MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ

Česká společnost krajinných inženýrů ČSSI, z. s.

Ing. Adam Vokurka, Ph.D. a doc. Ing. Karel Zlatuška, CSc. (eds.)

TECHNICKÁ DOPORUČENÍ PRO HRAZENÍ BYSTŘIN A STRŽÍ

Technická doporučení pro hrazení bystřin a strží

Česká společnost krajinných inženýrů ČSSI, z. s.

Ing. Adam Vokurka, Ph.D. a doc. Ing. Karel Zlatuška, CSc. (eds.)

Technická doporučení pro hrazení bystřin a strží vznikla na základě smlouvy pro Ministerstvo zemědělství jako rozšíření technických norem pro hrazení bystřin a strží.
Na obsahu technických doporučení pracoval odborný řešitelský kolektiv pod vedením Ing. Adama Vokurky, Ph.D.

Řešitelský kolektiv (abecedně):

prof. Ing. Jiří Barták, DrSc. (České vysoké učení technické v Praze)
Ing. Miroslav Brouček Ph.D. (České vysoké učení technické v Praze)
Ing. Boleslav Jelínek, Ph.D. (Mendelova univerzita v Brně)
Mgr. Hana Lakomá, Ph.D. (České vysoké učení technické v Praze)
Ing. Marie Straková, Ph.D. (Agrostis Trávníky, s. r. o.)
doc. Ing. Luboš Úradníček, CSc. (Mendelova univerzita v Brně)
Ing. Martin Vaníček, Ph.D. (Geosyntetika, s. r. o.)
Ing. Adam Vokurka, Ph.D. (České vysoké učení technické v Praze)
doc. Ing. Karel Zlatuška, CSc. (Česká zemědělská univerzita v Praze)

Oponenti (abecedně)

Ing. Tomáš Hofmeister (Lesy České republiky, s. p.)
Ing. Libor Jedlička (Lesy České republiky, s. p.)
Ing. Jiří Kubíček (Lesy České republiky, s. p.)
Ing. Josef Mareš (MARESA, s. r. o.)
Ing. Jan Svejkovský (Povodí Ohře, s. p.)

Obsah

1 ÚVOD . . . 7

2 POUŽITÉ DEFINICE . . . 9

3 PRINCIPY HRAZENÍ BYSTŘIN A STRŽÍ . . . 10

3.1 Zásady úprav potoků . . . 10

3.2 Zásady hrazení bystřin . . . 11

4 DOPORUČENÉ TYPY OBJEKTŮ A KONSTRUKCÍ . . . 12

4.1 Příčné stavby . . . 12

4.1.1 Pasy . . . 12

4.1.2 Prahy . . . 14

4.1.3 Stupně . . . 17

4.1.4 Skluzy . . . 19

4.1.4.1 Prostorové řešení skluzu . . . 21

4.1.4.2 Přelivná hrana . . . 21

4.1.4.3 Skluzová plocha . . . 21

4.1.4.4 Navázání skluzové plochy na dno pod skluzem . . . 21

4.1.4.5 Opevnění břehů nad skluzem . . . 22

4.1.5 Přehrážky . . . 22

4.1.5.1 Tížné konzolové přehrážky . . . 23

4.1.5.2 Tížné monolitické přehrážky . . . 25

4.1.5.3 Klenbové přehrážky . . . 26

4.1.5.4 Přehrážky drátoštěrkové (gabionové) . . . 27

4.1.5.5 Přehrážky dřevěné . . . 30

4.1.6 Srubové konstrukce . . . 31

4.2 Podélné stavby . . . 32

4.2.1 Kamenný pohoz . . . 33

4.2.2 Kamenný zához . . . 34

4.2.3 Plůtky z tyčoviny . . . 32

4.2.4 Srubové konstrukce . . . 34

4.2.5 Betonové dlažby a desky . . . 34

4.2.6 Kamenné dlažby . . . 35

4.2.7 Štětování dna kamennou rovnaninou . . . 37

4.2.8 Drátokamenné konstrukce . . . 37

4.2.9 Kamenná rovnanina . . . 38

4.2.10 Opěrné zdi . . . 39

4.2.11 Alpské zdivo . . . 43

4.3 Soustřeďovací o usměrňovací objekty . . . 43

4.4 Vegetační a kombinované konstrukce a prvky . . . 44

4.4.1 Oživené opevňovací konstrukce . . . 44

4.4.2 Haťové prvky a konstrukce . . . 44

4.5 Jiné objekty . . . 45

4.5.1 Flexibilní bariéry . . . 46

4.5.2 Patky . . . 48

4.5.3 Průsakové hráze . . . 49

5 HYDROTECHNICKÉ ŘEŠENÍ A POSOUZENÍ NÁVRHU . . . 50

5.1 Návrh koryta . . . 50

5.1.1 Proudění vody v otevřeném korytě . . . 50

5.1.2 Energie vodního proudu . . . 51

5.1.3 Režim proudění vody . . . 51

5.2 Návrhový průtok . . . 52
5.3 Dimenzování průtočného profilu . . . 52
5.3.1 Návrh průtočného profilu koryta . . . 52
5.3.2 Převýšení hladiny v oblouku . . . 53
5.3.3 Umělá drsnost koryta . . . 53
5.4 Posouzení stability koryta . . . 53
5.4.1 Metoda nevymílacích rychlostí . . . 54
5.4.2 Metoda tečného napětí . . . 55
5.4.3 Režim proudění vody a stabilita úpravy . . . 55
5.5 Výmoly ve dně koryta . . . 55
5.6 Přepad vody . . . 56
5.6.1 Průtočná kapacita přelivu . . . 56
5.6.2 Doskok vodního paprsku . . . 57
5.7 Podjezí příčného spádového objektu . . . 57
5.7.1 Podjezí stupně při říčním proudění . . . 57
5.7.2 Podjezí stupně při bystřinném proudění . . . 58

6 STATICKÉ ŘEŠENÍ A POSUZOVÁNÍ OBJEKTŮ . . . 59
6.1 Prahy . . . 59
6.2 Stupně . . . 59
6.3 Přehrážky . . . 59
6.3.1 Kombinace zatěžovacích stavů č. 1 (povodňová událost, prázdná zdrž) . . . 60
6.3.2 Kombinace zatěžovacích stavů č. 2 (povodňová událost, zdrž zaplněná sedimenty) . . . 62
6.4 Opěrné zdi . . . 63

7 NÁVRH ÚPRAVY TRASY VODNÍHO TOKU . . . 65
7.1 Lemniskáta . . . 65
7.1.1 Souměrná lemniskáta . . . 65
7.1.2 Nesouměrný lemniskátový oblouk . . . 66
7.1.3 Navrhování lemniskát . . . 66
7.2 Kružnicový oblouk . . . 66
7.2.1 Prostý kružnicový oblouk . . . 67
7.2.2 Složený kružnicový oblouk . . . 67

8 VYUŽITÍ VEGETACE PŘI HRAZENÍ BYSTŘIN A STRŽÍ . . . 69
8.1 Břehové a doprovodné porosty dřevin . . . 69
8.1.1 Teoretická východiska . . . 69
8.1.2 Prostorové uspořádání . . . 70
8.1.3 Stanovištní vhodnost jednotlivých druhů dřevin . . . 71
8.1.4 Semenný a sadební materiál . . . 72
8.1.5 Způsoby síje a sadby . . . 72
8.1.6 Péče o výsadbu . . . 74
8.1.7 Údržba porostů . . . 75
8.2 Travní a travinobylinné porosty . . . 75
8.2.1 Stabilizační porosty . . . 75
8.2.2 Plošné porosty . . . 75
8.2.3 Druhová skladba . . . 75
8.2.4 Osivo travin a bylin . . . 76
8.2.5 Příprava půdy . . . 76
8.2.6 Zakládání travních a travinobylinných porostů . . . 76
8.2.7 Péče o travní a travinobylinné porosty . . . 78

9 SEZNAM DOPORUČENÝCH MATERIÁLŮ A DÍLCŮ . . . 79
9.1 Dřevo, klest, proutí . . . 79
9.2 Kámen a kamenivo . . . 79

9.3 Beton, železobeton 80
9.3.1 Návrh směsi 80
9.3.2 Provádění betonáže 81
9.3.3 Dilatace a pracovní spáry 81
9.3.4 Železobeton – výztuž 81

10 POUŽITÁ A DALŠÍ DOPORUČENÁ LITERATURA 82

11 ZÁVĚR 84

12 PŘÍLOHY 85
12.1 Dřeviny vhodné pro jednotlivá stanoviště 85
12.2 Charakteristiky dřevin vhodných pro výsadby podél bystřin – LISTNÁČE 86
12.3 Charakteristiky dřevin vhodných pro výsadby podél bystřin – JEHLIČNANY 89
12.4 Charakteristiky dřevin vhodných pro výsadby podél bystřin – KEŘE 89
12.5 Doporučené travní a travinobylinné směsi 93

1 ÚVOD

Hrazení bystřin a strží se řadí mezi vodohospodářské disciplíny s dlouhou tradicí. Stejně jako v dobách svého vzniku, kdy fungovala tzv. služba hrazení bystřin[1], je i v dnešní době jejím hlavním cílem stabilizace a zlepšování odtokových poměrů v povodích bystřin, bezpečné svádění povodňových průtoků bystřinami s extrémními podélnými sklony, efektivní práce se splaveninami a péče o plnění vodohospodářských, půdoochranných, krajinotvorných a ekologických funkcí lesa.

Objekty hrazení bystřin jsou, stejně jako řada jiných vodohospodářských objektů, zřizovány již dlouhou dobu a jejich funkčnost je prověřována při každé významnější meteorologické události. Služba hrazení bystřin, která měla tyto objekty včetně jejich přípravy a následné údržby zpočátku na starosti (její činnost je dnes převážně zajišťována prostřednictvím určených správců povodí), má v našich zemích více jak 130letou historii. V pracích pojednávajících o počátcích práce služby hrazení bystřin se můžeme dočíst, že „…vlastní práce, které řídili sami lesníci, se v Čechách soustředily nejprve do horských oblastí Krkonoš, kde byly zahrazeny pramenné oblasti Labe, Velké a Malé Úpy, na Moravě a ve Slezsku pak na úpravu bystřin flyšového pásma v povodí Bečvy, dále pak Lomné a Lubiny. Nákladné a pracné úpravy si však vyžádalo i hrazení strží a bystřinných toků v pahorkatinách v povodí Rakovnického potoka, kde bylo v období 1892 až 1903 zahrazeno asi 70 kilometrů strží, v povodí Zlatého potoka, Litavky a přítoků Vltavy mezí Zbraslaví a Kamýkem. Katastrofální povodně ve dvacátých letech 20. století si vyžádaly další velké úpravy, především v povodí Desné, Bělé a Branné v Jeseníkách, kde bylo třeba zabezpečit i velké plošné sesuvy, dále pak v oblasti Tišnovska a přítoků Bělé u Bohosudova a Chabařovic v Krušných horách a pravostranných přítoků Labe u Ústí nad Labem, zvláště povodí Čeřeništského potoka“.

Objekty hrazení bystřin jsou svou povahou výjimečné. Mají oproti zdánlivě obdobným vodohospodářským stavbám svá velmi odlišná specifika plynoucí z charakteristik bystřinných toků. Shodné s ostatními vodohospodářskými objekty je naopak používání tradičních materiálů k jejich stavbě (kámen, dřevo, beton a vegetace včetně jejich kombinací). Rozdílný je ovšem účel těchto objektů a z něho plynoucí funkce, dále pak okolní podmínky ovlivňující průběh stavby a do jisté míry i používané stavební technologie, které jsou přímo závislé na morfologii terénu, podélných sklonech vodních toků nebo dostupnosti staveniště. Specifická je i velikosti povodí bystřin a na ní závislá rychlost vzniku extrémního odtoku povrchové vody, příznačně vysoká rozkolísanost průtoků v bystřinách, a hlavně charakter splaveninového režimu – tvorba splavenin a jejich pohyb. V převážné většině se jedná o stavby v lesních porostech, na podhorských a horských vodních tocích, kde podélný sklon bystřin místy přesahuje i 15–20 %. Proto jsou tyto stavby prováděny tak, aby odolaly extrémnímu proudu vody, její pohybové energii a případně i nárazu kusů stromů a větví nesených korytem toku za stavu vysokých povodňových průtoků. Z předešlého vyplývá, že objekty hrazení jsou dimenzovány na extrémní průtoky, při nichž musí bezpečně fungovat. Zároveň by však u zahrazených toků nemělo v období nízkovodných stavů docházet k razantnímu ovlivnění charakteru toku a jeho ekologických funkcí.

