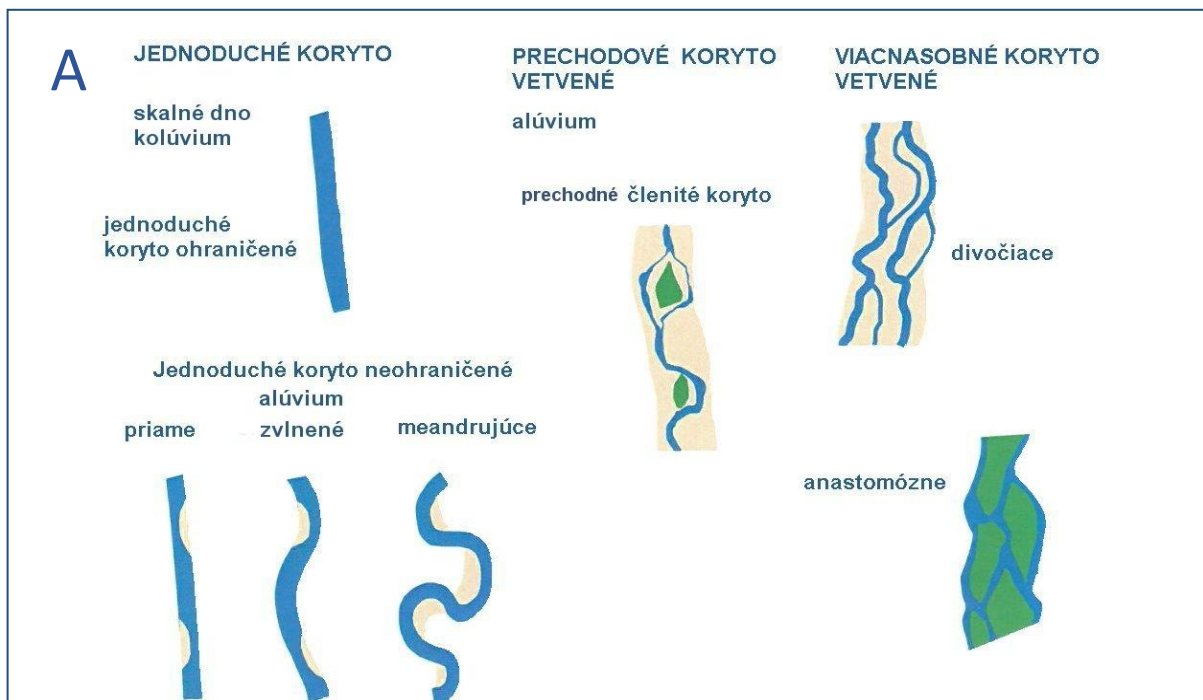
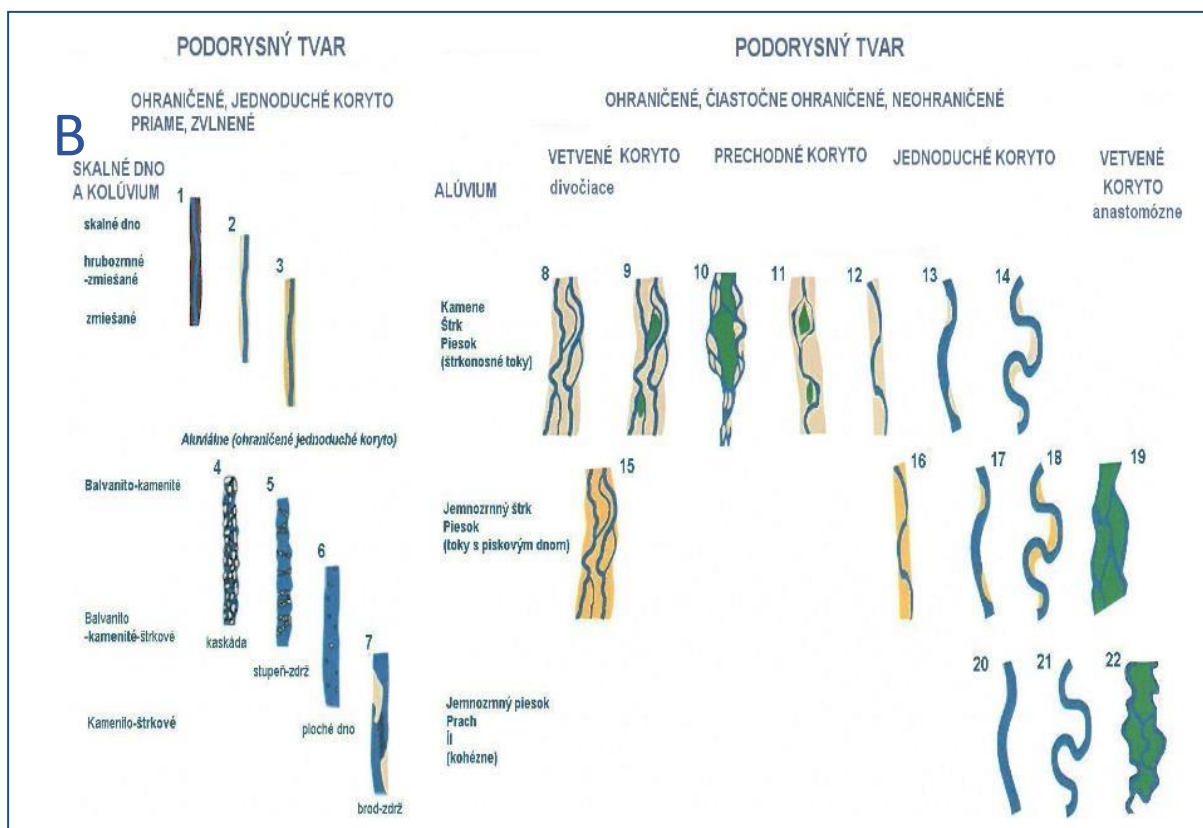


Obr.5.8 Druhá klasifikácia horských tokov podľa Montgomery & Buffington (1997)

A- kaskáda, B-prah-zdrž, C ploché dno, D brod-zdrž, E- vrásky-duny

Komplexnú morfológickú typológiu prirodzených riek vrátane horských tokov prezentovali Rinaldi, et al. v projekte REFORM (2015). Pozostáva zo základnej (7 typov) a rozšírenej (22 typov) schémy. Prvý krok morfolologickej klasifikácie zahŕňa jednoduchý postup založený na charakteristike pôdorysného tvaru (vetvenie, typ koryta) v rámci riečneho údolia. Základná typológia definuje 7 riečnych typov,

ktoré sa delia do dvoch kategórií podľa ohraničenia údolia (ohraničené; čiastočne ohraničené a neohraničené úseky; obr. 5.9, A).



Obr.5.9 Morfológické typológia prirodzených riek – A) sedem základných typov, B) rozšírená typológia (22 typov) podľa Rinaldi et al. (REFORM, 2015)

Využitie rozšírenej schémy v druhom kroku sa zakladá na poznatkoch získaných v procese charakterizácie. Rozšírená schéma obsahuje 22 typov (obr.5.9, B), ktoré sú identifikované na základe ich ohraničenia (ohraničené; čiastočne ohraničené a neohraničené), prevládajúcu veľkosť dnového materiálu (skalnaté, balvanité, kamenné, štrkové, pieskové, ílovité) a pôdorysu (priame, zvlnené, meandrujúce, pseudo-meandrujúce a prechodné, divočiace, anastomózne).

Morfologická klasifikácia má význam z hľadiska určenia genetického pôvodu toku, je pomocným nástrojom pre detailnejšiu analýzu riečnych procesov (v širšom území) a posúdenie súčasného stavu tokov a tiež východiskom pre návrh revitalizačných opatrení. Určovanie morfologického typu sa vykonáva pre historický stav (referenčný), ale aj pre súčasný stav, ktorý už často nezodpovedá pôvodnému typu (úpravy). Preto by morfologickú klasifikáciu tokov mali vykonávať odborníci, ktorí dokážu identifikovať riečne procesy a ich prejavy.

5.5 Riečne sedimenty, transportované sedimenty, dnový materiál, dnové/korytové útvary

Riečne sedimenty: sedimenty sa priamo podieľajú na procesoch formovania koryta v riečnom systéme. V toku sa nachádzajú sedimenty, ktoré vytvárajú koryto toku – *dno/brehy* a sedimenty, ktoré sú transportované vodným prúdom – *splaveniny a plaveniny*.

Dnové sedimenty charakterizuje veľkosť (íl, piesok, štrk, kamene, balvany – obr.5.10), ktorá definuje morfologický typ rieky a ovplyvňuje rozsah dnových útvarov, ktoré sa môžu na dne koryta vyskytnúť.



a) hrubozrný až jemnozrný piesok, rieka Tisa



b.) jemnozrný štrk – rieka Ipeľ



c) hrubozrný štrk – rieka Jakubianka



d) balvany – rieka Poprad

Obr.5.10 Dnové sedimenty nížinných, podhorských a horských tokov

Dnové / korytové útvary: sú sedimenty, ktoré pôsobia ako celok na dne resp. v koryte, definuje ich priestorové usporiadanie na dne (kaskáda, prah-zdrž, brod-zdrž, vrásky, duny, rôzne typy lavíc), tiež indikujú morfológický typ rieky.

Štruktúra dna reprezentuje zloženie dnového materiálu, ktoré indikuje procesy transportu a triedenia sedimentov (napr. výskyt krycej vrstvy, kolmatácie, erózie).

Transportované sedimenty – sú sedimenty, ktoré sa pohybujú v rieke, sú produktom erózie pôsobiacej vo vyšších častiach povodia a tiež erózie dna a brehov rieky. Splaveniny a plaveniny sa líšia veľkosťou i formou pohybu:

Splaveniny sú hrubozrnné sedimenty (prevažne produkty erózie dna, čiastočne aj brehov a povodia), ktoré sa dostávajú do pohybu pôsobením unášacej sily prúdu; pohybujú sa pri dne diskontinuálne, interval pohybu býva vystriedaný stavom pokoja, množstvo transportovaných splavenín je obmedzené a dané transportnou kapacitou toku ($t, m^3/rok$)

Plaveniny sú jemnozrnné sedimenty (priemer do 0,3 mm) unášané turbulenciou prúdu, rozptýlené v celom profile, pohybujú sa približne rovnakou rýchlosťou ako rýchlosť prúdu (prevažne produkty erózie povodia, obmedzene aj erózie dna a brehov); množstvo plavenín v toku je prakticky neobmedzené (nie je jednoznačne dané podmienkami prúdenia) - závisí na intenzite erózných procesov v povodí (Manuál ASCE, 1977).

5.5.1 Dnové sedimenty - charakteristiky

Dnové sedimenty, ktoré pôsobia v toku izolovane, najčastejšie charakterizujú ich fyzikálne vlastnosti (najmä veľkosť a tvar zŕn). Výber lokalít odberov sa predbežne vykoná v satelitných snímkach a upresní v rámci terénneho prieskumu. Lokality odberov vzoriek sedimentov sa určia s ohľadom na prebiehajúce riečne procesy, morfológický typ (zohľadnenie štruktúry dna) tak, aby boli odobrané sedimenty reprezentatívne a pokrývali kľúčové lokality úseku. Všade, kde je to možné, treba odobrať vzorky nielen z vrcholových, prípadne bočných lavíc (povrchová i podpovrchová vrstva), ale aj priamo z toku (z člna). Skúsený fluválny morfológ dokáže v rámci terénneho prieskumu identifikovať štruktúru dna, napríklad výskyt krycej vrstvy (erózia) alebo kolmatácie dna (sedimentácia jemnozrnných sedimentov), ktoré priamo identifikujú prebiehajúce procesy v koryte. Ak tieto informácie nie je možné získať priamo v teréne, detailnejšie poznatky o procesoch v toku možno získať analýzou kriviek zrnitosti.



Obr.5.11 Odbery dnových sedimentov (a) odber pod hladinou – odberákom VÚVH, b) odber z riečnej lavice

5.5.2 Dnové útvary v koryte

Na dne aluviálnych korýt tokov sa vplyvom prúdenia vody a transportu sedimentov môžu vytvárať rôzne typy dnových útvarov (obr.5.12), ktoré ovplyvňujú členitosť dna a spätne pôsobia na podmienky prúdenia. Na štrkonosných tokoch sa na dne vytvárajú najmä duny prípadne antiduny pri povodňových prietokoch a na tokoch s jemnozrnným dnovým materiálom (piesok) sa vytvárajú vrásky a menšie duny. Dnové útvary pôsobia na zvýšenie drsnosti koryta, čo sa prejaví v miernom spomalení prúdenia a zvýšením hladiny. Z ekologického hľadiska sa dnové útvary podieľajú na zvýšení členitosti koryta a zlepšení podmienok pre ryby a vodnú biotu (vytváranie zón zrýchlenia a spomalenia, úkryty pre ryby).



c) duny v toku s pieskovým dnom



b) vrásky v toku s pieskovým dnom

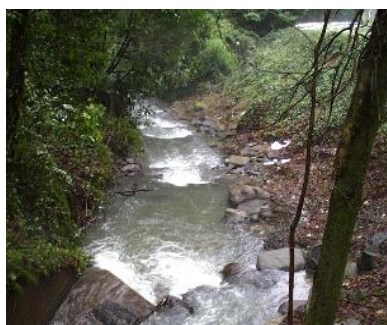
Obr.5.12 Dnové útvary na dne korýt aluviálnych tokov (a), snímky dna s dunami a b) s vráskami

Dnové útvary sa vyskytujú na dne korýt aluviálnych tokov s aktívnym transportom sedimentov (splavenín). Väčšinou ide o stredné a veľké toky. Dnové útvary sa nevytvárajú na horských a podhorských tokoch s balvanitým dnom. Pre rýchle posúdenie pohyblivosti dna (podmienka výskytu dnových útvarov) je možné použiť vzťahy odvodené z funkcie pre začiatok pohybu dnových sedimentov F_s (Shieldsov diagram), z ktorých vyplýva podmienka pre dnový materiál $d_{50} > 0,008 m$ a kritérium pre stabilné $d_{50} > 11 R i$ a pre pohyblivé dno $d_{50} < 11 R i$ (R -hydraulický polomer, i – sklon dna). Identifikáciu typu dnových útvarov potom možno vykonať terénnym prieskumom – vizuálnym hodnotením alebo zmeraním pozdĺžneho profilu prístrojom ADCP.

Vplyvom geomorfologických charakteristík horských tokov a zvýšeného prísunu hrubozrnných sedimentov sa na horských tokoch vytvárajú špecifické dnové útvary – obr.5.13 (kaskáda, prah-zdrž (*step-pool*), ploché dno, brod-zdrž (*riffle-pool*), vrásky-duny), ktoré sa podieľajú na výraznej členitosti pozdĺžneho profilu a charakterizujú morfológický typ toku. Usporiadanie dnových útvarov sa mení pozdĺž toku v závislosti od množstva sedimentov a transportnej kapacity rieky.



d) prah-zdrž



e) prah – zdrž (step-pool)

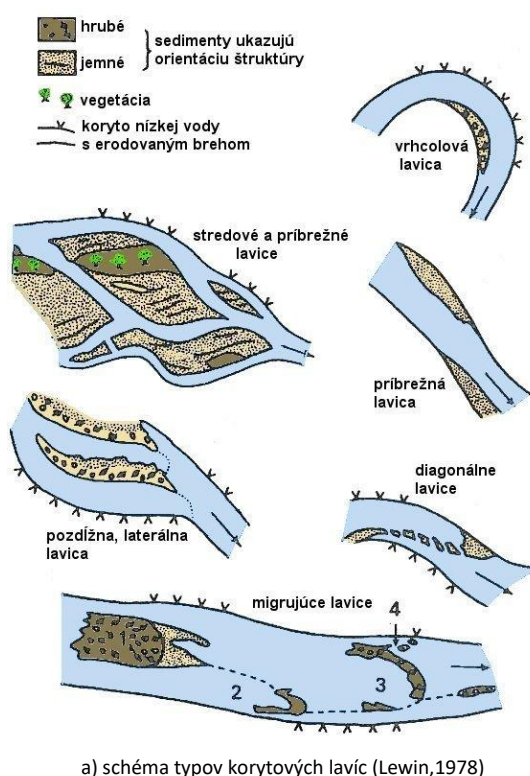


f) kaskáda

Obr.5.13 Korytové útvary na horských a podhorských tokoch

5.5.3 Korytové útvary

Lavice a ostrovy (makro útvary, obr.5.14) sa významne podieľajú na zvýšení diverzity koryta. Ich výskyt sa viaže k určitým typom riek a preto ich vždy treba posudzovať vo vzťahu k morfolologickej typológii (obr.5.9, B) a prebiehajúcim procesom (erózia a najmä zanášanie) a antropogénnym zásahom do riečneho systému (bagrovanie, zmena prietokového režimu, objekty). Takýto prístup umožní identifikovať pôvod resp. príčiny vzniku korytových útvarov. Lavice a ostrovy sa väčšinou vytvárajú v stredných a dolných (nížinných) úsekoch riek.



a) schéma typov korytových lavíc (Lewin, 1978)



b) diagonálne lavice – Kežmarská biela voda



c) stredová lavica – Dunaj pri Štúrove

Obr.5.14 Typy útvarov v koryte aluviálnych tokov a) schéma (Lewin , 1978), b, c) lavice na tokoch

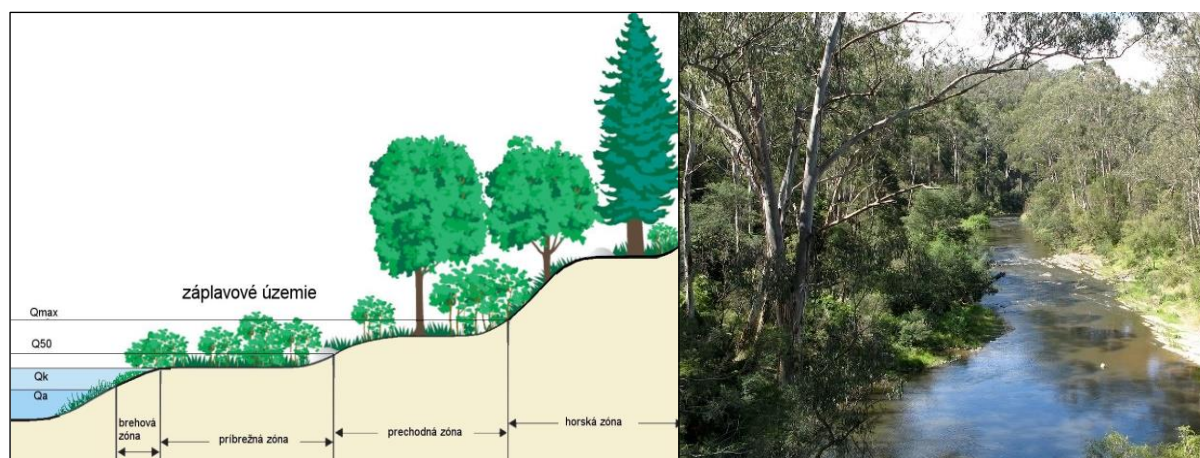
Vytváranie ostrovov a lavíc nie je vždy indikátor hydromorfologickej kvality toku. Za určitých podmienok to naopak môže byť príznakom modifikácie rieky. Ide najmä o situáciu, ak sa korytové útvary vyskytujú na takých typoch toku, kde sa za prirodzených podmienok nevyskytujú.

Korytové útvary (obr.5.14) sa môžu vytvárať aj v oblastiach narušenia prirodzenej bilancie sedimentov, kde začnú prevládať procesy sedimentácie ako dôsledok nevhodných zásahov do koryta (napríklad zmena sklonu dna, výstavba objektov). V počiatočnom štádiu sa môžu javiť ako pozitívna zmena, avšak pokračovanie procesov zanášania koryta v dlhšom časovom horizonte má celý rad negatívnych dôsledkov nielen na morfológiu koryta ale aj ekológiu (zníženie dynamiky prúdenia, kolmatácia dna – obmedzenie interakcie povrchových a podzemných vôd, prílišné zarastanie koryta, eutrofizácia, zhoršenie kvality vody, zníženie samočistiacej schopnosti rieky, atď.).

5.6 Vegetácia –akvatická (makrofyty), príbrežná vegetácia, mŕtve drevo

Vegetácia akvatických makrofytov (brehová zóna koryta) a *príbrežná vegetácia* (príbrežné zóna pozdĺž brehovej línie) sa nachádza v riečnej zóne, ktorá je priamo viazaná na vodné prostredie - hladinový režim rieky a preto aj zmeny vo vodnom režime (vplyv úprav, regulácia prietokov) sa prejavujú na kvalite a kvantite vegetácie.

Príbrežná zóna siaha od okraja koryta – brehu, po úroveň hladiny stredných povodňových prietokov (obr.5.15). Brehová zóna, ktorá siaha od okraja brehu smerom do koryta približne po úroveň priemerných korytových prietokov, je v priamom dotyku s korytom stredných vôd.



Obr.5.15 Schéma a reálny príklad (foto) rozmiestnenia vegetácie v záplavovom území

V rôznych príbrežných zónach sú rozdielne typy vegetácie, ktoré sú ovplyvnené odlišnými podmienkami vodného režimu – rozsahom hladín od minimálnych po maximálna povodňové prietoky. Rozsah jednotlivých zón sa mení v závislosti na morfológickom type rieky a tiež na stupni jeho modifikácie. Vegetácia v brehovej i príbrežnej zóne vplyva na drsnosť koryta a prúdenie, podporuje stabilizáciu brehov, resp. odolnosť voči pôsobeniu erózie brehov.

Akvatická a príbrežná vegetácia sú ovplyvnené zmenami prúdenia rieky, dnovými a brehovými sedimentami a morfológiou, kvalitou a množstvom vody, táto vegetácia však tiež priamo alebo nepriamo ovplyvňuje transport, triedenie a zachytávanie sedimentov a výsledne teda aj zmeny morfológie (CEN/ TC 230/ WG 25/ N159). *Príbrežná vegetácia*: stromy v príbrežnej zóne a drevo, ktoré produkujú (konáre, kmene) spolupôsobia s vodným prúdom a sedimentami. Zachytávajú a stabilizujú transportované sedimenty a budujú tak útvary stabilizované vegetáciou, ktoré sú ponorené pod hladinou nízkych prietokov.

Vegetácia akvatických makrofytov sú rastliny vo vodnom prostredí, ponorené pod hladinou alebo v rozsahu brehovej zóny. Sú dôležitou hydromorfologickou charakteristikou každej rieky, kde sa vyskytujú rastliny, pretože sú jedným z dôležitých komponentov drsnosti koryta (odpor proti prúdeniu) a vplývajú na rýchlosti, pohyb sedimentov a ich retenciu.

Na nížinných tokoch je abundancia *vegetácie akvatických makrofytov* značne premenlivá a vzhľadom na ich flexibilitu a rozdielne pôsobenie vo vodnom stĺpci majú odlišný hydraulický účinok. V takýchto nízko-energetických tokoch môže akvatická vegetácia iniciovať morfológické zmeny vplyvom zachytávania a stabilizácie sedimentov. Pôsobením týchto procesov sa vytvárajú vegetáciou stabilizované útvary **pod hladinou nízkych prietokov** (stredové lavice alebo laterálne nánosy jemných sedimentov), ktoré sa môžu zväčšovať (agradovať) a vytvárať ponorené útvary. Tieto útvary prispievajú k zvýšeniu morfologickej členitosti koryta (CEN/ TC 230/ WG 25/ N159). V tomto zmysle môžu byť akvatické makrofyty nielen biologickým, ale aj hydromorfologickým indikátorom kvality. Súčasťou vegetácie vo fluválnom prostredí je aj vegetácia, ktorá spevňuje povrch korytových väčších útvarov (ostrovy, lavice, bermy) a nachádza sa **nad hladinou nízkych prietokov**.

Náplavové drevo – zvyšky dreva, veľké kmene stromov (LWD): Zvyšky mŕtveho dreva – kmene, konáre, koreňové systémy (obr.5.16) – zasahujú do koryta toku a významne tak vplývajú na podmienky prúdenia (zvýšenie drsnosti koryta), lokálne procesy transport sedimentov a ich zachytávanie. Zvyšky dreva teda významne vplývajú na morfológiu a následne na formovanie koryta. Zvyšky dreva sú produktom odumierania stromov v príbrežnej zóne alebo postupujúcej brehovej erózie (padanie stromov do koryta). Vplyvom nevhodného manažmentu v povodiach riek sa však zvyšky mŕtveho dreva dostávajú do riek len v obmedzenom rozsahu (čistenie koryta, výruby stromov v inundácii).



Obr.5.16 Náplavové drevo – zvyšky dreva, kmene, konáre, korene mŕtvych stromov, ktoré sa prirodzene vyskytuje v toku



Obr.5.17 Inštalácia veľkých drevených prvkov do päty svahu konkávneho oblúku (a), veľké drevené prvky mŕtve dreva osadené v brehu na sprírodnenie brehov (b)

Pozitívny vplyv mŕtveho dreva sa začal docieňovať až v súvislosti so snahami o obnovu prirodzeného fungovania riek (zlepšenie ich ekologického stavu). Zvyšky dreva majú priaznivý vplyv na variabilitu a akumuláciu organickej hmoty v toku a významne sa podieľajú na zlepšení podmienok pre ryby a iné vodné organizmy (najmä zvyšky koreňov stromov) vytváraním prirodzených riečnych habitatov - úkrytov pre ryby - a variabilitou podmienok prúdenia v ich okolí (oblasti zrýchlenia a spomalenia prúdu). Z hľadiska morfológie sa priaznivý vplyv veľkých kmeňov (LWD) môže prejaviť okrem zvýšenia členitosti koryta aj pri stabilizácii pozdĺžneho profilu dna (obr.5.17) a jeho ochrane proti nadmernej erózii na horských alebo podhorských tokoch. Akumulácia zvyškov dreva môže vzniknúť vplyvom nahromadenia väčšieho množstva kmeňov a zvyškov dreva, ktoré vytvoria takmer kompaktné útvary (zápcha koryta, obr.5.16).

6.1 Narušenie pozdĺžnej kontinuity a laterálnej konektivity toku

Najvýznamnejšie morfológické zmeny na prirodzených tokoch nastali vplyvom oddelenia procesov koryta a inundácie, ku ktorému došlo narušením prirodzenej pozdĺžnej kontinuity riek a obmedzením

ich laterálnej konektivity. V tomto kontexte nesporne najväčším zásahom do prirodzených procesov tokov sú priečne bariéry – objekty na tokoch (priehrady, hate, stupne, prehrádzky, atď.), ktoré svojim



a) prehrádzky na stabilizáciu sklonu



b) veľká priehrada s nádržou

Obr.5.18 Typy priečných bariér na tokoch, a) priepust, b) priehrada

vplyvom na prúdenie zásadným spôsobom menia dynamiku prúdenia a podmienky transportu sedimentov. Nerovnováha v transporte sedimentov podmieňuje zmeny riečnych procesov (erózia/sedimentácia) a následne i zmeny tvaru koryta.

Vplyv objektov na zmeny transportnej schopnosti tokov sa mení v závislosti od ich geografickej polohy, veľkosti a záchytnej účinnosti. Geografická poloha čiastkového povodia určuje vlastnosti podložia najmä s ohľadom na potenciálny prísun sedimentov do priestoru vzdutia resp. nádrže (napr. nestabilný flyš – náchylný na zosuvy). Veľkosť objektu (výška, objem nádrže, dĺžka vzdutia) indikuje záchytňú schopnosť pre splaveniny a plaveniny. Menšie objekty ako napríklad nižšie stupne, stabilizačné prehrádzky, priepusty – zachytávajú časť splavenín a ich vplyv na prietok plavenín je zanedbateľný. Stredné a veľké priehrady, hate, stupne zachytávajú veľké množstvo splavenín (veľké priehrady a hate 100%) a tiež časť plavenín. Pri posúdení vplyvu objektov na morfológiu rieky treba posudzovať každý objekt individuálne.

6. Priestorové mierky – členenie riečnej siete

Revitalizácia riek sa často realizuje príležitostne, napríklad keď sa poskytnú finančné prostriedky na tento účel alebo keď vlastníci dotknutých pozemkov dajú súhlas. V dôsledku toho sa doteraz najčastejšie vykonávali také zásahy v relatívne malom rozsahu (t. j. v rozsahu riečnych úsekov). Na riešenie zásadných vplyvov na prírodné procesy (t. j. prúdenie vody, transport a ukladanie sedimentov a dreva), ktoré ovplyvňujú fyzický a ekologický stav riečneho prostredia, sú však potrebné ambicióznejšie a priestorovo rozsiahlejšie iniciatívy.

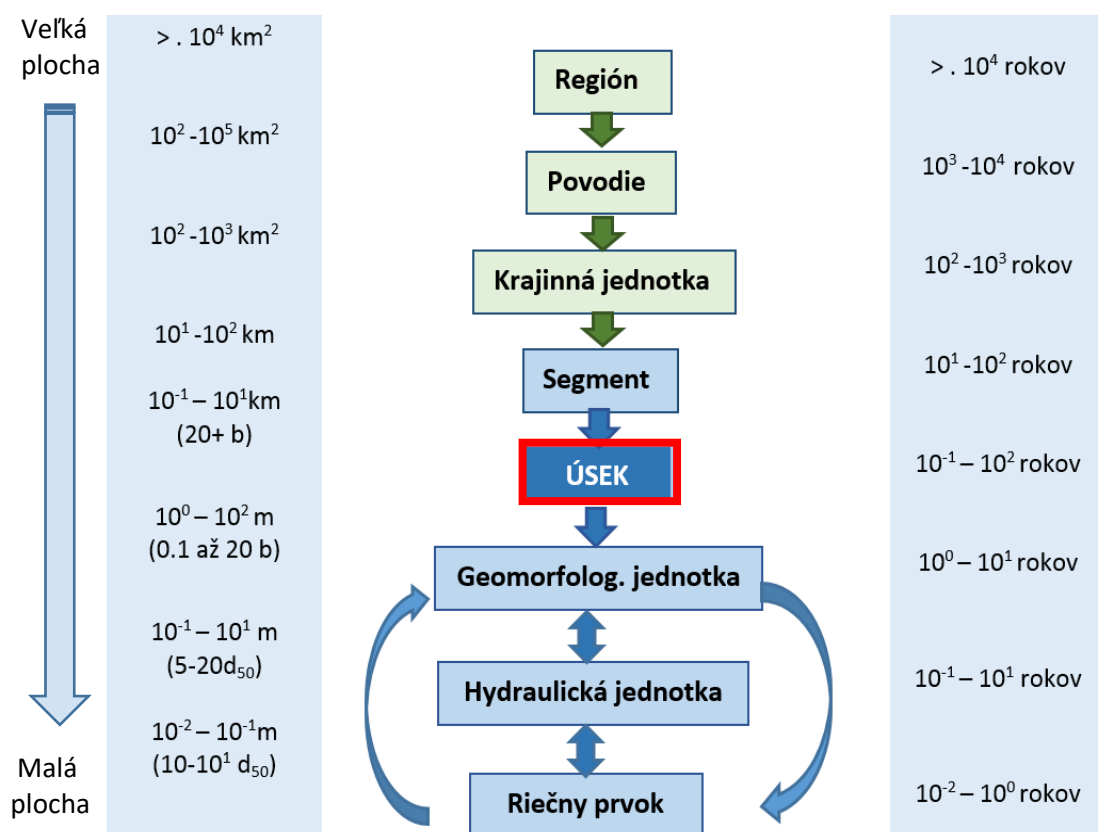
Na dosiahnutie najväčšieho možného udržateľného zlepšenia stavu rieky by sa revitalizácia mala realizovať v čo najväčšom priestorovom rozsahu. V rámci toho by sa mala zvážiť stratégia na úrovni povodia na realizáciu špecifických revitalizačných opatrení, ktoré sa môžu uplatniť v rámci riečnych úsekov. Opatrenia na revitalizáciu povodia aplikované mimo koryta rieky (napr. výsadba pôvodných drevín, zvýšenie plochy mokradí) môžu spôsobiť nepriame prínosy pre riečne koridory.

Vybraným opatreniam by sa mali priradiť priority, aby sa optimalizoval kumulatívny prínos pre celý riečny systém. Všimnite si, že zásahy v určitom riečnom úseku môžu často generovať významný prínos pre fyzikálne procesy v dolnej časti toku, a teda aj pre ekologický stav rieky.

Indikátory hydromorfologickej kvality sú stanové pre nasledovné kategórie:

- (1) **Morfológia koryta/ inundácie** - pôdorysný tvar a geometria koryta a inundácie; dnový materiál, štruktúra dna, dnové útvary; morfologická diverzita v pôdoryse a priečnom profile (pre morfologický typ koryta), vegetácia (príbrežná, akvatická)
- (2) **Kontinuita riečnych procesov v koryte** - pozdĺžna kontinuita (nad úsekom, v úseku) sedimentov a zvyškov dreva; pohyblivosť dnových sedimentov a procesy interakcie s vegetáciou; periodické zaplavovanie inundácie; laterálna konektivita, erózia brehov,
- (3) **Hydrologický režim** – je analyzovaný samostatne – indikátory modifikácie hydrologického režimu zahŕňajú prietokový režim (veľkosť, výskyt a trvanie, pre prietoky $Q_{5,10,20,50}$, regulácia prietokov – prevody vody, derivácie, odbery) a dynamiku prúdenia (vzduť korytových hladín, umelá fluktuácia hladiny); zmeny korytotvorného prietoku sú zahrnuté v riečnych procesoch.

Indikátory morfologických parametrov a fluvialných procesov určujú, či procesy a súvisiace morfologické útvary pre správne fungovanie rieky sú zachované alebo modifikované. Hlavné tlaky (priečne objekty, pozdĺžne objekty, brehovú opevnenia, ťažba dnových sedimentov, atď.) sú integrované do morfologických parametrov a riečnych procesov, v ktorých sa najviac prejavuje ich vplyv na hydromorfológiu, pričom ich absencia indikuje prirodzenú funkčnosť vodného toku a bude zahrnutá do hodnotiacej schémy.



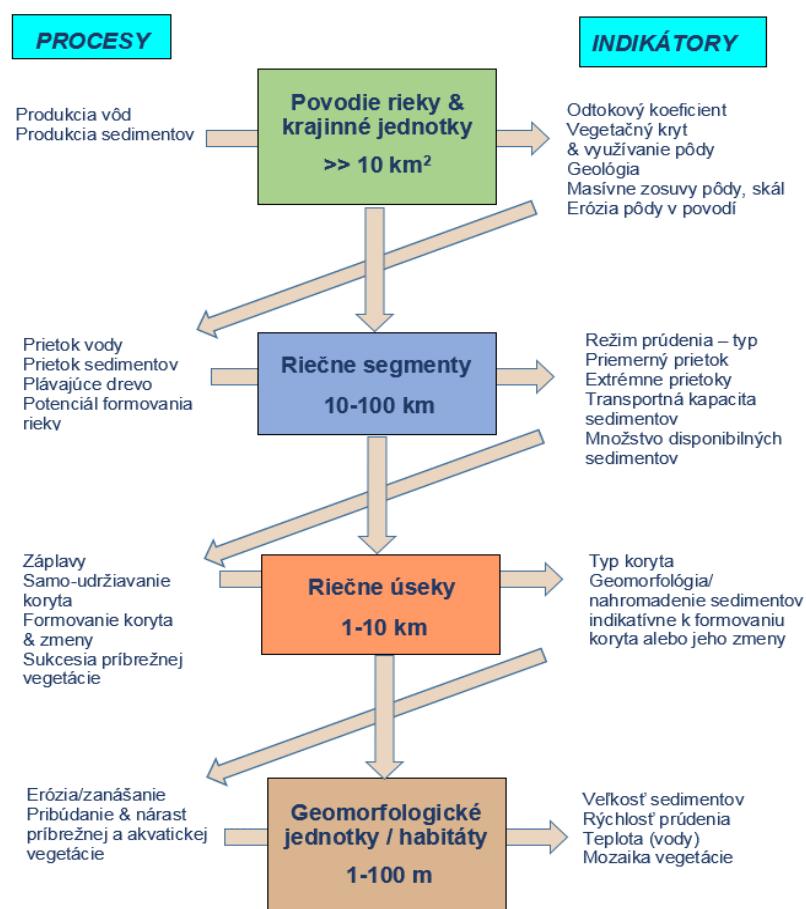
Obr.6.1 Hierarchia priestorových jednotiek pre hydromorfológiu vrátane ich orientačnej veľkosti a prislúchajúcich časových mierok, v rámci ktorých pôsobia (podľa Gurnell et al., 2014)

Priestorové členenie povodia využíva viacúrovňový hierarchický prístup a časové mierky zohľadňujú dynamický vývoj riečneho systému v čase (postupnosť hydromorfologických zmien vo vzťahu referenčným podmienkam daného morfologického typu). Miera modifikácie vodného útvaru bude

pozostávať z hodnotenia hydromorfologických podmienok súčasného stavu vo vzťahu k pôvodnému stavu (referenčné podmienky).

Pre praktický manažment povodia vrátane revitalizácií riek je viacúrovňový hierarchický prístup kľúčový pre správne vykonanie priestorových analýz. V tomto manuáli využívame viacúrovňový hierarchický postup navrhnutý v práci Gurnell et al. (2014), ktorý vytvára *priestorový rámec* pre hydromorfologické zhodnotenie (obr.6.1).

Schéma (obr.6.2) znázorňuje fungovanie povodia v rámci uvažovaného priestorového členenia riečnej siete a vplyv špecifických procesov pôsobiacich smerom od väčších priestorových jednotiek k menším (REFORM, 2015). Integrovaný časový faktor zohľadňuje variabilitu riečnej siete v čase.



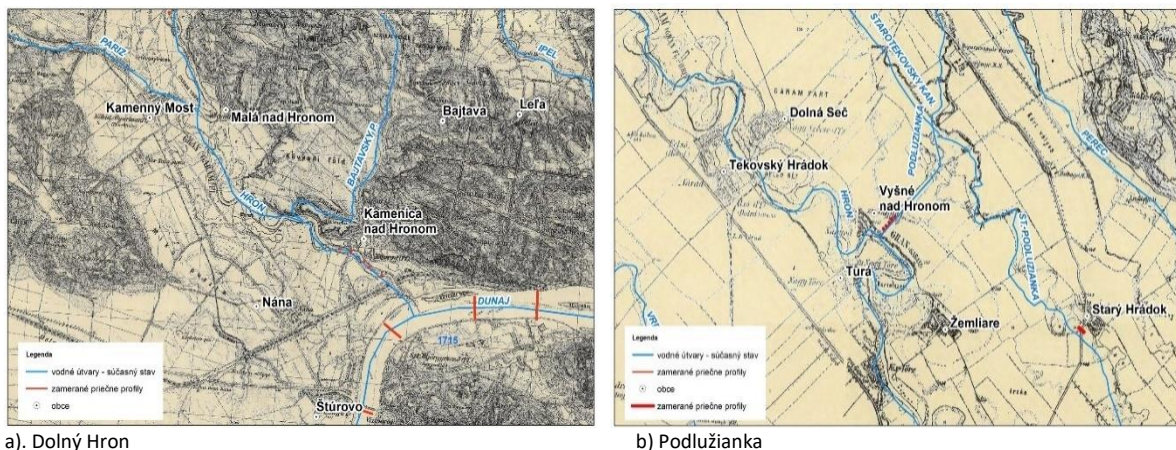
Obr.6.2 Schéma indikátorov a súvisiacich procesov v priestorovom členení (REFORM, 2015)

Referenčné podmienky (*pristine conditions*) sa vzťahujú k pôvodnému nenarušenému stavu rieky daného hydromorfologického typu, bez akýchkoľvek vplyvov ľudskej činnosti a tlakov. Takéto podmienky sa však na európskych tokoch vyskytujú len veľmi zriedkavo najmä preto, že prietok vody a sedimentov sú rôznou mierou ovplyvnené vo všetkých priestorových jednotkách. Referenčné podmienky - nenarušený pôvodný stav sa teda vyskytuje iba v ohraničených pramenných oblastiach riek. Preto aj revidovaná norma STN EN 14614 (2020) odporúča používať termín: **takmer prirodzené referenčné podmienky**.