Délka hrazenářsky upravených bystřinných toků pomocí funkčních objektů představuje cca 6 % celkové délky těchto toků, která v České republice činí celkem zhruba 20 tisíc říčních kilometrů. Řada dodnes fungujících objektů hrazení bystřin byla postavena v prvních letech 20. století s tím, že v letech následujících byla prováděna převážně údržba těchto staveb tvořících v nemalé míře rozsáhlé objektové soustavy. Ve svém článku z roku 2005 píše Ing. Jiří Bělský: „K 31. 12. 1981 byly zpracovány Ministerstvem lesního a vodního hospodářství údaje o bystřinách v českých zemích, které dosud nebyly upřesněny. Z přehledů vyplývá, že k tomuto období bylo upraveno 1 283 km bystřin a 130 km strží z celkové délky 19 540 km bystřin v odborné správě lesního hospodářství. Funkčních bylo asi 2 350 přehrážek, 6 326 stupňů. Hodnota základních prostředků v tehdejších cenách dosahovala asi 1,3 mld. Kč.“

S ohledem na dnešní stav vodních toků, rostoucí zastavěnost území a poměrně častý výskyt extrémních srážek je očekávatelné, že hlavní hrazenářská stavební činnost se zaměřuje hlavně na úseky poškozené povodňovými průtoky. Zároveň dochází k celkovým rekonstrukcím původních staveb hrazení bystřin, které jsou nyní více jak 100 let staré. S ohledem na postupně se zvyšující návrhové průtoky, které i tyto objekty musí bezpečně převádět, se opakovaně prověřuje bezpečná provozuschopnost těchto objektů.

Povodňové události z přelomu tisíciletí způsobily řadu povodňových škod většinou na původních podélných úpravách v horských a podhorských oblastech. Ukázalo se, že koncepce tvrdých opevnění, využívání dnových a břehových dlažeb s povrchem s malou drsností, soustav stupňů s nedostatečným spadištěm či nesprávně zhotoveným vývarem (odpovídajícím svou dimenzí návrhovým průtokům z počátku 19. století) povodňové škody místy zvětšuje. Ne vždy se však podaří v rámci odstraňování povodňových škod rekonstruovat opevnění hydraulicky účinným způsobem; řada opevnění byla opravena podle původních návrhových dimenzí a parametrů.

V některých lokalitách se s ohledem na následky katastrofických povodních právě z přelomu 20. a 21. století podařilo v rámci rekonstrukcí postupně do hrazenářské praxe více zapojit poddajné, kamenné konstrukce, rovnané z velkých kamenů do dnových objektů a útvarů. Zároveň se začíná uplatňovat přístup lokálního umísťování retenčních objektů pro práci se splaveninami, doplněných o pomístní úpravu erozně porušeného břehu či dna. Souvislé podélné úpravy jsou nahrazovány soustavami příčných kamenných pasů a prahů, mezi kterými se zřizují dnové záhozy a pohozy (základ budoucí stabilní dnové vrstvy) se stabilizací nejvíce namáhaných částí koryta, tj. paty a dna.

[1] Zákon, daný dne 30. června 1884, o opatřeních k neškodnému svádění horských vod (117/1884 ř. z.). Doplněn nařízením ministeria orby, daným dne 18. prosince 1885, o úpravě a předkládání povšechných projektů k neškodnému svádění horských vod (hrazení bystřin) (2/1886 ř. z.) a zákonem, daným 7. února 1888, o přidělování státních orgánů ku projektování a ku správě staveb pro hrazení bystřin (17/1888 ř. z.).

Problematickou oblastí hrazení bystřin je častý konflikt této inženýrské disciplíny se zájmy ochrany přírody. Ze současného pohledu společnosti je jakákoliv sanace břehové eroze, dnových nátrží či vzniklých strží považována za zásah do přirozeného vývoje koryta. Minimalizace či zastavení chodu splavenin korytem jsou zkratkovitě označovány za nepřirozený zásah do splaveninového režimu toku, úprava bystřin pak je obecně interpretována jako nepřípustný zásah do přírody (příčné objekty jsou označovány jako migrační bariéry). Dopady těchto staveb do přírodního prostředí ale je možné dodržováním principů hrazení bystřin a sledováním účelnosti navržených úprav při jejich umisťování minimalizovat na všestranně přijatelnou úroveň.

2 POUŽITÉ DEFINICE

BYSTŘINA – přirozený vodní tok s malým povodím, s náhlými a výraznými změnami průtoku, se strmými průtokovými vlnami, které prohlubují dno, podemílají svahová úpatí a tvoří nátrže; přemísťují značně a nepravidelně splaveniny, které dočasně ukládají ve štěrkových lavicích a nánosech na bystřinném dně, na zaplavovaném území nebo je odnášejí do vodních toků vyšších řádů a vodních nádrží.

HORSKÝ POTOK – vodní tok s malým povodím (obvykle do 30 km²), s nepravidelným a neustáleným sklonem nivelety (obvykle 1 % až 3 %), s náhlými změnami průtoku, s výraznou korytovou erozí, s vnosem a intenzivním pohybem splavenin a jejich ukládáním v korytě vodního toku nebo na inundačním území.

STRŽ – terénní útvar vzniklý nadměrnou erozní činností soustředěného povrchového odtoku vody. Má zpravidla velmi malé povodí a velký podélný sklon, zpravidla převažuje stav bez průtoku. Je definována geologickými a pedologickými podmínkami svého okolí.

HRAZENÍ BYSTŘIN – úprava koryta bystřiny (obdobně horského potoka) spočívající ve snížení energie vodního proudu a v optimalizaci splaveninového režimu především pomocí příčných objektů. Opatření na vodních tocích by mělo být z koncepčního pohledu vždy být doplněné o opatření v povodí bystřiny, proto jsou hrazenářské práce na korytech vodních toků nedílnou součástí lesnickotechnických meliorací.

LESNICKOTECHNICKÉ MELIORACE – opatření pro zlepšení půdních, vodních a mikroklimatických poměrů, k tlumení zrychlené eroze a k úpravě vodního režimu půdy v povodí bystřiny.

STABILNÍ SKLON – sklon, při kterém nebude dno koryta narušováno návrhovým průtokem. Hodnota sklonu závisí na odolnosti splavenin proti uvedení do pohybu, na tvaru průtočného profilu, na průběhu tečného napětí po obvodu průtočného profilu a na stupni nasycenosti proudící vody splaveninami.

PAS – příčný objekt s korunou v úrovni nivelety dna, které stabilizuje. Pas nepřerušuje břehové linie bystřiny nebo horského potoka.

PRÁH – příčný objekt s přepadovou výškou do 0,3 m. Přelivná hrana je v úrovni dna nad objektem. Práh nepřerušuje břehové linie bystřiny nebo horského potoka a při větších průtocích je zaplaven vodou.

DOPADIŠTĚ – úsek pod stupněm či jiným spádovým objektem, kam při přepadu vody přes přelivnou hranu dopadá voda. Dopadiště je součástí spadiště spádového objektu. Délka dopadiště se posuzuje na základě hydrotechnického výpočtu pro návrhový či kapacitní průtok spádového objektu.

PRÁH VÝVARU – práh ukončující vývar a sloužící ke stabilizaci vodního skoku ve vývaru bystřiny nebo horského potoka.

TRAVERZA – příčná stavba spojující podélnou stavbu s břehem vodního toku.

KLESTOVÁ PODESTÝLKA – vrstva klestu nebo hatí ke zpevnění dna obvykle pod příčnými objekty nebo podélnými úpravami koryta, výmolů a strží nebo v místech namáhaných menším nebo občasným proudem přepadající vody.

KLEJONÁŽ – klestový pokryv na ochranu povrchu obnažených příkrých svahů, kterým se zajišťuje založení a vývoj vegetace.

GARNISÁŽ – ochranný kryt z vrstev k zemi připevněného klestu, používaný k sanaci erozních rýh.

PLŮTEK – konstrukce z řady zatlučených kolíků spojených latěmi nebo propleteným proutím.

3 PRINCIPY HRAZENÍ BYSTŘIN A STRŽÍ

Ing. Adam Vokurka, Ph.D.

Účelem hrazení bystřin a strží je zlepšení nepříznivých odtokových poměrů v povodí, zabránění erozi a zabezpečení neškodného odvedení přívalových vod. Před návrhem úpravy vodního toku v rámci zamýšleného hrazení bystřin a sanace strží je nutné posoudit dostupné podklady související s navrhovaným řešením a respektovat jejich vzájemné vazby.

Zásahy, které nejsou bezpodmínečně nutné, se v rámci hrazenářských úprav vůbec neprovádí. Podélné opevnění toků (dna i břehů) v delších úsecích se omezuje pouze do úseků se zvýšenou dnovou a břehovou erozí. Přitom se veškeré zásahy navrhují na základě jasně definovaných cílů, na základě znalosti splaveninového režimu a srážkoodtokových vztahů v povodí bystřiny.

Při úpravě bystřiny nebo sanaci strže se musí vždy vycházet ze znalosti stavu celého bystřinného toku nebo strže a charakteru jejich povodí. Realizuje-li se úprava celého toku nebo strže, postupuje se při provádění prací po kratších ucelených úsecích obvykle od prameniště k ústí, aby bylo podchyceno celé povodí. Upravuje-li se jen konkrétní úsek bystřiny či strže, je nutné provést taková opatření, aby vlivem neuspořádaných poměrů na neřešených úsecích toku a výše položených částí povodí nebyla provedená úprava poškozována. Zároveň vždy musí být posouzeno, aby prováděním takových návrhů a zásahů na korytech vodních toků nebo v jejich povodích nebyly zhoršovány odtokové poměry v níže položených úsecích.

Průtočná kapacita a stabilita upravovaného koryta bystřiny závisí především na sklonu nivelety dna, na drsnosti dna a břehů a na rozměrech příčného profilu. Stabilitu koryta lze zvětšit buď snížením energie vodního proudu nebo opevněním koryta odolnými prvky. Sklon nivelety dna a hloubka koryta se řeší při návrhu podélného profilu úpravy. Při návrhu příčného profilu koryta je naopak třeba navrhnout jeho tvar a dimenze. Stabilitu koryta u bystřinných vodních toků ovlivňuje také jeho půdorysný průběh, proto je třeba při zahrazovacích úpravách věnovat v rámci možností náležitou pozornost návrhu směrového vedení trasy.

V případě akutní potřeby rychlého odstranění povodňových škod se provádí pouze provizorní úprava devastovaného úseku bystřiny. Po provizorní úpravě se musí daný úsek bystřiny upravit co nejdříve trvalým způsobem.

3.1 Zásady úprav potoků

Vodohospodářské úpravy potočních koryt mají dlouhou historii. Úpravy byly v minulosti a jsou i dnes prováděny především z důvodů ochrany území před povodněmi, k využití vodní energie, pro ochranu a zajištění komunikací a pro potřeby meliorací zemědělských pozemků. Ve dvacátém století se úpravy potočních tratí prováděly ve velkém rozsahu zejména při melioraci zemědělských pozemků. Vznikl tak obor úprav potoků disponující velkým rozsahem metod navrhování, posuzování a realizačních postupů.

Ustálily se tak prakticky ověřené metody, způsoby a konstrukce používané při úpravách toků, které jsou vyhovující zejména z hydrotechnických, stavebních, provozních a ekonomických hledisek. Větší důraz na ekologické aspekty navrhovaných a prováděných úprav potočních tratí je kladen až v posledním období. S ohledem na některé zvláštnosti hydrologie malého povodí a s přihlédnutím k hydraulickým poměrům koryt malých rozměrů je nutný i zvláštní, resp. specifický přístup k řešení základních prvků úpravy potoční tratě.

Vedení trasy úpravy potočního koryta závisí především na terénních poměrech a na účelu úpravy. Obecná zásada střídání protisměrných oblouků odpovídá přirozenému vývoji koryta, její uplatnění však má význam pouze u potočních tratí, kde je energie vodního proudu za vyšších průtoků dostatečná pro přetváření koryta v aluviálním půdním profilu. Návrh trasy se vždy přizpůsobuje průběhu údolnice a potřebám užívání pobřežních pozemků. Při vodohospodářských úpravách je obvyklé vedení trasy v delších přímých úsecích s oblouky umístěnými tak, aby byla co nejlépe vystižena údolní brázda území.

Při návrhu podélného profilu úpravy se řeší sklon nivelety dna a volí se hloubka koryta. Sklon nivelety se navrhuje ve vazbě na požadovanou průtočnou kapacitu a stabilitu stěn koryta, hloubka koryta většinou odpovídá požadované hloubce podzemní vody, hloubce vyústění případné drenáže a požadované průtočné kapacitě. Navržený podélný sklon nivelety pak odpovídá účelu úpravy a řídí se terénními poměry zájmového území, zejména jeho svažitostí.

Při úpravách potoků se hloubka koryta většinou volí podle účelu úpravy, např. při odvodňovacích pracích má být umožněno gravitační vyústění drenáže v kterémkoliv místě úpravy. Hledisko průtočné kapacity koryta v praxi bývá při návrhu jeho hloubky až druhořadé. To skrývá nebezpečí soustředění větších průtoků, než odpovídá návrhové hodnotě (s negativními důsledky pro stabilitu koryta).

Při úpravách potoků rovin a pahorkatin se ustálil typ lichoběžníkového koryta s hloubkou 1,20–1,50 m a se šířkou dna 0,60–1,50 m, který byl používán převážně při melioračních úpravách. V těchto podmínkách vyhovuje tento typ příčného profilu jak k převedení velkých vod, tak pro vyústění drenáže, popřípadě pro úpravu hloubky hladiny podzemní vody.