V procese vymedzovania a charakterizovania povodia - krajinných jednotiek, údolných segmentov a riečnych úsekov - sú zhromažďované informácie o procesoch, morfologických útvaroch a ľudských

zásahoch pôsobiacich v rôznych časových obdobiach (mierkach) a aj to ako sa menia v čase. Tieto informácie môžu byť využité k identifikovaniu úsekov s *takmer prirodzenými vlastnosťami*:

- a) ***takmer prirodzený režim prúdenia vody a transportu sedimentov a pozdĺžnou kontinuitou*** bez významných bariér alebo opatrení na reguláciu prietokov v ***oblasti nad riečnym úsekom***
- b) ***takmer prirodzené charakteristiky a procesy v riečnom úseku s veľmi nízkym stupňom ovplyvnenia ľudskou činnosťou***, voľnosťou vývoja koryta (laterálny vývoj) a záplavového územia (bez hrádzí), ktoré sa môžu prispôbiť procesom prúdenia a transportu sedimentov



Obr.6.3 Príklady porovnania súčasný / historický- referenčný stav (III. Vojenské mapovanie – vhodné aj na stanovenie hydromorfologického typu)

Úseky riek, ktoré splňujú obe tieto kritéria (a, b) zodpovedajú referenčným podmienkam úsekov daného morfologického typu a priestorového členenia (krajinná jednotka, údolný segment). Úseky riek daného hydromorfologického typu, ktoré splňujú kritérium (b) ale nespĺňajú kritérium (a) prezentujú referenčné podmienky úsekov zodpovedajúce stupňu modifikácie režimu prietoku vody a sedimentov. Tieto úseky môžu iba indikovať referenčné podmienky pre iné úseky, ktoré majú podobný režim prietokov vody a sedimentov a podobné krajinné jednotky. Pri absencii lokálnych referenčných úsekov, môžu byť úseky z iných povodí použité v prípade, ak majú podobný režim prietoku vody a sedimentov a podobné krajinné jednotky. Informácie zhromaždené v procese charakterizovania priestorových jednotiek v rámci jedného alebo viacerých povodí môžu byť alternatívne využité nasledovne:

- pre identifikáciu riečnych hydromorfologických typov všetkých úsekov v rámci rovnakej krajinej jednotky
- pretriedenie úsekov využitím informácií o tlakoch a k identifikovaniu takých úsekov, ktoré sú (alebo v minulosti boli) najmenej ovplyvnené ľudskou činnosťou
- na identifikovanie súboru riečnych hydromorfologických typov, ktoré fungujú v rámci krajinej jednotky s minimálnymi tlakmi, ich '*referenčných charakteristík*' vrátane ich prispôsobenia sa meniacim procesom.

Hydromorfologickú analýzu realizujeme v dvoch krokoch

1) vymedzenie priestorových jednotiek riečneho systému a

2) ***charakterizácia priestorových jednotiek*** - definovanie hlavných indikátorov hydromorfologických zmien pre kategórie: morfológia a riečne procesy (kontinuity, konektivita), ktoré umožnia zhodnotiť

vplyv zásahov vykonaných v minulosti na súčasný morfológický stav. Takýto stav tvorí porovnávaciu základňu pre neskoršie posúdenie efektívnosti vykonanej revitalizácie.

Priestorové vymedzenie geografických oblastí v povodí

Priestorové vymedzenie jednotlivých oblastí v rámci povodia a priestorová charakterizácia fluvialného systému zahŕňa dva kroky:

1) vymedzenie priestorových jednotiek

2) charakterizácia priestorových jednotiek

Krok 1 – vymedzenie
priestorových jednotiek



Krok 2 – charakterizácia
priestorových jednotiek

V súčasnosti sa všeobecne považuje za dôležité zabezpečiť, aby sa priestorový kontext revitalizácie zohľadnil už vo fáze plánovania. Bez ohľadu na rozsah revitalizácie by sa mala pri jej realizácii zohľadniť jej relatívna poloha v rámci povodia, aby sa zabezpečilo, aby všetky navrhované opatrenia boli primerané fyzikálnym podmienkam v tejto oblasti, ktoré budú ovplyvňovať vývoj revitalizovaného úseku.

Podrobný opis spôsobu vymedzenia a charakterizácie priestorových jednotiek riek (povodie, krajina, dolina a úsek) je uvedený v norme STN EN 14614:2020. **Vymedzenie a charakterizácia naznačuje, ako sú priestorové jednotky ovplyvnené a riadené, čo umožní stanoviť najvhodnejší prístup k revitalizácii.**

Historické vplyvy človeka na prirodzený vývoj riek a pretrvávajúca potreba ekosystémových služieb, ktoré rieky poskytujú, znamená, že revitalizačné ambície sa často musia zmierniť, aby sa prispôbili súčasným obmedzeniam. Pri plánovaní revitalizácie by sa teda mali takéto obmedzenia zohľadniť v cieľoch a identifikovať a uprednostniť lokality na základe posúdenia pomeru nákladov a prínosov spojených s realizáciou celého radu vhodných opatrení. Každé hodnotenie revitalizačných zámerov by malo zahŕňať posúdenie rozsahu zlepšení, ktoré revitalizácia môže priniesť v oblasti fyzikálnych a ekologických podmienok, a tiež vplyvov týchto zlepšení na iné spôsoby využívania riečneho prostredia (nástroje na hodnotenie poskytovania ekosystémových služieb sú všeobecne známe).

7. Typy revitalizácie (CEN)

Spektrum revitalizácie riek zahŕňa širokú škálu prístupov a zásahov, ktorých cieľom je dosiahnuť prirodzenejší fyzický stav prostredníctvom postupnej obnovy aktívnych riečnych procesov (t. j. „**revitalizácia založená na obnove procesov**“). Na jednom konci spektra sú dôležité **opatrenia na ochranu prostredia, ktoré je už v optimálnom stave** (prirodzené úseky tokov, referenčné lokality); takéto lokality môžu podporiť revitalizačné iniciatívy na iných miestach (t. j. podporiť fyzickú a ekologickú spojitosť medzi degradovanými časťami povodia) a môžu sa využiť ako analógie pre „**referenčné podmienky**“ revitalizácií riek v blízkych lokalitách, ktoré sú v lokalitách toho istého hydromorfologického typu a sú ovplyvnené podobnými tlakmi.

Mechanizmy na ochranu takýchto úsekov tokov majú zahŕňať právne predpisy (Vodný zákon), stimuly a regulačné kontroly. „**Prirodzená obnova**“ však spočíva v obnove prirodzených fyzikálnych procesov, ktoré potom zabezpečia väčšinu alebo všetky „**návrhové**“ práce.

Na druhom konci spektra je „**funkčný návrh**“, ktorý si nevyžaduje prirodzenú úpravu fyzikálneho tvaru rieky, ale zabezpečuje, aby sa v návrhu revitalizačných opatrení primerane zohľadnili aj procesy, ktoré ovplyvňujú morfológické pomery. V strede spektra je „**návrh počiatočných podmienok**“ pre rieku, v ktorej sa potom prirodzené fyzikálne procesy prispôbujú rovnovážnemu tvaru.

Uvedené spektrum poskytuje užitočný rámec pre kategorizáciu revitalizačných postupov na základe niekoľkých kritérií, vrátane potenciálnych nákladov, technických požiadaviek a úrovne potrebných odborných znalostí. Pre jednotlivé typy obnov/ revitalizácie sú identifikované rôzne potenciálne výsledky revitalizácie, ktoré sú pravdepodobne dosiahnuteľné: napríklad stupeň prirodzenosti, udržateľnosť, pravdepodobné časové rozpätie pre realizáciu prínosov a celková dlhodobá účinnosť zvoleného prístupu.

Účinná revitalizácia na úrovni povodia nevyhnutne zahŕňa prístupy v celom spektre obnovy riečnych procesov, ktoré budú fungovať ako zmiešaný balík zásahov, pričom sa budú využívať realizačné opatrenia špecifické pre danú lokalitu, ktoré budú odrážať rozdiely v prostredí, obmedzenia (fyzické a sociálno-ekonomické) a ciele revitalizácie. Typy revitalizačných zásahov alebo „postupov“ obnovy (obr. 7.1, tab.7.1) sú nasledovné:

- **Prirodzená obnova**
- **Asistovaná prirodzená obnova**
- **Riadená (návrhová) revitalizácia:** návrh počiatočných podmienok, funkčný návrh



Obr.7.1 Typy revitalizačných zásahov – schéma rôznych typov revitalizácie a prehľad možností, ktoré poskytujú viac alebo menej príležitostí k dosiahnutiu prirodzeného stavu rieky

Tabuľka 7.1 Kľúčové prvky rôznych revitalizačných prístupov (CEN – revitalizácie riek)

Typ zásahu (opatrenie)	Spektrum zásahov		
	Prirodzená obnova	Asistovaná prirodzená obnova	Riadená revitalizácia
Typ zásahu (opatrenie)	Žiadny alebo minimálny zásah (napr. oplotenie na ochranu územia)	Menšie zásahy (odstránenie obmedzení, napr. opevnenia brehov, lokálneho nefunkčných objektov).	Významný inžiniersky zásah (napr. vyhlbenie nového koryta).
Priestorové mierky	Obvykle viacnásobná dĺžka „úseku“ alebo povodie / čiastkové povodie. Koryto rieky, záplavové územie a okolitá krajina	Obvykle dĺžka úseku alebo viacnásobná dĺžka „úseku“; zahŕňa koryto, záplavové územie a okolitú krajinu.	Obvykle od dĺžky „čiastkového úseku po „úsek“; často sústredené v koryte a v príľahlom záplavovom území.
Časové mierky účinnosti	Viacročné až desaťročné obdobie s narastajúcimi benefitmi	Ročné až desaťročné obdobie s narastajúcimi benefitmi	Menej ako ročné až desaťročné obdobie s narastajúcimi benefitmi v čase najmä vo vzťahu k východným podmienkam
Hlavné benefity	Prirodzená obnova procesov a foriem – ponúka dlhodobú odolnosť; môže sa prispôbiť budúcim zmenám životného prostredia.	Zásah menšieho rozsahu zameraný na obnovenie prirodzených procesov a foriem; môže sa prispôbiť budúcim zmenám	Výsledok prispôbený navrhnutým kritériám (parametrom); benefity sú ľahko dosiahnuteľné; výsledky sú viac predvídateľnejšie
Hlavné riziká	Výsledky môžu byť nepredvídateľné; na ich dosiahnutie je potrebný priestor a čas.	Výsledky môžu byť nepredvídateľné; počiatočné úsilie môže vyvolať nepredvídané zmeny (napr. prispôbenie koryta po odstránení hate).	Návrhy môžu byť menej flexibilné voči ďalším zmenám; môžu byť spojené s požiadavkami na údržbu
Náklady	Spravidla nízke kapitálové a bežné náklady; nízke relatívne náklady na jednotku dĺžky/plochy	Stredné počiatočné kapitálové náklady; nízke relatívne náklady na jednotku dĺžky/plochy	Náklady na projektové a inžinierske práce; stredné až vysoké náklady na jednotku dĺžky/plochy; možné náklady na údržbu.
Priebežná údržba	Potreba údržby je spravidla nízka, pretože prirodzená obnova podporuje samo-udržiavací režim riek	Môže si vyžadovať určitý počiatočný zásah, avšak potreba dlhodobej údržby sa môže znížiť alebo vymiznúť	Určitá údržba môže byť nevyhnutná, aj keď dobrý návrh môže rozsah údržby minimalizovať
Vhodnosť	V oblastiach, kde je k dispozícii dostatok energie, priestoru a času na obnovu; v prostredí s minimom obmedzení	V oblastiach, kde je možné existujúce úpravy odstrániť a vykonať geomorfologické opatrenia na iniciovanie prirodzenej obnovy; tam kde sú malé alebo mierne obmedzenia	V oblastiach, kde sú obmedzené možnosti pre geomorfologický vývoj; v prostredí s možným rizikom ohrozenia pre obyvateľov alebo infraštruktúru

PRIRODZENÁ OBNOVA

Prirodzená obnova pri revitalizácii tokov znamená vytvorenie takých podmienok aby, ktoré umožnia rieke aby si upravila svoj fyzický tvar prirodzeným spôsobom tzn. aby sa „**samo-obnovila**“. Z praktického hľadiska, konkrétne opatrenia obvykle zahŕňajú obmedzenie alebo zastavenie údržby koryta alebo záplavového územia, uvoľnenie okrajov koryta alebo paleo koryta a umožnenie kolonizácie pôvodnej vegetácie, t. j. zásahy podporujúce prirodzenú obnovu. Tento prístup si často vyžaduje len malé alebo žiadne zásahy alebo len zastavenie údržby. Postupom času a na vhodných miestach dôjde k **renaturácii riečneho koryta** (napr. k vytvoreniu korytových prvkov, ako sú lavice, bermy a bočné ramená), ktorá budú mať tendenciu zlepšovať konektivitu koryta s inundačným územím a zvyšovať fyzikálnu členitosť koryta. Stupeň a rýchlosť prirodzenej obnovy závisia od miery narušenia prirodzených riečnych procesov (t. j. zvyčajne od umelých zásahov - obmedzení do fyzických procesov) a intenzity geomorfologických procesov, ktoré pôsobia v danom segmente povodia a súvisia so sklonom dna údolia, hydrológiou, transportom sedimentov a výskytom veľkých kusov dreva.

Celkový potenciál takýchto zásahov sa prejaví často až po niekoľkých desaťročiach, v závislosti od prevládajúcich podmienok lokality. Prirodzenú obnovu možno využiť vo veľkých priestorových mierkach, pričom prináša celý rad ekosystémových prínosov. Špecifikácia výsledkov môže byť menej presná a **čas potrebný na dosiahnutie očakávaných zlepšení môže byť oveľa dlhší ako v prípade riadených zásahov**. Tento typ revitalizácie je uskutočniteľný v menej využívaných a obmedzených oblastiach (napr. v oblasti bez významného povodňového rizika alebo bez dopravných sietí).

ASISTOVANÁ PRIRODZENÁ OBNOVA

Asistovaná prirodzená obnova riek sa zameriava na odstránenie obmedzení, ktoré brzdia prirodzené fyzikálne procesy, a na dosiahnutie rôznych zlepšení v pririečnej zóne. Obmedzenia vo všeobecnosti zahŕňajú rôzne inžinierske stavby – úpravy koryta a inundácie, napr. opevnenie brehov, iné objekty v toku (napr. bariéry, hate a priepusty), protipovodňové hrádze a nepôvodné invázne druhy rastlín, ktoré môžu ovplyvniť stabilitu svahov. Odstránenie obmedzení poskytuje potenciál a priestor pre prirodzené geomorfologické procesy, ktoré podporujú tvorbu väčšej fyzickej heterogenity a biodiverzity. Tak ako pri všetkých revitalizačných aktivitách, aj pri v tomto prípade je **potrebné pochopiť, ako sa zmenili prirodzené geomorfologické procesy v predmetnom úseku rieky, ako aj v povodí vyššie proti prúdu**.

Asistovaná prirodzená obnova sa dobre uplatňuje na úsekoch s vetveným korytom vzhľadom na nízky rozsah potrebných opatrení. Tento typ revitalizácie je vhodný najmä v lokalitách, kde sú fyzikálne procesy len mierne obmedzené vo vzťahu k potenciálu dynamiky geomorfologických procesov a pomerne nízkemu antropogénnemu využívaniu riečneho koridoru (napr. na poľnohospodársku výrobu, ďalšiu infraštruktúru/služby).

RIADENÁ REVITALIZÁCIA

Riadená revitalizácia zahŕňa činnosti, ako je úplná prestavba koryta (napr. „obnova meandrov“), výstavba „zloženého“ koryta alebo úprava koryta/inundácie po odstránení veľkých stavieb, ako sú priehrady a povodňové hrádze. Zvyčajne to znamená, že sú potrebné značné kapitálové prostriedky na financovanie projektových a realizačných prác, ktoré zabezpečujú špecializovaní dodávatelia v spolupráci s investorom. Jednotlivé úseky alebo oblasti plánovanej revitalizácie sa obvykle riešia ako samostatné projekty. Riadená revitalizácia sa bežne zameriava na to, aby sa aktivity vykonali podľa projektu, ktorý sa vypracuje na základe štúdie, ktorá obsahuje informácie o predmetnej lokalite z minulosti, z analogických lokalít, z teórie geomorfologického návrhu koryta a z hydrodynamického modelovania toku, v prípade potreby aj transportu sedimentov.

V závislosti od stupňa reálnych obmedzení a potenciálu pre geomorfologické zmeny v lokalite určenej na revitalizáciu sa návrh bezprostredne po realizácii samo-upraví na dynamicky stabilný rovnovážny útvar (t. j. „návrh počiatočných podmienok“). Ak k tomu nedôjde, návrh by mal obsahovať aspoň explicitné zohľadnenie procesov, na základe ktorého sa určí vhodná forma revitalizácie pre danú lokalitu (t. j. „funkčný návrh“). Takéto postupy sú vo všeobecnosti vhodnejšie pre menej dynamické prostredie alebo tam, kde je potrebné zohľadňovať ďalšie obmedzenia – napríklad blízkosť dôležitej infraštruktúry, výstavba v mestskom prostredí. Je zrejmé, že v silne obmedzenom mestskom prostredí nebude obnova fyzikálnych procesov a prvkov možná alebo žiadúca. Vyššie opísané zásady revitalizácie však môžu v aj v takýchto obmedzených prostrediach ponúknuť príležitosti na významné zlepšenia. Mestský rozvoj alebo oživenie poskytuje príležitosť na začlenenie prvkov počiatočného stavu a funkčného návrhu.

8. Príležitosti a obmedzenia

Možnosti aktívnej revitalizácie prirodzených hydrologických a morfológických foriem a procesov by sa mali posúdiť na základe dôkladného pochopenia schopnosti riečného prostredia obnoviť sa bez zásahu (alebo s pomocou veľmi obmedzeného zásahu). To pomôže určiť, kde je revitalizačný zásah najúčinnnejší a či je možné ponechať rieku na „*samo-opravu*“ alebo na prirodzenú obnovu.

8.1 Kedy je revitalizačný zásah účinný a kedy možno rieku nechať, aby sa sama obnovila?

K tomu je **potrebné vykonať hodnotenie súčasného i budúceho hydrologického režimu, morfológického stavu a dynamiky, čo umožní identifikovať stupeň a rozsah fyzikálnych zmien (t. j. vplyvov človeka), ako aj súvisiace morfológické tlaky a pretrvávajúce obmedzenia prirodzených procesov v rámci povodia.**

Tieto poznatky umožnia identifikovať, či má rieka po úprave a pri absencii trvalých obmedzení schopnosť obnoviť sa a potom stanoviť aj reálne ciele revitalizácie a časový rámec potrebný na ich dosiahnutie. Základným hľadiskom pri hodnotení morfológického stavu a dynamiky je konektivita rieky s jej bezprostredným pririečnym koridorom a širším povodím, vrátane povodí jej prítokov a príľahlého záplavového územia. Konektivita ovplyvňuje schopnosť rieky obnoviť sa prirodzeným spôsobom po technických úpravách, napríklad po vyrovnaní koryta a odstránení štrkových nánosov.

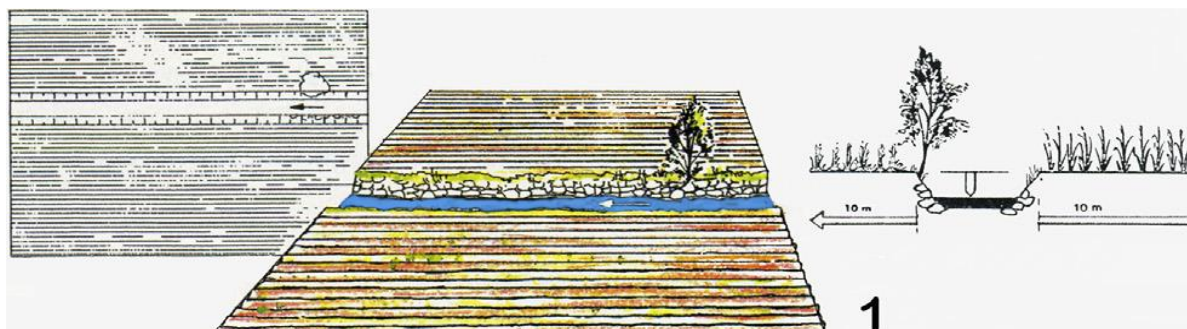
Na určenie toho, či je možná **samo-obnova** po opatreniach, ktoré bočne oddelili rieku od jej príľahlého koridoru a širšieho povodia, je dôležité zohľadniť, okrem iných, nasledovné faktory:

- miera zarezania koryta alebo prerušenia spojitosti medzi korytom a záplavovým územím
- prítomnosť hrubozrnných sedimentov (pochádzajúcich z prítokov/ svahov príľahlého územia/ inundácie a uložených v aktívnom koryte) - splaveniny
- energia rieky (sklon, prietok)
- tvorba a transport jemnozrnných sedimentov (plaveniny – povodie, brehy, čiastočne aj dno)

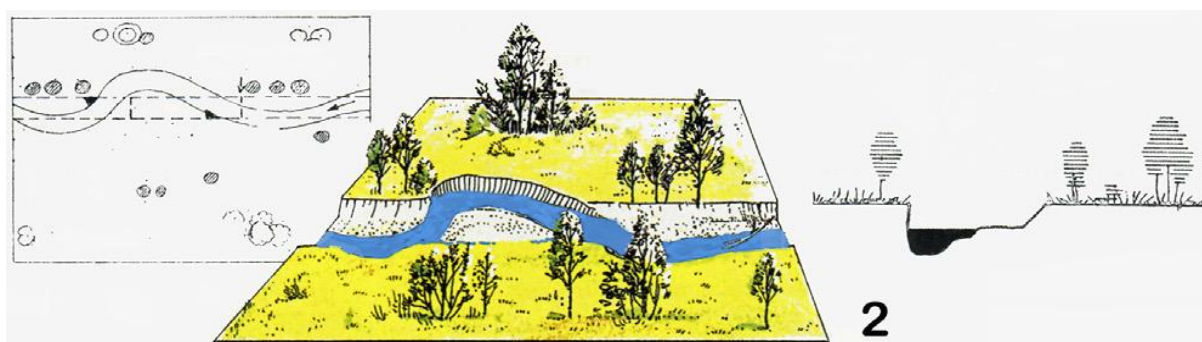
Využívanie územia v povodí môže priamo ovplyvniť hydrologické pomery a morfológický stav koryta tým, že ovplyvňuje prietok vody a transport sedimentov. Pochopenie toho, ako je rieka prepojená s jej širším povodím, umožní identifikáciu možnosti revitalizácie bez potreby zásahov v koryte, ako je napríklad zníženie odtoku vody a jemných sedimentov prostredníctvom lepšieho využívania krajiny.

Mechanizmy spojitosti riečného koridoru s povodím by sa mali posudzovať v kontexte hydrologického režimu, ktorý sa mení vplyvom zmeny klímy. Dynamika morfológického vývoja reaguje na meniace sa mechanizmy tejto spojitosti s povodím, ktoré sa budú sezónne vyvíjať v závislosti od aktuálneho klimatického scenára (mokrý a suchý obdobia). Pochopenie toho, ako **dynamika a rozsah morfológických procesov môžu byť v budúcnosti zmenené hydrologickými extrémami, je dôležitým faktorom pri posudzovaní možnosti prirodzenej obnovy alebo reakcie na ňu.**

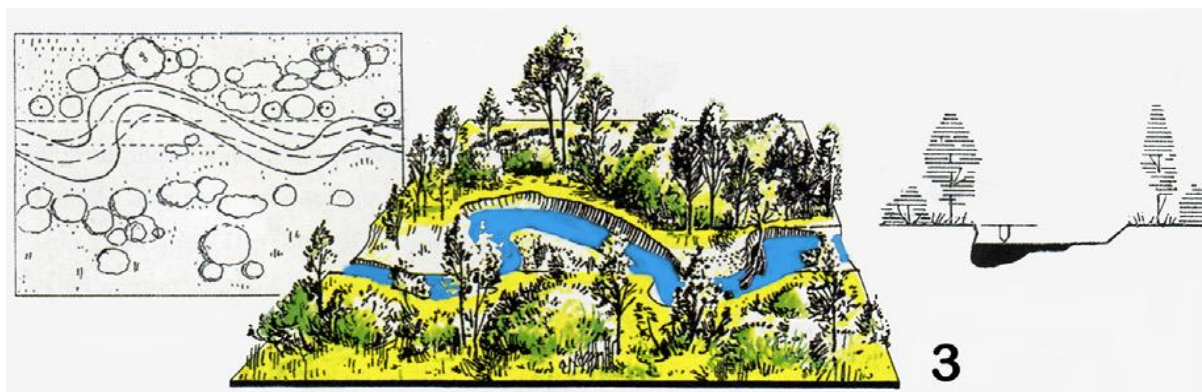
V ideálnom prípade, ak nie sú žiadne priestorové ani iné obmedzenia (infraštruktúra) a upravený tok sa môže **samo-obnoviť**, koryto rieky sa postupne vyvíja do svojho pôvodného hydromorfológického typu. Schéma TU Mníchov na obr.8.1. (Binder et al., 2015) znázorňuje postupný vývoj rieky od napriameného k prirodzene meandrujúcemu korytu, ktoré sa vytvorí po odstránení brehového opevnenia a uvoľnení laterálneho vývoja. V súlade s našimi skúsenosťami autori upozorňujú na prechodný stav, kedy nevyhnutne príde k ekologickému zhoršeniu, aby sa následne prejavilo výrazné morfológické, hydrologické a ekologické zlepšenie. Postupný vývoj je popísaný na schéme na obr.8.1.



1: Pred začiatkom revitalizačného projektu: napriamené koryto s opevnenými brehmi v poľno-hospodársky využívannej krajine, značne ochudobnené biotopy pre rastliny a živočíchy.



2: Projekt revitalizácie začína s odstránením brehového opevnenia. Hydromorfologické procesy začínajú pôsobiť – procesy erózie a sedimentácie sa podieľajú na opätovnom formovaní štruktúr prirodzeného koryta.



3: Renaturácia koryta postupuje, je riadená obnovenými riečnymi procesmi: prúdením vody a transportom sedimentov, nové koryto začína migrovať - meandrovať v záplavovom území, vytvára biotopy pre pôvodné rastlinné a živočíšne druhy.



Obr.8.1 Schéma postupného vývoja rieky od napriameného k prirodzenému riečnemu korytu (meandrujúceho typu) po odstránení brehového opevnia a uvoľnení laterálneho vývoja (Binder et al, 2015)

Scenáre s vyššou vodnosťou (časté povodne) môžu znamenať zvýšenú eróziu brehov a svahov, môžu aktivizovať zdroje a transport sedimentov a zvýšiť množstvo transportovaných sedimentov. Naopak, v riekach s obmedzeným transportom sedimentov zvýšenie energie rieky môže zvýšiť mieru zarezania - degradácie koryta a urýchliť tak oddelenie rieky od jej záplavového územia.

Scenáre s nižšou vodnosťou (sucho) prinášajú zníženie základných prietokov, pričom sa prejavuje stabilizačný účinok vegetácie v koryte, ktorý môže ovplyvniť schopnosť rieky transportovať sedimenty. Morfológická reakcia koryta na hydrologický režim v budúcnosti bude závisieť od fyzikálnych vlastností povodia a od trvalých sociálno-ekonomických obmedzení.

Nepochopenie súčasnej a budúcej dynamiky hydrologických a morfológických procesov a nedostatočné zohľadnenie spojitosti v rámci povodia môže byť prekážkou revitalizácie, ktorá by viedla k nevhodným zásahom - opatreniam (zbytočným, nefunkčným). Nesprávne predpoklady môžu viesť k revitalizácii s nereálnymi cieľmi.

8.2 Ekologické vplyvy na morfológiu toku a riziká zásahov (opatrení)

Fyzikálne formy a procesy sú ovplyvňované interakciou bioty a jej prostredím v rôznych priestorových a časových mierkach. Ako príklady možno uviesť stabilizáciu brehov koreňmi stromov a osídlenie riečneho dna (štrku) mihulami a vodnou vegetáciou, obnovu štrkového dna vhodného pre neres rýb a tvorbu jazierok a mokradí bobrími hrádzami. Návrh revitalizácie by mal vychádzať z **hodnotenia súčasných hydrologických procesov a dynamiky morfológického vývoja, pričom treba zohľadniť aj procesy a časový horizont odozvy ekosystému.**

Ciele revitalizácie a vhodný prístup k ich dosiahnutiu by mali vychádzať z poznatkov o existujúcej ochrannárskej hodnote, vrátane všetkých prítomných chránených druhov a habitatov, a o tom, ako ich podporujú zmenené podmienky. Napríklad, v určitých situáciách môže obnovenie spojitosti medzi korytom a záplavovým územím viesť k strate niektorých habitatov, ramien alebo meandrov so stojatou vodou, ktoré boli v procese úpravy oddelené od rieky (napr. dunajské ramená, meandre na Morave, Latorici, Hrone, Tise, atď.).

V niektorých riekach môže odstránenie bariéry s cieľom obnoviť konektivitu predstavovať riziko invázie nepôvodnými druhmi tých častí rieky, ktoré boli predtým neprístupné. Preto by sa mali stanoviť všetky ekologické riziká spojené s obnovou prirodzených hydrologických a morfológických procesov a mali by sa starostlivo vyvážiť s cieľmi revitalizácie v rôznych časových a priestorových mierkach. Ekologická citlivosť a životné cykly jednotlivých druhov môžu obmedziť typ revitalizačného zásahu a čas potrebný na jeho realizáciu. **Pri plánovaní jednotlivých revitalizačných zásahov by sa mali starostlivo zvážiť a zohľadniť prípadné nepriaznivé dopady takýchto aktivít najmä v určitých ročných obdobiach, napríklad v období neresu rýb a hniezdenia vtákov.**

8.3 Využívanie územia a regulácia rieky (obmedzenia revitalizácii)

Samoopravná schopnosť riečneho koryta a priestor potrebný na samoopravu, t. j. na obnovenie prirodzene fungujúceho riečneho systému, sú často obmedzené základným sociálno-ekonomickým využitím územia, infraštruktúrou a reguláciou rieky. Napríklad využívaním územia na vysoko-hodnotnú poľnohospodársku výrobu a na budovanie ciest, železničných trás, inžinierskych sietí, vodných nádrží na účely zásobovania vodou, výroby elektrickej energie a zmierňovania povodňového rizika. Aj keď v dôsledku takéhoto využívania územia nie je možná plošná obnova prírodných procesov, bude možné

minimalizovať ich vplyv prostredníctvom strategického plánovania a upraveného riadenia týchto sociálno-ekonomických aktivít.

Môže sa stať aj to, že revitalizačné návrhy bude treba prispôbiť fyzickým zmenám súvisiacim s objektmi historického alebo pamiatkového významu, ako sú napríklad hate a mlyny, najmä ak sú chránené zákonom.

Využívanie územia a vplyvy, ako je ťažba, kontaminácia sedimentov alebo priemyselná činnosť a nebezpečný odpad, tiež môžu obmedzovať obnovu prírodných foriem a procesov. Environmentálne riziká spojené s reaktiváciou sedimentov uložených v korytách alebo v inundácii, napríklad odstránením hatí alebo obnovou meandrov, by sa mali posúdiť a riadiť pomocou prístupov založených na osvedčených postupoch. Ak sú sedimenty kontaminované znečisťujúcimi látkami (najmä ťažkými kovmi) môžu byť klasifikované ako nebezpečný odpad, pričom nakladanie s takýmto materiálom môže byť značne nákladné, čím sa môže revitalizácia rieky stať výrazne neekonomickou.

Revitalizačné zásahy môžu priaznivo ovplyvniť manažment povodní, avšak nemusí tomu tak byť v každom prípade. Priebeh povodní by mal byť dostatočne podrobne analyzovaný a pochopený ako súčasť revitalizačného návrhu s cieľom zachovať požadovanú úroveň protipovodňovej ochrany. K analýzam a posúdeniu priebehu povodňových vln sa využívajú hydrodynamické numerické modely (1D, 2D). Tieto modely je možné využiť aj pri posúdení možnosti obnovy pôvodného záplavového územia a zníženia úrovne povodňových hladín (rozšírenie záplavového územia tam, kde to podmienky dovoľujú). Pri posudzovaní účinnosti protipovodňových opatrení je vhodné sa zamerať na opatrenia s integrovaným účinkom, teda také, ktoré prinesú nielen zlepšenie protipovodňovej ochrany územia, ale aj revitalizáciu riečneho systému.

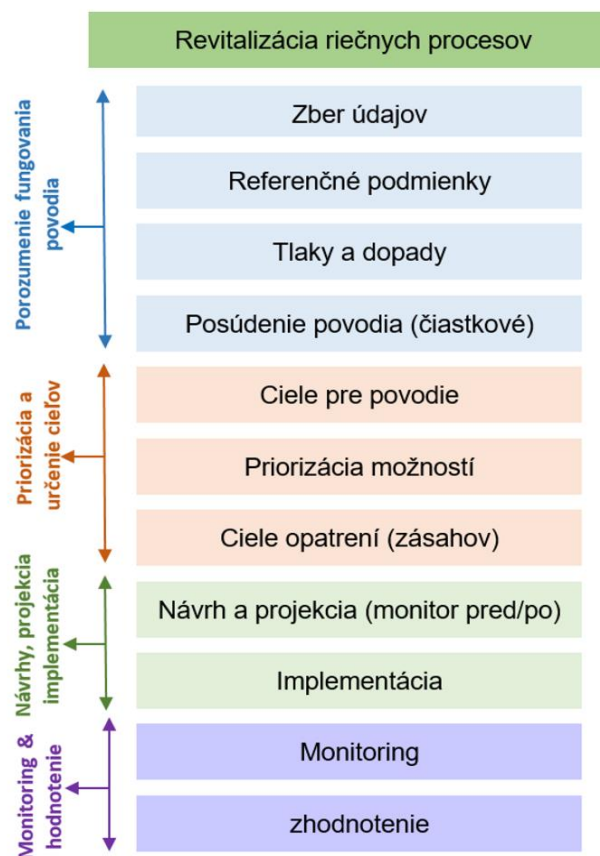
9. Realizácia obnovy rieky

Proces revitalizácie: Je nepravdepodobné, že miestne opatrenia obnovia morfológickú a ekologickú funkciu riečneho systému. Revitalizácia by mala prebiehať v rámci celého povodia a mala by byť dlhodobá, pričom by sa mala vypracovať stratégia revitalizácie s podrobným plánom, čo, kde a v akom poradí je potrebné vykonať. V tomto pláne je vhodné identifikovať jednotlivé typy revitalizácie (podľa aktuálnych možností a obmedzení), ktoré sú vhodné pre konkrétne oblasti. Stratégia pre celé povodie (čiastkové) umožňuje neskôr realizovať revitalizácie postupne "po úsekoch" a v lokalitách, kde bude revitalizácia najúčinnnejšia.

Z praktických dôvodov sa odporúča zamerať sa na jednotlivé úseky rieky (alebo na vodné útvary podľa RSV). Je dôležité, aby sa úseky rieky alebo vodné útvary posudzovali v kontexte čiastkového povodia a s ohľadom na širšie povodie. Bez takéhoto posudzovania môže byť väčšina cieľov nereálna, nedosiahnuteľná a neudržateľná.

Proces revitalizácie riek, ilustrovaný na obrázku 3 zahŕňa nasledovné etapy:

- Oboznámenie sa a povodím – pochopenie fungovania riečnej siete, základných eróznio-sedimentačných a odtokových procesov, obmedzení (tlakov)
- Stanovenie priorít a cieľov
- Návrh a projekcia
- Monitorovanie a hodnotenie



Obr.9.1 Diagram procesu revitalizácii tokov: od Analýzy povodia a pochopenie fungovania, cez stanovenie priorit (priorizácia) a cieľov, Návrhy, projekcia a realizácia, Monitorovanie a hodnotenie

Podrobné kroky v rámci týchto štyroch etáp sa vzťahujú skôr na asistovanú prirodzenú obnovu a navrhnutú revitalizáciu (v prípade aktívnej účasti) ako na prirodzenú obnovu (napr. jednoduchá ochrana územia, ktoré sa obnovuje). Úroveň podrobností použitých v procese na obrázku 9.1 by mala byť úmerná rozsahu revitalizačných prác. Napríklad na účely prác v malom rozsahu u jedného vlastníka pôdy (napr. zníženie pošliapavania dobytkom) môže byť analýza povodia a stanovenie cieľov súčasťou širšieho plánu revitalizácie, pričom „návrh a realizácia“ sú jednoducho práce dohodnuté na tento účel. Monitorovanie a hodnotenie môže byť jednoducho vo forme fotografického záznamu.

Analýza povodia

V závislosti od dostupnosti údajov a prístupnosti lokality možno na určenie referenčných podmienok použiť viacero doplnkových prístupov: použitie historických informácií (napr. mapy, písomné správy a fotografie), terénnych dôkazov (napr. dôkazy o predchádzajúcej trase koryta), informácií z potenciálnych analogických lokalít (t. j. oblastí povodia s podobnými topografickými a environmentálnymi podmienkami, ktoré však vykazujú menší ľudský vplyv) a empirických alebo teoretických geomorfologických/hydrologických vzťahov. Toto poznanie by sa malo kombinovať s hodnotením priestorového rozloženia a závažnosti vplyvov v povodí, ktoré spôsobujú odchýlky od referenčného stavu, aby sa mohli definovať ciele revitalizácie.

Je dôležité rozlišovať medzi tlakmi a dopadmi a posudzovať ich oddelene, čo pomáha lokalizovať a riešiť problémy v rámci povodia. Napríklad napriamanie koryta rieky (tlak) môže mať za následok zhoršenú kvalitu habitatov (dopad). Rovnako je užitočné rozdeliť dopady na dve kategórie: morfológické a ekologické. Súvislosti medzi tlakmi a dopadmi je potrebné posúdiť pre každý úsek rieky, ako aj pre

povodie ako celok, aby sa identifikovali najvýznamnejšie problémy v povodí. Súčasťou tohto hodnotenia by mal byť aj príspevok jednotlivých úsekov k hlavným vplyvom v povodí. Pomôže to určiť rozsah revitalizácie v rámci povodia.

Stanovenie priorít a cieľov

Ciele revitalizácie (zásahy do povodia aj do predmetnej lokality) by sa mali stanoviť až po analýze povodia. Výsledkom procesu stanovenia priorít by mali byť možnosti v predmetnom úseku rieky, ktoré znižujú najprioritnejšie vplyvy v rámci povodia riešením tlakov v rámci úseku. Môžu byť aplikované jednotlivé opatrenia alebo skupiny opatrení. Štruktúrovaný proces stanovenia priorít by mal zohľadniť nasledovné skutočnosti:

- najdôležitejšie problémy povodia, ktoré treba riešiť
- úseky rieky, ktoré najviac prispievajú ku kumulatívnym vplyvom
- možnosti v rámci úseku, ktoré najlepšie riešia problémy povodia
- režim revitalizácie určeného na základe spektra zásahov
- rozsah, v ktorom určitá možnosť umožňuje širšiu konektivitu v rámci riečnej siete.

Pri stanovení priorít by sa mali zohľadniť aj obmedzenia, náklady a dosiahnutie viacerých benefitov. Ich relatívna dôležitosť bude závisieť od geografického a sociálneho kontextu (napr. či ide o odľahlý horský tok alebo veľkú rieku, intravilán, extravilán ...). Ciele zásahov špecifických pre danú lokalitu poskytujú informácie potrebné pre fázu návrhu a realizácie.

Referenčné podmienky

Referenčné podmienky sú základným východiskom pri stanovovaní cieľov a rozsahu revitalizácie. Hydromorfologická typológia sa určuje nielen pre historický stav ale aj súčasný stav:

- Pôvodný morfológický typ – prirodzený stav (referenčné podmienky) – historické mapy archívne materiály
- Súčasný morfológický typ – po úprave

Historický stav – teda referenčné podmienky sú podmienky, v ktorých rieky fungovala v období pred realizáciou významných zásahov – úprav tokov. V SR je to zväčša obdobie konca 19. a začiatok 20. storočia. Základný hydromorfologický typ (obr.5.9) sa určuje z historických máp, napomáha pochopiť, ako rieka fungovala za prirodzených, takmer neovplyvnených podmienok. Neznamená to však návrat do tohto stavu, pretože v súčasnej dobe existuje množstvo obmedzení, ktoré je potrebné pri obnove prirodzeného fungovania rieky zohľadniť. V prípade, že obmedzenia nie sú významné, je možné aj v súčasnej dobe obnoviť aj pôvodné prirodzené fungovanie rieky – teda referenčné podmienky.

Súčasný hydromorfologický typ ukazuje mieru modifikácie rieky - obyčajne tú najvýznamnejšiu - a zároveň indikuje rozsah možných zmien riečnych procesov a s pôvodným hydromorfologickým typom ukazuje smer a rámec obnovy, ktorým sa treba pri obnove upravenej rieky uberať.

Príklad: ak mala rieka v minulosti priame koryto (podhorské toky), nie je vhodné v rámci revitalizácie koryto premeandrovať; alebo ak bolo koryto meandrujúce, nie je vhodné vytvárať vyvetvené – anastomózne koryto. Je to tak preto, že v danom fyzicko-geografickom prostredí nie sú na iný typ rieky vytvorené podmienky a preto by takáto revitalizácia nebola úspešná.

Rovnako sa neosvedčujú rôzne lokálne intervenčné zásahy do koryta napr. vytvorenie lavíc, ostrovov, ak je tok v súčasnej dobe napriamený (nie sú tam podmienky na vytváranie takýchto korytových útvarov), pretože po výskyte zvýšených prietokov by boli tieto útvary odplavené. Takéto opatrenia by mali byť súčasťou **komplexnej revitalizácie dlhšieho úseku rieky** (20 až 25 B, kde B je šírka koryta pri

brehovej vode, avšak minimálne 500 m), v rámci ktorej sú doplnené ďalšie opatrenia, ktoré podpora ich účinnosť a udržateľnosť.



Obr. 9.2 Vývoj koryta Dunaja v oblasti ostrova Sihoť od 18. storočia po súčasný stav

Typológia – 7 základných typov pre určenie hydromorfologickej typológie

Typológia sa určí na základe morfológických charakteristík: Sklon, dnový materiál, indexy sínusoidy, divočenia, vetvenia (viď. norma STN EN 14614 (2020)).

Návrh a realizácia

Pri návrhu revitalizácie je možné určiť také techniky/opatrenia, ktoré zodpovedajú referenčnému stavu a typu revitalizácie a sú najviac vhodné na dosiahnutie cieľov: **prírodná obnova, asistovaná prírodná obnova alebo riedená revitalizácia**. Nesnažíme sa podrobne opísať konkrétne techniky revitalizácie riek, pretože široká škála technických usmernení je k dispozícii inde (napr. [RRC – Restoration Manual](#)). Po identifikácii vhodných techník sa z nich môžu určiť náklady potrebné na jednotlivé možnosti (často obsahujúce viacero techník pre jednotlivé úseky riek), ktoré sú pripravené na štúdiu technickej realizovateľnosti, projektovanie a realizáciu. Výber techniky, návrh a realizácia si budú vyžadovať poradenstvo od primerane kvalifikovaných a skúsených odborníkov.

10. Postup pri návrhu revitalizácie rieky

Vodný zákon (kapitola 3) definuje postup pri návrhu a realizácii revitalizačných projektov. Revitalizácia toku sa realizuje podľa projektovej dokumentácie, ktorá sa vypracuje na základe štúdie. V zmysle diagramu na obrázku 9.1 štúdia obsahuje:

- **Zber údajov:** všetky existujúce informácie o danom úseku toku a tiež o čiastkovom povodí
- **Referenčné podmienky:** informácie o historickom morfológickom vývoji rieky v širšom úseku (segment) definovaní referenčného stavu, stanovenie hydromorfologickej typológie pre referenčný stav (pred realizáciou významných úprav koryta rieky) aj súčasný stav (po úprave)
- **Identifikovanie tlakov a dopadov** úpravy a iných ľudských zásahov, ktoré pôsobia v čiastkovom povodí (rámcovo) – detailnejšie v rámci riečneho segmentu
- **Stanovenie cieľov revitalizácie** – toto je veľmi dôležité nakoľko ciele by síce mali sledovať maximalistické pozitívne účinky avšak musia byť aj realizovateľné a udržateľné.
- **Prioritizácia možností:** formulovanie revitalizačných scenárov; návrh súboru prírode blízkych opatrení do jednotlivých scenárov s cieľom obnovy prirodzených riečnych procesov,
- **Posúdenie efektívnosti scenárov opatrení** (hydrodynamické modelovanie, v prípade potreby aj modelovanie morfológického vývoja) s dôrazom na najlepšie očakávané výsledky, ktoré je možné dosiahnuť pri rešpektovaní daných obmedzení
- **Posúdenie vplyvu výsledného scenára na priebeh hladín povodňových prietokov.**

Pri návrhoch obnovy trasy toku vychádzame z toho aký typ revitalizácie môžeme aplikovať. Ak je možné využiť **prirodzenú obnovu**, ponecháme rieku aby si sama vlastnou energiou formovala prirodzené koryto. Podobne sa postupuje aj pri **asistovanej prirodzenej obnove**, kde sa len odstráni obmedzenia, ktoré rieke bránili v prirodzenom vývoji a rieka sa tiež bude vyvíjať prirodzeným spôsobom.

Iba v prípade **riadenej revitalizácie**, keď existujú priestorové obmedzenia, je potrebné vytvoriť nové zvlnené, meandrujúce alebo vetvené (anastomózne) koryto – samozrejme podľa pôvodnej hydromorfo-logickej typológie a tiež s prihliadnutím na priestorové obmedzenia (nie vždy je možné obnoviť pôvodné koryto pôvodnej typológie). V tomto prípade je vhodné využiť relikty pôvodného koryta – ak existujú alebo modelovať koryto tak aby sa čo najviac podobalo referenčnému stavu.

Keďže úpravy koryta viedli takmer vždy k napriamaniu trasy a oddeleniu pôvodných ramien alebo meandrov pri revitalizácii sa snažíme umelo vytvorenému korytu čo najviac vrátiť pôvodný tvar tak v priečnom i pozdĺžnom profile ako aj v pôdorysnom tvare (trasa). Návrh obnoveného koryta teda zahŕňa:

- **geometriu trasy** – premeandrovanie, zvlnenie – zvýšenie sínusoidy alebo vetvenie (anastomózný tok alebo divočiaci tok)
- **dimenzie koryta, šírka a hĺbka koryta** - návrh priečných profilov – zvýšenie variability, členitosť
- **sklon dna** - pozdĺžny profil koryta – vhodný pozdĺžny sklon (dynamická stabilita – bez úsekov s významným zanášaním alebo eróziou), striedanie oblasti brodov (plytčín) a tóní (prehĺbenia)

Revitalizácia významne upravených tokov vyžaduje aplikáciu takých postupov, ktoré umožnia prirodzenú obnovu foriem – habitatov, ktoré sú v harmónii s miestnymi riečnymi procesmi. Meandrujúce koryto s tŕňami a brodmi, mŕtvymi zónami, vertikálnymi brehmi a vrcholovými lavicami by malo byť obnovené tak aby sa obnovili habitáty, ktoré boli úpravami rieky zničené (Hey, 1997). Takéto útvary nemôžu byť vyformované “náhodne” pretože nevhodne navrhnuté revitalizačné schémy by boli veľmi rýchlo zničené v rámci reakcie rieky na neprirodzene vytvorené podmienky. To zdôrazňuje

potrebu odvodiť – navrhnuť taký postup, ktorý zabezpečí aby navrhované koryto bolo v dynamickej rovnováhe a v harmónii s lokálnymi riečnymi podmienkami (hydraulické a morfológické podmienky).

Pre návrh takéhoto koryta existujú metódy, ktoré umožňujú navrhnuť trojrozmerné koryto aluviálnych tokov - využívajú sa pri návrhoch citlivých inžinierskych úprav a tiež revitalizácií.

Premenné, ktoré definujú a kontrolujú stabilnú geometriu koryta (stabilná = dynamická rovnováha)

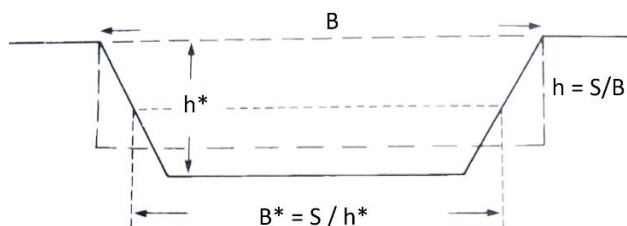
Aluviálne rieky majú 9 stupňov voľnosti (Hey, 1997), ktoré utvárajú ich priemernú korytovú šírku (B), hĺbkú (h), maximálnu hĺbkú ($h_{\max}$), výšku (Δ) a dĺžku (λ) dnových útvarov, sklon dna (i_d), rýchlosť (v), sínusovitosť (p) a dĺžku oblúka (z). Tieto považujeme za závislé premenné. Pre úseky, ktoré sú v **režime dynamickej rovnováhy** platí, že nemenia systematicky svoj priemerný tvar a dimenzie v priebehu niekoľkých rokov.. Cez takéto úseky sú transportované sedimenty bez vytvárania oblasti zanášania alebo erózie.

Premenné, ktoré kontrolujú geometriu stabilného koryta sú: prietok (Q), zásoby sedimentov (Q_s), veľkosť dnového materiálu (d), materiál brehov, brehová vegetácia a sklon údolia (i_d). Zmena niektorej z týchto nezávislých premenných môže spôsobiť zmenu geometrie koryta, ktorá bude v rovnováhe so zmenenými podmienkami. Ak je koryto stabilné, morfológia koryta bude definovaná novými hodnotami nezávislých premenných.

Vzťah medzi nezávislými a závislými premennými (rovnica kontinuity, rovnica odporu proti prúdeniu (odpor dna a brehov), rovnica pre kritické tangenciálne napätie), doplnené viacerými hypotézami extrémov (minimálna energia toku, Chang, 1979; minimálna jednotková energia toku, Yang, 1976; minimálna rýchlosť rozptylu energie, Brebner & Wilson, 1967; Yang et al., 1981; maximálny faktor trenia, Davis & Sutherland, 1983; maximálna rýchlosť transportu sedimentov, Kirkby, 1977; White et al., 1982) umožňujú stanoviť tvar a dimenzie **“stabilného”** koryta.

Režimové rovnice

Pre návrh geometrie stabilného koryta bol odvodený celý rad tzv. režimových empirických rovníc pre stabilné aluviálne koryto. Ako pri všetkých empirických rovniciach treba pri ich aplikovaní venovať zvýšenú pozornosť podmienkam, pre ktoré boli rovnice odvodené. Ich použitie by malo byť striktne obmedzené iba na také toky a podmienky pre ktoré boli odvodené. Na obrázku 10.1 sú znázornené základné dimenzie, ktoré sa stanovujú v režimových rovniciach.

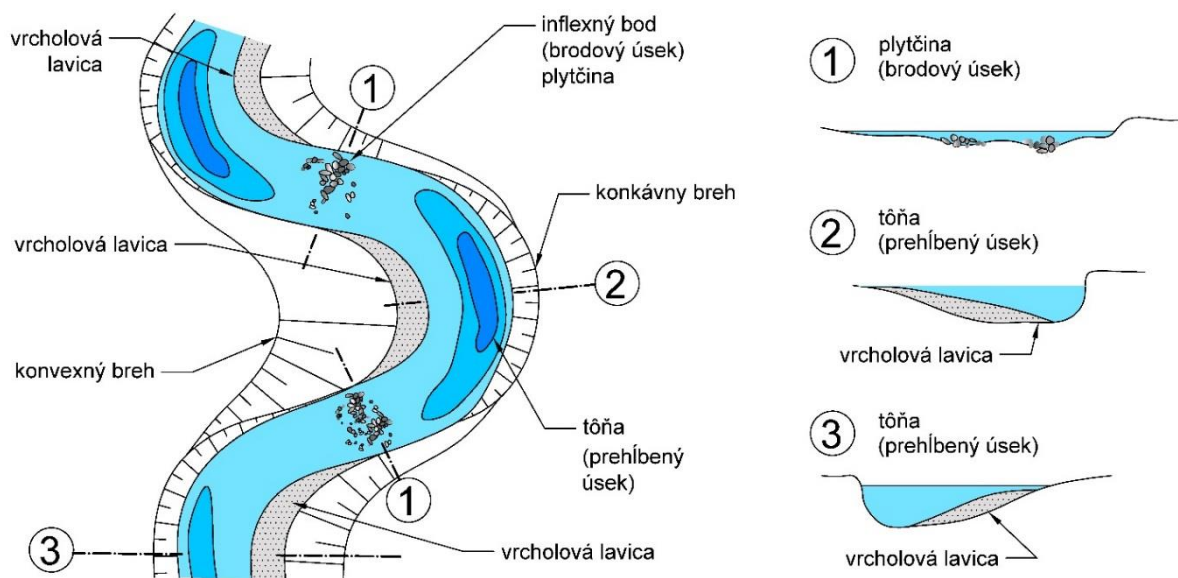


Obr.10.1 Definovanie šírky a hĺbky ktoré sa používajú v režimových rovniciach (S =plocha priečneho profilu)

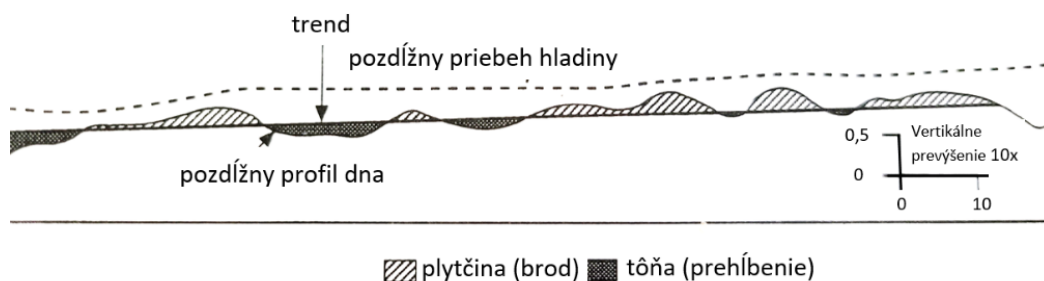
Režimové rovnice môžu byť rozdelené na základe veľkosti dnového materiálu na rovnice pre kohézne (ílové) dno ($d < 0,0625$ mm), pieskové dno ($0,0625$ mm $< d < 2$ mm) a štrkonosné rieky ($d > 2$ mm). Podobne môžu byť rozdelené podľa pohyblivosti dna na rovnice pre kvázi stabilné dno (zriedkavý transport sedimentov) alebo pohyblivé dno (takmer permanentný pohyb sedimentov - splavenín), alebo môžu byť ešte ďalej členené podľa materiálu, z ktorého pozostávajú brehy, prípadne aj brehovej vegetácie, ktorá môže mať vplyv na drsnosť (odpor) brehov. Napríklad Blench (1966) odvodil režimové rovnice pre stanovenie šírky, hĺbky a sklonu pre rieky s pohyblivým pieskovým dnom a Hey & Thorne (1986) prezentovali rovnice, ktoré definujú trojrozmernú geometriu štrkonosných mobilných tokov.

Tieto aj ďalšie režimové rovnice môžeme nájsť v odbornej literatúre (napr. Thorne, Hey, and Newson, 1997; Bray, 1982; White, Bettess, and Paris, 1952).

Pri návrhu treba mať na pamäti, že princípom revitalizačného projektu je snaha o využitie energie toku na dotvorenie koryta, pričom treba toku ponechať určitý stupeň voľnosti, preto nie je účelné projekt navrhnuť v detailnej podrobnosti ako bývalo zvykom pri úpravách tokov. Dôležité je správne navrhnuť trasu a vzorové priečne rezy (Obr. 10.2 a 10.3), ktoré ponechávajú priestor pre uplatnenie variability.



Obr.10.2 Schéma trasy zvlneného koryta – striedanie úsekov brod/tôňa



Obr. 10.3 Príklad striedania brodových a tŕňových oblastí v pozdĺžnom profile prirodzeného toku (riečka Fowey, UK, Thorne, 1997)

Nová trasa koryta sa v zásade navrhuje v údolnicovom profile, teda v najnižších miestach terénu. Vychádza sa z predpokladu, že sú dané a známe tieto okrajové podmienky:

- pozdĺžny sklon a rámcový tvar priečneho profilu
- rámcové materiálové charakteristiky prostredia (hydraulická drsnosť a charakteristiky materiálu koryta)
- rámcové základné pôdorysné tvary koryta (kapitola 5)
- údaje o prietokovom režime v riešenom úseku

Za návrhový prietok odporúčame orientačne zvoliť:

- Q_{30d} pre meandrujúce a zvlnené korytá menších tokov
- Q_1 pre korytá priame a divočiace

Priečny profil:

- odporúča sa vytvoriť variabilné priečne profily, ktoré vhodným spôsobom zvýšia členitosť koryta (dôležité pre podporu biodiverzity)
- ideálny je miskovitý tvar, prípadne rôzne typy nepravidelných profilov
- v zakrivenej trati je vhodné použitie asymetrických profilov, ktoré rešpektujú nerovnomerné rozloženie rýchlostného poľa (Macura, Halaj, 2013)
- lichobežníkový tvar s plochým dnom je nevhodný
- pri menších tokoch by mal byť pomer šírky a hĺbky koryta v intervale 4:1 – 6:1
- pri väčších riekach je pomer šírky a hĺbky koryta individuálny, vhodné je vychádzať z rozmerov pôvodného neupraveného koryta

Po prvotných návrhoch podľa uvedených zásad sa zrealizujú hydraulické a stabilitné výpočty. Rýchlosti prúdenia pri korytotvornom prietoku sa porovnávajú s nevymieľacími rýchlosťami prirodzeného materiálu koryta, prípadne sa stabilita posúdi metódou tangenciálnych napätí. Na základe výsledkov sa potom návrhové parametre korigujú, kým nespĺňajú zadané požiadavky na kapacitu a stabilitu koryta.

V nestabilných úsekoch a v lokalitách, kde je nutné chrániť objekty v okolí koryta (budovy, komunikácie, infraštruktúra a pod.) sa navrhne opevnenie podľa kapitoly 10.2.

V rámci návrhu je tiež vhodné iniciovať vytvorenie stredových ostrovčekov a štrkových lavíc, ktoré sú prirodzenou súčasťou prirodzených koryt.

Poznámka: V mnohých prípadoch, najmä pri menších tokoch, existuje v teréne stále nezasypané pôvodné koryto. Vtedy je najlepším riešením tok vrátiť naspäť doňho v najväčšej možnej miere a upravené koryto zasypať, prípadne využiť ako odľahčovací kanál (prielah) v prípade požiadavky zachovania miery protipovodňovej ochrany (obr. 10.4). Rozdelenie prietokov medzi odľahčovacím kanálom a pôvodným (revitalizovaným) korytom sa navrhuje vložением rozdeľovacích objektov s vhodne zvolenou prepadovou hranou tak, aby sa voda do odľahčovacieho kanála dostala až pri väčších vodných stavoch. Všetky bežné denné prietoky ostávajú len v pôvodnom (revitalizovanom) koryte a naopak, odľahčovací (upravený) kanál je po väčšinu roka suchý. Pôvodné koryto nie je vhodné výrazne upravovať do pravidelného tvaru, naopak, vhodné je realizovať minimum zásahov lokálnymi prehrábkami (odstrániť najväčšie prekážky prúdeniu) tak, aby voda v koryte mala možnosť tiecť a ponechať dotvorenie koryta na riečnu činnosť s využitím energie toku. Podobným spôsobom (návrhom nového odľahčovacieho kanála) je možné riešiť aj návrh protipovodňovej ochrany blízkej prírodným podmienkam za predpokladu minimálnych zásahov v pôvodnom koryte toku.



Obr. 10.4 Využitie pôvodného prirodzeného koryta na revitalizáciu v rámci starej úpravy toku

10.1 Intravilán - extravilán

Na vodné toky vo voľnej krajine a v intraviláne sú kladené rôzne požiadavky a obmedzenia, preto aj spôsoby ich realizácie sú odlišné. V otvorenej krajine je dôležité obnoviť prirodzenú trasu koryta s vinutím protismerných oblúkov a podporiť vyliatie povodňových prietokov do inundácie (tam kde je to možné) a tomu prispôbiť aj návrhové parametre a kapacitu koryta. Naopak, v intraviláne táto možnosť zväčša nie je a je nutné striktne dodržiavať protipovodňovú ochranu a túto skĺbiť so snahou o čo najlepšiu (aspoň prijateľnú) úroveň ekologického stavu vodného toku. V prípade HMWB je dôležitá snaha o dosiahnutie aspoň dobrého ekologického potenciálu – GEP (kapitola 2).

10.1.1 Opatrenia v extraviláne

Predchádzajúce technické úpravy tokov väčšinou zmenšovali pôdorysný tvar korýt a inundácií. Cieľom revitalizácie je naopak rozširovanie korýt, obnova šírky meandrových pásov a obnova prirodzene zaplavovaných inundácií.

V extraviláne, kde je typicky menej priestorových obmedzení v podobe jestvujúcej infraštruktúry, odberov vody a výústení, súkromného vlastníctva pôdy a pod., je možné revitalizácie tokov navrhovať veľkorysejšie a pri návrhu trasy a priečneho profilu nerobiť zbytočné kompromisy. Vyliatie (aj menších) povodňových prietokov do inundácie krajine nijako neprekáža, je prirodzeným javom, na ktorý je krajina pripravená a naopak, odrezanie inundácie od toku realizované v minulosti v rámci úprav tokov, krajinu významne ochudobňuje, zhoršuje jej vodný režim a znižuje biodiverzitu a ekologickú hodnotu. Navyše vyliatie vody do inundácie má efekt zdržania vody v krajine, sploštenia povodňovej vlny a zníženie rizika povodne v nižšie položených oblastiach. Preto typickou návrhovou kapacitou koryta je prietok v oblasti m-denných prietokov, orientačne Q_{30d} .

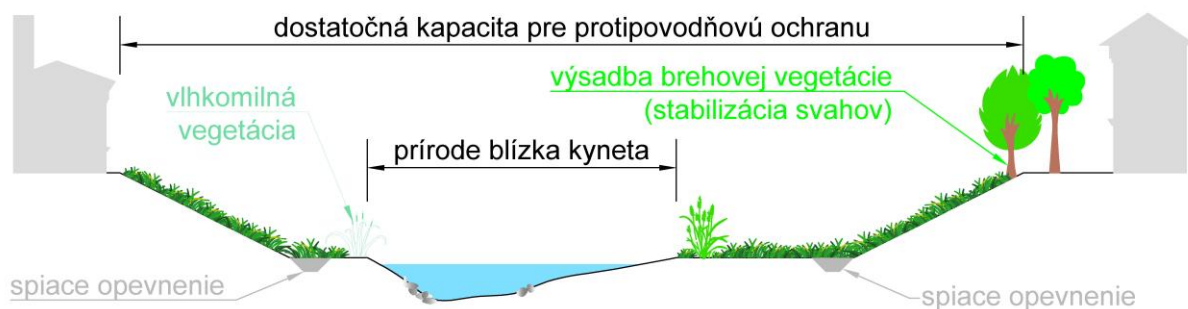
Pri návrhu revitalizácie platia zásady opísané v tejto kapitole. Odstránenie opevnenia koryta je v extraviláne samozrejmou. Opevniť je nutné len nestabilné úseky a lokality, kde sa chránia objekty v okolí koryta, ostatným úsekom sa ponechá najväčší možný stupeň voľnosti.

10.1.2 Opatrenia v intraviláne

V intraviláne je typickou situáciou vysoký stupeň reálnych obmedzení a potenciál pre geomorfologické zmeny v lokalite určenej na revitalizáciu býva rádovo nižší ako v extraviláne.

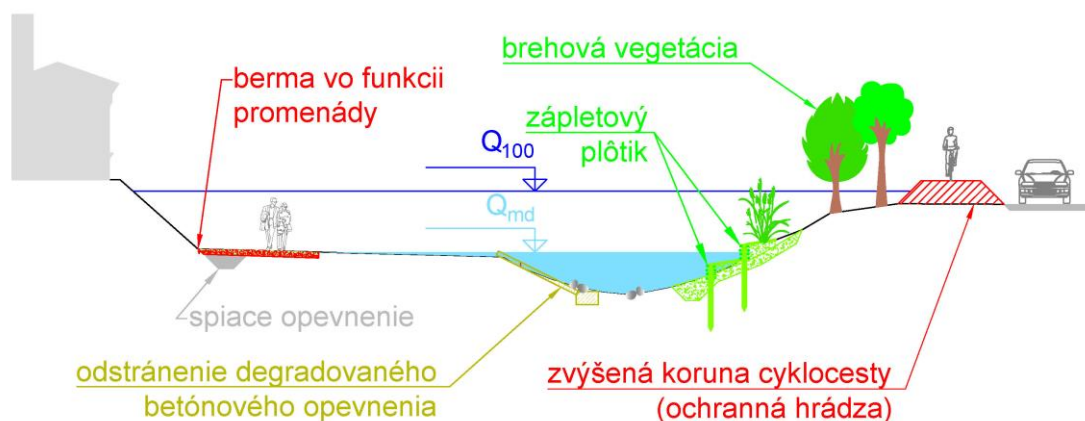
V situáciách, kde nie je možné upraviť smerové pomery celého koryta a rozvlniť napriamenú trasu (napr. kvôli jestvujúcej zástavbe, majetkovým pomerom a pod.), je v prípade širokých a hlbokých predimenzovaných korýt nevyhnutné aspoň v strede koryta vytvoriť malú kynetku (obr. 10.5) s kapacitou v oblasti menších m-denných prietokov (Q_{90d} , Q_{180d} , Q_{270d}). **Vinutie trasy** kynetky musí vychádzať zo zásad opísaných v tejto kapitole. Účelom vytvorenia takejto kynetky je koncentrácia prietokov v malovodných obdobiach a vytvorenie dostatočných hĺbok a habitatov pre vodné organizmy. Zároveň umožní korytu aspoň v menšej miere rozvíjať svoju dynamiku a riečnu činnosť. Kynetka by preto nemala byť výrazne stabilizovaná (nanajvýš bodovo) a jej dynamický vývoj (v intenciách dynamickej rovnováhy) sa považuje za pozitívny. Stabilitu celého koryta dosiahneme ponechaním (príp. podporením) opevnenia päty vonkajšieho svahu upraveného koryta.

Rozdiel tohto prístupu oproti prežitému konceptu zloženého technického lichobežníkového profilu je najmä v poňatí návrhu trasy kynetky čo najprirodzenejšieho nepravidelného tvaru s nepravidelným priečnym profilom, čo pri daných obmedzeniach zabezpečí najlepšiu možnú ekologickú funkčnosť. Naopak, pôvodné koryto starej úpravy zabezpečí dostatočnú protipovodňovú ochranu.



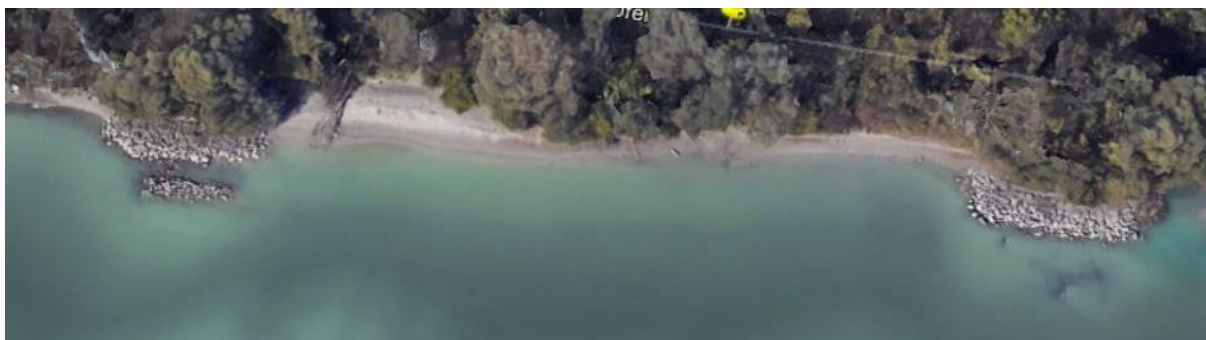
Obr. 10.5 Návrh prírody blízkej kynety v rámci starej úpravy toku

Typickým jednoducho realizovateľným opatrením v intraviláne je odstránenie dnového a brehového opevnenia a snaha o udržanie prírody blízkeho dna a brehov všade tam, kde je to možné (obr. 10.6). Pokiaľ je nutné brehové opevnenie v určitých opodstatnených úsekoch zachovať, treba sa snažiť o nahradenie technického opevnenia vegetačným alebo kombinovaným (kapitola 10.2.2) a návrh doplniť dimenzovaním a výpočtom stability (kapitola 10.2). Na obr. 10.6 sú schematicky ukázané niektoré ďalšie možnosti na skĺbenie revitalizácie toku a protipovodňovej ochrany.

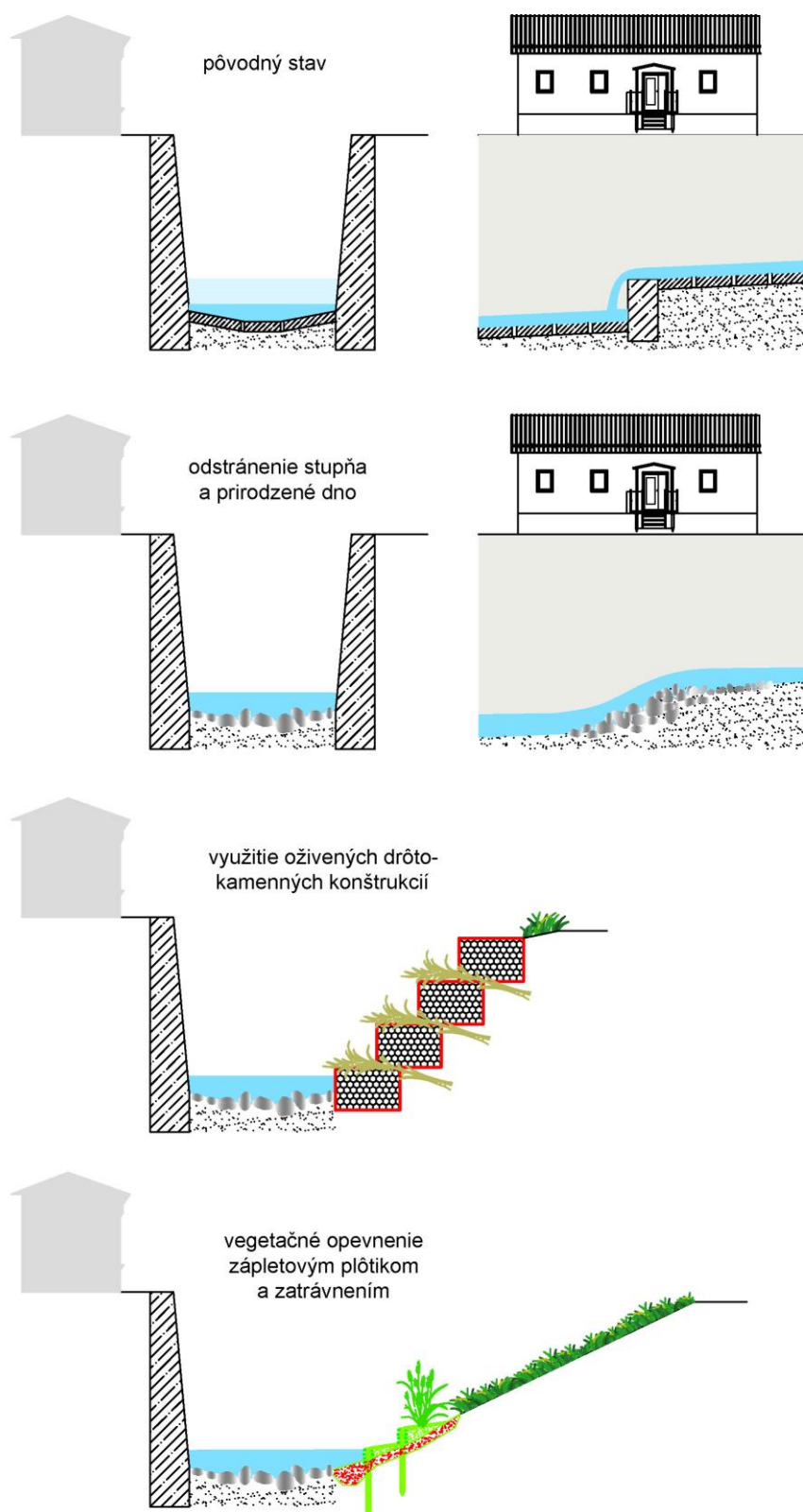


Obr.10.6 odstránenie dnového opevnenia a návrh prírody blízkeho dna

V úsekoch, kde nie je možné brehové opevnenie úplne odstrániť, je vhodnou alternatívou prerušované alebo bodové opevnenie brehu (obr. 10.7). Ide o opevnenie, ktoré je prítomné na krátkych úsekoch, s dlhšími medziľahlými úsekmi neopevneného prírodného brehu s prirodzeným substrátom a štruktúrou. Krátke časti opevnení zabezpečujú, že pozícia brehu ostáva stabilná, na neopevnených úsekoch môže dochádzať k malým posunom a deformáciám, ktoré neohrozujú okolité pozemky a infraštruktúru.



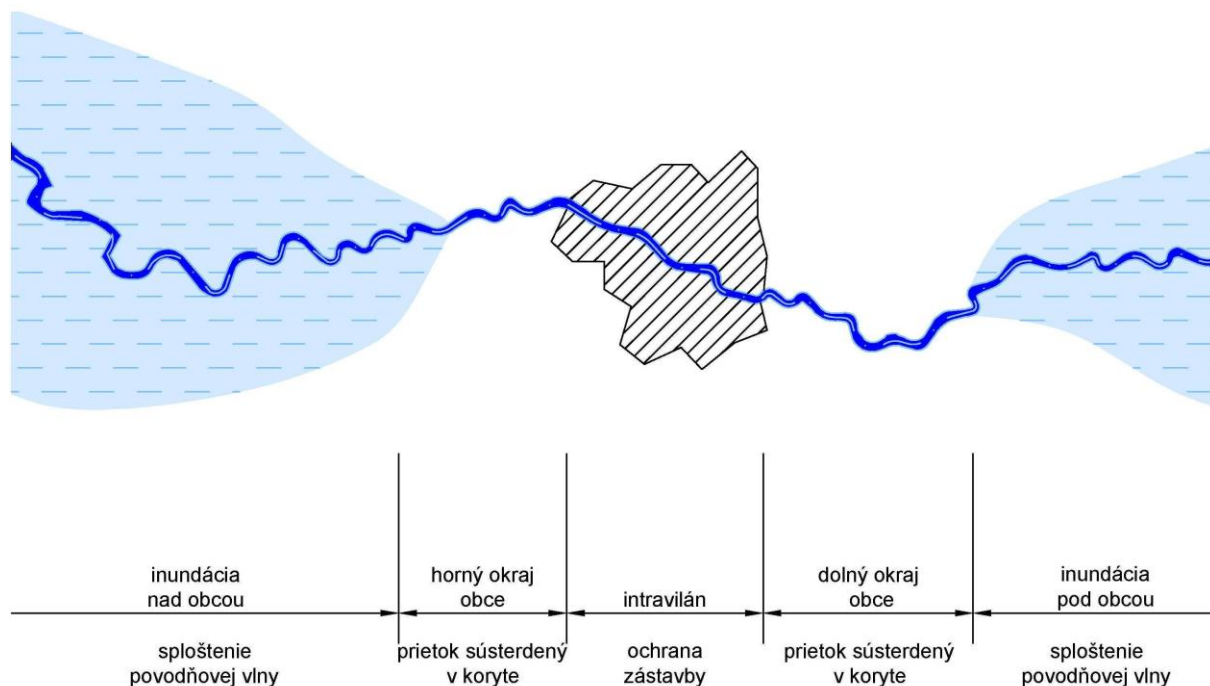
Obr. 10.7 Príklady bodového opevnenia z rieky Inn v Innsbrucku



Obr.10.8 Rôzne možnosti revitalizácie tvrdo upraveného koryta

V stiesnených podmienkach zástavby (obr. 10.8), kde nie je možné vodný tok výraznejšie rozvoľňovať, je vítané aspoň čiastkové rozšírenie koryta a čiastkové posilnenie tvarovej členitosti a variability. Ak východiskový stav (hore) predstavuje koryto uzavreté medzi dva oporné múry s tvrdo opevneným dnom a s prahmi vytvárajúcimi migračné prekážky, prínosom je aspoň sprírodnenie dna (druhý obrázok). Čím viac dovoľia priestorové podmienky a finančné možnosti (ďalšie obrázky), tým lepšie.