V důsledku zvětšení sklonu nivelety dna a zvětšení průtočné kapacity koryta při tomto řešení je většinou nezbytné stabilizovat nový profil koryta opevněním (obvykle stavebními prvky). Návrh typu opevnění se při tom přizpůsobuje místní tradici, dostupnosti opevňovacích prvků a technologickým možnostem. Často se volí opevnění nepoddajné – dlažba z kamene, prefabrikátů, popřípadě dlažba betonová. Využití vegetačních prvků a konstrukcí není při úpravách potoku rovin a pahorkatin příliš rozšířeno.

3.2 Zásady hrazení bystřin

Obor hrazení bystřin a strží se vyvinul nejprve v alpských zemích a později i u nás v samostatný inženýrský a vědní obor v rámci lesního hospodářství. Opatření využívaná při realizaci zahrazovacích úprav mají biologicko-technický charakter a využívají kromě stavebních konstrukcí i řadu vegetačních prvků a objektů. Pod pojmem hrazení bystřin se při tom původně rozuměly nejen stavební zahrazovací práce, ale i lesnicko-technické úpravy v povodích bystřin, které často při sanaci poškozených území nad stavebními pracemi převažovaly.

Pro posouzení nejvhodnějšího způsobu úpravy bystřinného toku je nutné důkladně poznat poměry v celém povodí. Podrobný průzkum je při tom třeba zaměřit na:

- sběrnou oblast, kde se soustřeďuje povrchová voda z přívalových srážek a erozní činností se uvolňují splaveniny tvarem a velikostí odpovídající geologické stavbě podloží,
- oblast transportní (většinou střední část toku), ve které jsou splaveniny unášeny, a
- oblast ukládání erodovaných hmot.

Zásadním předpokladem pro tvorbu návrhu úpravy bystřiny a jejího povodí je znalost splaveninového režimu povodí řešené bystřiny.

Hrazení bystřin je nutné, stejně jako jakýkoliv zásah do odtokových procesů v povodí, provádět vždy v komplexní vazbě „vodní tok (bystřina) a jeho povodí“. S ohledem na tento fakt lze zásahy prováděné v rámci hrazení bystřin dělit do dvou vzájemně provázaných celků:

- lesnicko-technické meliorace (dříve označované jako biotechnické práce) sloužící k ochraně povrchu půdy na svazích před účinky vodní eroze. K tomu se využívá vegetace, která váže povrch půdy kořenovým systémem a zdrsněním povrchu území zpomaluje povrchový odtok vody. Na zamokřených stanovištích se využívá dřevin s vysokou transpirační schopností (nejčastěji olše, topol, vrba a jasan). Zároveň dochází k návrhu odvodňovacích příkopů pro bezpečné svádění vody k vodním tokům.
- úpravy koryt bystřin za pomoci stavebně technických prvků, konstrukcí a objektů. Jedná se především o příčné objekty stavěné jednotlivě nebo v soustavách a úpravu nivelety koryta do stabilního sklonu koryta, jehož dno pak není nutné opevňovat.

V současné době, která zvyšuje důraz na ochranu souvisejících ekosystémů a krajinného rázu, je také třeba zvažovat metody zahrazovacích úprav šetrných k přírodním podmínkám. Je to nezbytné nejen z hlediska zájmu na ochraně přírody a krajiny, ale může to být vhodné i z hlediska funkčního a provozního. Z tohoto pohledu je dnes možné pozorovat při zahrazovacích úpravách bystřinných koryt postupný odklon od postupů založených na zvyšování odolnosti koryta jeho podélným, tvrdým opevněním. Do popředí se dostává pouze pomístní stabilizace vybraných, exponovaných úseků bystřinných koryt, k jejichž stabilizaci se ve velké míře používají především poddajné, kamenné objekty, nejčastěji rovnaniny, využívající principu tlumení energie vodního proudu svou vysokou drsností. Pro stabilizaci nivelety dna se pak upřednostňují kamenné prahy doplněné o balvanité skluzy v úsecích, kde lze jinak používané a navrhované stupně skluzem efektivně a hydraulicky účinně nahradit.

4 DOPORUČENÉ TYPY OBJEKTŮ A KONSTRUKCÍ

Ing. Adam Vokurka, Ph.D.

S ohledem na veškeré známé charakteristiky bystřin, jejich často velký podélný sklon, značnou rozkolísanost průtoků a velkou pohybovou energii proudící vody spojenou s erozní činností je zřejmé, že pro úpravy bystřiny nebo strží jsou často používány funkční objekty. V ojedinělých případech (při rozsáhlých hrazenářských stavbách) se pak mohou navrhovat ucelené soustavy jednotlivých, ale funkčně vzájemně propojených objektů.

Dále uvedené hrazenářské stavby či jednotlivé objekty (ať už čistě technické, vegetační či kombinované), můžeme podle jejich funkce a charakteru dělit do jednotlivých skupin:

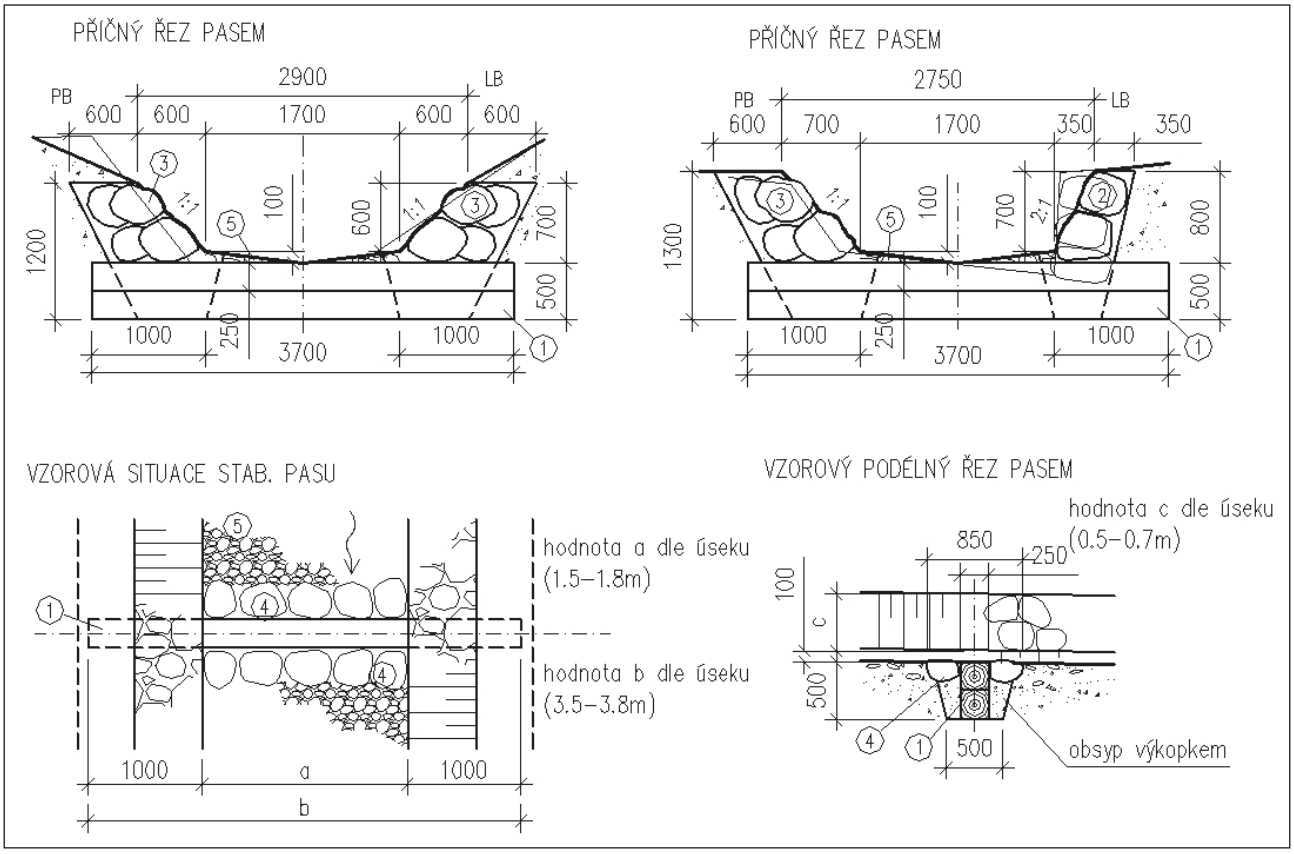
- příčné stavby sloužící k zajištění nivelety dna (stabilizační pasy), dále k úpravě a ustálení sklonu dnu (prahy, stupně, skluzy a vegetační opatření – plůtky), v neposlední řadě k zachycení splavenin a prevenci prohlubování dna (retenční a konsolidační přehrážky nebo nově také dynamické bariéry),
- podélné stavby jako stabilizační a pomocné konstrukce zajišťující funkční podporu příčným (spádovým) objektům tím, že zajišťují stabilizaci dna a břehů u příčných objektů (jsou součástí objektu) nebo v úsecích s rozvinutou dnovou a břehovou erozí,
- soustřeďovací a usměrňující stavby (objekty) používané zejména v dolních částech širších štěrkonosných bystřin k zabezpečení břehů a k vytvoření jednotného koryta, případně k odhrazení vedlejších ramen (při sanaci a stabilizaci strží se nepoužívají),
- vegetační konstrukce a stavby kombinované (většinou stavby podélné a konstrukčně doplněné vegetačním materiálem),
- jiné objekty sloužící odlišným účelům, např. pro dopravu (propustky, mosty, lávky, brody), pro přístup k vodě (schody), pro odběry nebo vypouštění vody, pro převedení potrubí a kabelů apod.

4.1 Příčné stavby

4.1.1 Pasy

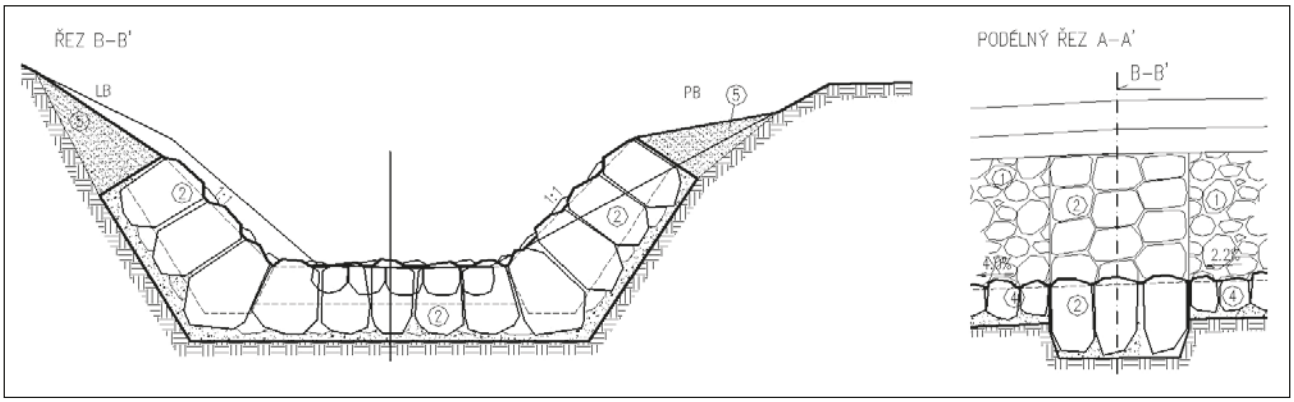
Pasy jsou opěrná a stabilizační žebra ve dně koryta zapuštěná do dna a zavázaná do svahů břehů. Jejich základním účelem je stabilizace koryta v místě přechodu podélných sklonů úseku či v místě změny typu opevnění.

Konstrukčně jsou pasy zapuštěny do dna a zavázány do svahů břehu, koruna pasů je v úrovni nivelety dna. Dostatečným zavázáním pasu do dna a břehů (resp. rostlého terénu) musí být minimalizována možnost obtékání a podtékání těchto stabilizačních objektů. Doporučuje se zavázání minimálně na délku 1,5 m, případně minimálně na dvojnásobek tloušťky konstrukce břehového opevnění; do dna pak minimálně na dvojnásobek konstrukční tloušťky dnového opevnění nebo tloušťky stabilní dnové vrstvy.