Charakter vodného toku na rozhraní intravilánu a extravilánu by sa nemal meniť náhle a skokovo, ale treba tu riešiť prechodové úseky (obr. 10.9). Na hornom okraji zástavby je nutné sústrediť prietok aj pri povodňových stavoch do koryta. Koryto a objekty na dolnom okraji zástavby by nemali vyvolávať nebezpečné spätné povodňové vzdutie.



Obr. 10.9 Prechodové pasáže medzi voľnou krajinou a zastavaným územím

10.2 Prírode blízke opatrenia: pre rôzne typy revitalizácie

Návrh prírode blízkeho koryta na rozdiel od návrhu úpravy toku nie je úplne exaktnou záležitosťou. Princípom návrhu revitalizácií je, že navrhnuté koryto nie je nemenné, staticky stabilné, ale malo by sa vhodne vyvíjať v režime dynamickej stability. Tento fakt do vnáša navrhovania a výstavby revitalizácií určitú mieru neistoty. Stavebne a hydromorfologicky bezpečné je koryto, ktoré sa po dokončení výstavby prirodzene vyvíja v rámci platného hydromorfologického typu, ale nie je náchylné k zmenám základného tvarového a rozmerového vzorca, ktoré by nepriaznivo menili jeho vodohospodárske a ekologické funkcie, predovšetkým sa nebude súvisle zahlbovať/zanášať a nebude podstatnejšie skracovať svoju trasu. Treba si zvyknúť na skutočnosť, že revitalizované rieky sú dynamické a budú sa v čase vyvíjať - nie sú prevažne statické ako upravené toky. Navrhovaná obnova musí byť navrhnutá tak aby sa rieka po revitalizácii vyvíjala v predpokladaných hraniciach.

Preto sa ani od revitalizovaného koryta neočakáva, že bude mať stabilné a nemenné svahy po celej svojej dĺžke, ale pri posudzovaní stability sa zameriame na úseky, kde je na mieste požiadavka na stabilné koryto.

Pri posúdení stability revitalizovaného koryta (dna aj svahov) je možné využiť tradičné metódy nevymieľacích rýchlostí vody alebo šmykových (tangenciálnych) napätí (Macura, Halaj, 2013) a vychádza sa z predpokladu, že najväčšiu prácu na formovaní a pretváraní koryta vykoná korytotvorný prietok, ktorý na stabilitu dna a brehov svojím synergickým efektom kombinácie veľkej rýchlosti prúdenia a dĺžky trvania vplýva najväčšími. K návrhu stabilného koryta možno využiť aj režimové rovnice a hypotézy extrémov dopĺňujúce základné hydraulické rovnice (kapitola 10).

Tangenciálne (šmykové) napätie (τ_c) pri dne koryta rieky rozhodujúcou mierou ovplyvňuje transport sedimentov, teda aj stabilitu materiálu, ktorým je tvorený breh. Hodnota šmykového napätia závisí od lokálnych hydraulických podmienok (rýchlosť prúdenia a hĺbka vody) a lokálnych charakteristík materiálu, ako je granulometrické zloženie, tvar a priemer častíc, uhol prirodzenej sklonitosti a podobne. Pri prekročení kritickej hodnoty šmykového napätia (pre danú veľkosť zrna dnového materiálu) dochádza k pohybu sedimentov vodného toku, resp. môže dôjsť k porušeniu stability vrstvy vodou obtekaného materiálu. Vybrané hodnoty kritického šmykového napätia v závislosti od granulometrických charakteristík dnového materiálu (Julien, 2018) sú uvedené v tab. 10.1.

Dnový materiál, ktorého granulometrické zloženie je väčšie ako prislúcha modelovanému kritickému šmykovému napätiu z tab. 10.1, možno považovať za stabilný.

Tab. 10.1 Vybrané hodnoty kritického šmykového napätia pri dne v závislosti od granulometrického zloženia dnových sedimentov (Julien, 2018)

Trieda sedimentov	efektívny priemer zrna častíc d_e (mm)	kritické šmykové napätie pri dne τ_c (N.m ⁻²)	uhol prirodzenej sklonitosti ϕ (°)
Hrubé balvany	1024 – 2048	895 – 1790	42
Stredné balvany	512 – 1024	447 – 895	42
Jemné balvany	256 – 512	223 – 447	42
Hrubé valúny	128 – 256	111 – 223	42
Jemné valúny	64 – 128	53 – 111	41
Veľmi hrubý štrk	32 – 64	26 – 53	40
Hrubý štrk	16 – 32	12 – 26	38
Stredný štrk	8 – 16	5,7 – 12	36
Jemný štrk	4 – 8	2,71 – 5,7	35
Veľmi jemný štrk	2 – 4	1,26 – 2,71	33
Veľmi hrubý piesok	1 – 2	0,47 – 1,26	32

10.2.1 Stabilita dna koryta

Prírode blízka stabilizácia, resp. opevnenie koryta má v prvom rade brániť jeho nežiaducemu zahlbovaniu. Keďže pri revitalizáciách sa snažíme najmä o obnovu pôvodného koryta, ktoré opevnené nebolo, je predovšetkým potrebné posúdiť stabilitu dna a navrhnúť potrebné prírode blízke opatrenia iba tam, kde je to nevyhnutné a kde nie sú možné iné opatrenia ako napr. predĺženie trasy toku a zníženie sklonu a energie prúdu.

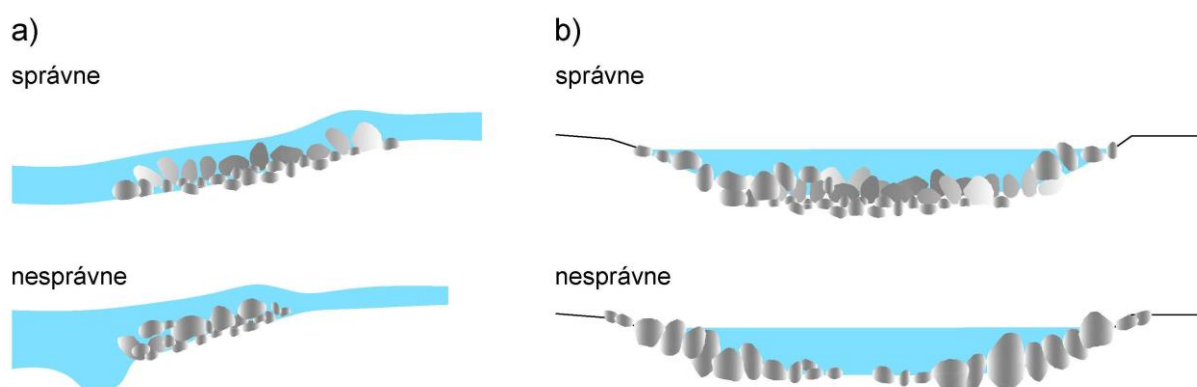
Opevnenie by malo byť materiálovo a konštrukčne prírode blízke a malo by čo najviac napodobňovať prirodzené štruktúry prírodných koryt. Najvhodnejším materiálom na opevnenie dna je kamenná rozprestierka, nahádzka alebo rovinanina s preštrkovaním, ktoré zvýši jeho odolnosť voči prúdiacej vode. Použité kamenivo by malo primerane materiálovo aj formátovo rešpektovať miestnu geológiu.

Základným prvkom stabilizácie koryta je **priečný pás z kameňov v dne** (obr. 10.10), ktorý napodobňuje prirodzený brod v koryte. Pás však nie je prah a nemal by sústreďovať spád do prepadu vody. Prepad vody môže byť rizikový z hľadiska hĺbkovej stability i migračnej priestupnosti. Vhodný je návrh systému dnových pásov, ktorý napodobňuje prirodzené striedanie brodov a tóní v aluviálnom koryte (obr. 10.2). V zvlnenom koryte systém tóní a brodov úzko súvisí so sledom oblúkov trasy. Obvyklá poloha tône je v oblúku trasy, v päte často strmého nárazového brehu a obvyklá poloha relatívne plytkého brodu, resp. pásu, vytvárajúceho prúdivejší habitat, je v inflexnom bode trasy (prechode medzi oblúkmi).

Pásky môžu byť k osi koryta kolmé alebo šikmé, prípadne môžu byť lomené. Dnové pásky a podobné prvky treba konštruovať dostatočne dlhé, aby siahali pokiaľ možno pod dolnú upokojenú hladinu a na ich dolnom okraji nevznikali rizikové prepady vody. Dĺžka pásky by bežne nemala byť menšia ako šírka dna koryta. Zároveň by pásky mali byť dostatočne široké a zaviazané do strán, čo však v žiadnom prípade neznamená súvislejšie opevňovanie línií brehov.

Odolnejšou alternatívou pásky z kameňov sú **rovnané pásky z balvanov**, ktoré sa používajú do hydraulicky viac namáhaných miest a do väčších vodných tokov. Môžu byť jedno alebo viacradové s vhodne doplneným kameňom menších frakcií.

Nie je vhodné kamene ani balvany do dna žiadnym spôsobom upevňovať, ale musia byť prirodzene stabilné vlastnou hmotnosťou.



Obr. 10.10 Dnový pás z kameniva ako základný konštrukčný prvok stabilizácie prírody blízkych koryt. a) hore správne vyhotovenie dnového pásu – pás je dostatočne dlhý, dolný okraj siaha až pod dolnú relatívne upokojenú hladinu a nenastáva výraznejší prepad vody (za spoľahlivo bezpečný z hľadiska migračnej priestupnosti možno pokladať sklon pretekaného líca pásu 1 : 40), dole nesprávne vyhotovenie pásu, ktorý je krátky a na jeho dolnom okraji vzniká prepad vody, ktorý bude vymieľať koryto a objekt destabilizovať, základné hrubé kamenivo nie je doplnené kamenivom drobnejším; b) hore správne vyhotovenie – väčšina kameniva je uložená do dna koryta, čo chráni pred nadmerným zahlbovaním, dole nesprávne vyhotovenie pásu, kde je väčšina kameniva sústredená v brehoch, zatiaľ čo stabilizácia dna je nedotatočná.

Stabilizáciu a členenie koryta vodného toku je vhodné dopĺňať prvkami a **konštrukciami z dreva**. Riečne drevo má okrem iného vyznamý morfologický vplyv na členitosť koryta, vytváranie biotopov a úkrytov pre ryby a vodnú biotu.

Použitie **betónového opevnenia** sa vzhľadom k estetickej a funkčnej nevhodnosti a k negatívnym skúsenostiam z minulosti neodporúča vôbec. Betón je pevný a nepružný materiál, ktorý sa v koryte veľmi ľahko láme, najmä v úsekoch ohrozených eróziou dna a brehov.

10.2.2 Opevnenie svahov koryta

(spracované podľa Macura, Halaj, 2013)

V závislosti od požiadaviek projektu a vypočítaných hodnôt zvislicových rýchlostí prúdenia alebo šmykových napätí sa v nevyhnutných úsekoch navrhne opevnenie na stabilizáciu kritických častí koryta. Pri návrhu je nutné na opevnenie svahov primárne využívať najmä prirodzený vegetačný materiál lokálneho charakteru, ako napríklad zatrávnenie, fašínové valce, zápletové plôtiky a pod. Na zabezpečenie stability päty svahu koryta používame zápletové a latové plôtiky, ktoré umožňujú prirodzený vývoj výmoľovej činnosti hlavne na konkávnej časti svahov. Úseky svahov nad hladinou Q_{90d}

sa snažíme opevňovať vegetačnými alebo kombinovanými druhmi opevnenia. Ako ochranu pred zmyvom trávneho semena a ornice na čerstvo osiatych svahoch môžeme použiť ochrannú protieróznú sieťovinu, alebo hydroosev. Používame i protierózne rohože, ktoré zvyšujú odolnosť zatrávnovaných častí svahov.

Trávny porast vytvára pružnú a súvislú ochranu koryta vodného toku odolávajúcu krátkodobé rýchlostiam až do 4 m.s^{-1} (tangenciálne napätie $\tau = 180 \text{ Pa}$). Ako priemerná hodnota sa uvažuje rýchlosť 2 m.s^{-1} ($\tau = 80 \text{ Pa}$). Táto odolnosť sa však dosahuje až po 12 až 18 mesiacoch od založenia trávneho porastu. Pri voľbe hladiny, od ktorej môžeme použiť tento typ opevnenia, sa opierame o poznatok, že trávny porast vo vegetačnom období znáša nepretržité zaplavenie nie dlhšie ako 14 až 21 dní. Po tejto perióde súvislého zaplavenia je k regenerácii trávneho porastu potrebný čas asi 3 týždne. V priebehu vegetačného obdobia však celková doba, kedy je porast pod vodou, nemá presiahnuť sumárne 40 dní. Týmto podmienkam spravidla vyhovujú hladiny prietoku Q_{90d} , výnimočne Q_{180d} (zohľadňujeme to v zložení trávnej zmesi).

Hodnoty medzného tangenciálneho napätia a kritické hodnoty nevymieľacích rýchlostí pre rôzne kvality trávnych porastov sú v Tab.tab. 10.2 a kritické hodnoty nevymieľacích rýchlostí pre rôzne druhy vegetačných opevnení v hĺbke vody 1m sú v tab. 10.3.

Tab.10.2 Medzné tangenciálne napätia τ_k pre trávny porast rôznej kvality a nevymieľacie rýchlosti v_v (Říha a kol., 2008)

Kvalita trávneho porastu	Medzné tangenciálne napätie τ_k [Pa]	Nevymieľacia rýchlosť v_v [m.s ⁻¹]	
		Zeminy odolné proti erózii	Ľahko erodovateľné zeminy
Hustý, rovnomerný, dobre vyvinutý a udržiavaný trávny koberec s dobre zakoreneným drnom	177	1,8	1,2
Hustý, rovnomerný, dobre udržiavaný trávny koberec	101	1,5	0,9
Trávna zmes, menej hustý trávny koberec	48	1,2	0,9
Riedky trávny porast s nepravidelným povrchom	29	1,1	0,8
Dočasný trávny porast, ročná tráva	18	1,1	0,8

Tab.10.3 Hodnoty nevymieľacích rýchlostí vody v päte svahu vybraných vegetačných opevňovacích materiálov pre hĺbku vody 1m (Macura, Halaj, 2013)

Druh opevnenia	v_v [m.s ⁻¹]
Osiatie	1,0
Vrbový porast hustý	1,9
Vrbová krytina	2,6
Latový resp. pletený plôtik	2,6
Fašinový valec	2,6
Prútoštrkový valec, oživený zrub	3,2

Použitie **vrby** ako opevňovacieho vegetačného prvku má dlhú tradíciu s veľmi dobrými skúsenosťami. Vrby majú rôznorodé využitie, veľkú regeneračnú schopnosť a rýchly rast za priaznivých podmienok. Vrby sú zastúpené množstvom odrôd vhodných na určité stanovištné podmienky. Svojím koreňovým

systémom zvyšujú stabilitu svahu, viažu pôdu do určitej hĺbky a znižujú vyplavovanie jemných častíc pôdy prúdiacou vodou. Nadzemná, ohybná časť sa pri vysokých rýchlostiach primkyna ku svahu, znižuje rýchlosť prúdenia a chráni svah pred účinkami prúdiacej vody. Preto i údržba má za cieľ zabrániť prechodu vrb na drevnatú neohybnú formu. Spravidla na výsadbu svahov vrbou používame vtedy, keď rýchlosť vody, sklon svahov, alebo vlastnosti pôdy nedovoľujú použiť zatrávnenie (osiatie, mačkovanie, hydroseiv), alebo ním dopĺňujeme trávne porasty v exponovaných častiach svahov. Pokiaľ majú vrby spevňovať brehy len dočasne, je potrebné tesne v ich blízkosti vysádzať iné dreviny, v prvom rade jelše. Podľa použitia delíme vrby do 2 skupín:

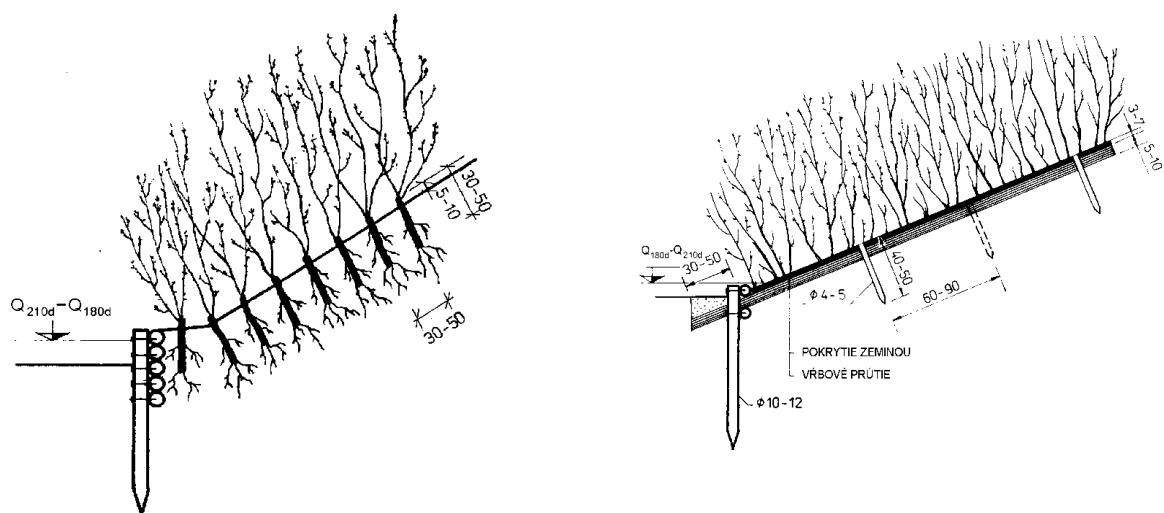
- krovité – s výškou 0,5 až 3,0 m, ktoré môžu byť šľachtené alebo nešľachtené,
- stromovité – s výškou až do 10,0 m.

Stromovité druhy vrb nemajú pre opevňovanie svahov praktický význam. Šľachtené krovité vrby vo vhodných stanovištných podmienkach rýchlo vyháňajú početné dlhé nerozvetvené prúty hodiace sa na zápletové plôtiky, fašínové valce a haťoštrkové valce. Vyžadujú však dobrú, občas prihnojovanú pôdu, inak degenerujú. Medzi túto skupinu krovitých vrb zaraďujeme vrbu košíkársku a vrbu americkú. Vrby vysádzame spravidla nad úrovňou hladiny Q_{1-80d} , resp. Q_{2-10d} prietoku, zväčša v apríli (môžeme vysádzať od konca mrazov až po koniec mája). Vrby rozmnožujeme vegetatívne pomocou narezaných prútov s priemerom do 3 cm a s dĺžkou 30 až 50 cm.

Vrbové odrezky (obr. 10.11) sa používajú na opevnenie svahu, na oživenie nahádzok, rozprestierok, rovnánin, kamennej dlažby ako aj na stabilizáciu štrkových nánosov. Vrbové prúty s priemerom 1 až 3 cm (na hornom konci 0,8 až 2 cm), dĺžky 30 až 50 cm sa režu kolmo na os vetví a pred výsadbou sa 24 hodín máčajú vo vode. Vysádzajú sa do vopred pripravených dier pri zachovaní smeru rastu (pupene smerom nahor), kolmo na svah v spone 30/30 cm až 50/100 cm a tak, aby nad povrchom zeminy vyčnievalo aspoň jedno očko. Odrezky sa vysádzajú nad hladinu prietoku Q_{2-10d} až Q_{1-80d} .

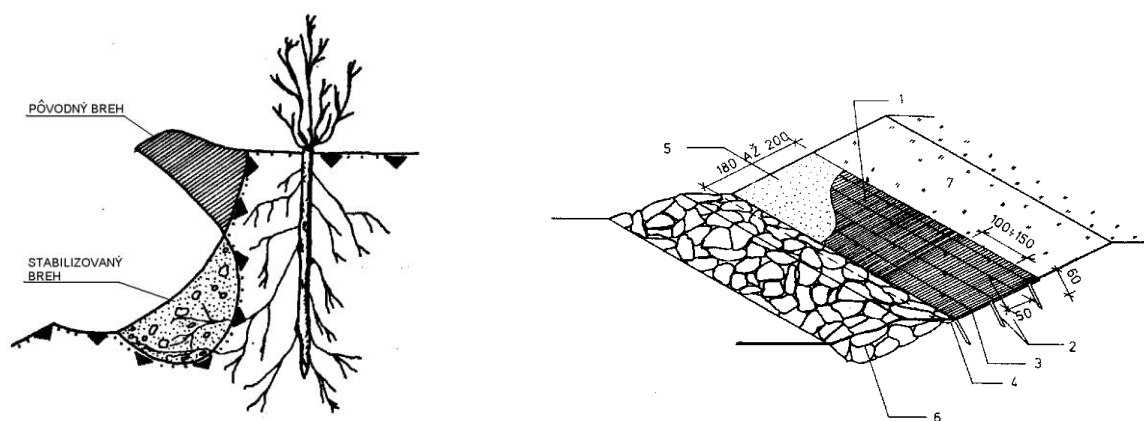
Prútený obklad (obr. 10.11) sa zhotovuje z vrbového prútia o celkovej hrúbke 5 až 10 cm, pričom hrúbka jednotlivých prútov nemá presiahnuť 4 cm. Spodné, hrubšie konce prútov o dĺžke aspoň 1 až 1,5 m sa zapúšťajú do dna a kladú sa najčastejšie naprieč svahom. K svahu sa pripevňujú drôtom priemeru 2-3 mm prichyteným ku kolíkom, usporiadaným šachovnicovo v radách vzdialených od seba 60 až 90 cm. Pripevnené vrbové prútie sa pokryje vrstvou zeminy o hrúbke 3 až 7 cm. Prútený obklad v dobrých podmienkach rýchlo zakorení a v krátkej dobe vyrastie. Obklad sa vysádza nad hladinu prietoku Q_{2-10d} až Q_{1-80d} . Pri tokoch, v ktorých sú počas vegetačného obdobia malé prietoky, sa vrbový obklad zapustí hrubším koncom do ryhy v dne hlbkej približne cca 30 cm a zaťaží kamennou nahádzkou.

Vrbové palisády (obr. 10.12) sa navrhujú na stabilizáciu vysokých podomletých brehov (brehové nátrže), pri ktorých sa ráta s tým, že horná časť brehu sa zosype a tým sa sklon svahu čiastočne zmierni. Na zhotovenie palisád používame 1,5 až 2,0 m dlhé a 3 až 8 cm hrubé čerstvé vrbové koly. Tie sa vkladajú do vopred vyhlbených otvorov aspoň do 2/3 zo svojej dĺžky. Spon volíme 40 až 60 cm. Po čase rozvinutý koreňový systém vrbových prútov zeminu stabilizuje a tým zvyšuje odolnosť svahov a zabráňuje vytváraniu brehových výmoľov, nátrží a zosuvov.



Obr. 10.11 Opevnenie svahu koryta vrbovými odrezkami (a) a prúteným obkladom (b) (podľa Novák a kol., 1986)

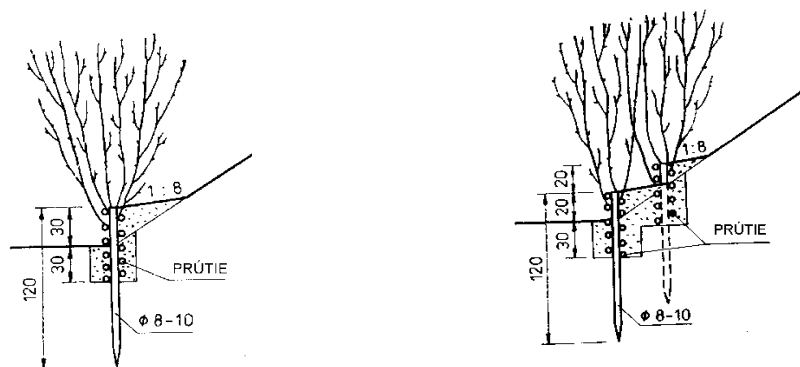
Rohože z vrbového prútia sa používajú na ochranu brehov a častí dna koryta. Vyrábajú sa strojovým spletením vytriedených nerozvetvených jednoročných prútov. Rohože dĺžky 10 až 15 m, široké 2 až 2,5 m sa stáčajú do valca. Pre lepšiu manipuláciu a skladovateľnosť sa rohož splieta z prútov ukladaných striedavo vzhľadom na orientáciu rastu. Rohož sa rozbalí na urovnaný svah a prichytí 50 až 60 cm dlhými kolíkmi s priemerom 4 až 6 cm. Kolíky sa zatíkájú v rade šikmo proti vode. Spodný okraj sa upraví ako u vrbového obkladu. Rohož po upevnení na svah sa prisype zeminou o hrúbke max. 3 cm. Prednosťou vrbovej rohože v porovnaní s vrbovým obkladom je menšia spotreba prútia a lepšie podmienky pre vegetáciu, pretože každý prút je pritlačený na svah, čo umožňuje lepší prísun živín a vlhky. Nevýhodou je menšia šírka (2,5 m) a väčšie nároky na kvalitu jednoročného prútia.



Obr. 10.12 Stabilizácia svahu palisádami (a) a rohožami z vrbového prútia (b) 1 - vrbová rohož, 2- kolíky $\varnothing$ 6 cm, 3- spleťací drôt, 4 - zaťaženie rohože pod pätkou, 5-prekrytie zeminou, 6-päta z kamennej nahádzky, 7- ohumusovanie, osiatie (podľa Macura, Halaj, 2013)

Vrbové zápletové plôtiky (obr. 10.13, obr. 10.14) používame obyčajne na zabezpečenie päty svahu koryta. Môžu byť jednoradové alebo viacrádové. Prvý rad sa vždy umiestňuje do päty svahu. Druhý rad sa umiestňuje na svahu tak, aby spojnica hrán oboch plôtikov prebiehala nad lícom svahu (spravidla rovnobežne so svahom). Koly plôtiku o dĺžke min. 1,20 m s priemerom 8 až 10 cm zarážame v smere rastu na 3/4 svojej dĺžky do dna koryta. Max. vzdialenosť medzi kolíkmi je 60 cm. Minimálna výška zápletu nad dnom je 30 cm pri jednoradovom a min. 20 cm pri viacrádovom plôtiku a v oboch prípadoch 30 cm pod dnom. Záplet plôtiku je z vrbového prútia o priemere 2 až 4 cm. Prútie sa zapletá

medzi koly v smere prúdenia a silnejší koniec prútov sa zapúšťa do dna a stien ryhy. Pod dnom je možné vrbové prútie nahradiť inou drevinou ako vrbá. Nad dnom by však min. 75 % výpletu malo byť z vrby. Výplet je z oboch strán zasypaný až po hlavy kolov zeminou, štrkom, alebo kameňmi. Jeho povrch sa urovnáva vodorovne, alebo so sklonom 1:8 smerom ku dnu a zhutní sa. Svah nad zápleťovým plôtikom sa spravidla opevňuje iným vegetačným opevnením.



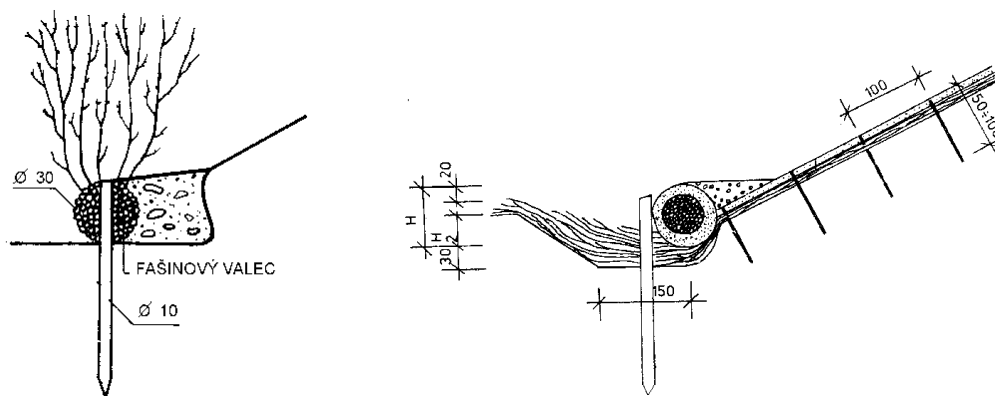
Obr. 10.13 Jednoradový a dvojradowý zápleťový plôtik (Novák a kol., 1986)



Obr. 10.14 Viacradové zápleťové vrbové plôtiky na zabezpečenie stability brehov

Fašínové valce (obr. 10.15) zhotovujeme zo zväzku čerstvého dlhého prútia, ktoré sa na koncoch vzájomne prekladá a zväzuje sa do dlhých valcov pozinkovaným drôtom (spon obviazania je 50 cm). Priemer valcov je od 20 do 60 cm.

Prútoštrkový (ponorný) valec (obr. 10.15) je v podstate prechodový článok medzi opevnením vegetačným a nevegetačným. Sú to valcové telesá o priemere 80 až 100 cm, dĺžky 5 až 10 m, ktorých obal je vytvorený z vrbového prútia vyplnený hrubým štrkom, alebo kameňom. Každých 50 cm valec previažeme drôtom o hrúbke 3 až 4,2 mm. Hrúbka fašínového obalu je v priemere 15 cm. Výhoda prútoštrkových valcov spočíva v tom, že pri svojej veľkej hmotnosti sú pevne osadené na dne koryta a pritom sú pružné a môžu sa prispôsobiť nerovnostiam dna a jeho zmenám pri eventúálnych výmoľoch. Fašínové a prútoštrkové valce používame na zabezpečenie päty svahu. Valce zaistujeme buď pribitím valca kolmi (priemer 15 až 20 cm), alebo zarazením kolu za valec a jeho priviazaním drôtom o kôl.



Obr. 10.15 Fašínový valec (a) (Novák a kol., 1986) a prútoštrkový ponorný valec (b) (Raplík a kol., 1989)

V miestach, kde je nevyhnutné líniovo chrániť svahy kamenným opevnením (napríklad hrany komunikácií, päty svahov hrádzí a pod.), je vhodné ho navrhnuť ako **zakopané spiace opevnenie** (obr. 10.5). Princíp takéhoto opevnenia je v tom, že je realizované v určitej vzdialenosti od svahu, je opticky skryté a zasypané vrstvou humusu a efektívne je až vtedy, keď voda vymelie svah a dostane sa až k opevneniu. Vtedy by sa malo po odhaleaní vodou postupne sypať na vymletý svah a stabilizovať ho. Navrhuje sa preto, aby nebol tok po celej dĺžke opevnený „priznaným“ kamenným opevnením, ktoré výrazne sťažuje prístup k toku a zbytočne znižuje jeho ekologickú a estetickú hodnotu, ale namiesto toho bude opevnenie odhalené skutočne len na miestach, kde je to nevyhnutné a ktoré si tok v dôsledku riečnej činnosti „vyberie“ sám.

V opodstatnených prípadoch, tam, kde je to nevyhnutné a nie je možné z objektívnych dôvodov použiť vegetačné, kombinované, oživené alebo spiace opevnenie, použije sa **technické opevnenie koryta** (kamenná rozprestierka, nahádzka alebo rovnanina, príp. kamenná dlažba nasucho) s preštrkovaním, ktoré zvýši jeho odolnosť voči prúdiacej vode. Celková hrúbka rozprestierky má byť aspoň trikrát väčšia ako priemer efektívneho zrna d_e . Podľa veľkosti zrna použitého pri tomto druhu opevnenia delíme rozprestierky na :

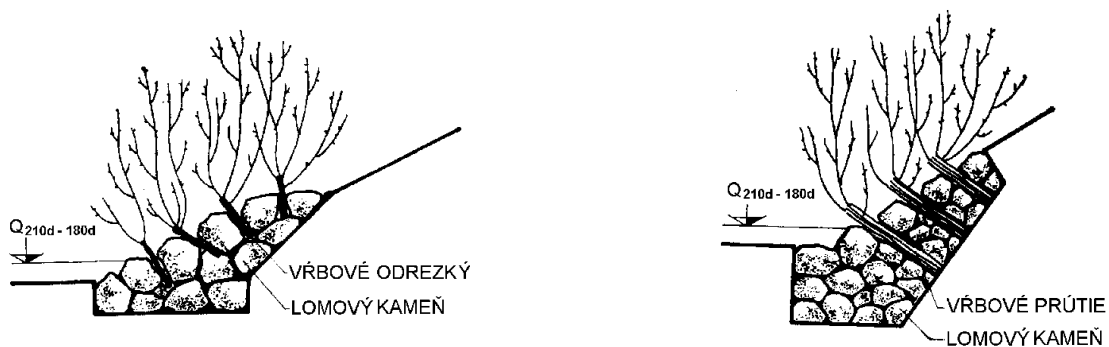
- **Ťažké rozprestierky** - z lomového kameňa sa používajú hlavne pri opevňovaní horských tokov s vysokými rýchlosťami prúdenia, u splavných tokov a kanálov, alebo v okolí objektov. Konštrukčne sa veľmi nelíšia od kamennej nahádzky a zvyčajne majú hrúbku do 50 cm.
- **Ľahké rozprestierky** - sú používané veľmi často u malých vodných tokov. Pri použití štrku z inundačného územia sa výrazne znižujú dopravné náklady.

Kamenná rozprestierka ohumusovaná a osiata trávou alebo vrbovými odrezkami (oživená kamenná rozprestierka) má zvýšenú stabilitu a tiež lepší vzhľad.

Oživená rozprestierka sa v prvej etape budovania zhotovuje rovnakým spôsobom ako rozprestierky, ale v druhej etape od úrovne hladiny Q_{210d} naniesieme vrstvu ornice minimálnej hrúbky 5 cm, osejeme trávny semenom a zavalujeme. Osiatu časť svahu môžeme chrániť protieróznou sieťovinou. Ďalšia možnosť zhotovenia oživej rozprestierky je taká, že pred vlastným nasypáním rozprestierky na svah položíme a upevníme vrbové prúty, nasypeme rozprestierku, posypeme ornice a zhutníme valcovaním. Ako vrbový materiál môžeme použiť podstielku z vrbového prútia, prípadne rezanku z prútia o dĺžke približne 30 cm.

Oživená nahádzka a rovnanina sa používa na stabilizáciu svahov koryta toku. Pre svoju pružnosť je vhodná hlavne tam, kde môžeme očakávať, že súčasne s prehlbovaním dna bude dochádzať k sadaniu opevnenia svahu. Postup prác pri zhotovovaní tohoto opevnenia je rovnaký ako u jednoduchšej

nahádzky, ale medzery medzi kameňmi sa vyplnia štrkom a ornicou. Používame spravidla vrbové prúty minimálnej dĺžky 50 cm. Sklon líca nahádzky je miernejší (menej ako 1:1, najlepšie 1:1,25).



Obr. 10.16 Oživená nahádzka (a) a oživená rovnanina (b) (Novák a kol., 1986)

Ďalšie možnosti prírode blízkeho riešenia stability svahov sú na obr. 10.16.



Obr. 10.16 Nahradenie gabionov (vľavo) kamennými matracmi Salix (vpravo) – bioinžinierske riešenie stability brehov v prípade ak treba breh zabezpečiť proti nadmernej erózii

Použitie **betónového opevnenia** na svahy a päty svahov (rovnako ako na dno koryta) sa vzhľadom k estetickej a funkčnej nevhodnosti a k negatívnym skúsenostiam z minulosti neodporúča vôbec.

11. Opatrenia na zabezpečenie pozdĺžnej kontinuity transportu sedimentov, vodnej bioty a rýb

Narušenie pozdĺžnej kontinuity priečnymi bariérami (priehrady, hate, stupne, priepusty, atď.) patrí k najvýznamnejším tlakom, ktoré významne prispeli k hydromorfologickej a ekologickej degradácii našich riek. Narušením pozdĺžnej kontinuity došlo k prerušeniu transportu sedimentov, čo ovplyvňuje nerovnomernú distribúciu sedimentov vytváraním oblastí zanášania nad vodným dielom a oblastí degradácie – zahĺbenia dna v oblasti pod vodným dielom (obr.11.1).

V oblasti nad vodným dielom dochádza k vzdutiu hladiny a spomaleniu prúdenia. Vplyvom zmenených podmienok prúdenia sa v oblasti vzdutia vytvárajú nánosy hrubších (splavenín – na konci vzdutia) a jemných sedimentov (plavenín - v oblasti od konca vzdutia po konštrukciu bariéry). Hrúbka nánosov narastá od konca vzdutia v smere po prúde.



Obr. 11.1 Schéma procesov sedimentácie a erózie v oblasti priečnej bariéry na toku (prerušenie pozdĺžnej kontinuity transportu sedimentov)

Prevažná väčšina vodných diel má 100% záchytnú schopnosť splavenín (hrubších sedimentov) a preto v oblasti pod vodným dielom vyteká tzv. hladová voda – teda voda bez splavenín. Hladová voda má však transportnú kapacitu, ktorú si v prípade nedostatku dopĺňa z dna pod vodným dielom a tak dochádza v tejto oblasti k zahĺbovaniu. Okrem toho priečne bariéry bránia migrácii rýb a vodnej bioty a prispievajú k fragmentácii riečneho systému. Negatívne účinky sa ešte viac prehlbujú (kumulatívny účinok) v prípade tzv. kaskád vodných diel, kde vzdutie od jednej bariéry siaha po ďalšiu bariéru. Takto je zakaskádovaných veľa európskych riek, napr. Dunaj na nemeckom a rakúskom úseku, Rhona, Rýn, Váh, atď.

Pre obnovu pozdĺžnej kontinuity existuje viacero opatrení, pričom to najefektívnejšie je úplné odstránenie bariéry z koryta rieky (obr.11.2). Nepriaznivá situácia na európskych tokoch viedla k tomu, že v dokumente EK - Stratégia biodiverzity 2030 bola formulovaná požiadavka na obnovu 25 000 km voľne tečúcich tokov odstránením priečných bariér a revitalizáciou ich záplavových území.

Preto pri návrhoch opatrení na obnovu pozdĺžnej kontinuity je potrebné vždy zvážiť aj možnosť úplného odstránenia bariéry. V prípade, ak bariéra neslúži svojmu účelu alebo je v zlom technickom stave, ktorý by si vyžadoval vysoké náklady, je vhodné po dohode s prevádzkovateľom bariéry odstrániť. V mnohých krajinách Európy existuje už veľa praktických príkladov efektívneho odstránenia bariér (obr.11.2). Úplným odstránením bariéry sa dosiahne obnova pôvodných prirodzených procesov prúdenia vody a transportu sedimentov a úplne sa obnoví migrácia rýb a vodnej bioty. Vytvorí sa predpoklad pre možnosti nadväzujúcej revitalizácie vlastného koryta rieky v oblasti, odkiaľ bola bariéra odstránená.



Odstránenie priehrady (hate) Gotera
© Spanish Ministry of Agriculture and Fishing Food and Environment



Odstránenie bariéry na rieke Cumbria – revitalizácia rieky

Obr. 11.2 Odstraňovanie bariér na európskych riekach



Balvanitý sklz Gellibrand

© foto Steve Saddlier



Balvanitý sklz – TU Braunschweig

Obr. 11.3 Zdrsnené sklzy vybudované na prirodzených tokoch

V prípade, ak je potrebné zachovať vzdutie a výška bariéry nepresiahne 2,5 m, najvhodnejším spôsobom spriechodnenia bariéry je vybudovanie zdrsneného sklzu (obr. 11.3). Parametre zdrsneného sklzu možno navrhovať podľa aktualizovanej Metodiky spriechodňovania priečných bariér na vodných tokoch pre ichthyofaunu (Polák a kol., 2023). Zdrsnený sklz sa najviac blíži k prirodzeným podmienkam, čiastočne umožňuje transport sedimentov a migráciu rýb a vodnej bioty.

Ak je potrebné udržať väčší rozdiel hladín, kontinuitu pre ryby a vodnú biotu je možné zabezpečiť bočnou alebo celokorytovou rampou (obr. 11.4). Rampy však nezabezpečujú kontinuálny transport sedimentov a tak tieto objekty je potrebné doplniť ďalšími opatreniami, ktoré kompenzujú narušenie transportu sedimentov.



Celokorytová rampa na priehrade Frankenmuth / rieka Cass



Bočná rampa (zdrsnený sklz) v časti šírky koryta (D)

Obr. 11.4 Celokorytová balvanitá rampa – upravená aj pre výskyt nízkych prietokov (vľavo) a bočná rampa vybudovaná prevažne z prirodzených materiálov (kamene a balvany)

V prípade stredných a veľkých priehrad je pre ryby optimálne vybudovať biokoridor (obr.11.5), ktorý vytvára lepšie podmienky pre migráciu rýb ako technický rybovod. Vybudovanie biokoridoru je však náročné na priestor, preto sa častejšie budujú tam kde sú priehrady obklopené prírodným prostredím. Parametre biokoridoru sa pre dané rybie pásma stanovujú podľa usmernenia Metodiky spriechodňovania priečných bariér na vodných tokoch pre ichtyofaunu (Polák a kol., 2023). Aj v tomto prípade ide iba o zabezpečenie kontinuity pre ryby a vodnú biotu. Režim sedimentov však zostáva rovnaký a preto aj v tomto prípade treba doplniť opatrenia na obnovenie transportu sedimentov najmä ak ide o veľké priehrady s výrazným dopadom na bilanciu sedimentov. Najčastejším doplnkovým opatrením je umelé dozásobovanie koryta pod vodným dielom splaveninami (množstvá by mali zodpovedať transportnej kapacite rieky pri daných prietokoch vody) a zároveň aj odstránenie časti brehového opevnenia z koryta pod VD, ktorým sa dosiahne čiastočné rozšírenie koryta, pokles energie a transportnej kapacity koryta. Ďalšie zníženie transportnej kapacity je možné dosiahnuť úpravou objektov v koryte pod VD, napr. úprava výhonových sústav (Dunaj) a/alebo smerových stavieb.



Biokoridor v prírodnom prostredí

© foto Adam Soule



Biokoridor v urbanizovanom prostredí

Obr. 11.5 Biokoridory vybudované v prírodnom a urbanizovanom prostredí

Ak nie je možné na vodných dielach vybudovať biokoridor, je technický rybovod (obr.11.6) poslednou možnosťou ako zabezpečiť migráciu rýb a vodnej bioty. Navrhnutie a vybudovanie technického rybovodu je však veľmi náročné, o čom svedčí veľké množstvo vybudovaných technických rybovodov, ktoré však nie sú funkčné. Najnáročnejšie je zabezpečiť tzv. lákavý prúd – dostatočne rýchle prúdenie v oblasti nátok a tiež výtoku z rybovodu, tak aby ryby rybovod našli a aby boli schopné vyplávať s tendenciou migrovať ďalej proti prúdu. Dôležité sú aj hydraulické podmienky prúdenia priamo v rybovode, ktoré musia umožniť, aby ryby v danom rybom pásme dokázali cez rybovod bezpečne preplávať. Aj v tomto prípade sa obnovenie kontinuity vzťahuje len na ryby a vodnú biotu a preto je potrebné doplniť vybudovanie technického rybovodu aj ďalšími doplnkovými opatreniami na kompenzáciu prerušenia kontinuity transportu sedimentov (opísané vyššie).



Technický rybovod na rieke Severn (UK)

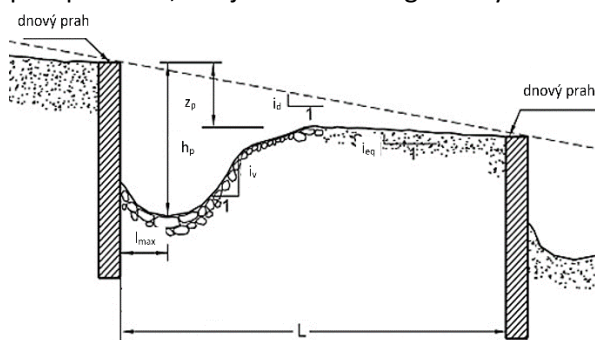


Rybovod na rieke Hull (2020) UK

© foto Kevin Finn

Obr. 11.6 Biokoridory vybudované v prírodnom a urbanizovanom prostredí

Okrem riadeného dopĺňania koryta riečnymi sedimentami na úsekoch riek s ich deficitom a zmenenou štruktúrou, teda pod vodnými dielami (úseky erózie/degradácie) je možné zmierniť zahĺbenie dna zvýšením nivelety dna na úsekoch ovplyvnených degradáciou dna a poklesom hladín (dnové prahy, nízke stupne do výšky max. 0,5 m). Stabilizácia dna dnovými prahmi a/alebo nízkymi stupňami (obr.11.7) umožňuje zabezpečiť požadovanú stabilitu dna a zároveň nenarušiť výraznejšie transport sedimentov. Vzhľadom k tomu, že prahy aj stupne sú nízke objekty do výšky max. 50 cm, možno predpokladať, že aj kontinuita migrácie rýb a vodnej bioty bude zabezpečená.



Obr. 11.7 Prevencia zanášania vodných nádrží – protierózne opatrenia v povodí nad vodnou nádržou

Bariéry na tokoch alebo na riečnych ramenách často vytvárajú aj nevhodné rúrové priepusty s malým prierezom, ktoré bývajú zanesené sedimentami a zvyškami naplaveného odpadu a mŕtveho dreva. Aj takéto bariéry je potrebné odstraňovať buď úplne bez náhrady, alebo náhradou za veľkorozmerné priepusty, ktoré umožňujú migráciu vodných živočíchov i transport sedimentov. Takéto veľké rámové priepusty (obr. 11.8) umožňujú v prípade potreby aj efektívnu údržbu.



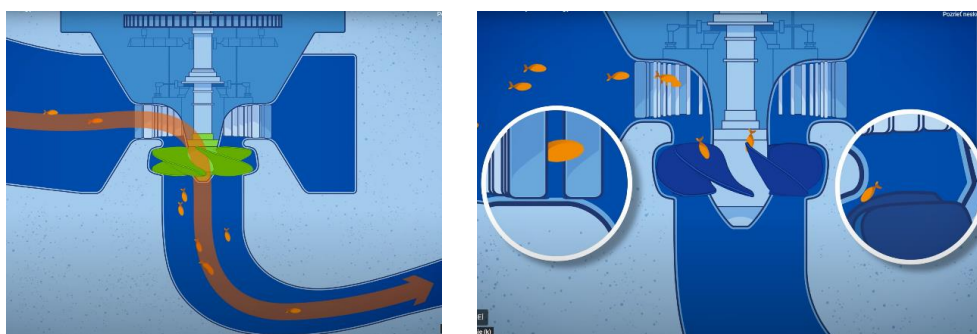
Odstránenie bariéry old Norco na rieke Richmond Casino, New South Wales



Priepust na sprietochennom devínskom ramene – umožňuje migráciu rýb a vodnej bioty

Obr. 11.8 Príklady rámových veľko-prierezových priepustov na tokoch/ramenách

Na malých vodných elektrárňach je čiastočným riešením aj inštalácia „fish-friendly“ eko-turbín, ktoré umožňujú bezpečnú poprúďovú migráciu rýb (obr.11.9). Protiprúďovú migráciu, ktorá je najčastejšiu požiadavkou, však týmto spôsobom nie je možné zabezpečiť.



Obr. 11.9 Schéma technológie pre ryby priateľskej (fish friendly) turbíny

12. Monitorovanie a hodnotenie – abiotický a biotický monitoring

Cieľom programu monitorovania a hodnotenia plánovanej revitalizácie je opísať a kvantifikovať zmeny, ktoré nastanú v dôsledku revitalizácie. Takýto program treba napláňovať od začiatku jej realizácie. Čo presne sa bude monitorovať a hodnotiť, bude závisieť od cieľov a od rozsahu revitalizačných prác. Vo všeobecnosti monitorovanie a hodnotenie patrí do jednej z dvoch kategórií, t. j. do kategórie **potvrdzujúceho** alebo **prieskumného** monitorovania/hodnotenia.

Obmedzenia pre monitorovanie: hydromorfologický monitoring by sa nemal vykonávať okamžite po výskyte väčšej povodne (Q s opakovaním viac ako 10-20 rokov). Takéto extrémne prietokové situácie môžu značne ovplyvniť interpretáciu výsledkov vo vzťahu k tvaru koryta a prebiehajúcim procesom, ktoré sa po prechode povodne časom zmierňujú. V takýchto prípadoch sa odporúča, aby sa monitorovanie uskutočnilo až po niekoľkých rokoch (2-3 roky).



Obr.12.1 Pohľad na rieku krátko po realizácii revitalizačných opatrení – premeandrovanie napriameného toku v poľnohospodársky využívannej krajine (Holandsko)

Pri hodnotení výsledkov revitalizácie treba mať na zreteli, že hydromorfologická odozva rieky na realizované opatrenia je pomerne rýchla a preto pozitívne účinky sa vo veľkej miere prejavajú už po prechode korytotvorných prietokov (Q_1 až Q_2), teda často už po prvom roku po realizácii opatrení.

Zlepšenie ekologického stavu sa však prejaví až v dlhšom časovom horizonte. Toto dokumentujú aj fotografie na obrázku 12.1, kde je znázornený stav koryta rieky po jej zvlnení (úpravou napriamený tok). Po realizácii opatrení často dochádza **dokonce k dočasnému zhoršeniu ekologického stavu, keďže realizácia opatrení môže predstavovať pomerne veľký zásah do riečneho ekosystému**. Pozitívne účinky sa prejavajú až v dlhšom časovom horizonte, po ustálení hydromorfologických parametrov koryta a ich postupnom biologickom osídlení, ktoré obvykle trvá niekoľko rokov (2-4 roky a viac).

Pre posúdenie úspešnosti vykonanej revitalizácie je veľmi dôležité realizovať **po-realizačný hydromorfologický a biologický monitoring**, ktorý preukáže účinnosť jednotlivých opatrení i komplexný účinok celej revitalizácie. Výsledky monitoringu naznačia aj prípadné nedostatky a možnosti ich následného odstránenia. Úspešnosť revitalizácie sa hodnotí vo vzťahu k pôvodnému stavu pred realizáciou.

Pre väčšinu vodných útvarov povrchových vôd SR sú k dispozícii výsledky hodnotenia súčasného stavu hydromorfológie a biológie (ekológie) vykonané v rámci hodnotenia ekologického stavu (VÚVH) pre potreby Rámcovej smernice o vode (RSV). Toto hodnotenie je teda porovnávacou bázou pre posúdenie účinnosti opatrení po vykonaní revitalizácie. Pre potreby posúdenia ekologického stavu je rozsah monitorovania hydrologických a morfológických parametrov stanovený RSV. V konkrétnych podmienkach rieky je potrebné zvážiť špecifické podmienky a prispôsobiť rozsah monitorovaných parametrov.

Rozsahom menší ale dôkladne vykonaný monitoring poskytne kvalitnejšie výsledky ako rozsiahly (na území celej SR) ale povrchný monitoring. Podobne by sa malo postupovať aj pri identifikovaní rozsahu hydrologických a morfológických parametrov, ktoré je potrebné monitorovať s uvažovaním špecifik opatrení i miestnych podmienok.

Potvrdzujúce a prieskumné monitorovanie

Potvrdzujúce monitorovanie/ hodnotenie: je jednoduchý proces potvrdzovania hydromorfologických a ekologických očakávaní. Napríklad zmeny trasy toku – formovanie očakávaných habitátov, zvýšenie členitosti koryta, stav brehov, prietokové pomery, variabilita prietokov a hladín atď. V oblasti ekológie napríklad prítomnosť xylofágneho hmyzu v miestach, kde boli do koryta osadené veľké kusy dreva, korene stromov v brehoch, alebo kde je koryto viac zvlnené (zmena trasy). **Potvrdzujúce hodnotenie** nedokáže identifikovať súvislosti medzi základnými ekologickými procesmi. Naopak, **prieskumné monitorovanie a hodnotenie** zahŕňa zber podrobných informácií o viacerých súvisiacich premenných s cieľom odpovedať na otázky súvisiace s výsledkom revitalizačného zásahu. Okrem preukázania úspešnosti je čoraz viac potrebné preukázať, ako revitalizácia prispela k náprave rôznych hrozieb, ako je zmena klímy, povodňové riziko alebo strata biodiverzity, bez ohľadu na hlavný dôvod revitalizácie.

Na kvantifikáciu zmeny akejkoľvek premennej typu ukazovateľ (indikátor) v teréne pre účely prieskumného monitorovania a hodnotenia je potrebné zmerať prirodzenú variabilitu prostredia a stupeň zmeny spôsobenej revitalizáciou. Najspoľahlivejším spôsobom, ako to dosiahnuť, je monitorovanie v zmysle „**Pred-Po-Overenie-Dopad**“ [„**Before-After-Control-Impact**“ (BACI) monitoring], ktorý umožňuje oddeliť účinky revitalizácie od prirodzenej variability. Bez takého monitorovania by bolo ťažké kvantifikovať resp. zaznamenať zmenu, ktorá je výsledkom konkrétnej revitalizačnej činnosti. Údaje sa zbierajú súčasne z miesta **Dopadu** (t. j. z miesta revitalizácie) a z miesta **Overenia**, pred začatím revitalizácie a po jej dokončení (CEN/TC 230/WG 25/N191).

Výber lokality **Overenia** (profil, miesto, úsek ...) v programe monitorovania BACI je potrebné dôkladne zvážiť. V ideálnom prípade by sa malo použiť viacero **Overovacích lokalít**, aby sa zohľadnili rozdiely v priestorovej variabilite a časových trendoch sledovanej premennej (tabuľka 10.1). Overovacie lokality by mali zostať fyzicky nezmenené počas celého trvania monitorovacieho programu tzn., že lokality budú rovnaké pri monitorovaní Pred aj Po. Viaceré **Overovacie** lokality umožňujú monitorovanie daných indikátorov v rôznych lokalitách (t. j. priestorová a časová variabilita). Preto je dôležité, aby sa Overovacie miesta vybrali tak, aby pokryli celý rozsah typov habitátov, ktoré môžu byť zmenené vplyvom revitalizácie.

Rozdiel zistený medzi miestami **Overenia** a **Dopadu** v období **Pred** revitalizáciou kvantifikuje rozdiel medzi týmito miestami v prípade absencie akéhokoľvek revitalizačného zásahu. V období **Po** revitalizácii sa rozdiely pozorované medzi miestami **Overenia** a **Dopadu** porovnávajú s pozorovaniami z monitorovacieho obdobia **Pred**. Na posúdenie toho, či došlo k zmene v dôsledku revitalizácie, musí byť zaznamenaná štatisticky významná zmena v premenných **Pred** a **Po** v mieste **Dopadu** v porovnaní s premennými **Pred** a **Po** v mieste **Overenia**, často označovaná ako „významná interakcia“. Musí sa zväžiť aj opakovanie vzoriek, pričom sa musia pozbierať minimálne tri vzorky, aby sa získali údaje, ktoré sa dajú štatisticky vyhodnotiť.

Tabuľka 12.1 Príklady rozdielov medzi technikami potvrdzujúceho a prieskumného monitorovania /hodnotenia a závery, ktoré možno vyvodit' z ich aplikácie

opatrenie revitalizácie	Prístup k monitorovaniu a hodnoteniu	Technika monitorovania a hodnotenia	Možné závery
prepojenie meandrov na napriamenej rieke	fotografovanie z pevného bodu	potvrdzujúca	trasa koryta sa zmenila
prepojenie meandrov na napriamenej rieke	monitoring BACI	prieskumná	zmeny trasy koryta viedli k významným zmenám v biote, ktoré súvisia s abiotickými faktormi
zvýšenie sínusoidy rieky integráciou veľkých kusov dreva v brehovej línii	zber xylofágnych bezstavovcov	potvrdzujúca	veľké kusy plávajúceho dreva podporujú druhy bezstavovcov s xylofágou stratégiou výživy
zvýšenie sínusoidy rieky integráciou veľkých kusov dreva v brehovej línii	fotografovanie z pevného bodu	potvrdzujúca	sínusoida rieky sa zmenila
zvýšenie sínusoidy rieky integráciou veľkých kusov dreva v brehovej línii	monitoring BACI	prieskumná	osadenie zvyškov dreva do koryta výrazne zmenilo biotu, ktorá zahŕňa aj xylofágne spoločenstvo
úprava brehov na zlepšenie laterálnej konektivity	pozorovanie vtákov z rozhľadne	potvrdzujúca	v prierečnej zóne sa udomácnili vtáky, ktoré žijú v zaplavených oblastiach
úprava brehov na zlepšenie laterálnej konektivity	monitoring BACI	prieskumná	úprava brehov viedla k významným zmenám v inundačnom území, ktoré podporujú značne odlišnú flóru a faunu

Odchýlky od návrhu **BACI** povedú k zberu suboptimálnych (nie úplne najlepších ale prijateľných) údajov a k nejednoznačnej interpretácii hodnotení stupňa zmeny spôsobenej revitalizáciou. Odchýlky od plánu monitorovania **BACI** – napríklad žiadne **Overovanie** alebo žiadne informácie z obdobia **Pred** revitalizáciou – môžu byť ešte stále užitočné za predpokladu, že sa pri interpretácii výsledkov zohľadnia predpoklady spojené so zmenami v programe monitorovania. Informácie sa môžu zbierať počas dlhšieho časového obdobia alebo z väčšieho územia s cieľom kvantifikovať prirodzenú variabilitu a znížiť neistotu vyplývajúcu z predchádzajúcich predpokladov.

Pre účely monitorovania **Pred** revitalizáciou a **Po** nej (t. j. pri absencii **Overenie**) sa musí pred revitalizáciou zhromaždiť dostatok informácií, aby bolo možné primerane kvantifikovať celý rozsah prirodzenej variability v lokalite (napr. vysoké a nízke prietoky v rôznych ročných obdobiach a rokoch) **pred** revitalizáciou. Monitorovanie je potrebné predĺžiť na dostatočne dlhé obdobie.

Pre účely monitorovania **Overenia** a **Dopadu** (t. j. pri absencii údajov z obdobia **Pred** revitalizáciou) by sa mali informácie zbierať z miest **Dopadu** a **Overenia** po revitalizácii. V prípade monitorovania len na základe **Overenia** a **Dopadu** sa predpokladá, že miesta **Overenia** a **Dopadu** boli pred zásahom podobné. Vzhľadom na celkový vplyv, ktorý veľkoplošné procesy v povodí majú (napríklad) na štruktúru biologických spoločenstiev, miesta **Overenia** by sa mali nachádzať v blízkosti miesta **Dopadu**.

V ideálnom prípade by malo byť viacero **Overovacích** miest pre jednu lokalitu revitalizácie (tabuľka 10.2). Ak nemôže existovať viacero kontrolných miest, treba sa rozhodnúť, čo sa má monitorovaním dosiahnuť.

Pre účely potvrdzujúceho monitorovania sa môžu zhromažďovať dôkazy o zmenách po zásahu (napr. fotografie zmeneného koryta). Tieto údaje možno považovať za dôkazy úspechu revitalizácie. Informácie získané z **potvrdzujúceho monitorovania** však nie sú dostatočne na to, aby bolo možné na základe nich identifikovať prepojenia medzi ekologickými procesmi. Je dôležité, aby sa tento rozdiel pochopil vo fáze stanovovania cieľov revitalizácie. **Medzi potvrdzujúcom a prieskumným hodnotením je zásadný rozdiel: zmenu, ktorá nastane po revitalizačnom zásahu, možno definitívne spojiť so zásahom len vtedy, ak sa vykoná prieskumné hodnotenie.**

Tabuľka 12.2 Popis a použitie rôznych typov **Overenia**, ktoré sa majú použiť na monitorovanie úspešnosti revitalizácie

Typ overenia	Popis / použitie
Pozitívne Overenie (v experimentálnom návrhu často označovaná ako „kontrola ošetrovania“)	Miesto, ktoré predstavuje najlepší príklad ideálneho výsledku, ktorý by sa mal revitalizáciou dosiahnuť (napr. prirodzené koryto) v danej časti povodia. Dostaneme tak určité hodnotenie toho, ako treba daný úsek rieky meniť, aby sa dosiahol ideálny výsledok.
Negatívne Overenie	Miesto, kde stav koryta zodpovedá jeho stavu pred revitalizačným zásahom. Toto Overovacie miesto umožňuje kvantifikáciu zmien v revitalizovanom úseku rieky v porovnaní s jeho pôvodným stavom.
Overenie v rámci povodia	Overovacie miesto v rámci povodia umožňuje zaznamenanie zmeny v oblasti, v ktorej dochádza k podobným environmentálnym zmenám a môže zohľadniť špecifickú variabilitu zaznamenanú v rámci tohto povodia.
Overenie mimo povodia	Overovacie miesto mimo povodia rieky, ktorá sa má revitalizovať. Môže poskytnúť údaje o variabilite v širšom geografickom rozsahu.

Načasovanie prieskumu

O kritériách pre posúdenie (kvantifikáciu) úspechu je treba rozhodnúť už vo fáze plánovania revitalizácie. Dĺžka obdobia, počas ktorého sa zhromažďujú základné informácie z obdobia **Pred** revitalizáciou, sa bude líšiť v závislosti od sledovaného ukazovateľa a v praxi aj od časového

harmonogramu revitalizačného projektu. Množstvo požadovaných východiskových informácií bude určené prirodzenou variabilitou sledovaného ukazovateľa. Ukazovatele, ktoré sú menej ovplyvnené ročným obdobím alebo klímou – napríklad abiotické, ako sú sedimenty a tvar koryta – si vyžadujú menej časté prieskumné merania v porovnaní s indikátormi, ktoré sú silne závislé od ročného obdobia a klímy (napr. makrobezstavovce a makrofyty). Aby sa zachytil účinok revitalizácie, monitorovanie by malo znížiť množstvo odchýlok v súbore údajov, ktoré nevznikli v dôsledku revitalizácie. Na dosiahnutie tohto cieľa by sa mali údaje z monitorovania zbierať v dostatočne dlhom časovom horizonte. Vzhľadom na silnú sezónnu odozvu väčšiny sladkovodnej bioty by sa malo načasovanie odberu vzoriek obmedziť na krátke časové obdobie, ktoré sa má zachovať počas celého programu monitorovania; napríklad ročný odber vzoriek makroskopických bezstavovcov by sa mal vykonávať každý rok v priebehu niekoľkých týždňov vždy v rovnakých obdobiach.

Výber ukazovateľov – indikátorov

Je potrebné monitorovať biotické aj abiotické prostredie. To umožní posúdiť, či revitalizačné opatrenie, ktoré viedlo k požadovanej fyzickej zmene, viedlo aj k očakávanej biotickej odozve. Môže nastať situácia, že očakávanému výsledku bránia výraznejšie tlaky pôsobiace na úrovni povodia, ktoré sa v revitalizačnom projekte neriešili (napr. bagrovanie dnových sedimentov, zlé spôsoby hospodárenia s pôdou). To podčiarkuje potrebu spoľahlivého monitorovacieho programu, v rámci ktorého sa monitorujú abiotické aj biotické premenné - indikátory (ukazovatele).

Rozsah monitorovacieho programu by mal pokrývať celú revitalizovanú oblasť zahrnutú do projektu revitalizácie. V prípade potreby by mal teda pokryť aj odozvu riečneho koridoru, vrátane pririek zóny a záplavovej oblasti aj v širšom povodí.

V rámci abiotického monitorovania sa zisťuje fyzický stav koryta a záplavového územia na základe morfológických, topografických, batymetrických, sedimentologických, hydrologických a hydraulických charakteristík (viď. norma STN EN 14614:2020). Tieto premenné spoločne definujú vzor fyzických habitatov, ktoré využíva celá biota a preto je dôležité charakterizovať zmeny podmienok, ktoré sú vyvolané revitalizačnými opatreniami (sú teda priamym výsledkom revitalizačných zásahov a následne obnoveného prirodzeného fyzikálneho vývoja riečneho prostredia). ***Biotickú odozvu na revitalizáciu možno lepšie pochopiť v kontexte súvisiacich zmien fyzikálneho prostredia (hydromorfologických zmien).***

Je potrebné zohľadniť aj prirodzenú priestorovú a časovú variabilitu a odozvu premenných - indikátorov. Biotické aj abiotické premenné sa môžu priestorovo usporiadať tak, aby sa zohľadnili zmeny veľkého a malého rozsahu v rámci povodia v súlade s cieľmi hodnotenia.

V suchozemskom prostredí riečneho koridoru možno monitorovanie a hodnotenie záplavového územia vykonávať pomocou prieskumov vegetácie alebo hodnotenia vtácej fauny, pričom pririek zóny možno monitorovať aj prostredníctvom vegetácie alebo bezstavovcov. Každý z týchto ukazovateľov reaguje v relatívne odlišnom časovom období (napríklad makrofyty môžu reagovať na zmeny pomaly, zatiaľ čo riasy reagujú vo výnimočne krátkom čase) a na rôzne tlaky. A preto výber premenných – indikátorov musí byť urobený tak, aby bolo možné pomerne presne skúmať cieľ monitorovania a hodnotenia.

Abiotické indikátory možno monitorovať v pomerne širokom rozsahu prostredníctvom diaľkového prieskumu zeme (napr. leteckého snímokovania) a geomorfologického prieskumu v teréne (napr.

„riečného auditu“), ktorý môže pokryť dlhé úseky riečného systému (STN EN 14614:2020). Tieto prieskumy môžu pomôcť určiť reprezentatívne prieskumné lokality s detailnejším rozlíšením (napr. pre topografický /batymetrický prieskum, odbery vzoriek sedimentov). Fotografovanie z pevného bodu je nákladovo efektívnou metódou fyzického monitorovania, ktoré sa môže vykonávať častejšie a vo veľkom priestorovom merítku. Informácie získané z fotografovania z pevného bodu môžu pomôcť pri interpretácii výsledkov iných monitorovacích a hodnotiacich programov. Táto metóda je tiež vhodná v situáciách, keď nie sú k dispozícii výsledky monitorovania **Pred** revitalizáciou alebo z **Overovacieho monitorovania**; napríklad na zisťovanie prebiehajúcich zmien súvisiacich s neplánovanou alebo príležitostnou prirodzenou obnovou.

12.1 Biotický monitoring

Revitalizácie tvoria súčasť vhodne zvolených nápravných a/alebo zmierňujúcich opatrení u vodných útvarov, kde nebol dosiahnutý dobrý ekologický stav, resp. potenciál. Sú preto nevyhnutným podporným nástrojom pre dôsledné napĺňanie požiadaviek RSV 2000/60/ES a ďalších smerníc o ochrane vôd (Smernica o biotopoch, Natura 2000, Stratégia EÚ v oblasti biodiverzity do roku 2030), ako aj povodňovej smernice 2007/60/ES (opatrenia s integrovaným účinkom).

Revitalizácie predstavujú zámerné manipulácie fyzikálneho a biologického prostredia za účelom dosiahnutia pozitívneho ekologického výsledku. Preto s rastúcim dôrazom na revitalizácie riek je jednak v rámci hodnotenia ekologického stavu/potenciálu, ale aj v rámci posúdenia abiotických a biotických parametrov v dotknutých úsekoch riek, veľmi dôležitou súčasťou aj plánovanie a nastavenie monitorovania relevantných biologických, hydromorfologických, príp. fyzikálno-chemických ukazovateľov (Makovinská a kol. 2021).

Dôležitým predpokladom na vykonávanie monitorovania je technická odbornosť zainteresovaných osôb. Ekologické hodnotenia vody je možné vykonávať len na základe prieskumov, ktoré vykonávajú skúsení odborníci. Na základe potreby možno tiež doplniť tím o špecialistov na určité skupiny rastlín a živočíchov alebo biotopy.

Monitoring revitalizácie zahŕňa systematický zber údajov, ktorého výstupy pri jeho priestorovo aj časovo efektívne navrhovanom harmonograme majú poskytovať dostatok informácií pre posúdenie ekologickej situácie v revitalizáciou ovplyvnenom úseku toku v priebehu jednotlivých fáz procesu revitalizácie. Konkrétne sa jedná o porovnávanie stavu pred realizáciou revitalizačného projektu so stavom po definitívnom ukončení všetkých revitalizačných prác. V prípade projektu s rôznymi, resp. viacerými etapami revitalizačných aktivít a úprav, do porovnávania je nutné zahrnúť aj meniaci sa stav počas revitalizačných prác. Monitoring sa teda uskutočňuje v nasledovných etapách:

- pred-realizačný monitoring
- realizačný (v prípade viacerých etáp a úprav)
- po-realizačný monitoring

Pred-realizačný monitoring sa vykonáva čo najskôr pred uskutočnením akejkoľvek fyzickej aktivity súvisiacej s pripravovanou revitalizáciou, vrátane prípravných prác. Spravidla sa nemá vykonávať s príliš dlhým časovým odstupom pred implementáciou opatrení (ideálne max. pol roka až rok), aby sa minimalizovala pravdepodobnosť zmien ekologickej situácie vôd medzi odberom vzoriek a začatím stavebných prác. Realizáciu monitoringu je však nutné prispôbiť sezóne tak, aby odobrané vzorky v maximálnej možnej miere odzrkadľovali zloženie či iné parametre spoločenstva. Cieľom je zistenie

aktuálnej štruktúry prítomných biologických spoločenstiev a prítomných habitatov, ako aj zhodnotenie aktuálneho stavu vybraných abiotických parametrov (hydromorfológia, príp. fyzikálno-chemické ukazovatele). Takto získané údaje predstavujú po vyhodnotení vzťažné podmienky, ktoré budú porovnávané s údajmi získanými počas a po ukončení revitalizácie

V rámci pred-realizačného monitoringu sa starostlivo zvolí dostatočný počet vhodných odberových a prieskumných miest tak, aby efektívne pokrývali jednak úsek ovplyvnený revitalizáciou (**ovplyvnené lokality/impact**), a aj lokality tesne nad a pod revitalizovaným územím (**overovacie lokality/control**). Obe lokality situované mimo bezprostredných revitalizačných zásahov a úprav musia svojim charakterom zodpovedať najbližšej revitalizácii ovplyvnenej lokalite, z dôvodu vzájomnej porovnateľnosti, sú fyzikálne aj biotopovo podobné revitalizovanej blízkej lokalite, avšak nevyžadujú revitalizáciu a teda poskytujú užitočné porovnávacie údaje pre interpretáciu odpovede prítomného ekosystému na revitalizáciu. Medzi dvoma porovnávanými lokalitami (overovacou a ovplyvnenou) nesmú byť žiadne vyústenia, prítoky alebo iné ovplyvňujúce faktory, ktoré by viedli k zmene biológie alebo morfológie. Okrem toho vzťažný úsek, ktorý nie je revitalizovaný, nemá byť pozitívne ovplyvnený účinkami, ktoré s revitalizáciou súvisia.

Takto zvolené lokality umožnia v priebehu celého monitorovania zisťovať mieru postupného vplyvu revitalizácie (before-after) na dotknutý úsek toku a zároveň porovnávať tieto zmeny so situáciou v úsekoch bez priamych zásahov (control-impact). V zmysle konceptu BACI (Before-After-Control-Impact; Seger et al., 2021; Stewart-Oaten & Bence, 2001), ktorý spája výhody časového a lokálneho porovnania, sa v takomto návrhu monitoringu jedná o zhodnotenie „skutočného účinku vplyvov“. Iba priestorové a časové porovnanie monitorovaných úsekov, v rámci a zároveň mimo oblasti opatrení umožňuje seriózne porovnanie výsledkov a identifikáciu zmien nezávislých od implementácie opatrení. Je užitočné zvážiť aj takú alternatívu, že v prípade ak nad a/alebo pod plánovanou revitalizáciou nie je možné zvoliť vhodné porovnávacie lokality na danom toku, na porovnanie sa vyberú lokality na geograficky najbližšom toku, ktoré geomorfologicky, hydrologicky a biologicky budú čo najviac zodpovedať toku po realizácii revitalizačných opatrení. Výber takýchto porovnávacích lokalít sa však musí veľmi precízne zvážiť viacerými odborníkmi na danú problematiku.

Bez monitorovania vzťažných, neovplyvnených podmienok v overovacích lokalitách by nebolo možné zachytiť a vyhodnotiť vývoj revitalizovaného úseku súvisiaci so zmenami v čase. Všeobecne sa od revitalizácií očakáva, že veľké rozdiely medzi revitalizovanými a blízкими overovacími lokalitami pred revitalizáciou, sa postupne zmenšia, s odstupom času po ukončení revitalizácie.

Realizačný monitoring je užitočné vykonávať aj v priebehu revitalizácie len v prípade projektu s rôznymi etapami revitalizačných aktivít a úprav (vrátane prípravných prác). V takomto prípade by mal pozostávať z rôzneho počtu odberov/meraní/prieskumov, a to v závislosti od rozsahu a dĺžky trvania revitalizačných prác, od počtu a dĺžky jednotlivých etáp a úprav, a tiež od ukazovateľa (abiotické parametre, biologické spoločenstvá). Napr. v prípade krátkeho trvania (2 -3 rokov) sa uskutoční max. 1 monitorovanie počas aktivít, kým pri dlhšom trvaní tím relevantných expertov navrhne počet, frekvenciu, časový harmonogram a indikačné ukazovatele realizačného monitoringu.

Po-realizačný monitoring je nevyhnutnou súčasťou procesu revitalizácií, na základe ktorého sa porovnaním s pred-realizačným stavom zisťuje miera účinku revitalizácie na pôvodne degradovaný úsek toku. V zmysle Vodného plánu (<https://www.minzp.sk/voda/vodny-plan-slovenska/>) ide o hodnotenie účinku realizovaných nápravných a/alebo zmierňujúcich opatrení.

Vykonať sa musí po definitívnom ukončení revitalizačných prác (ukončenie poslednej fyzickej aktivity vrátane posledných úprav) a pre jeho účely je nevyhnutné začať s post-monitoringom najskôr 2 – 3 roky po ukončení prác, v závislosti od prvku kvality a typu toku. Z dôvodu vylúčenia iných ako revitalizačných vplyvov musí byť totiž dostatok času na umožnenie vyhnúť sa nepriaznivým poveternostným a hydrologickým podmienkam. Zároveň sa tak zabezpečia čo najvhodnejšie podmienky pre zachytenie reprezentatívneho stavu pre jednotlivé skupiny indikačných biologických spoločenstiev.

Pokiaľ je to možné, pred- a po-realizačné prieskumy sa majú vykonávať za porovnateľných klimatických a hydrologických podmienok. Okrem toho sa musí zabezpečiť porovnateľnosť sezónneho aspektu, aby sa predišlo nesprávnemu výkladu sezónnych rozdielov v rámci biologických spoločenstiev.

Napríklad, ak sa prieskum populácie rýb vykonal počas predbežného monitorovania na jeseň, potom by sa v tomto ročnom období malo vykonať aj následné monitorovanie a akékoľvek ďalšie následné prieskumy. V ideálnom prípade by mal byť počas plánovacieho procesu revitalizácie, ale najneskôr pred realizáciou opatrenia vypracovaný koncept monitorovania, ktorý definuje metodický rámec hodnotenia. Mala by sa tiež špecifikovať metóda porovnávania, časový rámec a umiestnenie meracích bodov, ako aj skupiny ukazovateľov, ktoré sa majú preskúmať.

Taktiež metódy a postupy monitorovania a špecifikácia prác by mali byť rovnaké počas všetkých etáp ich vykonávania, pričom podstatné informácie o aktuálnych podmienkach sa zaznamenávajú.

Výber relevantných biologických spoločenstiev

Vzhľadom na uplatňované postupy v zmysle RSV sa v súčasnosti hodnotenie stavu vodných útvarov sústreďuje na prvky kvality vody. Podľa viacerých štúdií však nie všetky skupiny organizmov profitujú z revitalizácií v rovnakej miere (Hoffmann, 2015; Jähnig et al., 2011; Januschke, 2014; Muhar et al., 2016), a preto pre účely hodnotenia úspešnosti opatrení je potrebné sa zamerať na spoločenstvá schopné výraznejšie reagovať na hydromorfologické úpravy v tokoch a ich inundácii.

Pri výbere relevantných indikačných skupín ukazovateľov (indikátorov) pre určitý typ opatrenia sa berú do úvahy skupiny ukazovateľov s predpokladanou schopnosťou reflexie účinku ([lawwa handbuch erfolgskontrolle 2 1608039857.pdf](#)). Relevantnosť použitia jednotlivých prvkov kvality (prípadne ukazovateľov) na monitorovanie úspešnosti vždy závisí od opatrenia a jeho cieľa, od typu, resp. úseku toku a tiež od špecifických podmienok revitalizovaných úsekov tokov. V rámci hodnotenia sa odporúča zvoliť aspoň jeden navrhovaný biologický ukazovateľ.

V niektorých špecifických prípadoch je potrebné zvážiť aj sledovanie relevantných fyzikálno-chemických ukazovateľov vo vode, resp. v sedimente, podporných pre uvedené biologické spoločenstvá (napr. teplota vody, ukazovatele organického a trofického znečistenia, kyslíkové parametre, chemické zloženie sedimentov ...).

Okrem akvatických spoločenstiev je v niektorých prípadoch opodstatnené sledovať aj terestrické spoločenstvá, napr. vysychavých biotopov (v spolupráci so špecialistami na dané skupiny). Takéto príklady využitia „terestrickej ekológie“ uvádza aj rámcová koncepcia monitorovania úspechu revitalizačných opatrení v Rakúsku ([Monitoring of the LIFE IRIS Project - LIFE IRIS \(life-iris.at\)](#)).