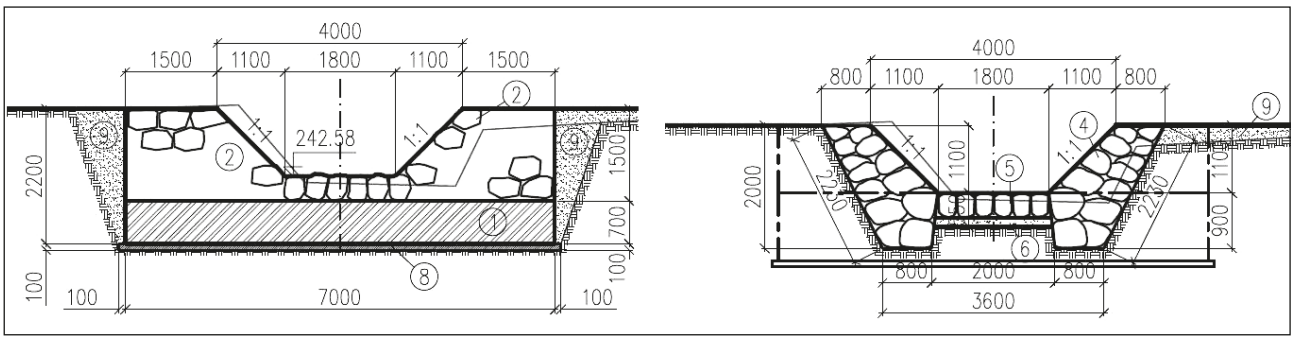


Obrázek 4-1: *Dřevěný pas (na ložné hraně přitesaných kulatin doplněn o kamennou rovnaninu).*

Pasy se budují z lomového kamene jako těžké (většinou dvouřadé) kamenné rovnaniny částečně zapuštěné pod niveletou dna a částečně vyčnívající do profilu (výška výstupku se pohybuje na úrovni zhruba 5 cm), dále pak z prostého betonu, z kamenného zdiva nebo ze dřevěných výřezů a kuláčů.



Obrázek 4-2: *Pas z kamenné rovnaniny kladené na štět ve třech řadách.*



Obrázek 4-3: *Ukázka zděného pasu se znázorněním krytí, resp. stabilizace konstrukce rovnaniny a hrubé dnové dlažby.*

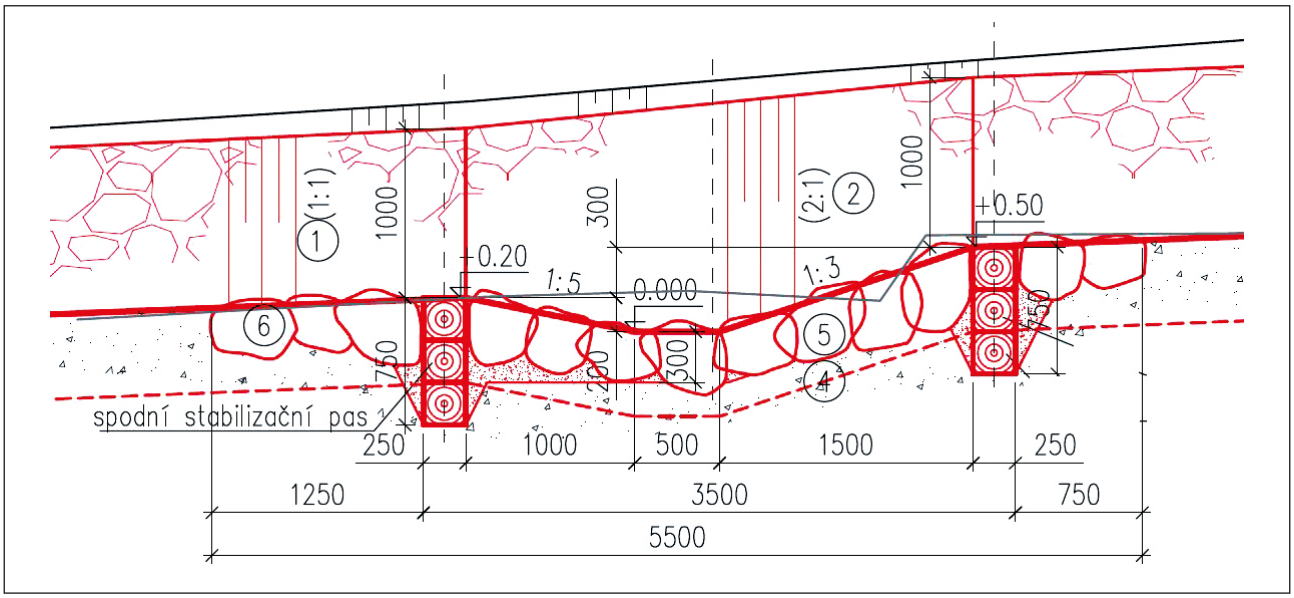
Obrázek 4-4: *Pohled proti vodě na přechod dna koryta ve skluz, břeh je opevněn kamennou rovnaninou klínovanou kamenem. Opevnění dna v horní trati koryta je provedeno velmi hrubé z důvodu snížení energie vody, následně je sklonový přechod zpevněn dřevěným pasem z hraněné kulatiny, v březích je pas zatížený kamennou rovnaninou. Stabilizace pasem ve dně je nutná z důvodu změny rychlosti proudění vody na přechodu sklonů (dalšími místy, kde se používá stabilizační pas, jsou místa přechodu jednoho typu opevnění v jiný).*

Obrázek 4-5: *Pohled proti vodě na soustavu dřevěných stabilizačních pasů, které stabilizují lichoběžníkové koryto zpevněné kamennou rovnaninou. Rovnanina je provedena i ve dně z důvodu tlumení energie vody a ochrany železničního propustku proti zpětné erozi. Dřevěný stabilizační pas je konstrukčně proveden jako jednoduchá srubová stěna. Úseky mezi jednotlivými srubovými objekty jsou vyplněny kamennou rovnaninou v březích i ve dně. Podobná opevnění se doporučují v místech velkého podélného sklonu, kde je zároveň nutné stabilizovat koryto např. z důvodu kontaktu s dopravní infrastrukturou.*

4.1.2 Prahy

Prahy jsou nízké spádové objekty, které slouží k úpravě podélného sklonu a k zajištění nivelety dna koryta proti hloubkové erozi. Zřizují se většinou v delších úsecích v soustavách, jejich vzájemná vzdálenost se řídí sklonem nivelety a jejich spádem, který je nejčastěji 0,2–0,3 m.

Těleso prahu je zavázáno do břehu způsobem odpovídajícím druhu materiálu, ze kterého je budováno. Dno pod prahem a u dřevěných prahů i nad prahem je nutné založit tak, aby se zamezilo porušení tělesa prahu a jeho podtékání vodou. Břehové linie nejsou u prahů přerušeny rozšířením jako u stupně.



Obrázek 4-6: *Práh s navazujícím tůňovým skluzem.*

Prahy se budují z kamenného zdiva, betonu, dřeva, kombinované, z betonových prefabrikátů, případně z jiných vhodných materiálů. V případě dřevěných prahů je pro zajištění jejich trvanlivosti nutné jejich stabilní zatopení.

Prahy se kromě užití při štětování dna a zakončení opevnění objekty používají za účelem zvýšení odolnosti dna nebo v případě zanášení toku jako fixační prahy pro údržbu. V současné době se v odůvodněných případech přistupuje k budování prahů z poddajných konstrukcí, např. jako víceřadá kamenná rovnanina ukládaná na štět. Často jsou využívány prahy nepoddajné (zděné z kamenného zdiva či monolitické z betonu). Nepoddajné prahy je vhodné na povodní straně zajistit záhozem, aby nebyly porušeny případnými výmoly po přepadu vody přes přelivnou sekci prahu.

Vzdálenost mezi prahy závisí na poměru střední rychlosti k vymílací střední rychlosti a na přípustném prohloubení dna mezi prahy.

Obrázek 4-7: *Pohled proti vodě na výstavbu soustavy stabilizačních prahů s kynetou pro převod běžných průtoků; mezi prahy proveden zához ve dně, břehy opevněny opěrnou zdí a kamennou rovnaninou.*

Obrázek 4-8: *Pohled na úpravu podélného sklonu pomocí kamenného prahu z kamenné rovnaniny na sucho, která plynule přechází ve stabilizovaný výmol. Jedná se o přírodě blízký prvek bez použití cementu. Objekt je vhodný do pramenných lokalit horských a podhorských potoků, kde je požadována úprava koryta přírodě blízkým způsobem.*

Obrázek 4-9: *Pohled proti vodě na klasický stabilizační práh upravující niveletu vodního toku. Z fotografie je patrné uchycení příčně položené kulatiny za dvojici dřevěných pilot a zpevnění spadiště kamenným záhozem, kamennou dlažbou nebo rovnaninou. Výška takových prahů se pohybuje okolo 25 cm.*

Obrázek 4-10: *Pohled proti vodě na soustavu zděných prahů s vývařišti. Mezi jednotlivými stabilizačními prahy a pasy je koryto zpevněno kamennou rovnaninou v březích, doplněnou o kombinaci záhozu a pohozu dna. Jedná se o tvrdou úpravu pomocí zděných prahů, pravděpodobně byla požadována stabilizace koryta v místě, kde při povodni došlo k zahloubení koryta. Jednotlivé objekty a jejich spadiště, resp. vývařiště je nutné hydrotechnicky posoudit a zároveň výpočtem ověřit hloubku a délku jednotlivých vývařiště, resp. stabilizovaných výmolů. Zároveň je nutné posoudit výšku navrhovaného opevnění a následného přechodu ve svah. Na fotografii je zjevné i rozšíření profilu na povodní straně zděných pasů. Kamenné nadzákladové zdivo svou kvalitou a provedeným spárováním neodpovídá požadavkům daným normou pro kamenné zdivo.*

4.1.3 Stupně

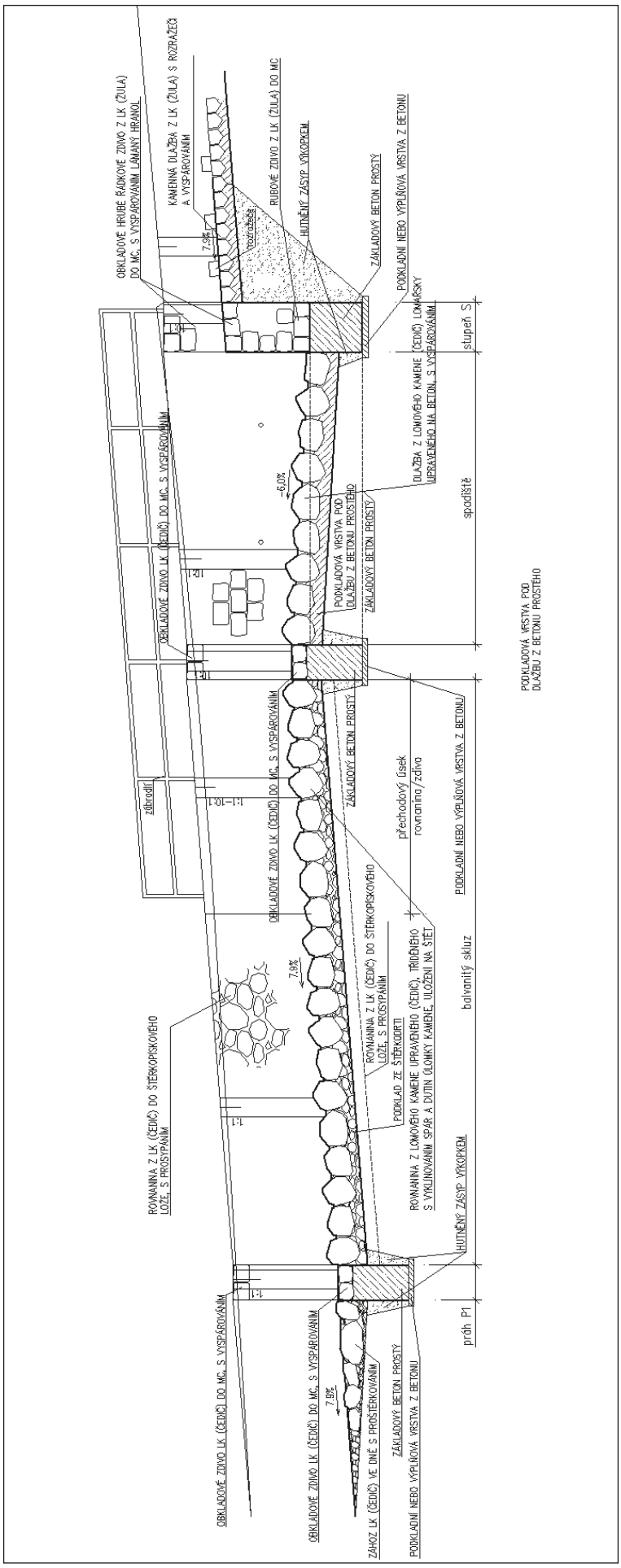
Stupně jsou objekty o spádové výšce od 0,3 m, u nichž přeliv je v úrovni dna nad objektem. Budují se většinou pro úpravu podélného sklonu dna, jeho zabezpečení proti podélné a zpětné erozi a k vytvoření vyrovnaného (kompenzačního) sklonu. Od přehrážek se liší tím, že nemají zádržný prostor, nejedná-li se o konsolidační stupeň, který se díky aktivnímu splaveninovému režimu postupně zanese v horní úrovni přelivu stupně a vytvoří nad stupněm koryto vodního toku.

Uspořádání objektu stupně (předpráh, spadiště nebo vývařiště, samotné těleso stupně) musí zajistit dostatečné tlumení energie přepadu vody, čehož se dosáhne hydraulicky účinnou úpravou jeho podjezí. Půdorysný tvar stupňů je zpravidla přímý, ve výjimečných případech u širokých bystřinných koryt zaoblený.