Tabuľka 12.3: Zoznam opatrení s voliteľnými indikátormi pre účely vyhodnotenia úspešnosti revitalizačných opatrení

KOMPONENTY	OPATRENIE	Indikátor
HYDROLÓGIA Hydrológia, vodný režim a dynamika prúdenia	Zabezpečenie a udržanie minimálnych prietokov Q_{min}	MZB, R
	Zvýšenie minimálnych prietokov Q_{min} na Q_{minz} (> 50% navýšenie Q_{min}) v oblastiach derivácií (vpôvodnom koryte) alebo na úsekoch s veľkými odbermi vody resp. významnou reguláciou prietokov	MZB, R
	Zabezpečenie ekologického prietoku Q_{eko} ($Q_{eko} > Q_{minz}$) – prirodzený režim ; stanovené na základe ekologických potrieb (nielen kvantita ale aj variabilita prietokov v súlade s prirodzeným prietokovým režimom rieky)	R, MZB
	Zmiernenie rozsahu fluktuácie prietokov („hydropeaking“) v oblastiach pod vodnými dielami (zmiernenie negatívnych dôsledkov špičkovej prevádzky vodných diel)	MZB, R
	Zvýšenie frekvencie a trvania zaplavovania príbrežných zón a inundácií (odstránenie resp. zníženie alebo prerušenie príbrežných hrádzok a iných pozdĺžnych brehových prvkov, ktoré bránia / obmedzujú vybrežovanie vôd)	R, MZB, brehová vegetácia, MF
	Obmedzenie resp. skrátene dosahu vzdutia hladiny (nad vodnými dielami)	R, MZB, MF chlorofyl-a,
	Obmedzenie odberov vody	MZB, R
	Zvýšenie retencie vody v povodí – vodozadržné opatrenia, spomalenie odtoku vody z povodia (prehrádzky v horných častiach povodia, úpravy napriamnených úsekov tokov v súlade s ich prirodzenou morfológickou typológiu; obnova pôvodnej štruktúry dna; obnova príbrežnej vegetácie)	R, MZB, brehová vegetácia, MF
KOMPONENTY	OPATRENIE	
KONTINUITA/ KONEKTIVITA Pozdĺžna kontinuita transportu sedimentov, bioty, manažment sedimentov	Odstránenie priečných bariér na toku (stupne, prehrádzky, hate, priehradky...), ktoré obmedzujú transport sedimentov a migráciu bioty	R, MZB
	Riadené dopĺňanie riečnymi sedimentami na úsekoch riek s ich deficitom a zmenenou štruktúrou, napr. pod vodnými dielami (úseky erózie/ degradácie)	R, MZB
	Zvýšenie nivelety dna na úsekoch ovplyvnených degradáciou dna a poklesom hladín (nízke prahy a stupne)	R
	Obmedzenie erózie dna znížením transportnej kapacity rieky, v erodovaných úsekoch pod priečnymi vodnými stavbami, napr. MVE, hate, napriamnených úsekoch tokov (napr. rozšírenie koryta toku, modifikácia objektov v koryte – výhony, smerné stavby)	HYMO, R
	Prevenca zanášania vodných nádrží – protierózne opatrenia v povodí nad vodnou nádržou	HYMO MZB, MF
	Zabezpečenie transportu časti sedimentov cez vodné nádrže (dnové výpusty, úprava podmienok prúdenia vo VN - manipulačný poriadok, smerné stavby)	HYMO
	Vybudovanie rybovodu alebo biokoridora v súlade s - platnou legislatívou SR na umožnenie migrácie rýb a iných vodných živočíchov	R
	Inštalácia eko-turbín („fish-friendly“), ktoré umožňujú bezpečnú po-prúdovú migráciu rýb	R

	Úprava menších objektov pre umožnenie migrácie rýb a transportu sedimentov (priepusty, prepady, stupne, hate, stavidlá, rúrové priepusty, zastarané nefunkčné rybovody)	R
	Úprava manipulačných poriadkov hatí pre umožnenie/zlepšenie transportu sedimentov a migrácie rýb	R
	Odstránenie sedimentov – nánosov (jemnozrnné sedimenty) v oblasti vzdutia	MF, MZB, R, CH-sedimentov
	Odstránenie nánosov z ramien (jemnozrnné sedimenty) určených na sprietočnenie	MF, R, MZB
KONTINUITA/ KONEKTIVITA Laterálna konektivita a záplavové územie	Úplné odstránenie ťažkého brehového opevnenia	MZB, R, brehová vegetácia, MF
	Odstránenie ťažkého brehového opevnenia a jeho nahradenie vhodným typom vegetačného opevnenia	MZB, brehová vegetácia, MF, R
	Odstránenie pozdĺžnych stavieb z koryta, ktoré bránia laterálnej konektivitě toku s inundačnými vodami (napr. smerné stavby, priepusty a rúry v brehovej línii)	R
	Sprietočnenie odrezaných ramien a meandrov - <i>statický režim</i> (otvorenie ramien a meandrov dolnej vetvy - výtok)	R, MZB, MF
	Sprietočnenie odrezaných ramien - <i>dynamický režim</i> (otvorenie oboch vetiev ramien - vtoku aj výtok)	R, MZB, MF
	Integrácia odrezaných meandrov – obnova pôvodného koryta rieky – umožnenie kontrolovanej migrácie koryta	R, MZB, MF
	Obnova vodného režimu mokradí – prepojenie mokradí s tokom (kanálom resp. iným zdrojom vody)	R, MZB, MF
	Obnova pôvodnej príbrežnej vegetácie	MF, brehová vegetácia, R
	Odstránenie nepôvodnej (inváznej) vegetácie	MF, brehová vegetácia
	Spontánna obnova brehovej vegetácie (na úsekoch s odstráneným brehovým opevnením)	brehová vegetácia,
	Umelé zakladanie brehového porastu (len pôvodné druhy) v úsekoch toku, kde nie je možná spontánna prirodzená obnova brehovej vegetácie	brehová vegetácia
	Zníženie úrovne brehov prípadne aj časti inundácie pre zlepšenie interakcie procesov koryta a inundácie	brehová vegetácia
	Odstránenie alebo modifikácia (zníženie) letných hrádzok v inundácii	brehová vegetácia
	Odstránenie ochranných hrádzí za predpokladu zabezpečenia potrebného stupňa protipovodňovej ochrany	HYMO
	Posun protipovodňových hrádzí – čiastočná obnova pôvodného záplavového územia, zväčšenie inundačného územia	HYMO
KOMPONENTY	OPATRENIE	Indikátor
MORFOLÓGIA	Odstránenie pozdĺžnych a priečných objektov v toku (smerné stavby, výhony)	R, MZB
	Odstránenie opevnenia dna - v prípade nutnosti zabezpečenie stability dna iným spôsobom (napr. nepravidelným rozmiestnením prvkov z lomového kameňa)	MZB, MF, R
	Odstránenie prekrytia tokov a vytvorenie habitatov v intravilánoch	R
	Úprava objektov v toku a vytvorenie habitatov – (úprava dimenzií; napr. zníženie výšky/dĺžky výhonov)	R
	Obnova pôvodného pôdorysného tvaru koryta v súlade s pôvodným morfológickým typom rieky (meandrujúce, divočiace, zvlnené,...)	R, MZB, MF

Morfológia koryta rieky - členitosť	Úprava šírky koryta (v oblastiach predimenzovaných úprav napr. zúženie príliš širokého koryta, alebo rozšírenie príliš úzkeho koryta)	MZB, R, brehová vegetácia, MF
	Vytvorenie koryta nízkych prietokov v príliš širokých korytách (predimenzovaných) s dlhšími obdobiami nízkych prietokov	MZB, R, brehová vegetácia, MF
	Úplné vylúčenie komerčného bagrovania na úsekoch degradácie riečneho dna (zahĺbenie, erózia dna)	MZB, R
	Obmedzenie bagrovania dnových sedimentov – iba na úpravu plavebnej dráhy príp. protipovodňovej ochrany s nutnosťou ponechania sedimentov v koryte toku - ide o premiestnenie sedimentov v rámci koryta (posilnenie vrcholových alebo príbrežných lavíc, ostrovy)	R, MZB
	Vkladanie veľkých drevených prvkov („LWD – large woody debris“) do brehových línií – vytváranie habitatov pre ryby a iné vodné živočíchy	R, MZB
	Podpora formovania prirodzenej členitosti koryta v súlade s pôvodným morfológickým typom rieky (plytčiny/ prehĺbenia, vrcholové lavice, úseky brodov a zdrží, laterálne lavice, ostrovy,...)	MZB, R, MF

R – rybie spoločenstvá/ichtyocenózy

MZB – makrozoobentos/bentické bezstavovce

MF – makrofyty

CH sedimentov – chemické zloženie sedimentov

HYMO - hydromorfológia

Tabuľka 12.3 obsahuje zoznam opatrení s voliteľnými indikátormi pre účely hodnotenia úspešnosti revitalizačných opatrení. Nejedná sa však o finálny zoznam indikátorov. Na základe viacerých skúseností vyplývajúcich z výsledkov realizovaných projektov sa bude tento zoznam postupne upresňovať a aktualizovať. Zároveň relevantnosť jednotlivých indikátorov závisí aj od intenzity negatívnych hydromorfologických vplyvov a uskutočnených revitalizačných zásahov.

Charakteristika indikačných skupín organizmov a načasovanie biologického prieskumu

Ichtyofauna (rybie spoločenstvá)

Ryby (*Osteichthyes*) predstavujú najmobilnejší komponent vodných ekosystémov. V procese evolúcie sa rybie spoločenstvá adaptovali na využívanie širokého spektra variabilných podmienok. Podmienky prostredia sú totiž najmä v tečúcich (riečnych) ekosystémoch premenlivé nie len v pozdĺžnom gradiente toku (od prameňa po ústie) ale aj v čase. V dlhodobom procese evolúcie došlo k adaptácii rôznych druhov rýb na rôzne podmienky prostredia. Niektoré druhy sú reofilné (prúdomilné) a sú viazané svojím reprodukčným cyklom napríklad na štrkové lavice, kým iné druhy potrebujú prirodzené brehy s ponorenou vegetáciou. V prirodzených riečnych ekosystémoch teda dochádza k vytvoreniu pestrej dostupnosti habitatov, ktoré ryby dokážu využívať.

Táto dostupnosť je často negatívne ovplyvnená hydrologickými a morfológickými zásahmi do ekosystému, na čo spoločenstvá rýb dokážu adekvátne reagovať. Hlavnou odpoveďou ichtyofauny na zmeny prostredia je totiž disperzia alebo pohyb. Je nesmierne dôležité zdôrazniť, že každý druh ryby sa v toku pohybuje. Rozdiely vo vzdialenostiach alebo miere pohybu (či už proti prúdu, po prúde, alebo v celej šírke koryta) sú závislé od účelu pohybu (reprodukcia, únik, potravné migrácie, okupačné migrácie) ako aj od životného štádia ryby.

Pokiaľ teda dôjde k zániku habitatu, na ktorý je napríklad viazaná reprodukcia jedincov, dospelé jedince môžu aj naďalej v toku prežívať. V prípade, že vplyvom viacerých morfológických zásahov (migračné bariéry, opevnenie toku a strata príbrežného habitatu) alebo hydrologických zásahov (hydropeaking-

špičkovanie, nepovolené odbery) ryby stratia možnosť pohybu v riečnom kontinuu, nemusí to znamenať okamžitý zánik populácie. Dospelé jedince často dokážu prežívať aj v suboptimálnych podmienkach (v závislosti od druhu), avšak nemusia skompletizovať svoj životný cyklus – rozmnožiť sa. V prípade zániku diverzity habitatov v priečnom profile koryta (napr. opevnenie, skanalizovanie toku) je výrazne ohrozené aj prežívanie mladých jedincov, ktoré využívajú príbrežné zóny ako úkryty pred predátormi a nevhodnými podmienkami prostredia, čo môže aj v prípade úspešného neresu mať za následok zníženú úspešnosť prežívania juvenilných štádií. Aj z toho dôvodu často dochádza nie k akútnemu a okamžitému vypadnutiu druhov, ale naopak k destabilizácii populačnej dynamiky a k postupnému zmenšovaniu populácie a v najhoršom prípade aj jej zániku v lokálnom merítku.

Z tohto dôvodu je nevyhnutné, aby sériou opatrení, ako sú napríklad revitalizácie či budovanie spriechodnení a odstraňovanie nepotrebných migračných bariér, bolo biologickým prvkom kvality a najmä rybám umožnené reagovať na zmeny prostredia, ktoré sú spôsobené antropogénnymi zásahmi. Všetky opatrenia je nutné realizovať v takom časovom rozpätí, kedy je najmenšia pravdepodobnosť negatívneho ovplyvnenia prežívajúcej ichtyofauny realizovaným opatrením (napríklad revitalizácia dna mimo výrazných migračných ťahov alebo neresovej sezóny).

Pri odbere vzoriek sa odporúča postupovať podľa STN EN 13962 a STN EN 14011. Cieľom je na základe získaných údajov o zložení ichtyofauny identifikácia takých druhov rýb, ktorých populácie majú vzhľadom na svoje autekologické charakteristiky predpoklad vykazovať senzitivitu vzhľadom na realizované zásahy a následne aj realizované opatrenia.

Bentické bezstavovce (makrozoobentos)

Bentické bezstavovce predstavujú skupinu bezstavovcov osídľujúcich dno, resp. pevné substráty v koryte vodných ekosystémov a sú viditeľné voľným okom (dĺžky viac ako 0,5 mm). Vzhľadom na ich dlhé vývinové cykly (niekoľko mesiacov až rokov), sú dlhodobo vystavené vplyvom, prítomným vo vodnom prostredí. Keďže dokážu integrovať vplyv všetkých látok prítomných vo vode a zároveň pomerne senzitívne reagovať aj na hydrologické a morfológické vplyvy, majú veľký význam pre hodnotenie ekologického stavu, resp. potenciálu vodných útvarov.

Organizmy spoločenstva bentických bezstavovcov sú vhodnými indikátormi, so schopnosťou reflektovať všeobecnú a hydromorfológickú degradáciu toku (AQEM Consortium, 2002; ASTERICS 2013). Takáto degradácia nastáva pri každej úprave toku a jeho príbrežnej/ripálnej zóny, ale aj pri reguláciách prietokového a hladinového režimu. Keďže bentické organizmy sú svojim spôsobom života a potravnými stratégiami viazané na dnové substráty vodného koryta (štrk, bahno, piesok, kamene, ale aj betón), vrátane brehových habitatov (napr. makrovegetácia, mŕtve drevo, korene rastlín ...) a zároveň mnohé druhy sú špecializované na rôzne rýchlosti prúdenia, dokážu dostatočne spoľahlivo odrážať zmeny spôsobené hydrologickými a morfológickými vplyvmi v tokoch. Následkom týchto vplyvov dochádza sekundárne k zmenám kyslíkových, teplotných a tiež nutričných parametrov (Camargo 1992, ako aj v transporte sedimentov a organickej hmoty (Ward a Stanford 1983, Kondolf 1997, Svitok a Novikmec 2014). Bentické bezstavovce dokážu reagovať aj na uvedené fyzikálno-chemické parametre a štruktúru substrátu, a navyše ich ekologické nároky na popísané ukazovatele a podmienky sú prostredníctvom autekologických charakteristík číselne vyjadrené tzv. metrikami/indexami (AQEM Consortium 2002; ASTERICS 2013).

Vo vzťahu k hydromorfológickým stresorom je podľa rakúskych smerníc pre prieskum biologických prvkov kvality (BMLFUW, 2016) priradená bentickým bezstavovcom najvyššia výpovedná hodnota vzhľadom na morfológické zmeny, zostatkové prietoky a prevádzka vzdutia. Pri reakcii na prerušenie

kontinua sa považujú za zložku s nižšou, avšak jednoznačne preukázanou výpovednou hodnotou. Z tohto dôvodu sú vhodné na účely hodnotenia účinkov revitalizácií.

Princíp stanovenia v prípade riek štandardne zahŕňa semi-quantitatívny odber (STN EN 16150), roztriedenie a kvalitatívnu a kvantitatívnu analýzu (STN 757715). Výsledkom stanovenia v zmysle metodiky AQEM je zoznam taxónov s priradenou denzitou na plochu 1,25 m². V prípadoch, kde tečúce vody neboli kategorizované ako vodné útvary kategórie riek (napr. ramená alebo ramenné sústavy...) sa odber uskutoční podľa špecifických podmienok, v závislosti od opatrení a pod.

Cieľom je na základe zoznamu taxónov vypočítať a zvoliť vhodné metriky/indexy, vyjadrujúce situáciu ovplyvnenú zmenami hydromorfologickými, ale sekundárne aj fyzikálno-chemickými parametrami.

Makrofyty

Makrofyty (vodné makrofyty) predstavujú vyššie rastliny, viditeľné voľným okom, vrátane všetkých vodných cievnatých rastlín, machorastov, parožnatiek (Characeae) a nárastov makrorias.

Vodné makrofyty sa využívajú pri hodnotení revitalizačných opatrení v závislosti od typu opatrenia a miesta realizácie. Pre monitorovanie vodných makrofytov sa využívajú rôzne metódy monitorovania. Metódy sú založené na stanovení taxonomického zloženia a abundancie v skúmaných úsekoch, resp. plochách. Okrem toho sa sledujú aj ďalšie významné faktory prostredia, ako stanovištné parametre (napr. štruktúra substrátu/príbrežnej zóny, tienenie, zákal, hĺbka vody, šírka koryta, rýchlosť prúdenia) a vybrané fyzikálno-chemické ukazovatele (najmä nutrienty a teplota vody), ktoré môžu byť dôležité pri vyhodnocovaní výsledkov.

Z hľadiska variability špecifických nárokov jednotlivých druhov je možné vodné makrofyty spolu s brehovou vegetáciou efektívne využiť pre posúdenie viacerých revitalizačných opatrení. Ide najmä o opatrenia dotýkajúce sa

- úpravy laterálnej konektivity a záplavového územia (najmä sprietočnenie odrezaných ramien a meandrov, prepojenie mokradí s tokom)
- manažmentu sedimentov (napr. prevencia zanášania vodných nádrží, odstránenie nánosov v oblasti vzdutia a z ramien určených na sprietočnenie)
- vodného režimu a dynamiky prúdenia (napr. obmedzenie dosahu vzdutia nad VD, obnova príbrežnej vegetácie, zmiernenie rozsahu fluktuácie prietokov pod VD)
- morfológie koryta rieky (napr. odstránenie opevnenia dna, obnova pôvodného tvaru koryta/meandrujúcich úsekov)

Okrem vodných makrofytov sa v rámci botaniky sledujú aj tzv. brehové porasty/brehová vegetácia (zahŕňajúce aj dreviny), príp. iné terestrické, či dočasne vysychavé biotopy. Preto, pri zhodnotení revitalizačných opatrení, týkajúcich sa brehových porastov, príp. širšieho inundačného územia, zahŕňajúceho aj terestrické habitáty je nutná spolupráca viacerých špecialistov.

Chlorofyl-a

Daný ukazovateľ vyjadruje abundanciu fytoplanktónu, ktorá môže byť využitá pri zhodnotení revitalizačných opatrení týkajúcich sa najmä zmeny hydrologických pomerov, napr. v oblasti vzdutí nad vodnými dielami.

Pri plánovaní odberov bioty, biologických prieskumov a meraní je potrebné mať k dispozícii (ideálne na začiatku revitalizačného projektu, resp. min. 3 mesiace pred uskutočnením) čo najpresnejší časový harmonogram každej revitalizačnej aktivity. Dôvodom je správna koordinácia jednotlivých aktivít

s terénnymi prácami, vzhľadom na dodržanie potrebných podmienok monitorovania požadovaných ukazovateľov ako je napr. sezónna variabilita, sezonalita biotopov, vhodné meteorologické a hydrologické podmienky, životné cykly – zachytenie potrebných vývinových štádií vo vode, atď.

Pre monitorovanie indikátorových spoločenstiev sú uvedené ako ideálne – nasledovné časové rozpätia.

Ichtyofauna: máj - október

U väčšiny zástupcov rybích spoločenstiev je v máji už ukončený neres a v novembri zväčša začína migrácia na zimoviská, prípadne môže začínať neres niektorých druhov rýb

Bentické bezstavovce: jar (február – máj), jeseň (september – november), v závislosti od ekoregiónov, nadmorskej výšky a zemepisnej šírky

Jarné a jesenné vzorky sú reprezentované okrem permanentnej zložky aj larvami väčšiny zástupcov vodného hmyzu (najvyššie diverzity v roku)

Makrofyty: leto (máj – september)

Chlorofyl-a: apríl - október

Ukazovatele fyto-zložky sú monitorované počas vegetačnej sezóny. Pri odberoch biologických prvkov kvality (biota, biologické spoločenstvá), a to najmä v prípade bentických bezstavovcov, je navyše potrebné brať do úvahy aj teplotné rozdiely jednak v rámci ekoregiónov (panónske vs. karpatské toky) ale aj v závislosti od nadmorskej výšky a zemepisnej šírky (Mišíková Elexová a kol. 2021; https://www.vuvh.sk/Documents/NRL/publikacie/CHECKLIST_FAUNA.pdf).

Jarné odbery sa vykonávajú v panónskych, resp. nížinných tokoch a v karpatských tokoch južných regiónov Slovenska (február až začiatok apríla). Neskôr sa vzorkujú toky v severnejších, vyššie položených a chladnejších oblastiach (od polovice apríla do polovice, resp. maximálne do konca mája). Rovnaký princíp sa uplatňuje pri jesenných odberoch, avšak v opačnom poradí preferencie regiónov. Dôvodom takéhoto načasovania odberov je snaha o zachytenie maximálneho počtu taxónov prítomných vo vzorkách (u bentických bezstavovcov okrem permanentnej fauny aj larválnych štádií vodného hmyzu).

Využitie molekulárnych metód pri monitorovaní opatrení

Efektivita monitoringu opatrení, smerujúcich k zlepšeniu stavu životného prostredia, výrazne závisí od získaných dát a ich aktuálnosti. Z hľadiska zabezpečenia rýchleho, aktuálneho a efektívneho monitorovania v zmysle princípu BACI sa odporúča aplikovať moderné hodnotenie stavu spoločenstiev založené na analýze DNA. Tieto metódy je možné využiť predovšetkým na hodnotenie zloženia spoločenstiev rýb a MZB, s istými obmedzeniami aj na rastlinné spoločenstvá. Výhodou DNA metód je rýchle spracovanie vzoriek a získanie dát, vyššia citlivosť (napr. možnosť detegovať aj druhy, ktorých jedince neboli fyzicky odchytené, alebo druhy, ktoré nie je možné determinovať na základe morfológických znakov), nezávislosť od expertov na jednotlivé taxonomické skupiny a replikovateľnosť výstupov.

Monitoring zloženia spoločenstiev druhov, využívajúci analýzu DNA (DNA metabarcoding), je založený na získaní DNA z odobratých vzoriek, jej sekvenovania s využitím sekvenátorov schopných paralelne analyzovať milióny molekúl DNA. Výstupy sa porovnávajú s referenčnými dátami uloženými v medzinárodných online databázach (Weigand et al. 2019). Na determináciu druhov sa využívajú

druhovo špecifické, krátke úseky DNA, pričom môže ísť o rôzne fragmenty v závislosti od taxonomickej skupiny.

Metodologicky je získanie údajov z analýzy DNA založené na odbere vzoriek, ich laboratórnom spracovaní a bioinformatickom vyhodnotení.

Odbery vzoriek

je vhodné vykonávať obdobným spôsobom ako odbery pre klasické analýzy druhového spektra. Zachovať treba predovšetkým vhodnosť času (s predpokladaným maximálnym výskytom druhov) a vhodnosť odberových miest - nad, pod, v rámci revitalizovaného úseku. Dôležitým rozdielom oproti klasickým odberom je nutnosť v maximálnej možnej miere eliminovať možnú kontamináciu nepôvodnou DNA. Je preto potrebné používať na každej lokalite nové laboratórne rukavice a sterilné/sterilizované pomôcky (odberové nádoby, nástroje na filtráciu). Na analýzy DNA je možné, v súvislosti s monitoringom vodných tokov, použiť tri typy vzoriek: vzorky vody a vzorky sedimentu – environmentálna DNA (eDNA), a vzorky bentosu (MZB) odobrané štandardnou kopacou technikou. Pri každom odbere environmentálnych vzoriek sa odporúča vykonať minimálne dve opakovania. Pri odbere vody sa štandardne filtrujú 2l vody, sedimenty sa odoberajú v množstve ~20ml do sterilnej 50ml skúmavky (falkonky). Pre zachovanie DNA je potrebné vzorky vhodne fixovať, najjednoduchšou metódou je fixácia etanolom (min. 96%), sediment v pomere 1:1, bentos min. 1:3 a uchovávať v chlade, počas odberov v teréne v prenosnom chladiacom boxe, po prenesení do laboratória v mrazničke pri -25°C až do ich spracovania. DNA z vody sa získava filtráciou, na filtrovanie sa najčastejšie využívajú celulóзовé filtre s veľkosťou pórov 0.45µm (napr. Beermann et al.), ktoré sa následne fixujú čistým etanolom, prípadne sa použijú fixačné pufre. Filtre fixované etanolom sa uskladňujú rovnako ako vzorky sedimentu, v prípade iných pufrov je možné uskladnenie pri izbovej teplote. Postupy odberu a uchovávanía vzoriek pre DNA analýzy sú sumarizované v Bruce et al. 2021.

Analýza vzoriek

Získanie DNA, jej následné spracovanie (amplifikácia DNA markerov, príprava DNA knižníc, sekvenovanie), získanie a spracovanie dát vykoná skúsený expert. Výstupom analýzy je podrobný zoznam druhov, respektíve molekulárnych taxonomických jednotiek (MOTU – molecular taxonomic unit). Dáta síce oproti klasickým metódam väčšinou neobsahujú údaje o abundancii (čistočne ich je možné získať – napr. Pont et al. 2023), sú však podstatne presnejšie pri determinácii druhov a môžu tak zachytiť aj nevýrazné zmeny v zložení a vývoji spoločenstva ako reakcii na revitalizačné opatrenia.

Čo sa týka porovnania výstupov analýzy rôznych typov vzoriek, environmentálne vzorky sú zrejme najvhodnejšie na rýchly a rutinný monitoring. Nezachytia síce kompletne spektrum druhov, sú však ekonomicky a časovo mimoriadne efektívne, odber vzoriek môže zabezpečiť aj osoba bez skúseností s odberom biologických vzoriek.

Konkrétny postup monitoringu revitalizačných opatrení a ich vplyvu na biotu dotknutého územia pomocou DNA metód by mal vypracovať expert s ohľadom na konkrétne podmienky a charakter revitalizačných opatrení. V zásade však je potrebné odobrať rovnaký(é) typ(y) vzoriek počas celého trvania monitoringu pre potreby porovnania a vyhodnotenia zmien. V rámci pred-realizačného monitoringu je vhodné vykonať viac a podrobnejších odberov, ktoré presne ilustrujú jednak súčasný stav a stav na referenčných lokalitách. Na základe týchto výstupov je možné realizovať rovnaké analýzy počas celého obdobia monitoringu, respektíve, z praktického hľadiska, zvoliť typ vzoriek, ktorý bude

potenciálne najviac reflektovať zmeny (napr. analýza len eDNA z vody pre monitoring ichtyofauny alebo len analýza vzoriek makrozoobentosu pre zachytenie vysokého počtu druhov bentických bezstavovcov) a v ďalších etapách sa zamerať len na jeden typ vzoriek. Pri realizácii DNA monitoringu je potrebné dodržiavať aj rovnaké postupy v celom procese (napr. používať filtre s rovnakou veľkosťou pórov, analyzovať rovnaký fragment DNA, vykonať rovnaký počet opakovaní a pod.) aby bola zachovaná možnosť spoľahlivo porovnávať údaje z jednotlivých fáz revitalizácie.

Výstupné dáta (zoznamy druhov resp. molekulárnych taxónov) je potrebné interpretovať z pohľadu časo-priestorových zmien v zložení spoločenstiev (alfa diverzita, zastúpenie funkčných skupín, prítomnosť pionierskych druhov atď.) a zhodnotiť, či zaznamenaný stav/zmeny indikujú predpokladané účinky revitalizačných opatrení, v prípade potreby vykonať úpravy v opatreniach, aby sa dosiahol očakávaný efekt revitalizácie.

12.2 Abiotický monitoring

Abiotický monitoring priamo určuje úspešnosť revitalizácie a teda aj to, či sa revitalizáciou dosiahli stanovené ciele. V súlade s **metódou BACI** sa monitoruje stav na začiatku teda pred realizáciou, pričom stačí, ak sa zdokumentuje hydromorfologický stav revitalizovaného úseku jedenkrát. Stav po realizácii sa monitoruje opakovane – v prvom roku najlepšie po prechode povodňových prietokov a potom po 2 až 5 rokoch. Pri výskyte extrémne zvýšených prietokov je nutné vždy vykonať hydromorfologický monitoring. Pre zdokumentovanie **súčasného stavu treba zaznamenať, zamerať prípadne vykonať (PREDREALIZAČNÝ MONITORING)- BACI:**

- **Topografiu koryta - priečne profily** (geodetické merania, zameranie s ADCP, multibeam skener, prípadne zelený LIDAR, dron)
- **Hladinový režim** – priebehy korytových hladín (pri Q_{min} , Q_{kor} , Q_a) a tiež ak je to možné pri vybrežujúcich vodách,
- **Odbery a analýzy riečnych sedimentov** z dna koryta, lavíc (ak sa vyskytujú), brehov, inundácie
- **Podrobný popis stavu brehov** – rozsah opevnenia, typ opevnenia
- **Prieskum brehovej a príbrežnej vegetácie**, popis vegetácie v inundácii
- **Popis stavu inundácie – (ne)výskyt pôvodných biotopov** – mokrade, ramená, meandre, relikty ramien (podľa typológie rieky), atď.
- **Podrobný popis objektov a ich vplyv na tok**, prípadne aj významné objekty v záplavovom území
- **Hladinový režim a prietokový režim** – najmä v prípade ak sa jedná o prepojenie ramien, meandrov. Overuje sa súčasný vodný režim v ramenách ako aj prípadný vplyv delenia prietokov na hlavné koryto. Hladinový režim v hlavnom koryte ako aj prepojených ramenách, meandroch sa sleduje s využitím dočasne inštalovaných meracích staníc s diaľkovým prenosom dát

Výsledky meraní a pozorovaní slúžia k popisu súčasného stavu a definujú počiatočné podmienky na rieke tesne pred jej realizáciou. Tieto výsledky sa využijú aj pri spresňovaní cieľov revitalizácie. Ďalší vývoj po uskutočnení konkrétnych revitalizačných opatrení sa má sledovať v stanovených termínoch (vyššie uvedené).

BACI - PO-REALIZAČNÝ MONITORING obsahuje zameranie všetkých vyššie uvedených parametrov a naviac, ak je to potrebné, tak aj realizáciu špecifických meraní zameraných na účinky konkrétnych opatrení napr. kolísanie hladiny, variabilita rýchlostí a prietokov, atď.

BACI – OVERENIE – alebo ČO HODNOTÍME ?

Hodnotíme zmeny jednotlivých parametrov (Overovanie) a ich vplyv na celkový hydromorfologický stav rieky v revitalizovanom úseku (Dopad) v zmysle dosiahnutia stanovených cieľov. Tak napríklad z topografie sa hodnotí **pozdlžny profil** a jeho zmeny v čase (po opakovaní zamerania – po-realizačný monitoring), **zmeny členitosti a tvaru koryta** – posúdenie obnovy pôvodných korytových habitátov a **tiež zmeny v brehovej línii** – erózia brehov – prípadne aj zvýšená nestabilita.

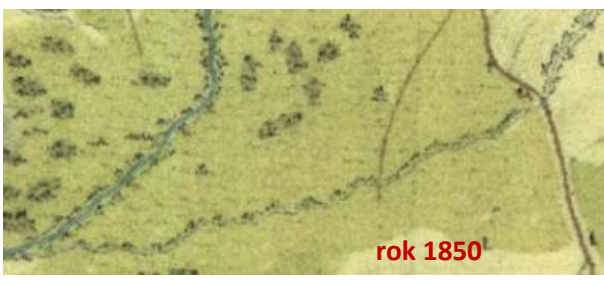
Zameranie hladinového režimu, rýchlostí a prietokov v jednotlivých častiach koryta dokumentuje, nakoľko sa podarilo zlepšiť vodný režim v daných oblastiach (sprietočnené ramená, meandre, frekvencia zaplavenia inundácie, zavodnenie mokradí, atď.) a dosiahnuť aj zvýšenie dynamiky prúdenia a posilniť prirodzenú variabilitu prietokového režimu.

Zmeny zloženia sedimentov v bočných ramenách preukazujú, či sa podarilo obnoviť v ramenách štrkové dno – bez jemnozrnných nánosov alebo naopak, či sa niektoré časti koryta (aj hlavného) nezanášajú jemnozrnnými sedimentami vplyvom spomalenia prúdenia.

Hydromorfologická odozva rieky na vykonané zásahy je takmer okamžitá, aj keď výraznejšie sa prejavuje až po prechode stredne vysokých prietokov (Q1 až Q5). To umožňuje, aby sa prípadné neočakávané vplyvy mohli v pomerne krátkej dobe korigovať.

Príloha A

Prípadové štúdie ukončených a prebiehajúcich realizovaných revitalizačných projektov (rôzne typy revitalizácie)

Prípadové štúdie: Asistovaná prirodzená obnova	
Rieka: Rudava	
Lokalita: Veľké Leváre	Dĺžka úseku: 2 km
<p>Zhrnutie: z upraveného napriameného koryta rieky Rudavy boli odstránené obmedzenia, bolo vytvarované zvlnené koryto v súlade s morfológickou typológiou toku a historickým stavom koryta – referenčný stav (pred realizáciou významných úprav koryta). Koryto bolo čiastočne vyformované, stabilizované mŕtvym drevom v konkávach väčších oblúkov (nutnosť kvôli blízkosti súkromných pozemkov). V súčasnej dobe sa koryto formuje</p>	
<p>Spôsob intervencie - opatrenia: odstránenie brehového opevnenia (betónové bloky) a spevnenia dna (kamenná nahádzka), vytvorenie zvlneného koryta, spevnenie väčších konkáv koreňmi mŕtvych stromov, lokálne vŕbovými plôtikmi, spevnenie konvexy v mieste križovania pôvodného priameho koryta;</p>	
<p>Benefity: Po necelom roku na základe terénnej prehliadky prínosy zahŕňajú zlepšenie hydromorfológie: vytváranie plytčín a prehĺbenín koryta – typické habitáty, vytváranie vrcholových i bočných lavíc, vytváranie dnových útvarov (vrásky a duny), voľný transport sedimentov, brehová erózia – prirodzené kolmé brehy; ichtyologický prieskum už po pol roku preukázal výrazné zlepšenie – posilnenie výskytu pôvodných druhov rýb.</p>	
<p>Náklady: kapitálové náklady približne 250 000 € (realizácia BROZ, z fondov EÚ – INTERREG SK-AT)</p> <p>Hlavné riziká: Aj keď je laterálny vývoj rieky kontrolovaný, môže sa stať, že koryto po prechode veľkých vôd čiastočne vybočí zo štátnych pozemkov na súkromné (s majiteľmi sa priebežne rokuje)</p> <p>Údržba: Obnovené koryto si zatiaľ nevyžaduje údržbu</p>	
<p>Monitorovanie: prebieha potvrdzujúci monitoring, pripravuje sa zalietavanie dronom a snímkovanie Lidarom, ktoré umožní detailnejší overovací monitoring. Predpokladá sa aj opakovaný ichtyologický prieskum.</p>	
<p>Rok 2020: upravené, napriamené koryto Rudavy s opevnenými brehmi aj dnom s veľmi malým počtom prírodných prvkov – úsek takmer bez vegetácie</p>	<p>Rok 2020: upravené, napriamené koryto Rudavy s opevnenými brehmi aj dnom s veľmi malým počtom prírodných prvkov</p>
	
	
rok 2021	rok 1850

Rok 2022: Obnova Rudavy (BROZ, 2022) – odstránenie opevnenia a vyformovanie zvlneného koryta – obnova sínusoidy koryta



(foto: © Holubová)

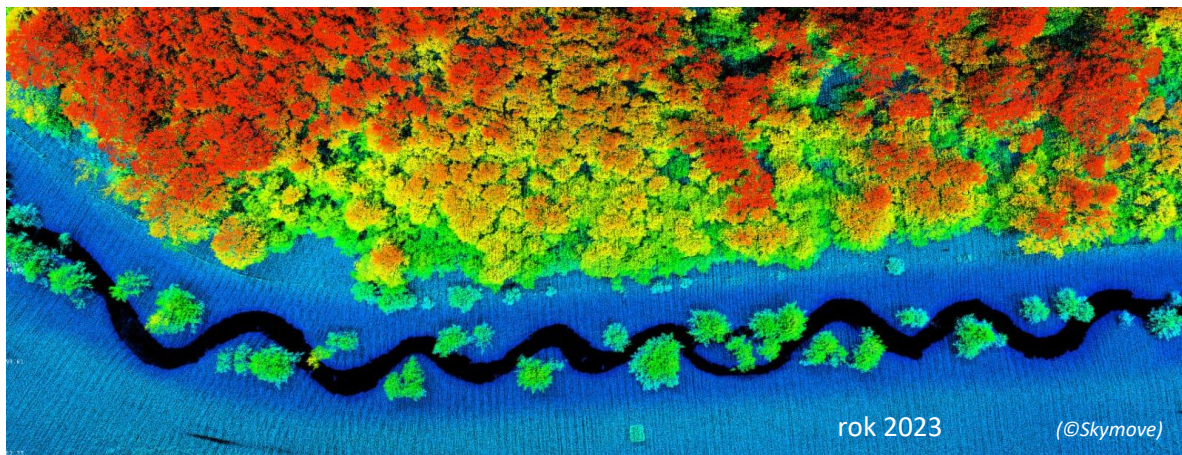
Rok 2022: Formovanie oblúkov a štrkových útvarov v procese riečnej obnovy



2023 Formovanie koryta vlastnou energiou rieky po prechode zvýšených prietokov – máj, 2023



2023 Formovanie koryta vlastnou energiou rieky po prechode zvýšených prietokov – máj, 2023



Snímka tvaru koryta Rudavy (Lidar, 2022) po realizácii revitalizácie Rudavy

Riadená obnova

Tok: Porec

Lokalita: Závod (okres Malacky)

Dĺžka úseku: 0,6 km

Zhrnutie: Z upraveného, napriameného a zahĺbeného koryta toku Porec tesne nad významnou prírodnou rezerváciou Abrod bolo odstránené technické opevnenie, bolo vytvarované zvlnené koryto v súlade s morfológickou typológiou toku a historickým stavom koryta – referenčný stav (pred realizáciou významných úprav koryta). Opatrenia boli zamerané na obnovu vodných a mokraďových biotopov pozdĺž Porca a korekciu vlhkostného režimu v oblasti, ktorá v dôsledku poklesu hladiny podzemnej vody (drenážny efekt upraveného koryta) výrazne vysychala. Priečný profil bol realizovaný formou prehrádky, teda objem násypov a výkopov bol vyrovnaný. Takýto spôsob realizácie priečného profilu je šetrný na investície, lebo presun hmôt je iba v rámci priečného profilu.

Spôsob intervencie - opatrenia: odstránenie brehového a dnového opevnenia, vytvorenie zvlneného koryta, zmiernenie sklonu svahov (1:6 - obrázok) a zvýšenie dna koryta (priemerne o 20 cm), podpora rozliatia prietoku do inundácie už pri nízkych vodných stavoch a vyššia doba zdržania vody v inundácii, obnova vodných a mokraďových biotopov, korekcia poklesu hladín podzemných vôd

Náklady: kapitálové náklady približne 200 000 € (realizácia DAPHNE, z fondov Svetovej banky - GEF)

Hlavné riziká: zvýšená miera zanášania koryta v súvislosti s nízkym pozdĺžnym sklonom (zatiaľ sa zvýšená miera sedimentácie nepotvrdila)

Údržba: Obnovené koryto si zatiaľ nevyžaduje údržbu

Benefity a monitorovanie: Počas šiestich rokov od realizácie v lokalite Abrodu prebieha systematický monitoring biotopov, ktorý preukázal zlepšenie prírodných podmienok v mnohých oblastiach a zvýšenie hladín podzemných vôd. Monitoring dokonca potvrdil obnovu pôvodného slatinného rašeliniska, ktoré z lokality zmizlo po úprave Porca v druhej polovici 20. storočia a až do revitalizácie v r. 2017 tam desiatky rokov nebolo.

Rok 2012: upravené, napriamené koryto Porca s opevnenými brehmi aj dnom s veľmi malým počtom prírodných prvkov



Rok 2019: revitalizované rozvlnené koryto Porca s prirodzenými brehmi aj dnom s veľmi miernym priečnym sklonom

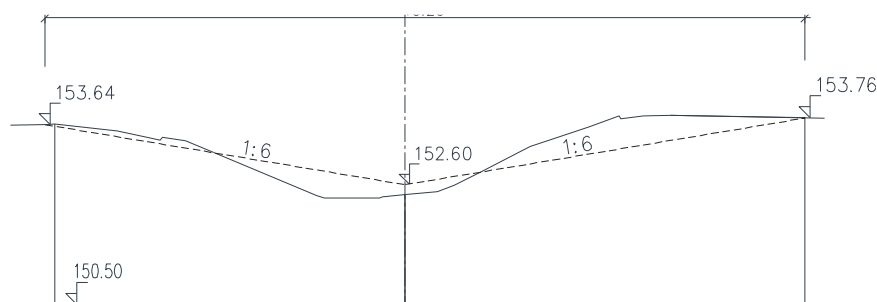
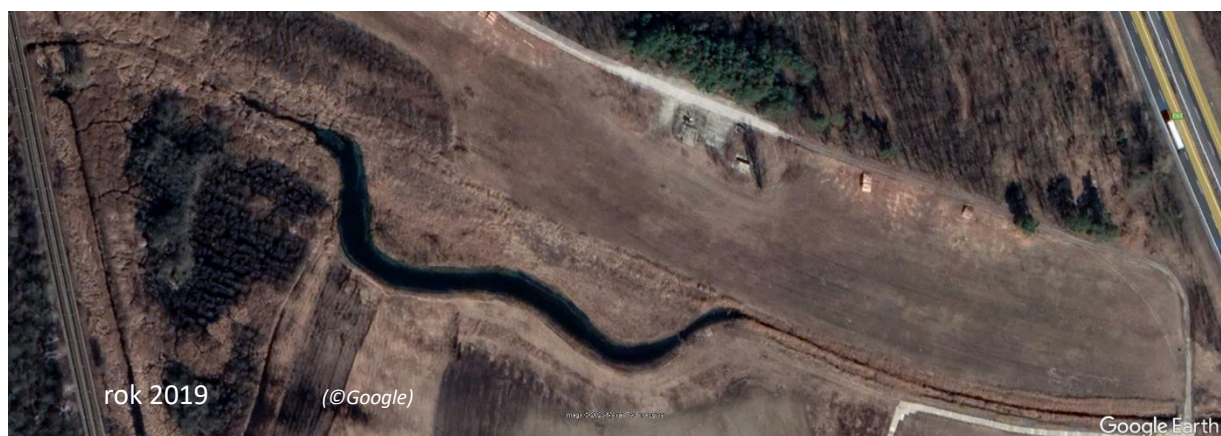


schéma priečného profilu (revitalizované koryto je čiarkované)



Ortofoto snímky tvaru koryta Porca z obdobia pred úpravou (1949), pred revitalizáciou (2013) a po realizácii revitalizácie Porca (2019)

Prípadové štúdie: riadená obnova

Riadená obnova - prirodzeným spôsobom upraviť predtým zmenený fyzikálny stav koryta rieky a príľahlého záplavového územia

Rieka: Morava

Lokalita: ústie Dyje – Malé Leváre

Dĺžka úseku: 16 km

Zhrnutie: bol vypracovaný spoločný SK-AT projekt s cieľom obnoviť prirodzených charakter upraveného koryta nízinného meandrujúceho toku – odstránením tvrdého opevnenia, integrácia oddelených meandrov do riečného systému Moravy (vyťaženie nánosov), prepojenie koryta a inundácie; zlepšenie vodného režimu mokradí

Spôsob intervencie - opatrenia: obnova pôvodného koryta rieky presmerovaním celého prietoku rieky do pôvodného koryta / oddeleného meandra; otvorenie oddelených meandrov zo spodnej strany; odstránenie brehového opevnenia – umožnenie kontrolovaného laterálneho vývoja koryta; zníženie príbrežných hrádzok; prepojenie mokradí cez zníženie terénu inundácie

Benefity: predpokladané prínosy zahŕňajú výrazné hydromorfologické zlepšenie rieky – zvýšenie členitosti, vytváranie habitatov a morfológicky rozmanitého koryta vrátane kolmých brehov; zníženie transportnej schopnosti rieky a zadržiavanie sedimentov; ekologické: zvýšenie biodiverzity, posilnenie pôvodných rastlinných a živočíšnych druhov, záchrana zanikajúcich biotopov (meandre); umožnenie kontrolovaného laterálneho vývoja; prepojenie procesov koryta a inundácie – zvýšenie frekvencie zaplavovania; zlepšenie hydrologickej konektivity koryto – inundácia vrátane zlepšenia vodného režimu mokradí;

Náklady: predpokladané náklady 12 mil. €

Hlavné riziká: nevysporiadané súkromné pozemky, štátna hranica prechádzajúca v strede toku (je v riešení AS a AT hraničných komisii)

Údržba: nepredpokladáme, že by revitalizované koryto vyžadovalo údržbu

Monitorovanie: pripravuje sa plán spoločného SK-AT monitorovania najmä oblastí integrovaných meandrov

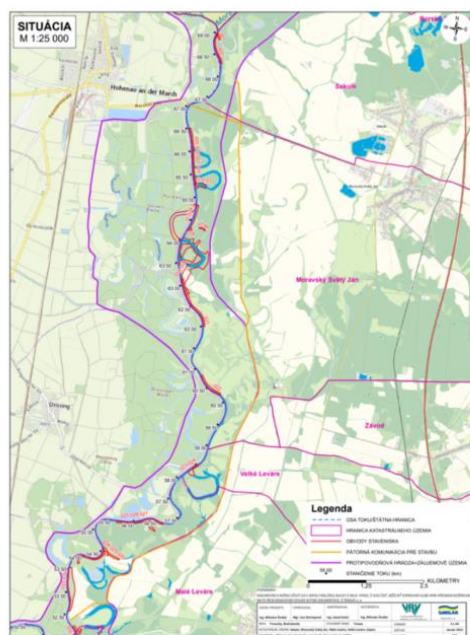
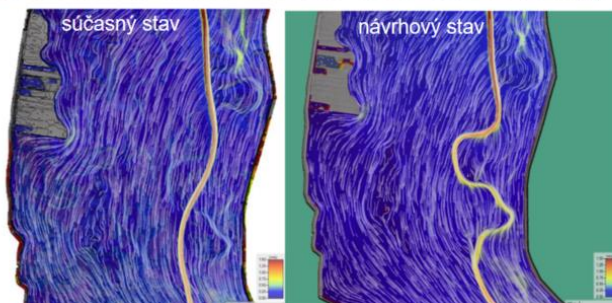
Rok 2022: upravené koryto s veľmi malým počtom prírodných prvkov



Rok 2022: zanikajúci meander oddelený od rieky



Rok 2022-2023: prípravná fáza: štúdia, numerické modelovanie, projektová dokumentácia, povoľovacie procesy, vysporiadanie pozemkov



Rok 2024: začiatok realizácie

Príloha B

Rôzne typy revitalizácie – príklady z praxe

(prevzaté z pripravovanej CEN normy Revitalizácie tokov CEN/TC 230/WG 25/N191,

Prípadové štúdie: Prirodzená obnova	
Prirodzená obnova - prirodzeným spôsobom sa upravit predtým zmenený fyzikálny stav koryta rieky a príslušného záplavového územia	
Rieka: Caldew	
Lokalita: Cumberland, Anglicko	Dĺžka úseku: 1 km
Zhrnutie: Povodňové prietoky iniciovali prirodzenú zmenu na úseku rieky, ktorý bol predtým upravený (napriamený). Koryto sa menilo počas obdobia 16 rokov, s postupujúcou obnovou sa vyvíjali aj prirodzené korytové a príbrežné prvky a habitáty. Ďalšia obnova viedla k premeandrovaniu koryta a rozsiahlemu formovaniu štrkových lavíc.	
Spôsob intervencie - opatrenia: Neboli vykonané žiadne zásahy. Vysoká energia rieky a objemy sedimentov umožnilo prirodzenú obnovu.	
Benefity: Prínosy závisia od miestnych podmienok, spôsobu využívania územia a infraštruktúry. Na základe leteckého snímkovania sa zdá, že prínosy zahŕňajú (1) ekologické prínosy – vrátane tvorby rozsiahlych štrkových habitátov a morfológicky rozmanitého koryta; (2) zníženie povodňového rizika – vrátane zníženia miestnych prietokov a zadržiavanie sedimentov.	
Náklady: Nevznikli žiadne kapitálové náklady, nie je známe, či vznikli náklady v dôsledku straty pôdy. Hlavné riziká: Nevyskytli sa žiadne zjavné riziká pre infraštruktúru alebo živobytie, hoci to závisí od lokality. Údržba: Z dostupných údajov nie je známe či si obnovené koryto vyžaduje údržbu	
Monitorovanie: Žiadne. Voľne dostupné letecké snímky ukazujú všetky hlavné fyzické zmeny, ktoré sa vyskytli za obdobie 16 rokov. Podrobné hodnotenia o ekologických, povodňových alebo iných prínosoch nie sú k dispozícii.	
Rok 2003: upravené koryto s veľmi malým počtom prírodných prvkov (Google. Imagery @2022 Infoterra Ltd & Bluesky)	Rok 2011: prirodzená obnova začínajúca po vysokých prietokoch (Google. Imagery @ 2022 Maxar Technologies, Imagery @ 2022 Infoterra Ltd & Bluesky)
	

<p>Rok 2015: pokračujúca obnova s vývojom riečnych prvkov (Google. Imagery @ 2022 Maxar Technologies)</p> 	<p>Rok 2018: Formovanie meandrov a štrkových útvarov v procese riečnej obnovy</p> 
--	---

Prípadové štúdie: Prirodzená obnova	
Rieka: River White Esk	
Lokalita: Dumfries & Galloway, Scotland, UK	Dĺžka úseku: ~2 km
Zhrnutie: Kvalitatívna štúdia využívajúca historické mapy, súčasné pozemné a letecké snímkovanie a údaje z prieskumu vykonaného na posúdenie zmien koryta	
Spôsob intervencie - opatrenia: Neboli vykonané žiadne aktívne opatrenia. Obnovený úsek mal rovnakú morfológiu ako upravený úsek dovtedy, kým sa v hornej časti toku neskončila údržba koryta. Relatívne vysoká energia rieky a zásoby sedimentov umožnili obnovu pôvodnej morfológie, t. j. zmenu z kanalizovaného koryta na aktívne meandrujúceho koryta.	
Benefity: Žiadne kapitálové náklady (náklady spojené so záberom pôdy nie sú známe). Zmena trasy koryta neznamenal žiadne zjavné riziká pre infraštruktúru alebo ľudské obydľia	
Monitorovanie: Žiadne, ale kvalitatívne hodnotenie možno vykonať s využitím historických máp, súčasných pozemných a leteckých snímok ako aj údajov z prieskumov. Na ilustráciu pokračujúceho vývoja rieky možno použiť voľne dostupné letecké a satelitné snímky. Takto získané informácie možno využiť k analýze zmien riečneho koryta čo umožní kvalitatívne posúdenie vplyvu ukončenia činností, ktoré súviseli a údržbou koryta, ako aj hodnotenie vplyvu budúcich rozsiahlejších zmien vo využívaní pôdy (napr. významného zalesňovania alebo obnovy rašelinísk v hornej časti toku), ktoré by mohli zmierniť rýchlosť zásobovania rieky vodou a sedimentmi – zadržiavanie vody a sedimentov v hornej časti povodia	
Náklady: Nevznikli žiadne kapitálové náklady, nie je známe, či vznikli náklady za stratu pôdy Hlavné riziká: Nevyskytli sa žiadne zjavné riziká pre infraštruktúru alebo ľudské obydľia Údržba: Z dostupných informácií vyplýva, že nebola vykonaná žiadna údržba a žiadna sa ani nevyžaduje	
Obmedzenia: Súvislosti medzi týmito zmenami a zmenami v biotickom spoločenstve možno len predpokladať, nie empiricky preukázať.	

Kvalitatívne znázornenie skúmaného riečného úseku pred úpravou (napriamením); zdroj: Kráľovská vojenská mapa, ~1750)



Neobnovený, riadený riečny úsek s umelo vyrovnanou, udržiavanou a jednotnou morfológiou



Foto: Hamish Moir

Historické premeny koryta



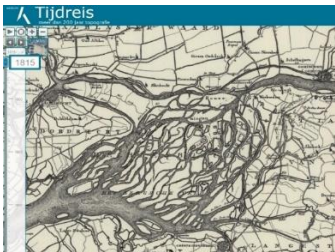
© 2022 Microsoft Corporation © 2022 Maxar © CNES



Foto: Hamish Moir

Revitalizovaný (prirodzene obnovený) riečny úsek, ktorý vykazuje veľmi dynamickú, migrujúcu morfológiu s rozsiahlymi aktívnymi aluviálnymi lavicami

Prípadové štúdie: Asistovaná prirodzená obnova		
Príklad asistovanej prirodzenej obnovy po požiari		
Príklad 1: Ribeira da Freixeda	Miesto: Proença-a-Nova, Portugalsko	Dĺžka úseku: 19 km
Zhrnutie: Po požiaroch v obci Proença-a-Nova, bol vypracovaný projekt na podporu prirodzenej obnovy postihnutých riek. Jednou z nich bola sezónna rieka (občasná) Ribeira da Freixeda. Cieľom zásahov bolo zabezpečiť stály prietok vody v koryte; minimalizovať eróziu a transport sedimentov a minimalizovať účinok povodní		
Benefity: (1) ekosystémové služby súvisiace s obnovou pobrežnej vegetácie; (2) zníženie rizika povodní v súvislosti so znížením erózie (koryto a brehy).		
Intervenčný prístup - opatrenia: Zásahy boli vykonané v úseku dlhom 18,6 km a ukončené v roku 2019. Zahŕňali nasledovné práce: výrub a odstránenie spálených stromov a kríkov; kontrolu inváznej exotickkej vegetácie; odstránenie sedimentov a iných materiálov z koryta rieky; obnovu úseku s priepustom; stabilizáciu brehov pomocou bioinžinierskych techník vybraných podľa závažnosti erózie (napr. koberec "bioroll" z kokosových vlákien, kobercová stena); obnovu pobrežnej vegetácie (hydroosev, živé odrezky a výsadby); a malé priepusty na reguláciu rýchlosti vody.		
Náklady: Náklady na revitalizačné zásahy boli rozpočtované v hodnote cca 266 500,- EUR.		
Hlavné riziká: Žiadne zjavné riziká.		
Údržba: Žiadna údržba.		
Monitorovanie: Monitorovanie sa nevykonáva, hoci sa v dolnej časti toku nachádza monitorovacie miesto na hodnotenie vodného stavu. Satelitné snímky z programu Copernicus nie sú k dispozícii.		
Rok 2019:		
 		
 		

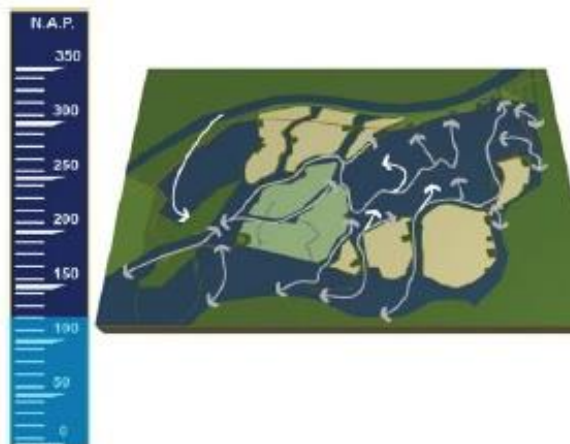
Prípadová štúdia: Riadená revitalizácia		
Príklad 3: Noordwaard	Miesto: Noordwaard, Beneden-Merwede, Netherlands	Dĺžka úseku: približne 3km, záplavové územie: cca 4500 ha
<p>Zhrnutie: Príklad riadenej revitalizácie, v ktorej:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) pozdĺž koryta rieky bol odstránený úsek zemnej hrádze dĺžky 3 km 2) úroveň terénu priľahlého poľnohospodárskeho záplavového územia bola znížená 3) korytá štyroch väčších vedľajších ramien boli vykopené a napojené na rieku Biesbosch 4) existujúce farmy a infraštruktúry boli presunuté na vyššie kopcovité územie <p>Požiadavky na monitorovanie sa líšia (kvalitatívne a kvantitatívne).</p>		
<p>Benefity:</p> <p>1) Bezpečnosť: zníženie povodňového rizika v blízkosti mesta Gorichem znížením hladiny vody o 30 cm počas vysokých vôd v zimných obdobiach vďaka novému záplavovému územiu Noordwaard</p> <p>2) Ekológia: viac prirodzených abiotických procesov (sedimentácia - erózia) v koryte a v záplavovej oblasti. Vyššia biologická produkcia (riasy, makrofauna, ryby) v korytách a v záplavovej oblasti, prirodzenejšia sladkovodná vegetácia a špecifické rastliny. Viac prirodzeného hniezdenia pre vtáky</p>		
<p>Intervenčný prístup: 4 typy žiadostí s vlastným monitorovaním: 1) žiadosti o manažovanie a využívanie pôdy (bagrovanie, výsadba vegetácie); 2) účinky vo vnútri projektovej oblasti (rozvoj bioty, kvalita prírody, rekreácia, atď.); 3) účinky mimo projektovej oblasti (vyplavovanie kontaminovaného pôdneho materiálu, sedimentácia/erózia); 4) požiadavky na rozvoj poznatkov (modelovanie, množstvo vody a výsadba vegetácie, plán evakuácie pri povodniach, priesakové vody, správanie bobrov atď.). Monitorovanie pozostáva: 1) monitorovanie projektu, 2) monitorovanie v nadväznosti na národný monitoring, 3) monitorovanie vykonávané tretími stranami</p> <p>Hlavné riziká: 1) Riziko záplav pre poľnohospodárov v záplavovej oblasti, 2) vyplavovanie kontaminantov z pôdy, 3) zvýšená erózia (lokálna)</p> <p>Údržba: dostupnosť pre rekreáciu a pre miestnych obyvateľov (prehľbovanie hlavných koryt a údržba chodníkov, miestnych ciest a mostov), manažment vegetácie (spásanie dobytkom).</p>		
<p>Rok 1815:</p> <p>Referenčné obdobie s riečnou krajinou bez ochranných hrádzí a poľnohospodárstva</p> 	<p>Rok 2008:</p> <p>Človekom vytvorená riečna krajina s intenzívnym poľnohospodárstvom a ramenami odrezanými od rieky Beneden-Merwede na severe</p> 	<p>Rok 2020:</p> <p>5 rokov po revitalizácii v roku 2015</p> 

Rok 2020: 5 rokov po revitalizácii v roku 2015

Šesť rôznych režimov vodnej hladiny v záplavovej oblasti Noordwaard po revitalizácii (Roy Haskoning, 2015).



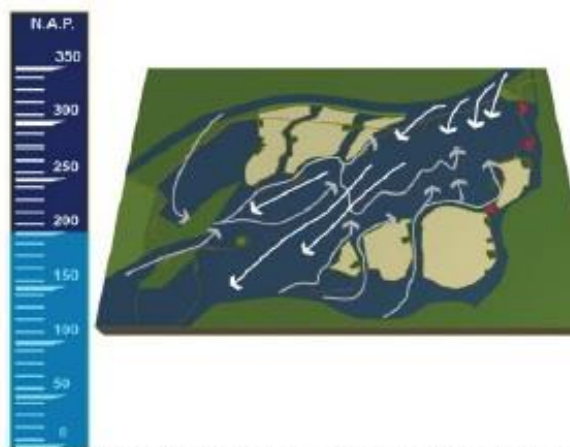
40-70cm +NAP: reguliere getijdesslag, water stroomt via de kreeken in en uit.



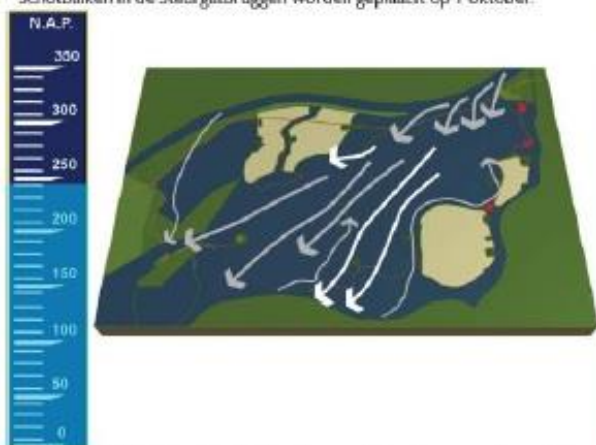
70-120cm +NAP: natuurpolders stromen onder water.



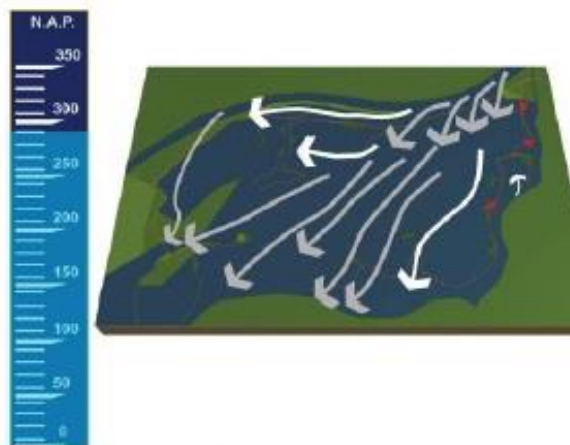
135cm +NAP: laag bekade landbouwpolders stromen onder water. Schotbalken in de Steurgatbruggen worden geplaatst op 1 oktober.



200cm +NAP: instroomdrempel stroomt over, de hoofdstroomrichting verandert.



240cm +NAP: drie hoog bekade landbouwpolders stromen onder water (1/100).

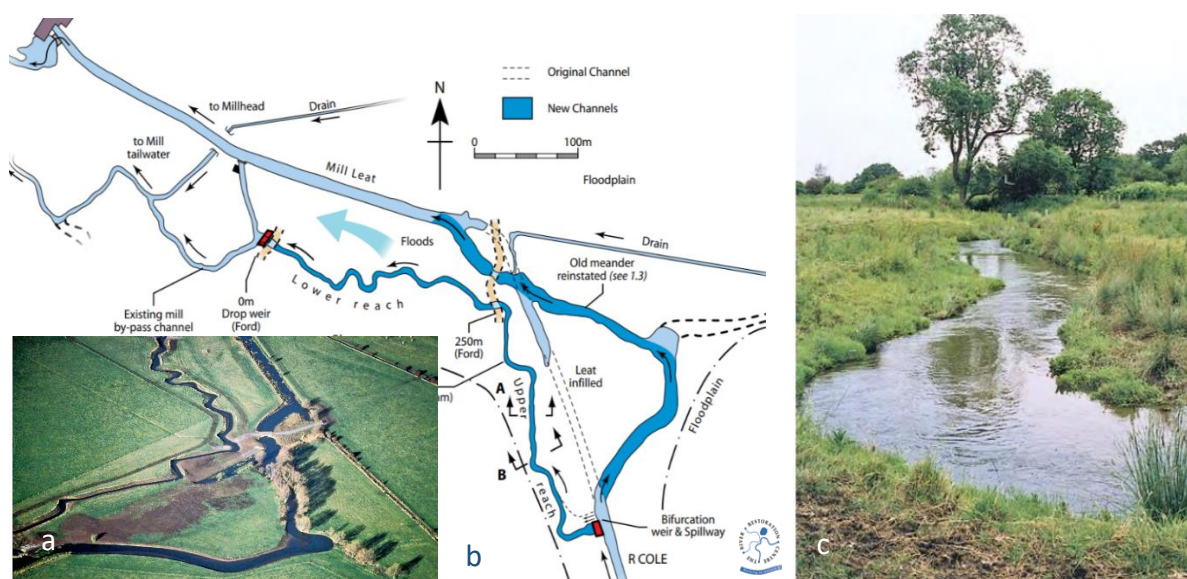


290cm +NAP: alle zeven hoog bekade landbouwpolders stromen onder water (1/1.000).

Príloha C

Príklady dobrej praxe – úspešné revitalizácie z malých tokov - RRC

Pri návrhoch revitalizácie tokov sa možno inšpirovať príkladmi dobrej praxe – resp. úspešnými príkladmi revitalizáciami najmä z krajín, ktoré disponujú nielen bohatými teoretickými poznatkami, ale najmä praktickými skúsenosťami, počnúc návrhmi jednotlivých revitalizačných opatrení a končiac ich šetrnou implementáciou. Pri výbere vhodných príkladov revitalizácií je však potrebné využiť iba také, ktoré sú vzájomne morfológicky a hydrologicky podobné, pričom príklady úspešnej revitalizácie by sa mali využívať skôr ako inšpirácia a nie návod na úplné prevzatie a realizáciu. Pokusy realizácie opatrení z typovo odlišných tokov často končia neúspešne - to čo funguje na jednom toku nemusí fungovať na druhom, najmä ak ide o iný morfológický typ, fyzicko-geografické a hydrologické pomery a tiež rôzne vonkajšie obmedzenia. Poznatky a skúsenosti z realizácie úspešných revitalizácií je možné prevziať iba vtedy, ak sa uvedené podmienky aspoň rámcovo zhodujú. Inak môžu tieto príklady dobrej praxe slúžiť iba pre čiastkovú inšpiráciu.



Obr.C.1 Schéma revitalizácie rieky Cole (UK) vytvorením nového meandrujúceho koryta a oživením odrezaného meandra v oblasti mlynského náhonu (River Centre), a) novovytvorené koryto rieky Cole

v oblasti pôvodného meandra rieky, b) schéma revitalizácie, c) nové meandrujúce koryto rieky (RRC,1997)

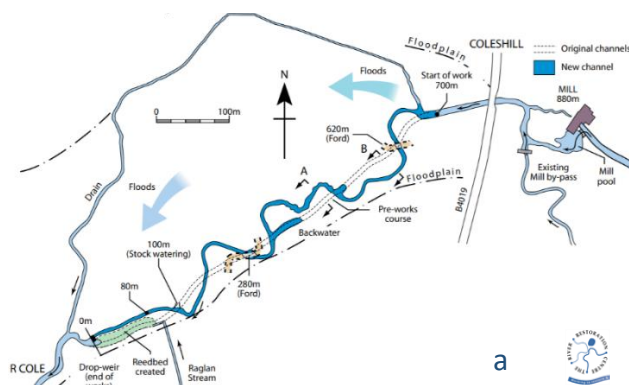
Po úprave bola rieka Cole (UK, RRC, 2020) presmerovaná do napriameneho kanála mlynskoho náhonu a pôvodné koryto s pomaly tečúcou vodou zostalo v odrezanom meandri (vzdutie od mlynu). Revitalizácia zahŕňala vytvorenie nového meandrujúceho koryta (obr.C.1, c; obr.C.2 a,b) s voľne tečúcou vodou bez vplyvu vzdutia. Rieka Cole bola presmerovaná z mlynského náhonu do nového menšieho meandrujúceho koryta, aby sa umožnilo sezónne zaplavovanie inundácie. Existujúci kanál mlynského náhonu (by-pass) zostal v prevádzke a bol integrovaný do revitalizačnej schémy zapojením starého meandra rieky (obr.C.1, b). Úsek náhonu v oblasti pôvodného meandra bol zasypaný (obr.C.1, a).



© RRC

Obr.C.2 Vytvorenie nového meandrujúceho koryta, ktoré zároveň umožňuje častejšie zaplavovanie inundačného územia na rieke Cole (UK), a) počas výstavby, b) 2 roky po realizácii (RRC)

V 17. storočí bolo koryto rieky Cole (obr.C.3) napriamené a prehĺbené za účelom prevodu vody na vodný mlyn aj na ďalšom úseku. Ďalšie zväčšenie koryta sa vykonalo v 70-tych rokoch pre zmiernenie záplav poľnohospodárskej pôdy. V rámci revitalizácie bolo vytvorené nové koryto s cieľom obnoviť pôvodné meandre a frekvenciu predošlého zaplavovania.

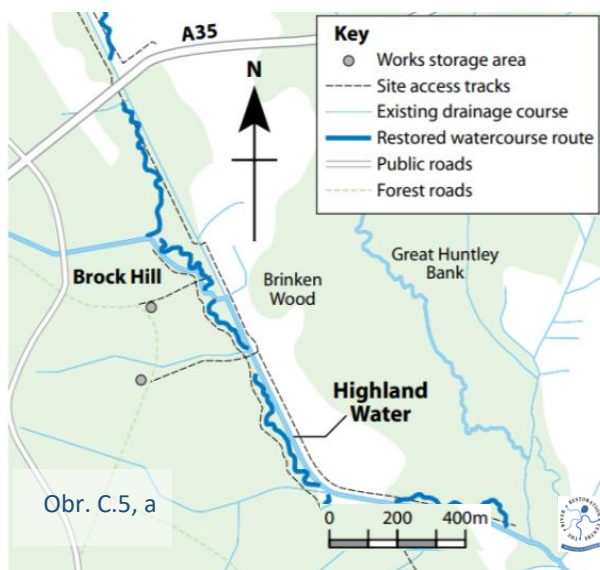


Obr.C.3 Revitalizácia rieky Cole (UK): vytvorenie nového meandrujúceho koryta menšej kapacity, ktoré zároveň umožňuje častejšie zaplavovanie inundačného územia a) schéma revitalizácie, b) pohľad na premeandrované koryto po realizácii (1996)



Obr.C.4 Revitalizácia rieky Cole (UK) - pohľad na novovytvorené premeandrované koryto: a) počas výstavby, b) 2 roky po realizácii (1997)

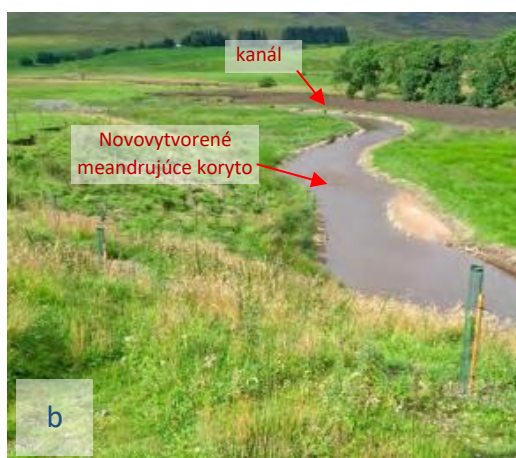
Ďalší príklad je z malej rieky Highland Water (UK), ktorá bola v minulosti napriamená a upravená do podoby odvodňovacieho kanálu (publikované RRC). Pre revitalizáciu odvodňovacieho kanálu sa využili historické mapy pôvodného toku, na základe ktorých bola definovaná pôvodná trasa rieky (obr.C.5, a).



Postup prác pri revitalizácii prebiehal nasledovne: v prvom kroku boli vybrané stromy na výrub pozdĺž brehov existujúceho koryta kanála, aby sa vytvoril prístup pre mechanizmy. To prinieslo aj benefity pre krajinu a ekológiu, keďže ponechanie priamych línií stromov nevytvára prirodzené prostredie.

Nahromadené stromy a konáre, ktoré boli odstránené z okolia kanála boli ponechané na brehu na ďalšie využitie. Nové koryto bolo vyhlbené bagrom, ale iba v miestach, kde sa nenašli reliktory pôvodného koryta. Idealizované habitáty sa v novom koryte nevytvárali, ale niektoré oblasti boli intenzívnejšie vyčistené aby sa vytvorili hlbšie tône pre ryby.

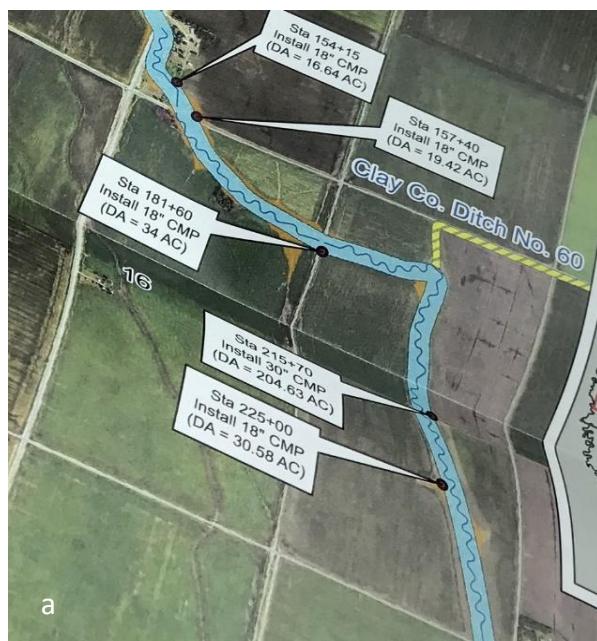
Štrk z existujúceho koryta bol prenesený do nového - premeandrovaného. Prúd vody bol presmerovaný do nového koryta po úsekoch od jednej križujúcej lokality ku druhej v smere prúdenia. Dodržanie tohto postupu umožnilo kontrolované presmerovanie prúdu vody do nového koryta, čím sa znížilo riziko výskytu nestability koryta. Existujúci odvodňujúci kanál bol zasypaný zmesou 8 000 ton



© RRC

Obr.C.5 Schéma revitalizácie rieky Highland Water (a); vytvorené koryto rieky vzniklo vyťažením sedimentov z pôvodného meandrujúceho toku – 09/2012, (b); pohľad na obnovené koryto po roku – 07/2013, pôsobenie procesov transportu a sedimentácie umožnilo formovanie koryta a korytových makro-útvarov– lavíc. (RRC, 2019)

materiálu (piesok, štrk). Pri vytváraní trasy nového koryta je často postačujúce uvoľniť laterálny pohyb koryta – odstránením brehového opevnenia, čím sa vytvoria podmienky pre formovanie prirodzeného migrujúceho koryta. Toto je však možné iba vtedy, ak je k dispozícii dostatočný priestor a neovplyvnený hydrologický režim. Iná situácia je však na riekach, kde je takýto vývoj priestorovo obmedzený (obr.C.6) a naviac limitovaný aj regulovanými prietokmi. Najčastejšie sa tak stáva kvôli využívaniu okolitých pozemkov (poľnohospodárstvo, infraštruktúra, osídlenie, atď.), ich vlastníctvu a protipovodňovej ochrane územia (zúžené záplavové územie a blízkosť ochranných hrádí).



© RRC

Obr.C.6 Príklad revitalizácie napriamenej rieky Cole (UK) premeandrováním v obmedzenom poľnohospodársky využívanom priestore (a) schéma premeandrovania - pôdorys, (b) pohľad na premeandrované koryto

Priestorové obmedzenie vplýva na možnosti návrhu a realizácie novej trasy toku. V takýchto prípadoch je smerové vedenie trasy obvykle dané priestorom, v ktorom môže koryto kontrolovane meandrovať. Preto návrh trasy toku predpokladá pomerne pravidelne vyformované meandrujúce koryto (obr.C.6, obr.C.7) prípadne iba mierne zvlnené koryto. Prirodzený laterálny vývoj musí byť kontrolovaný príbrežnou vegetáciou alebo vegetačným opevnením konkávných oblúkov nového koryta tak, aby koryto rieky nevybočilo z definovaného priestoru.



Obr.C.7 Príklady premeandrovania napriamenej upraveného koryta s priestorovým obmedzením a) rieka Skerne v urbanizovanom priestore, Anglicko, b) rieka v poľnohospodársky využívannej krajine-Česká republika

Hydrologický režim býva často ovplyvnený odbermi vody rôzneho rozsahu. Prietoky v rozmedzí od priemerných po korytové určuje intenzitu a možnosti laterálneho vývoja, ktoré možno očakávať pri (do) formovaní novej resp. obnovenej trasy koryta. Preto výraznejšie odbery vody nepriaznivo vplývajú na revitalizáciu rieky.



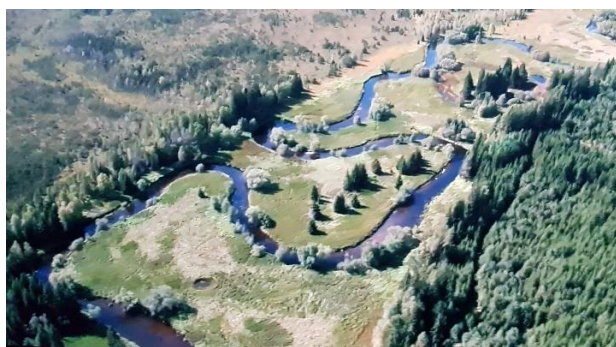
Natural cliff formation
post works – March 1997



Obr.C.8 Príklady prirodzeného formovania kolmých brehov po vykonaní revitalizácie
uvolnením laterálneho vývoja koryta (River Cole, UK)

Za predpokladu, že revitalizácia rieky nie je obmedzená priestorom (zriedkavý prípad, spravidla mimo intravilánov obcí a miest), obnovenie prirodzeného režimu riečnych procesov umožní plnú obnovu morfológického vývoja koryta a korytových útvarov, ktoré sú typické pre pôvodný morfológický typ rieky. Novovytvorené koryto je následne biologicky osídlené korešpondujúcimi druhmi vodnej fauny a flóry. Príklad takejto revitalizácie, kde sa prirodzeným vývojom obnovil kolmý breh v konkáve je znázornený na obr.C.8. Táto situácia je však špecifická pre dané geomorfologické podmienky a preto nie je automaticky prenosná. Každá rieka má vlastné špecifické fyzicko-geografické a hydrologické podmienky, ktoré vplývajú na riečne procesy a formovanie koryta. **Poznanie týchto procesov v konkrétnych podmienkach každého toku je kľúčové z hľadiska úspešnosti revitalizácie a jej udržateľnosti.**

Ďalší príklad obnovy pôvodného meandrujúceho koryta v priestore bez výraznejšieho obmedzenia (Národný park Šumava, projekt LIFE, 2020) je znázornený na obr.C.9.