Těleso stupně se buduje obvykle z kamenného zdiva (režné, kyklopské, řádkové hrubé), z prostého betonu, z betonu obkládaného na vzdušné straně kamenem (budované jako ztracené bednění), z betonových a železobetonových prefabrikátů, z dřevěných výřezů, nebo kombinované (dřevěné těleso a kamenná křídla), z drátokamenných košů, ze srubových konstrukcí (dřevo, prefabrikáty) vyplněných kamenem, případně z jiných vhodných materiálů.

Obrázek 4-11: *Pohled na stupeň na vodním toku z kamenicky upravených kamenů. Břehy a dno dopadiště jsou opevněny kamennými deskami.*

Obrázek 4-12: *Soustava srubových stupňů se spadištěm opevněným ve březích kamennou rovnaninou (autor: Lesy České republiky, s. p. – Odbor vodního hospodářství).*



Obrázek 4–13: *Podélný řez stupně s protisklonem v dopadišti (pro zajištění stabilní hladiny vody v dopadišti) a s navazujícím skluzem ve spadišti (stupeň zděný z kamenného zdiva na betonový základ).*

Obrázek 4-14: *Pohled na konstrukci stupně se spádovou výškou kolem 2 m a zpevněním spadiště pomocí tyčoviny. Jedná se o historický objekt s předsazenou přelivnou hranou, zpevněnou pomocí kamenných desek, s břehy opevněnými kamenným zdivem. V konstrukci stupně jsou patrné odvodňovací otvory, spadiště je zpevněné tyčovinou (v současné době se provádí pouze u historických oprav většinou z důvodu možného porušení tyčí v případě průchodu velkých splavenin a jejich dopadu do spadiště). Uvedené opevnění dna je vhodné pouze v případě, že je zajištěna stabilní hloubka vody (např. díky mírnému protisklonu spadiště) nebo v případě, že korytem neprochází splaveniny větší než 15 cm.*

Koruna stupně je v úrovni horního dna, návodní stěna tělesa je obvykle svislá, vzdušná (povodní, lícová) stěna ve sklonu 5 : 1, většinou až 10 : 1. Křídla stupňů se zavazují do břehů stupňovitě tak, aby spodní obrysová plocha křídel byla nejméně 1,5 m pod povrchem terénu (měřeno svisle) a minimálně 1,0 m pod povrchem svahového opevnění u tělesa (měřeno šikmo).

Ve zdivu tělesa stupně je možno podle druhu zemin v trase úpravy ponechat odvodňovací otvory o velikosti obvykle 10 × 20 až 20 × 30 cm, jejichž základním účelem je snížit zatížení konstrukce stupně vodou hromaděnou za lícem stupně a často se tlačící skrz spárované zdivo.

K utlumení pohybové energie přepadající vody se u stupně s ohledem na režim proudění ve spodní trati bystřiny zřizuje spadiště (v případě bystřinného proudění) nebo vývar (v případě říčního proudění). Spadiště a dno vývaru je nutné patřičně opevnit obvykle záhozem, dlažbou z lomového kamene na sucho, nebo na cementovou maltu, případně do betonu. U historických konstrukcí lze nalézt opevnění dna pomocí dřevěné podlahy z kuláčů upevněných na konstrukci dřevěného roštu. Opevnění dna se nespojuje s tělesem stupně, aby se zabránilo přenášení otřesů.

Vývar i spadiště objektu je nutné zakončit prahem nebo pasem zapuštěným do dna a do břehů. Konstrukce a materiál prahu jsou obdobné jako u tělesa stupně. Boky vývarů a spadišť se opevňují obvykle dlažbou na cementovou maltu opřenou o dnovou patku. K odvodnění přilehlého terénu se v bočním opevnění ponechají otvory.

4.1.4 Skluzy

Skluzy (skluzové stupně) jsou příčné spádové objekty, které se nejvíce přibližují přírodním útvarům ve dně koryt horských potoků a bystřin (tomu odpovídá i jejich příznivé hodnocení z ekologického hlediska). Od přepadového stupně se skluzy liší tím, že rozdíl výšek nivelety dna je vyrovnáván souvislou křivkovou plochou, na které se vodní proud neodlučuje od tělesa. Sklon skluzné plochy se pohybuje v rozmezí od 1 : 4 až do 1 : 15. Skluzové objekty příliš nenarušují migrační spojitost koryta vodního toku.

Skluzy se navrhují v korytech s velkým podélným sklonem (nejčastěji v úsecích se sklonem 6,5–10 %), kde je mimo stabilizaci koryta bystřiny kladen důraz i na zachování migrační průchodnosti trasy koryta.

Při zahrazovacích úpravách horských potoků a bystřin by měly být prioritně používány skluzy se zdrsněnou skluzovou plochou (většinou balvanité skluzy) a s účinným podjezím, které jsou oproti skluzům opevněným kamennou nebo betonovou dlažbou hydraulicky účinnější. Pohybovou energii vody lze ale tlumit nejen umělým zdrsněním skluzné plochy, ale i pod skluzem ve vývaru nebo zřízením úseku se zvýšenou drsností dna a svahů koryta (bezvývarové tlumení). Balvanitý skluz tvoří v korytě šikmou rovinu o podélném sklonu zpravidla 1 : 10 až 1 : 15, kterou se překonává výškový rozdíl obvykle 1 až 2 m.

Obrázek 4-15: *Betonový stabilizační pas s úpravou přelivu hrubými kameny, na který navazuje balvanitý skluz z kamenů kladených do dna na štět (autor: Lesy České republiky, s. p. – Odbor vodního hospodářství). Při nízkovodných stavech jsou objekty tohoto typu díky použití velkých kamenů migračně neprůchodné z důvodu zaklesnutí vody mezi kameny a často i pod ně.*

Těleso skluzového stupně se buduje obvykle z kamenného zdiva či betonu, průtočnou plochu a svahy břehu je však nutné důkladně opevnit (zpravidla dlažbou na cementovou maltu nebo do betonu).

Těleso balvanitého skluzu se buduje z jedné až dvou vrstev hrubé kamenné rovnaniny. Jednotlivé balvany o charakteristickém rozměru D = 0,8–1,2 m jsou uloženy tak, aby povrch skluzu byl co nejdrsnější a účinně tlumil pohybovou energii vody.

Balvanité skluzy nahrazují stupně, působí jako konsolidační objekty a jsou vhodné pro soustavné úpravy. Nad tratí upravenou balvanitými skluzy není potřebné navrhovat retenční objekty k zachycování splavenin, neboť ty přecházejí přes skluzy neškodně, těleso skluzu stabilizují a zmenšují výmoly ve dně.

Při navrhování balvanitých skluzů je nutné především vyřešit prostorové uspořádání objektu, úpravu přelivné hrany a tvar a sklon skluzové plochy včetně jejího navázání na dno bystřiny pod objektem. Součástí objektu je i opevnění břehů a stabilizace dna i samotného objektu stabilizačními pasy.

Obrázek 4-16: *Pohled proti vodě na stabilizaci dna a břehu v nátrži vzniklé ve velmi výrazné údolnici. Na srubový pas navazuje skluz zespodu opřený o kamenný rovnaný pas. V horní části je strž stabilizovaná pomocí srubové konstrukce z kulatiny vyplněné uvnitř kamennou výplní, přelivná sekce je zpevněna pomocí konstrukce z tyčoviny. Dřevěná konstrukce z tyčoviny má zabraňovat přímému natékání vody do středové části srubu vyplněné kamenem.*

4.1.4.1 Prostorové řešení skluzu

Balvanité skluzy se navrhují s rovinnou skluzovou plochou, případně se skluzovou plochou ve tvaru misky (původně navrhovaný profil ve tvaru mušle se v současné době již nevyužívá). Miskovitá skluzová plocha je vhodná pro bystřiny o šířce od 15 m, neboť u užších profilů dochází díky koncentraci průtoku vody do středu koryta ke vzniku výmolu; ten pak u užších toků ohrožuje stabilitu břehového opevnění.

Svahy břehů v přelivném profilu se obvykle navrhují u všech typů skluzů ve sklonu 1 : 2.

Balvanité skluzy se většinou navrhují v přímých úsecích upravované bystřinné trati. Pokud je potřebné umístit skluz v oblouku, pootočí se přelivná hrana při konkávním břehu o 10–12°. U kratších skluzů se doporučuje pootočení přelivné hrany tak, aby osa skluzu procházela průsečíky horní a dolní hrany skluzu s osou upraveného koryta.

4.1.4.2 Přelivná hrana

Pokud nehrozí nebezpečí, že by za nižších vodních stavů docházelo u vyšších objektů v důsledku podtékání vody pod vrstvu kamenů k vyplavování drobnějších částic z podloží skluzové plochy, řeší se přelivná hrana u dvouvrstevných balvanitých skluzů bez úpravy. V ostatních případech je vhodnější vytvořit na přelivné hraně betonový práh, založený 80–120 cm pod niveletu dna, do kterého jsou osazeny kameny skluzové plochy. Na bystřinách, kde to podmínky podloží dovolí, je možné ke stejnému účelu zřídit na přelivné hraně štětovou stěnu.

Skluzy s rovinnou skluzovou plochou mají přelivnou hranu rovnou, příčný řez přelivu je pak většinou lichoběžníkový. Skluzy s miskovitou skluzovou plochou mají přelivnou hranu rovněž rovnou, příčný řez přelivu u tohoto typu má však tvar misky se dnem ve střední části o šířce odpovídající 0,20–0,33násobku šířky koryta v hladině, zbývající části dna při březích jsou upraveny do sklonu 1 : 10–15.

4.1.4.3 Skluzová plocha

Sklon skluzové plochy se navrhuje v rozmezí 1 : 15–10, což je sklon umožňující dokonalejší utlumení pohybové energie vody. Skluzovou plochu je však možné navrhnout i ve větším sklonu, limitní hodnotou pro funkční a hydraulicky účinný skluz je sklon 1 : 6.

Způsob uložení kamenů a hrubost skluzové plochy rozhoduje o účinnosti balvanitého skluzu – opevněním dna kamennou dlažbou ztrácí skluz svoji účinnost, naopak může vyvolat vysoké rychlosti a následně způsobit rozsáhlá poškození koryta pod objektem.

Skluzovou plochu tvoří kameny ukládané tak, aby byla dosažena požadovaná hydraulická účinnost – těsně vedle sebe, aby byly již při svém usazení stabilní, a přitom bylo dosaženo požadované účinnosti díky nerovnosti povrchu skluzové plochy. Většinou se kameny rovnají na štět s tím, že minimální hloubka jejich stabilizace do pevného dna je rovna $^2/_3$ výšky kamene. K dosažení větší stability kamenů ve skluzu je nutné vklínit jednotlivé kameny do sebe tak, aby nevznikaly mezi nimi velké mezery a celá skluzová plocha byla rovnoměrně pokryta. Při použití kamenů nadměrné velikosti (700 mm a více) je nutné mezery mezi nimi vyklínovat menšími kameny, které jsou ovšem dlouhé tak, aby svým spodkem dosáhly na podkladní vrstvu. Použitý kámen musí být odolný proti obrusu, mrazu a účinkům proudící vody.

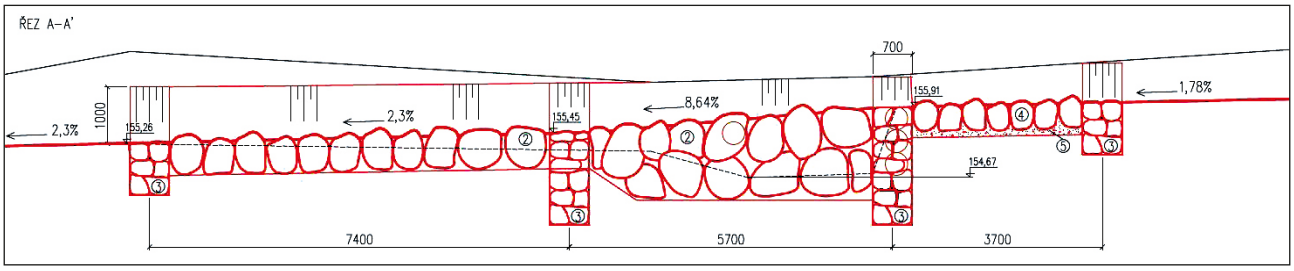
Skluzovou plochu tvoří kameny z jedné, dvou nebo tří vrstev s tím, že skluzy z jedné vrstvy kamenů se navrhují pouze u překonávaných výšek do 1,0 m. U vyšších skluzů je vhodnější složení skluzové plochy ze dvou vrstev, přičemž spodní vrstva by měla být vytvořena z kamenů o min. velikosti 70 % tloušťky horní vrstvy. U skluzů vyšších než 2,5 m se doporučuje třívrstevné složení skluzové plochy, případně prolití kamenů betonem, nejvýše však do poloviny jejich výšky, aby se neporušila potřebná drsnost skluzové plochy. Tímto opatřením se sleduje zamezení vysávání štěrku z podloží skluzové plochy. Stejnému účelu vyhovuje i vytvoření obráceného filtru pod jednovrstevnou skluzovou plochou z kamenů potřebné velikosti.

Stability skluzové plochy u vysokých skluzů je možné dosáhnout též umístěním stabilizačních pasů nebo opěrných žeber, např. ze zaberaněných štětovnic, z kulatiny upevněné k pilotám a procházející napříč skluzovou plochou. Umístění a typ žeber se volí s ohledem na stabilizovanou výšku skluzového profilu.

4.1.4.4 Navázání skluzové plochy na dno pod skluzem

Přechod skluzové plochy do dna pod objektem je nutné zabezpečit proti podemletí paty skluzu, čehož je možné docílit prodloužením skluzové plochy pod niveletu dna tak, aby nebyla porušena často vznikajícím výmolem. S ohledem na konstrukci skluzu a přechod v horní i spodní části skluzu na koryto bystřiny je nutné shora i zdola ukončit skluzovou plochu stabilizačním pasem, případně štětovou stěnou nebo prahem.

Pod skluzovou plochou se doporučuje opevnit dno kamenným záhozem, a to i v případě, že je skluzová plocha ukončena opěrným stabilizačním prvkem. K utlumení části nadměrné pohybové energie je v případě říčního režimu proudění ve spodní trati bystřiny nutné pod skluzovou plochou zřídit vývar o potřebné hloubce (dané výpočtem), případně je vhodné pod skluzem vybudovat protisklonnou uklidňovací tůň. Dno vývaru bývá vodorovné, opevněné minimálně kamenným záhozem. Vývar přechází do úrovně nivelety dna koryta pod skluzem ve sklonu okolo 5 %.



Obrázek 4-17: *Podélný řez jedno– a dvouvrstvým kamenným skluzem zajištěným stabilizačními pasy zděnými z kamenného zdiva.*

4.1.4.5 Opevnění břehů nad skluzem

Břehy nad skluzovou plochou se opevňují rovnaninou nebo záhozem z velkých kamenů pouze na potřebnou výšku odpovídající hloubce vody na skluzu.

4.1.5 Přehrážky

Přehrážky jsou příčné spádové objekty, jejichž koruna je převýšena nad dno horního koryta. Spád přehrážek je zpravidla větší než u stupňů (obvykle 2 až 5 m), v oblasti velehor se budují přehrážky o spádu i přes 10 m. Přehrážky se používají buď jako konsolidační objekty ke stabilizaci narušené potoční tratě, nebo jako retenční objekty k zastavení chodu splavenin a k jejich akumulaci prostoru určeném pro zachycování a usazování zejména hrubších splavenin unášených vodou při povodňových průtocích.

Z hlediska statického působení se navrhují přehrážky zpravidla jako objekty půdorysně přímé, tížné konzolové, tížné monolitické, klenbové nebo klenbové s tížným účinkem a jako svislé deskové nosníky.

Tvar přelivu se zpravidla navrhuje lichoběžníkový, miskovitý, zaoblený, sešikmený, i obdélníkový. Jeho průtočnost se stanoví na příslušný návrhový průtok (vždy je potřebné posoudit důsledky průtoku Q_{100}). Koruna přelivu se s ohledem na zvýšené namáhání obrusem a sacím účinkem přepadající vody vhodným způsobem obloží a opevní. Pro oddálení místa dopadu vodního paprsku od paty vzdušné stěny tělesa přehrážky se doporučuje obložení přelivné hrany konzolovitě prodloužit.

Pro vyprazdňování nádržného prostoru nad přehrážkou a oddálení doby jeho zanesení se v tělese přehrážky zřizují otvory. Velikost otvorů se navrhuje podle rozměrů splavenin, které mají těmito otvory projít.

Přehrážky se budují obvykle z kamenného zdiva (režné, kyklopské, řádkové hrubé), z betonu, z betonových a železobetonových prefabrikátů, ze dřeva (srubové konstrukce vyplněné kamenem), z drátokamenných košů, z ocelových prvků, kombinované, zemní, nebo z jiných vhodných materiálů.

Následující rozdělení přehrážek na tížné konzolové, tížné monolitické, klenbové nebo klenbové s tížným účinkem vyplývá z jejich rozdílného statického působení.

Obrázek 4-18: *Pohled na konsolidační přehrážku na levobřežním přítoku Struhařského potoka. Patrná je absence průcezných otvorů. Kamenná konsolidační přehrážka je provedena z kamenného zdiva, resp. kamenicky upravených kopáků zděných na sucho. Výhoda na sucho skládaných konstrukcí spočívá v tom, že kámen zůstává „poddajný“ ke změně tvaru podloží vznikající díky zamrznutí vody v půdě (dochází k pohybům v celém objektu). V případně neodborného zásahu, kdy je například koruna dodatečně vyspárována cementovou maltou, se vytváří v jinak poddajná konstrukci zděný věnec, který neumožňuje pohyb kamene v celé konstrukční výšce objektu. Takový zásah vede k postupné destrukci přehrážky díky tomu, že se pohybem země při jejím zamrznutí dostávají nebo nadzvedávají jednotlivé konstrukční kameny přehrážky, které pak shora naráží na věnec. Pohyb konstrukčních kamenů nahoru je tak omezený a kameny se postupně vyvalují z konstrukce, která se díky tomu rozpadá.*

Obrázek 4-19: *Pohled proti vodě na tížnou přehrážku provedenou z režného zdiva, patrná je stabilizace strže v horském svahu. Jedná se o suchou, kamenitou strž bez stabilních průtoků. Přehrážka má velmi dlouhá zavazovací křídla, spadiště je zpevněno jako hrubý balvanitý skluz s vysokou drsností pro tlumení energie dopadající vody. Na fotografii je zároveň patrný stabilizační pas, který ukončuje ze spodní strany balvanitý skluz, který dále navazuje na odtokové koryto pod pasem zpevněné ve břehu hrubou kamennou dlažbou s vyklínováním. Jedná se o stabilizaci strže nad chráněným úsekem, kde je ve strži postavena retenční přehrážka, na ní navazuje zpevněné spadiště a relativně krátký úsek upraveného koryta. V současné době se k dlouhým podélným stabilizacím a k úpravám koryt v nové trase přistupuje velmi zřídka, a to pouze v místech poškozených velkou vodou, kde u břehu hrozí po dalším průchodu velkých povodňových průtoků opětovné poškození, či v místě, kde bystřina protéká podél dopravní infrastruktury nebo intravilánem. Profilová úprava koryta navazuje většinou např. na retenční objekt postavený nad obcí.*

4.1.5.1 Tížné konzolové přehrážky

Těleso těchto objektů je rozděleno svislými dilatačními spárami na bloky, které přenášejí celé vnější zatížení vertikálně do základů. Stabilita těchto přehrážek závisí především na tíze tělesa. Vzájemné nemonolitické spojení jednotlivých konzolových bloků způsobuje, že přehrážka jako celek je schopna přenášet zatížení pouze dvojrozměrně v rovině kolmé na její osu.

Tížné konzolové přehrážky jsou velmi masivní objekty. Jejich navrhování je opodstatněné pouze v širokých profilech, kde není možné využívat statických účinků tělesa. Mezi tyto objekty se zařazují i tížné přehrážky ze železobetonových prefabrikátů, které však jsou při dokonalém provedení schopné trojrozměrného působení (přenášejí zatížení jak v rovině kolmé na jejich osu, tak i v rovině, procházející touto osou). Spojení jednotlivých prefabrikátů lze považovat za klouby, jejichž prostřednictvím je střihovými silami přenášeno zatížení z jednoho bloku do druhého. Kloubové spojení umožňuje, aby nižší konzoly železobetonové konstrukce při svazích stavebního profilu a v zavázání do břehů přebíraly část zatížení, připadajícího na střední nejvyšší konzolu. Předpokladem je, aby kloubové spojení bylo schopno přenášet střihové síly.

Obrázek 4-20: *Pohled proti vodě na tížnou betonovou přehrážku s obkladem z režného kamenného zdiva, přelivná hrana provedena z kamenných kvádrů předsazených před korunu přelivu zhruba o 10 cm. V tělese přehrážky jsou patrné dvě výškové úrovně obdélníkových průcezných otvorů obložených kamenem. Problematické u obdélníkových průcezných otvorů je jejich technické provedení. V případě, že se jedná o celozděné těleso, je nutné u průcezných otvorů vytvořit kamenné ostění a překlad z kamene tak, aby nedocházelo k protékání vody konstrukcí přehrážky. Břehy a dno jsou ve spadišti opevněné kamennou rovnaninou, resp. hrubým kamenný záhozem charakteru velmi hrubého balvanitého skluzu.*

Obrázek 4-21: *Pohled na retenční přehrážku s požadavkem na zachování částečné průchodnosti koryta pro rybí obsádku. Dnový otvor je proveden jako dostatečně široká klenba, aby voda mohla bezpečně protékat a ryba se do světlého otvoru dostala. Funkce přehrážky je zaměřená hlavně na snížení energie toku v místě rozšíření retenčního prostoru na konci zdrže, kde přechází koryto do retenčního prostoru (díky rozšíření koryta se snižuje unášecí síla vody a vypadávají první hrubé splaveniny). Tvar a velikost dnového otvoru a následně i celková konstrukce přehrážky umožňuje určitou separaci splavenin a průchod menších splavenin dolů po toku. Díky dlouhé přelivné hraně a snaze o zachování hloubek při běžných průtocích v korytě je patrné poměrně rozsáhlé zpevnění břehu a vytvoření složeného profilu v místě spadiště. Tloušťka konstrukce nad klenbovým otvorem ve dně by z důvodu zajištění statické stability tělesa měla být minimálně 2,5–3,0násobkem velikosti kamene použitého ke zdění.*

Obrázek 4-22: *Pohled proti vodě na konstrukci konsolidační přehrážky z kamenného hrubého řádkového zdiva. Jedná se o kombinovanou konstrukci – betonové jádro s kamenným obkladem z vodorovně provázaného hrubého kamenného řádkového zdiva. Na konci je spadiště stabilizováno zděným kamenným pasem, pod kterým koryto přichází do kamenné rovnaniny. Využití řádkového zdiva se pro kombinované (betonovo-kamenné) konstrukce doporučuje s ohledem na rozměrové a kvalitativní požadavky na lomový kámen.*

4.1.5.2 Tížné monolitické přehrážky

Těleso těchto objektů není přerušeno svislými dilatačními spárami, v důsledku jeho zavázání do břehů je schopné trojrozměrného působení.

U tělesa monolitické přehrážky předpokládáme, že je složeno ze svislých konzol, přenášejících část zatížení do základů, a z vodorovných nosníků, které přenášejí zbytek zatížení do svahu.

Tížné monolitické přehrážky jsou vhodné především do úzkých profilů, kde se může nejvíce uplatnit statické působení vodorovných trámů, přenášejících mnohem větší část zatížení než svislé konzoly. Podmínkou pro využití statického účinku vodorovných nosníků je dokonalé monolitické provedení tělesa přepážky.

Obrázek 4-23: *Pohled proti vodě na betonovou retenční přehrážku vybudovanou do systémového bednění s tím, že v tělese přehrážky jsou průcezné otvory ve dvou úrovních tvořené pískovcovými bloky. Přelivná sekce je na přelivu zpevněna pískovcovými bloky, které jsou mírně předsazeny před přeliv. Spadiště se nijak zásadně nerozšiřuje, z toho důvodu je opevnění v březích provedeno kamennou dlažbou ze sloupkového čediče na cementové lože s vyspárování do výškové úrovně druhých oken tak, aby voda přepadající přes přelivnou sekci dopadala již na zpevněný břeh. Objekt je na spodní části po vodě ukončen stabilizačním pasem. Na konstrukci je patrný průsak špatně ošetřenou pracovní spárou vzniklou při postupném betonování tělesa přehrážky.*

Obrázek 4-24: *Pohled proti vodě na těleso retenční betonové přehrážky s obkladem z hrubého řádkového zdiva. Na fotografii je patrné postupné zdění objektu přehrážky ve třech sekcích s dilatační spárou (samostatně budovaná zavazovací křídla a následně vylévání přelivné sekce s průceznými otvory). Líc a přelivná hrana včetně koruny je obložena kamenným zdivem z žulových hranolů. V místě navázání kamene jsou velmi často patrné poruchy a porušení dilatačních spár (viz pohled na rub přehrážky – následující stránka).*

4.1.5.3 Klenbové přehrážky

Tělesa těchto objektů přenášejí celé zatížení klenbovým působením vodorovných prvků zdiva do svahů stavebního profilu. Využití klenbového účinku zdiva je nejvyšší v úzkých, hluboko zaříznutých profilech vykazujících poměr šířky v koruně přehrážky k její výšce *L/h* = max. 5.