Obr.C.9 Obnova mokradí a potoka – Národný park Šumava (projekt LIFE, ČR, 2020)

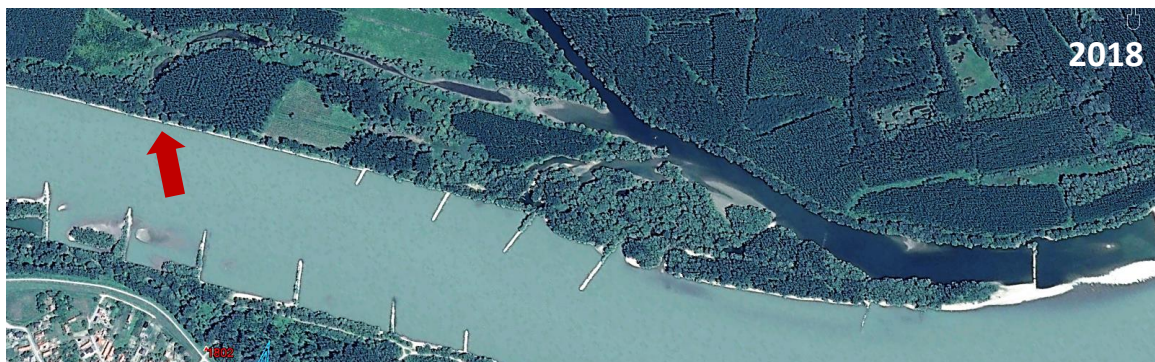
Pri odstránení brehového opravenia a uvoľnení laterálneho vývoja rieky treba očakávať dlhšie časové obdobie, kým si tok obnoví svoj pôvodný priestorový tvar (variabilita šírky/hĺbky, pozdĺžna členitosť, trasa – stupeň meandrovania, resp. zvlňenia), čo predpokladá aj prirodzený hydrologický režim a dynamiku prúdenia.

Príloha D

Prípadové štúdie lokálnych revitalizácií na obnovu laterálnej konektivity - sprietočňovanie Dunajských ramien

Na Dunaji sa vykonalo veľa lokálnych opatrení zameraných na zlepšenie hydrologickej konektivity koryta a oddelených ramien. I keď miestne opatrenia nemožno považovať za systematickú revitalizáciu, v tomto prípade ide o dlhoročnú aktivitu, ktorou sa postupne sprietočňujú všetky oddelené ramená Dunaja v oblasti od Devína po ústie Ipľa (cca 170 km) a z tohto pohľadu možno tieto opatrenia hodnotiť veľmi pozitívne a z určitého hľadiska to možno považovať za systematickú činnosť, ktorou sa dosahuje hydromorfologické a ekologické zlepšenie v oblasti ramien. Ramená sa sprietočňujú obojstranne tzn. Ide o dynamické prepojenie aj keď je obmedzené výškou plavebnej hladiny. Takto sa sprietočnili nasledovné dunajské ramená: Devínske, Karloveské, Medved'ovské, Kľúčovecké (menšie vtoky), Veľkoléske (2 ramená), Mužlianske. Pripravujú sa sprietočnenia ďalších ramien a vtokov, ktoré budú dopĺňať už existujúce a budú zvyšovať ich účinnosť.

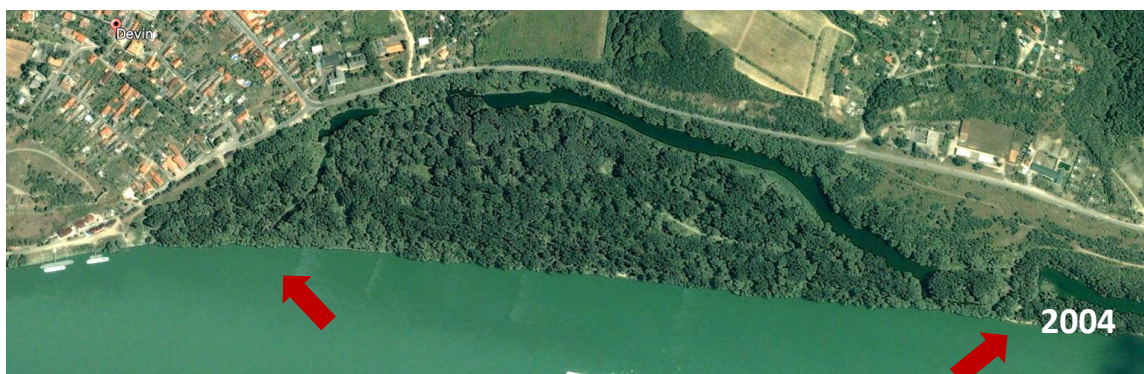
KĽÚČOVECKÉ RAMENO



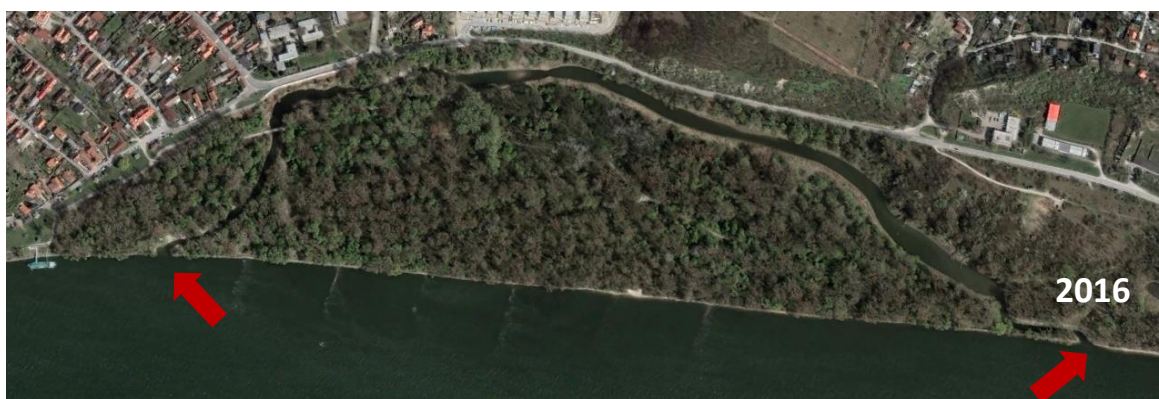
Obr. D.1 Kľúčovecké rameno – sprietočnené v roku 2019

DEVÍNSKE RAMENO

Devínske rameno – sprietočnené v roku 2012, odstránenie bariéry vo vnútri ramena (rúrový priepust) – nahradený veľkorozmerným rámovým priepustom



Obr. D.2 Devínske rameno pred otvorením



Obr. D.3 Devínske rameno po sprietočení oboch vetiev (vtok aj výtok) – BROZ (2012), stav z 2016



Obr. D.4 Rúrový priepust na hlavnom devínskom ramene vytváral bariéru - stav 2010



Obr. D.5 Rúrový priepust nahradený veľkorozmernými rámovými priepustmi, rozšírenie koryta v tomto profile

KARLOVESKÉ RAMENO – sprietočnený vtok, odstránené bariéry vo vtokovej oblasti, rozšírenie vtokovej oblasti, úpravy kapacity koryta. V ďalšej fáze sa pripravuje prepojenie ďalších dvoch ramien v dolnej časti ostrova; prerušenie smernej stavby, ktorá oddeľuje vnútro ostrova od hlavného koryta. Navrhuje sa aj odstránenie mostnej konštrukcie v oblasti vtoku (neslúži svojmu účelu) a rozšírenie koryta v tejto časti (výrazne zúžené koryto v mostnom profile v súčasnej dobe vzdúva hladiny v oblasti vtoku – to spôsobuje zanášanie a obmedzuje hydrologickú konektivitu).



Obr. D.6 Karloveské rameno, vľavo hore – pred sprietočnením vtoku, vľavo dolu po sprietočnení vtoku; vpravo stredná časť ramena v oblasti vodárenských objektov



Obr. D.7 Karloveské rameno – zásahy plánované k realizácii: odstránenie mosta – zväčšenie mostného profilu, prerušenie líniovej smernej stavby v troch lokalitách, prepojenie dvoch priečných ramien

MEDVEĎOVSKÉ RAMENO:



Obr. D.8 Medveďovské rameno pred otvorením vtoku (2014)



Obr. D.9 Medveďovské rameno otvorené na vtoku (BROZ, 2015)



Obr. D.10 Velkolélsky ostrov – stav pred otvorením ramien – všetky ramená boli oddelené od koryta na úrovni výšky brehovej línie



Obr. D.11 Velkolélsky ostrov – sprietočnené dve ramená na vtoku a dve vetvy výtoku, vybudovanie mosta cez rameno – odstránenie bariéry – realizovala BROZ



Obr. D.12 Mužlianske rameno, sprietočnené obidve vetvy (vtok aj výtok) – realizovala ŠOP-SR (2020)

DUNAJSKÉ BREHY – doplnkové opatrenie - odstránenie ťažkého brehového opevnenia



Obr. D.13 Dunajské brehy – Petržalka, odstránenie brehového opevnenia (BROZ, 2021)



Obr. D.14 Dunajské brehy – Petržalka, osídlenie prirodzených dunajských brehov brehuľami (po odstránení brehového opevnenia, BROZ, 2021)



Obr. D.15 Dunajské brehy – Veľý Lél, prirodzené dunajské brehy po odstránení brehového opevnenia, foto VÚVH 2014

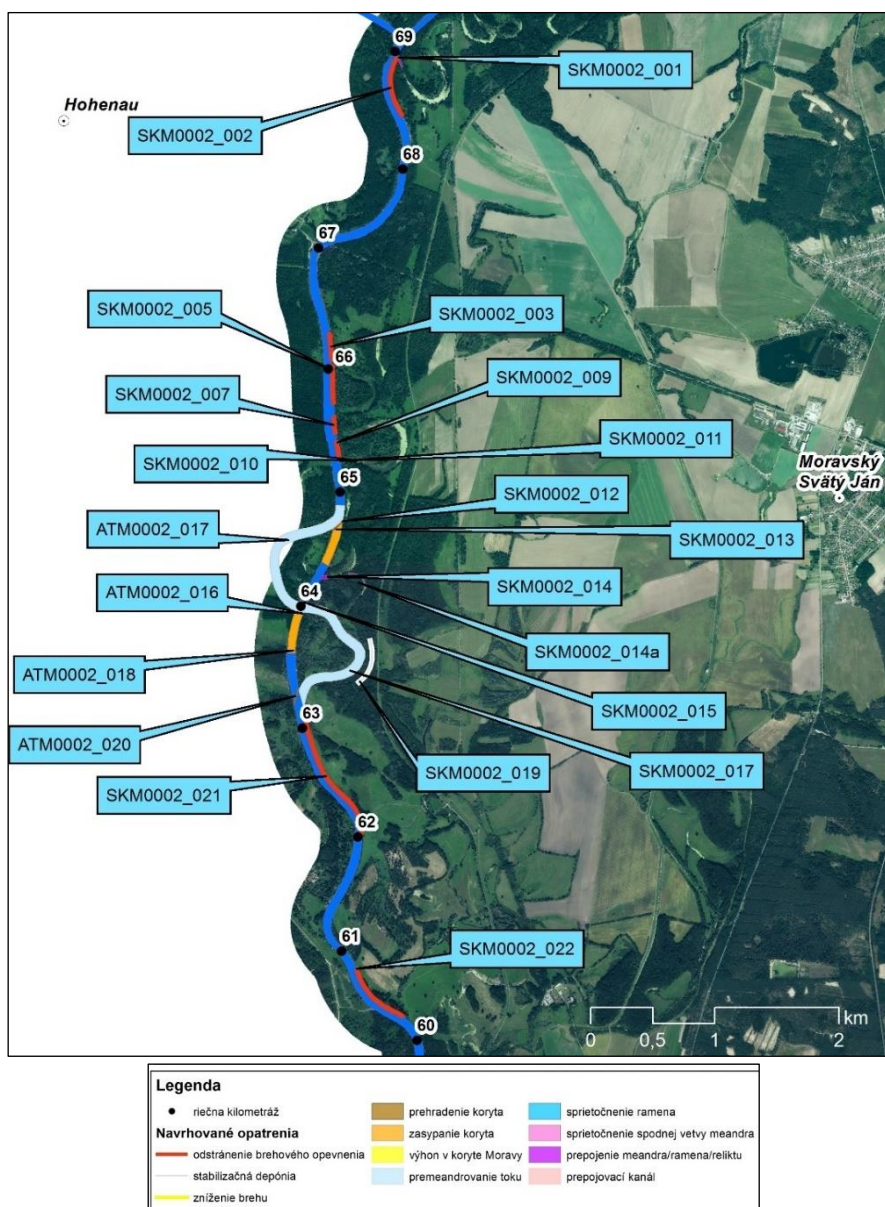


Obr. D.16 Chľaba - obnova laterálnej konektivity: odstránenie brehového opevnenia a sprírodnenie brehov, foto VÚVH 2015

Príloha E

Prebiehajúce revitalizácie (PLÁN OBNOVY A ODOLNOSTI SR (2022-2026) Integrácia meandrov Moravy a komplexná revitalizácia koryta a záplavového územia –

Revitalizácia Moravy od sútoku s Dyje po km 52: revitalizácia 17 km úseku toku v slovensko-rakúskom úseku zahŕňa integráciu dvojice oddelených meandrov späť do riečneho systému, zakopanie podstatnej časti súčasného koryta v umelom priepichu – obnova pôvodného koryta Moravy a umožnenie kontrolovaného laterálneho morfológického vývoja, zníženie brehových hrádzok s častejším prepojením procesov koryta inundácie a zlepšením vodného režimu mokradí v záplavovom území. Ďalším opatrením je prepojenie vybraných meandrov (v súčasnej dobe oddelených) zo spodnej strany – umožnenie prepojenia meandra s korytom a častejšie kolísanie hladiny v meandri (v súlade s vodným režimom hlavného toku). Odstránenie brehového opevnenia (sprírodnenie brehov) a umožnenie kontrolovaného laterálneho vývoja rieky.



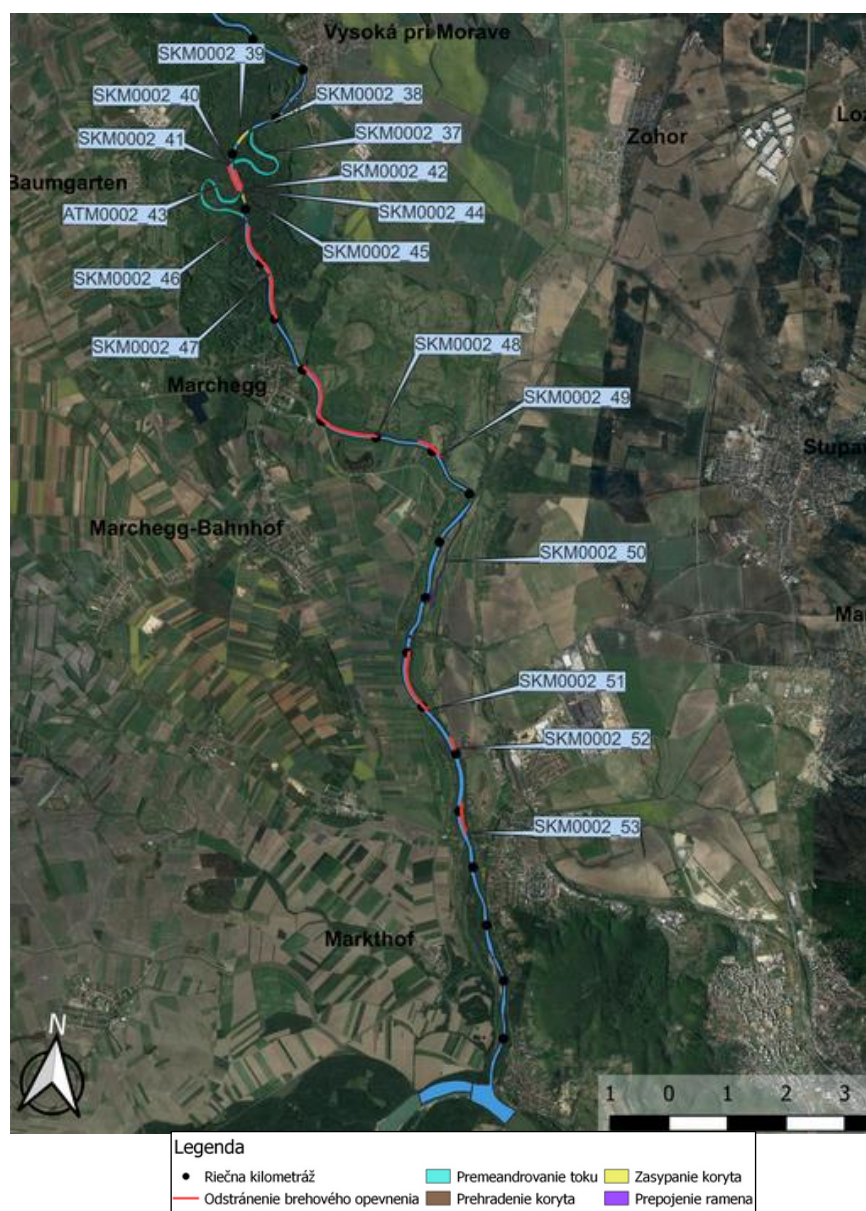


Legenda

• riečna kilometráž	prehradenie koryta	sprietočnenie ramena
Navrhované opatrenia	zasypanie koryta	sprietočnenie spodnej vetvy meandra
— odstránenie brehového opevnenia	výhon v koryte Moravy	prepojenie meandra/ramena/reliktu
— stabilizačná depónia	premeandrovanie toku	prepojovací kanál
— zníženie brehu		

Obr. E.1 Plán opatrení na úseku Moravy medzi rkm 69-52, VÚVH 2022

Revitalizácia Moravy II. od km 0 po km 20



Obr. E.2 Plán opatrení na úseku Moravy medzi rkm 20-0, VÚVH 2023

Revitalizácia Moravy II.: od km 0 po km 20 - revitalizácia 20 km úseku toku v slovensko-rakúskom úseku zahŕňa integráciu dvojice oddelených meandrov späť do riečného systému, zakopanie podstatnej časti súčasného koryta v umelom priepichu – obnova pôvodného koryta Moravy a umožnenie kontrolovaného laterálneho morfológického vývoja, zníženie brehových hrádzok s častejším prepojením procesov koryta inundácie a zlepšením vodného režimu mokradí v záplavovom území. Ďalším opatrením je prepojenie vybraných meandrov (v súčasnej dobe oddelených) zo spodnej strany – umožnenie prepojenia meandra s korytom a častejšie kolísanie hladiny v meandri (v súlade s vodným režimom hlavného toku). Odstránenie brehového opevnenia vo vybraných úsekoch – sprírodnenie a umožnenie kontrolovaného laterálneho vývoja koryta rieky. V dolnej časti v oblasti Devína – prepojenie mokradných biotopov s hlavným korytom (cieľ: prepojenie s korytom Moravy a častejšie natekanie vody do oblasti mokradí).

Príloha F

Príklady nevhodne vykonanej revitalizácie

Štyri meandre boli sprietočené koncom 90-tych rokov v km 12 (Devínske jazero) 19 m (Vysoká pri Morave) a Moravský Ján (km 63-64 – dvojica meandrov). Prepojili sa ramená s hlavným tokom tak, že **prietok Moravy sa rozdelil medzi hlavné koryto a rameno**. Okrem toho vtok do ramena bol otvorený asi na 1/3 pôvodnej šírky (cca 20 m zo 60m) a výtok z ramena tvoril iba prehĺbený kanálik šírky cca 2 až 4 m. V oblasti vtoku bol ešte vybudovaný prepád približne na úroveň hladiny strednej vody – tzn., že k natekaniu vôd dochádzalo až pri prietokoch vyšších ako je priemerný prietok. Takto sa v ramenách vytvorila “sedimentačná nádrž”: sedimenty, ktoré sa dostali do ramien sa v nich okamžite usadzovali (nízke prietoky, obmedzená dynamika) a tvorili sa rozsiahle nánosy. Tieto nánosy postupovali smerom ku vtoku až úplne uzavreli vtokové časti a miesto oživenia došlo k urýchleniu degradácie. Sprietočnenie meandrov sa realizovalo bez štúdie, kde by boli zhodnotené poznatky o dopadoch regulácie rieky na riečne procesy (dynamika prúdenia, transport sedimentov, morfológia) a posúdená účinnosť navrhovaných opatrení. Paradoxne sa teda situácia po takomto sprietočení oproti pôvodnému stavu pred ich prepojením výrazne zhoršila – do priestoru prepojených meandrov sa dostali tisíce kubíkov sedimentov, ktoré urýchlili abiotickú aj biotickú degradáciu týchto meandrov.



Obr. F.1 Neúspešné pokusy o sprietočnenie meandrov Moravy na slovenskej (obojsstranné) i rakúskej strane (spodná vetva) obdobie 1998 až 2006 – na fotkách situácia v období po 5 rokoch

Poučenie:

- **Sprietočnenie meandrov na oboch vetvách** (vtok a výtok) - teda rozdelenie prietoku medzi hlavné koryto a meander na Morave nie je možné vzhľadom na pohyblivé dno, keď transport sedimentov začína už pri pomerne nízkych prietokoch Moravy – k transportu dnových sedimentov teda dochádza počas väčšej časti roka.
- Pre zachovanie oddelených meandrov na Morave je iba jedna efektívna cesta a to je ich úplná **integrácia do riečneho systému** – prietok vody sa nebude deliť, ale bude odklonený do pôvodného koryta. Umelý priepich (súčasnú hlavné koryto) bude zasypané.
- V prípade **prepojenia dolnej vetvy** – vtoková vetva zostane uzavretá – ide iba o zlepšenie vodného režimu niektorých odrezaných meandrov, kde sedimentácia ešte výrazne nepokročila. Tu bude voda kolísať (natekať a vytekať) cez spodnú vetvu v závislosti od prietokov v Morave. Výhon, ktorý bude vybudovaný z prírodných materiálov v hlavnom koryte (v oblasti prepojenia dolnej vetvy) bude chrániť rameno pre vtokom zvýšeného množstva sedimentov a zanášaním

Literatúra

Addy S, Cooksley S, Dodd N, Waylen K, Stockan J, Byg A, Holstead K. 2016. River restoration and biodiversity: Nature-based solutions for restoring rivers in the UK and Republic of Ireland. CREW, CRW2014/10.

AQEM Consortium 2002: Manual for the application of the AQEM system. 2002. A comprehensive method to assess European streams using benthic macroinvertebrates, developed for the purpose of the Water Framework Directive. Version 1.0. February 2002.

ASTERICS - Software-Handbuch Version 4, ASTERICS - einschließlich Perloides - (deutsches Bewertungssystem auf Grundlage des Makrozoobenthos), Juli/December 2013.

Belletti, B., Rinaldi, M., Bussetini, M., Comiti, F., Gurnell, A., Mao, L., Nardi, L., Vezza, P. 2016. Characterising physical habitats and fluvial hydromorphology: A new system for the survey and classification of river geomorphic units. *Geomorphology* vol. 283, p. 143-157 <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.01.032>

Beechie, T.J., Sear, D.A., Olden, J.D., Pess, G.R., Buffington, J.M., Moir, H.J., Roni, P., Pollock, M.M. 2010. Process-based principles for restoring river ecosystems. *BioScience*, 60, 209-222.

Beechie, T.J., Sear, D.A., Olden, J.D., Pess, G.R., Buffington, J.M., Moir, H.J., Roni, P., Pollock, M.M. 2010. Process-based principles for restoring river ecosystems. *BioScience*, 60, 209-222.

Beermann, A.J, Leese, F, Macher, T.H., Buchner, D., Čiampor, Jr. F., Čiamporová-Zaťovičová, Z., Cíchová, M., Očadlík, M., Paunović, M., Csányi, B., 2021. Metabarcoding of Macrozoobenthos Samples. In: Liška I, Wagner F, Sengl M, Deutsch K, Slobodník J, Paunovic M, editors. Joint Danube Survey 4 Scientific Report: A Shared Analysis of the Danube River. Vienna: International Commission for the Protection of the Danube River - ICPDR. p. 43-54. <https://doi.org/10.3897/aca.4.e65206>

Biggs J, von Fumetti S, Kelly-Quinn M. 2016. The importance of small waterbodies for biodiversity and ecosystem services: implications for policy makers. *Hydrobiologia*, 793, 3–39.

BMLFUW – Bundesministerium für Land-und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft 2016. Leitfaden Gewässerentwicklungs- und Risikomanagementkonzepte (GE-RM), vorläufige Fassung 2017.- Wien, 58 s.

Bruce, K., Blackman, R., Bourlat, S.J., Hellström, A.M., Bakker, J., Bista, I., Bohmann, K., Bouchez, A., Brys, R., Clark, K., Elbrecht, V., Fazi, S., Fonseca, V., Hänfling, B., Leese, F., Mächler, E., Mahon, A.R., Meissner, K., Panksep, K., Pawlowski, J., Schmidt Yáñez, P., Seymour, M., Thalinger, B., Valentini, A., Woodcock, P., Traugott, M., Vasselon, V., Deiner, K., 2021. A practical guide to DNA-based methods for biodiversity assessment. Pensoft Publishers. <https://doi.org/10.3897/ab.e686344>

Camargo, J. A. 1992. Macroinvertebrate responses along the recovery gradient of a regulated river (Spain) receiving an industrial effluent. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 23: 324-332.

Council of the European Communities (2000). Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. *Official Journal of the European Communities*, L327, 1–73.

Council of the European Communities (2007). Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks. Official Journal of the European Communities, L288, 27-34.

EN 15843: 2010. Water quality — Guidance standard on determining the degree of modification of river hydromorphology – Norma pre stanovenie stupňa hydromorfologickej modifikácie.

Friberg, N, Angelopoulos N.V., Buijse A.D., Cowx I.G, Kail J., Moe T.F, Moir H., O'Hare M.T., Verdonschot P.F.M, Wolter C. 2016. Effective River Restoration in the 21st Century: From Trial and Error to Novel Evidence-Based Approaches. Advances in Ecological Research, Volume 55 ISSN 0065-2504

Friberg, N, Angelopoulos N.V., Buijse A.D., Cowx I.G, Kail J., Moe T.F, Moir H., O'Hare M.T., Verdonschot P.F.M, Wolter C. 2016. Effective River Restoration in the 21st Century: From Trial and Error to Novel Evidence-Based Approaches. Advances in Ecological Research, Volume 55 ISSN 0065-2504

Fryirs, K. A. 2015. Developing and using geomorphic condition assessments for river rehabilitation planning, implementation and monitoring. WIREs Water, 2, 649–667.

Fryirs, K. A., Arthington, A., & Grove, J. 2008. Principles of river condition assessment. In G. J. Brierley & K. A. Fryirs (Eds.), River futures: An integrative scientific approach to river repair (pp. 100–118). Washington, DC: Island Press

Geomorphology, Volume 283, 15 April 2017, Pages 143-157

Gurnell, A. Sarah J. Scott, Judy England, Dave Gurnell, Richard Jeffries, Lucy Shuker, Geraldene Wharton (2020): Assessing river condition: A multiscale approach designed for operational application in the context of biodiversity net gain. River Research and Applications published by John Wiley & Sons Ltd, River Res Applic.2020; 36:1559- 1578. [wileyonlinelibrary.com/journal/rra1559](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/rra.3673)
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/rra.3673>

Hey, R.D. 1997. Stable River Morphology. In: Thorne, J.C., Hey, R.D. and Newson, M.D. (Eds), Applied Fluvial Geomorphology for River Engineering and Management. Wiley, Chichester, pp.176-217.

Hoffmann, K. 2015. Anwendung verschiedener Bewertungsverfahren zur Erfolgskontrolle von Fließgewässer-Renaturierungen und Entwicklung von Optimierungsvorschlägen. Masterarbeit an der Goethe Universität Frankfurt am Main.

Holubová, K., Mravcová, K., Matok, P. 2022. Upravený plán revitalizačných opatrení pre riekú Morava v úseku km 69 až 51,9, Štúdiá pre VARIANT 2, Plán obnovy a odolnosti, VÚVH, Bratislava

Holubová a kol. 2019. Metodika hodnotenia hydromorfologickej kvality vodných tokov (HYMOK)

HOLUBOVÁ,K., LISICKÝ, M., A KOL. 2005. Stratégia a manažment riečneho systému dolnej Moravy. Súhrnná záverečná správa projektu APVT - 27-018102: Ochrana revitalizáciou: Stratégia a manažment riečneho systému dolnej Moravy. VÚVH, Bratislava

HOLUBOVÁ,K., MATOK, P., MRAVCOVÁ, K., ČUBAN,R. 2005. Riečne procesy vo vzťahu k úprave toku a revitalizačným opatreniam. Záverečná správa čiastkovej úlohy projektu APVT - 27- 018102: Ochrana revitalizáciou: Stratégia a manažment riečneho systému dolnej Moravy. VÚVH, Bratislava

Hoogduin L, Wijma E, Stuij S. 2015. Monitoringsplan, Noordwaard. Royal HaskoningDHV Nederland BV, Amersfoort, the Netherlands. 48pp.

Januschke, K. 2014. River restorations – Morphological effects on colonization and succession of aquatic and riparian organism groups. Universität Duisburg-Essen.

Jähnig, S. C., Lorenz, W., Hering, D., Antons, C., Sundermann, A., Jedicke, E. & Haase, P. 2011. River restoration success: a question of perception. in: *Ecological Applications*, 21(6), 2007–2015.

Julien, P.Y. 2018. *River Mechanics*. Cambridge University Press; 2nd edition, ISBN: 978-1107462779

Kail, J., Angelopoulos, N. 2014: D4.2: Evaluation of hydromorphological restoration from existing data. In: *REstoring rivers FOR effective catchment Management -REFORM Project funded by the European Commission within the 7th Framework Programme, (2011-2015)*

Kern, K., 1994: *Grundlagen naturnaher Gewässergestaltung. Geomorphologische Entwicklung von Fließgewässern*. Springer – Verlag, Berlin 1995a

Kondolf, G. M. 1997. Hungry Water: Effects of Dams and Gravel Mining on River Channels. *Environmental Management* 21 (4): 533-551.

Lawson, C., Rothero, E., Gowing, D., Nisbet, T., Barsoum N., Broadmeadow, S., Skinner, A., 2018. The natural capital of floodplains: management, protection and restoration to deliver greater benefits. *Valuing Nature Natural Capital Synthesis Report VNP09*.

Macura, V., Halaj, P., 2013: *Úpravy a revitalizácie vodných tokov*. Slovenská technická univerzita v Bratislave. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 978-80-227-3925-2.

Makovinská, J., Mišíková Elexová, E., Baláži, P., Kováč, V., Ščerbáková, S., Plachá, M., Lešťáková, M., Fidlerová, D., Holubová, K., Velegová, V., Melová, K. 2021. Monitorovanie a hodnotenie vodných útvarov povrchových vôd Slovenska, VÚVH Bratislava, ISBN 978-80-89740-31-4, http://www.vuvh.sk/Documents/NRL/METODIKA_FINAL.pdf

Mišíková Elexová, E., Ščerbáková, S., Lešťáková, M. & Plachá, M. (eds.) 2021. Výsledky monitorovania vodných útvarov povrchových vôd Slovenska, Zoznam taxónov, Vodná fauna. VÚVH, Bratislava, 387 s., https://www.vuvh.sk/Documents/NRL/publikacie/CHECKLIST_FAUNA.pdf

Mravcová, K., Matok, P., Holubová, K., Studený, M., Čuban, R., Lukáč, M., Jirkal, M. 2022. Plán revitalizačných opatrení pre rieku Morava v úseku km 20 až 0, Expertná štúdia pre Plán obnovy a odolnosti, VÚVH, Bratislava

Muhar, S., Januschke, K., Keil, J., Poppe, M., Schmutz, S., Hering, D. & Buijse, A. D. 2016. Evaluating good-practice cases for river restoration across Europe: context, methodological framework, selected results and recommendations. in: *Hydrobiologia*, 769, 3–19. <https://doi.org/10.1007/s10750-016-2652-7>

Novák, L., Ibllová, M., Škopek, V. 1986. *Vegetace v úpravách vodních toku a nádrží*. Praha : SNTL – NTL. DT 627.411/417, 244 s.

Polák, V. Druga; V., Kubala, M., Andreji, J., Pekárik, L., Škrinár, A., Macková, M., Čiampor, F., Holubová, K. Abaffy, D., Čomaj, M. 2023. Metodika spriechodňovania priečných bariér na vodných tokoch pre ichtyofaunu, MŽP SR, VÚVH

Pont, D., Meulenbroek, P., Bammer, V., Dejean, T., Erős, T., Jean, P., Lenhardt, M., Nagel, C., Pekarik, L., Schabuss, M., Stoeckle, B.C., Stoica, E., Zornig, H., Weigand, A., Valentini, A., 2023. Quantitative monitoring of diverse fish communities on a large scale combining eDNA metabarcoding and qPCR. *Molecular Ecology Resources* 23, 396–409. <https://doi.org/10.1111/1755-0998.137155>

Raplík, M., Výbora, P., Mareš, K. 1989. *Úprava tokov*. Vydavateľstvo ALFA, 253 s. ISBN 80-050-0128-2

REFORM (REstoring rivers FOR effective catchment Management. 2015.. REFORM in a nutshell. <https://www.reformrivers.eu>

Rinaldi, M., N. Surian, F. Comiti, and M. Bussettini. 2012. A method for the assessment and analysis of the hydromorphological condition of Italian streams: The Morphological Quality Index (MQI). Geomorph

Rinaldi, M., N. Surian, F. Comiti, and M. Bussettini. 2012. Guidebook for the evaluation of stream morphological conditions by the Morphological Quality Index (MQI)., 90

Rinaldi, M., N. Surian, F. Comiti, and M. Bussettini. 2012. Illustrated guide to the answers – Guidebook for the evaluation of stream morphological conditions by the Morphological Quality Index (MQI)., 66

Rinaldi, M., Surian, N., Comiti, F., & Bussettini, M. 2015. A methodological framework for hydromorphological assessment, analysis and monitoring (IDRAIM) aimed at promoting integrated driver management. Geomorphology, 251, 122–136.

River Restoration Centre – RRC, 2020. Manual of River Restoration Techniques. Cranfield, UK.

Říha, J. et al., .2008. Návrhy na zvýšení spolehlivosti ochranných hrází ve změněných klimatických podmínkách . Dílčí zpráva. Úkol č. 81223. FS VUT Brno, ústav vodních staveb, MZ ČR, NAZV: Brno. 49 s.

Seeger, K.D., Sousa-Lima, R., Schmitter-Soto, J.J. & Urban E. R. Jr. 2021. Editorial: Before-After Control-Impact (BACI) Studies in the Ocean. Front. Mar. Sci. 8:787959.

Stewart-Oaten, A. & Bence, J. R. 2001. Temporal and spatial variation in environmental impact assessment. Ecol. Monogr. 71, 305–339.

STN 75 7715: 2008. Kvalita vody. Biologický rozbor povrchovej vody.

STN EN 13962: Kvalita vody: Pokyny na výber metód odberu vzoriek rýb

STN EN 14011: Kvalita vody: Odber vzoriek rýb pomocou elektrického prúdu.

STN EN 14614:2020 (75 72201): Kvalita vody - Norma hodnotenia hydromorfologických charakteristík riek (EN 14614:2020 Water quality - Guidance standard for assessing the hydromorphological features of rivers).

STN EN 16150: 2012. Kvalita vody. Pokyny na pomerný (pro-rata) multihabitatový odber vzoriek bentických makroevertebrát v brodných tokoch.

Svitok, M. & Novikmec, M. 2014. Vplyv malej vodnej elektrárne na ekosystém podhorského toku. Technická univerzita vo Zvolene. 97 s.

Thorne, C.R. 1997. Channel types and Morphological Classification. In: Thorne, J.C., Hey, R.D. and Newson, M.D. (Eds), Applied Fluvial Geomorphology for River Engineering and Management. Wiley, Chichester, pp.176-217.

Zákon č. 364/2004 Z. z. Zákon o vodách a o zmene zákona Slovenskej národnej rady č. 372/1990 Zb. o priestupkoch v znení neskorších predpisov (vodný zákon)

Ward, J. V. & Stanford, J. A. 1983. The serial discontinuity concept of lotic ecosystem. In: Fontaine T. D. & Bartell S. M. (eds.). Dynamics of Lotic Ecosystems. Ann. Arbor Scientific Publishers: Ann Arbor. 29-42 s.

Weigand, H., Beermann, A.J., Čiampor, F., Costa, F.O., Csabai, Z., Duarte, S., Geiger, M.F., Grabowski, M., Rimet, F., Rulik, B., Strand, M., Szucsich, N., Weigand, A.M., Willassen, E., Wyler, S.A., Bouchez, A., Borja, A., Čiamporová-Zaťovičová, Z., Ferreira, S., Dijkstra, K.-D.B., Eisendle, U., Freyhof, J., Gadawski, P., Graf, W., Haegerbaeumer, A., van der Hoorn, B.B., Japoshvili, B., Keresztes, L., Keskin, E., Leese, F., Macher, J.N., Mamos, T., Paz, G., Pešić, V., Pfannkuchen, D.M., Pfannkuchen, M.A., Price, B.W., Rinkevich, B., Teixeira, M.A.L., Várbiro, G., Ekrem, T., 2019. DNA barcode reference libraries for the monitoring of aquatic biota in Europe: Gap-analysis and recommendations for future work. *Science of The Total Environment* 678, 499–524. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.2477>

Williams, R.D., Bangen, S., Gillies, E., Kramer, N., Moir, H., Wheaton, J. 2020. Let the river erode! Enabling lateral migration increases geomorphic unit diversity. *Science of the Total Environment*, doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136817

Williams, R.D., Bangen, S., Gillies, E., Kramer, N., Moir, H., Wheaton, J. 2020. Let the river erode! Enabling lateral migration increases geomorphic unit diversity. *Science of the Total Environment*, doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136817

Wolman M. G. 1954. A method of sampling coarse river-bed material. *Transactions of the American Geophysical Union*, 35, 951-956.

Wolman, M.G., Muller, J. P. 1960. Magnitude and frequency of geomorphic processes. *Journal of Geology*, 68, pp. 54-74