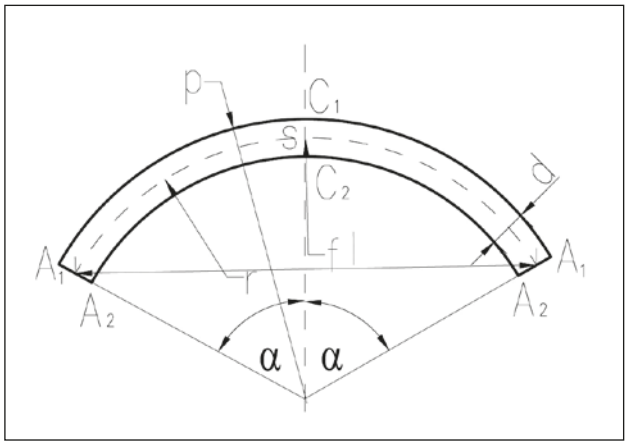
Důležitou podmínkou pro využití klenbového působení tělesa přehrážky je dostatečná únosnost podloží ve svazích (tzv. opěr), protože klenbové přehrážky vyvozují na podloží mnohem větší tlaky než objekty tížné. U málo únosných opěr klenbový účinek rychle klesá.

Nejvhodnější opěry vytvářejí zdravé skalní výchozy z nerozpukaných nenavětralých hornin. Možné je využití i méně únosných podloží, jejichž únosnosti musí být přizpůsobena konstrukce přehrážky rozšířením patek klenby. Svahy stavebního profilu však musí být vždy stabilní. Při případných svahových pohybech by došlo ke ztrátě opěr patek klenby. Střednicí klenbové přehrážky je nejčastěji kruhový oblouk, jehož středový úhel se volí v závislosti na morfologických a geologických podmínkách.

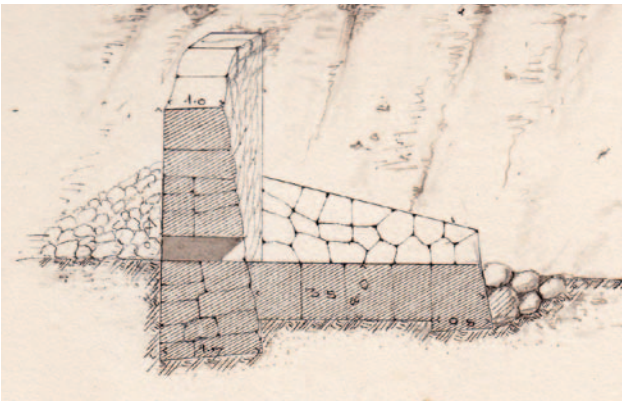
Obrázek 4-25: *Pohled na retenční přehrážku z režného kamenného zdiva s obdélníkovými průceznými otvory. Klenba (resp. půdorysné zakřivení tělesa přehrážky) staticky nevyužívá efektu klenby, jedná se pouze o tvarovou úpravu přelivu a snahu o usměrnění přepadového paprsku do spadiště. Na konci spadiště proveden stabilizační zděný pas a prostor mezi tělesem přehrážky a pasem je opevněn hrubou kamennou rovnaninou s vyklínováním. Dno je provedeno jako hrubá kamenná dlažba, aby docházelo k tlumení energie protékající vody.*

Z morfologických podmínek je nejdůležitější průběh vrstevnic, které má těleso klenbové přehrážky protínat pod pravým úhlem. Nejmenší úhel protínání se připouští v hodnotě 45°.

Z geologických podmínek ovlivňuje velikost středového úhlu především kvalita podloží. S klesající kvalitou podloží se bude zvyšovat nebezpečí z prosedání opěr v důsledku vytvoření skluzné plochy pod patkou klenby. Proti posunutí opěr po skluzné ploše působí pasivní účinek podloží, který je u kleneb s velkým středovým úhlem ale malý. Proto v měně únosných profilech nesmí být středový úhel příliš velký. Malý středový úhel naopak snižuje klenbový účinek a vyvolává vznik tahových napětí na návodní straně patky klenby. Z těchto důvodů se doporučuje pro tělesa klenbových přehrážek navrhování středových úhlů v rozsahu 60–120°. Pokud by velikost středového úhlu u spodních prstenců tělesa klenbové přehrážky klesla pod 60°, je výhodnější jejich velmi malý klenbový účinek nahradit účinkem tížným (oddělením těchto prstenců od horní části tělesa dilatační spárou).



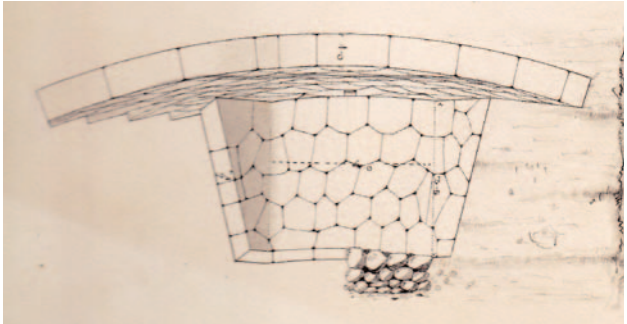
Obrázek 4-26: *Nákres půdorysu klenbové přehrážky s vyznačením hlavních bodů klenby. Na obrázku jsou znázorněny jednotlivé parametry přehrážky stěžejní pro posouzení objektu: p = měrný tlak vody na střednici klenby (Pa), r = poloměr střednice klenbového prstence (m), d = tloušťka klenbového prstence (m), S = délka střednice klenbového prstence (m), l = délka tětivy klenbového prstence (m), f = vzepětí ve vrcholu klenbového prstence (m), α = středový úhel.*



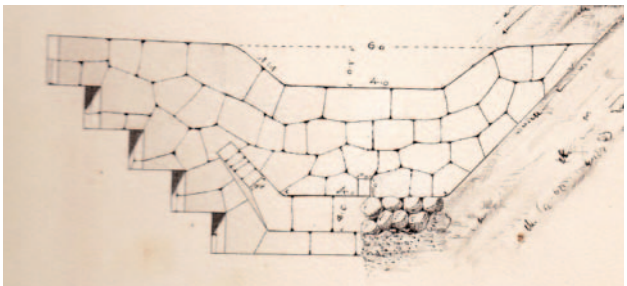
Obrázek 4-27: *Podélný řez původním objektem přehrážky. Patrné je zkrácené spadiště (omezeno na opevnění dopadiště). Skenováno z projektové dokumentace pro úpravu Okrouhlického potoka (zdroj: Lesy České republiky, s. p. – Odbor vodního hospodářství, archiv).*

Příčným řezem tělesem klenbové přehrážky je zpravidla lichoběžník se sklonem vzdušné stěny 10 : 1. Ze stavebních hmot je pro těleso klenbové přehrážky nejvhodnější beton, beton s obkladním zdivem na vzdušné stěně a na přelivu, případně železobetonové prefabrikáty.

Klenbové přehrážky s tížným účinkem přenášejí částečně zatížení klenbovým působením tělesa do svahů, z větší části působením tíhy do základů. Proti klenbovým přehrážkám se vyznačují menším středovým úhlem a větší tloušťkou v koruně. Navrhují se v širokých profilech, nejčastěji přibližně parabolického tvaru, kde zřízení čistě klenbové přehrážky není pro značnou délku střednice ekonomické.



Obrázek 4-28: *Půdorys s vyznačením tvaru tělesa přehrážky. Skenováno z projektové dokumentace pro úpravu Okrouhlického potoka (zdroj: Lesy České republiky, s. p. – Odbor vodního hospodářství, archiv).*



Obrázek 4-29: *Pohled na objekt přehrážky, patrné konstrukční odsazování základů zavazovacích křídel. Skenováno z projektové dokumentace pro úpravu Okrouhlického potoka (zdroj: Lesy České republiky, s. p. – Odbor vodního hospodářství, archiv).*

4.1.5.4 Přehrážky drátoštěrkové (gabionové)

Drátoštěrkové přehrážky jsou starším typem konstrukce, který se vyvinul z dříve používané dřevěné srubové konstrukce náhradou méně trvanlivého dřeva drátěnými sítěmi. Použití gabionových objektů bylo jako výhodné vnímáno v 70.–80. letech minulého století především díky nízkým stavebním nákladům a díky nenáročnosti na dopravu kamene (využití méně kvalitního kamene sbíraného v okolí stavby nebo kamenného odpadu z lomu). V dnešní době se pro nové objekty využívají omezeně, a to především kvůli možnosti porušení drátokošů obrusem jemnými splaveninami nesenými vodním tokem. Pro minimalizaci porušení přelivné sekce, která je v přímém kontaktu se splaveninami nesenými vodou, se na přelivy montují různé ochranné dřevěné konstrukce (z tyčoviny, ale i z fošen).

Gabionové konstrukce se dnes staví především v těžko dostupných místech, kam je díky omezenému přístup techniky

nákladný dovoz stavebních materiálů a kde je zároveň v okolí dostatek kamene využitelného do košů (např. v okolních kmenných splazech). Při využití místního kamene je kromě jeho dostupného množství, jeho vhodné velikosti či tvaru nutné zohlednit jeho funkci v místním biotopu (sbíraný kámen je možné využít jen tehdy, kdy nedojde ke snížení přirozené drsnosti koryta bystřiny vysbíráním kamene z jeho dna).

V profilech, kde je stávající drátokamenná konstrukce porušena, se zpravidla gabionové objekty rekonstruují do zděných (dovolují-li to dopravní podmínky stavby).

Obrázek 4-30: *Pohled proti vodě na gabionovou přehrážku vystavěnou z místního materiálu (z relativně malých sbíraných kamenů v místě stavby). Patrná je zde dostavba zavazovacích křídel, které po průchodu velkých vod doplňují zavázání konstrukce do břehů. Ve dně je dopadiště přehrážky zpevněno kamennou rovnaninou provedenou do dřevěného roštu. Gabionová přehrážka je postavena z pěti na sebe navazujících úrovní, na rubu odsazovaných na šířku koše; povodní strana je svislá. Průcezné otvory, stejně jako dnový otvor, tvoří pouze mezery mezi jednotlivými konstrukčními koši. Při povodni dochází díky velikosti povodňového průtoku a díky konstrukční výšce konstrukce ke kmitání a vibrování celé konstrukce a k postupnému rozvolnění kamenů v koších. Díky velikosti použitých kamenů, které není možné konstrukčně dostatečně provázat, dochází k postupné tvarové deformaci košů (patrné na tvaru průcezných otvorů). Zřizování gabionových přehrážek z místního kamene malých rozměrů se na základě dosavadních zkušeností nedoporučuje, ve výjimečných případech je možné jen v místech, kam není možné dopravit jiný vhodný stavební materiál. Objekt přehrážky je nutné postavit za dodržení zásadních pravidel pro rovnání kamene do gabionového koše. Výstavba takto vysokých konstrukcí je nicméně vždy problematická z pohledu reakce konstrukce v době průtoku velkých povodňových průtoků přes přeliv, kdy dojde k vibracím celé konstrukce a následně i k rozpadu celého objektu.*

Obrázek 4-31: *Pohled na gabionovou konstrukci přehrážky s retenčním prostorem vytvořeným v patě svahu odtěžením značného množství zeminy. Břehy zátopy jsou z důvodu rozsáhlých zemních prací zpevněny stejnou gabionovou konstrukcí, jako těleso přehrážky. Na pravém břehu je opevnění provedeno kamennou dlažbou na štěrkopískové lože. Gabionové koše tvoří splétané pozinkované dráty s tím, že těleso přehrážky tvoří tři na sebe postavené gabionové sestavy odsazované na povodním líci. Lichoběžníková přelivná hrana a následně přesahy jednotlivých košů jsou proti obrusu chráněny dřevěnou konstrukcí z prken. Spadiště provedené s mírným protisklonem je zpevněno kamennou rovnaninou. Z technického pohledu je kamenná výplň konstrukce provedena velmi pečlivě z tvarově a velikostně vhodných kamenů, čelní část kamenné výplně je rovnána. Osazení průcezné trouby do konstrukce je zatěsněno a zatíženo kamenem. Problematická je životnost dřevěných částí.*

Obrázek 4-32: *Detail na zpevnění přelivu a nižších gabionových sekcí pomocí kmene a ochranného kamenného záhozu. Koše jsou na koruně a v březích zpevněny kamennou rovnaninou, dno je provedeno jako balvanitý skluz.*

Obrázek 4-33: *Pohled proti vodě na konstrukci přehrážky z gabionových košů, kde přelivná hrana přepadové sekce je chráněna dřevěnou konstrukcí z půlené kulatiny. Zároveň je dřevěná konstrukce přetažena přes celou gabionovou přelivnou část. V porovnání s dřevěnou konstrukcí z prken (obr. 4-31) je použití kulatiny vhodnější. Zároveň díky této konstrukci, kdy je chráněná „pouze" přelivná hrana, je možné snadno dřevěný ochranný prvek vyměnit za nový. Spadiště je zpevněno ve dně těžkým kamenným záhozem, který je na spodní části po vodě ukončen a stabilizován dřevěným stabilizačním prahem z kulatiny. Břehy jsou zcela nezpevněné, ponechané pouze sukcesi. Takovou úpravu spadiště umožňuje profil terénu pod objektem. Z důvodu velkého namáhání paty břehu se v místě přechodu břehu do dna doporučuje minimálně zpevnění paty břehu kamennou rovnaninou, popř. kamenným záhozem.*

Obrázek 4-34: *Pohled proti vodě na těleso retenční přehrážky, kterou tvoří gabionové koše vyplněné poměrně jemným kamenem. Přehrážka má pět výškových úrovní, které jsou na povodní straně vždy o polovinu koše odsazeny. Pro provádění běžných průtoku tělesem jsou osazeny 3 plastové trouby, které jsou dostatečně protaženy před gabion, takže při průtoku dochází k dopadu vody do spadiště zpevněného těžkým záhozem. Přelivná sekce je obdélníková, následně přechází v lichoběžník. Přelivná hrana i boky přelivu jsou zpevněny pomocí prkenné podlahy. Z fotografie je patrné, že při velkém průchodu přetéká voda přes spodní koše, při posunu hrubších splavenin v paprsku vody přes hranu spodních košů může docházet k abrazi drátů. Je také patrné, že na předsazených gabionech dochází v době zvýšených průtoků k zachycení vegetačních zbytků a pláví neseného vodou.*

4.1.5.5 Přehrážky dřevěné

Přehrážky dřevěné se budují zpravidla tam, kde jde jen o dočasné opatření, případně se jedná o konsolidační objekty se stále zaručenou vlhkostí dřeva. Dřevěné přehrážky fungují většinou kolem patnácti let; po uplynutí této doby se musí většinou celkově opravit, nahradit degradované dřevěné prvky novými, případně se zrekonstruují na zděné přehrážky.

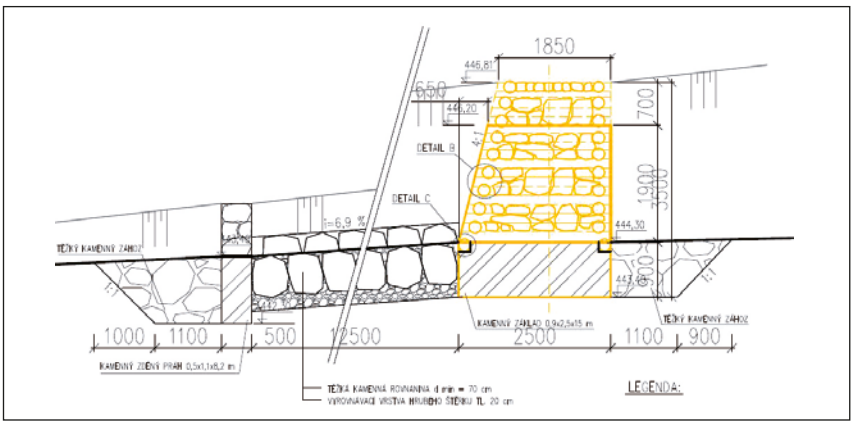
Dřevěných přehrážek je několik druhů: jednoduché povalové, srubové s kamennou vyplní, jednostěnné nebo dvojstěnné. Nejdelší životnost vykazují dřevěné přehrážky srubové dvoustěnné, s vnitřní stěnou vyloženou geotextilií.

Srubové přehrážky jsou díky vnitřní výplni kamenem celoprofilově průcezné. S ohledem na značnou pórovitost vnitřního prostoru (způsobenou volně loženým kamenem) dochází často k protékání vody do zavazovacích křídel. Ta by měla být minimálně na délku 3 m zavázána do břehu.

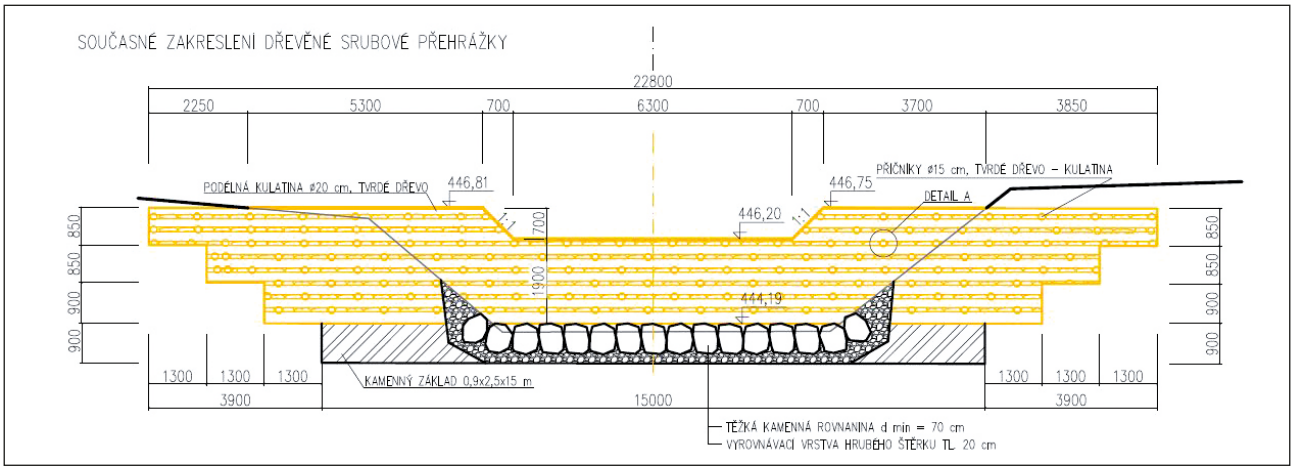
Obrázek 4-35: *Srubová přehrážka na Loučenském potoce před plánovanou rekonstrukcí. Pohled na srubovou konstrukci retenční přehrážky s nosnou konstrukcí z kulatiny. Příčné a podélné dřevěné konstrukční prvky jsou spojovány pomocí kovaných hřebů, popřípadě jsou spojovány tesařskými spoji. Těleso přehrážky je vyplněno kamenem, aby fungovalo jako tížný objekt. Přelivná hrana a koruna zavazovacích křídel je zpevněna kamennou dlažbou. Stav tělesa srubové konstrukce (po cca patnácti letech od výstavby) je špatný, konstrukce dožila, dřevo je nahnilé. Stavebně technický stav jednotlivých stavebních prvků je do velké míry dán režimem přehrážky, která je díky poměrně velké pórovitosti kamenné výplně v celém svém profilu průcezná (voda protéká celou konstrukcí). Jednotlivé dřevěné prvky díky nestabilním vlhkostním podmínkám trpí velmi často hnilobou.*

4.1.6 Srubové konstrukce

Srubové konstrukce se budují jako dvoustěnné nebo jako jednostěnné, upevněné v kamenném záhozu za stěnou kleštinami, přibitými ke kulatině vytvářející stěnu.



Obrázek 4-36: *Řez srubovou přehrážkou se spadištěm ze štětovaného kamene.*



Obrázek 4-37: *Pohled na konstrukci srubové přehrážky.*

Obrázek 4-38: *Pohled proti vodě na soustavu konsolidačních srubových přehrážek. Srubová konstrukce je provedena na sraz ze smrkové kulatiny. Podélné výřezy na sebe přímo navazují, příčná tyčovina, která stabilizuje a provazuje konstrukci, je tesařsky zavázána do jednotlivých kmenů. Zároveň je patrná ochranná konstrukce přelivu provedená z dřevěné tyčoviny uložené podélně i příčně. Dno je zpevněno kamennou rovnaninou, která je v patě zajištěna podélným kmenem. Trvanlivost těchto konstrukcí bez zajištěných stabilních a nekolísavých průtoků vody přes přeliv se pohybuje okolo 10–15 let, pak je nutné srub obnovit nebo nahradit objektem z kamenného zdiva.*

Obrázek 4-39: *Soustava srubových pasů vyplněných kamenem pro stabilizaci koryta s výraznou břehovou a dnovou zpětnou erozí protékající vodu. Přelivná část je v koruně i ve březích zpevněna pomocí fošen nebo tyčí.*

4.2 Podélné stavby

4.2.1 Kamenný pohoz

Pohoz je vrstva kameniva o velikosti zrna 70–150 mm, která se užívá ke stabilizaci dna a svahů břehů koryta o sklonu 1 : 2 a plošším. Při použití pohozu je třeba zajistit patu svahu břehu vhodnou konstrukcí – např. plůtkem, hať ovým válcem, popř. kamenným záhozem nebo kamennou rovnaninou.

Pro pohoz se volí kamenivo ve směsi o různé velikosti zrna, tím se dosáhne větší soudržnosti konstrukce a příznivého ekologického působení (vytvoření stabilní vrstvy dna). Tloušťka vrstvy pohozu je závislá na zrnitosti přirozeného materiálu svahu. Celková tloušťka pohozu je nejméně 15 cm a má být alespoň 3x větší než střední zrno pohozu. V případě jemnozrnného nebo hlinitého podloží je vhodné provést podsypnou vrstvu. Pro pohoz se používají různé frakce drceného kameniva nebo štěrkodrti. Pohoz se na dně toku rozhrne bez ručního urovnání povrchu.

4.2.2 Kamenný zához

Záhozy se užívají ke stabilizaci dna a pat svahů v delších úsecích úpravy nebo v souvislosti s různými objekty v potočním korytě. Velmi často se používá záhozů ke stabilizaci břehových nátrží a místních výmolů při opravách povodňových škod. Lícová plocha kamenného záhozu se provádí ve sklonu mírnějším než 1 : 1,.25.

Záhozy se při zahrazovacích úpravách zřizují jako lehké (o velikosti kamene do 300 mm), střední (o velikosti kamene do 450 mm) a těžké (o velikosti kamene přes 450 mm). Pro zához se používá lomový kámen nebo kámen sbíraný v okolí stavby. Největší rozměr jednotlivého kusu má být menší než trojnásobek nejmenšího rozměru.

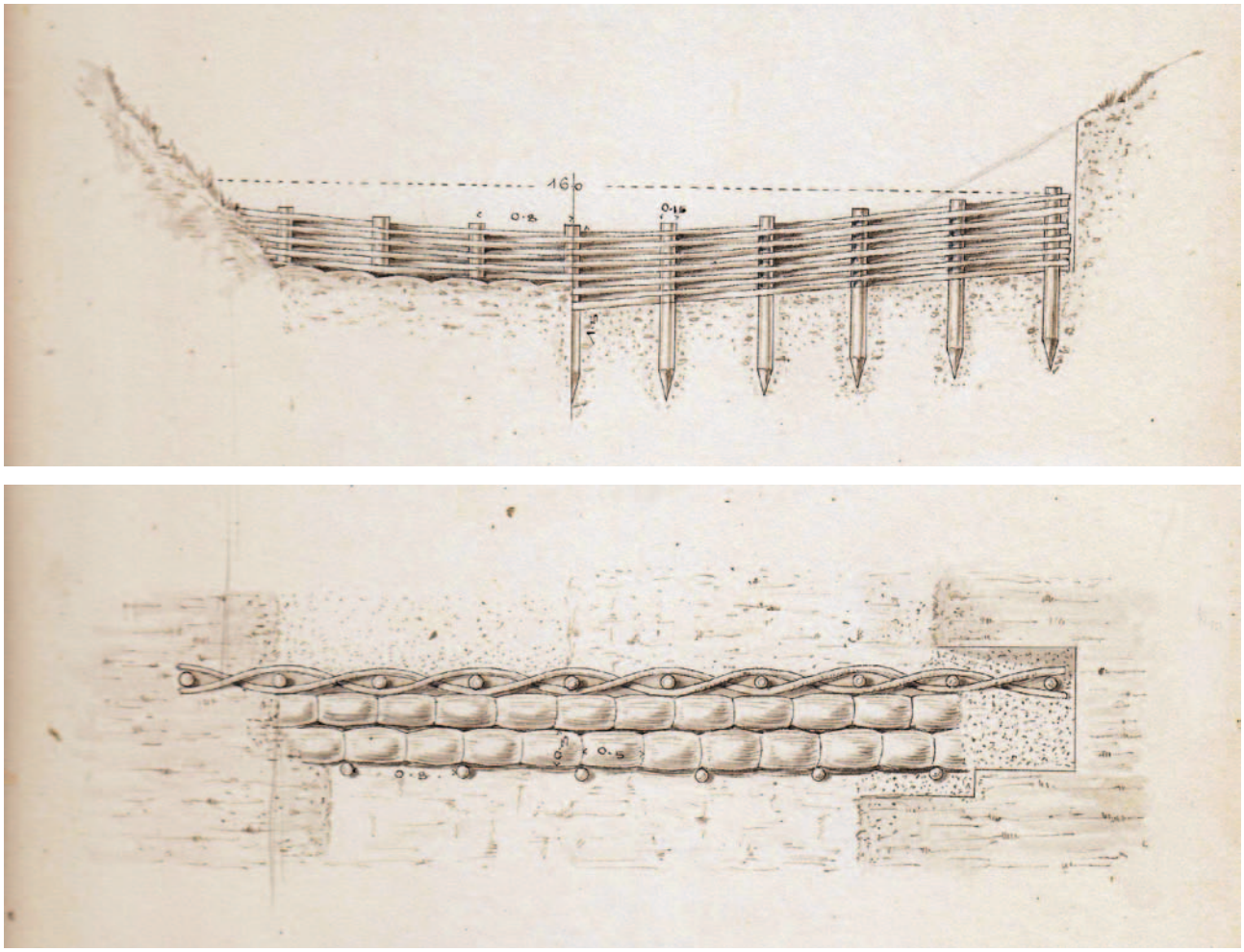
Zához se zřizuje zpravidla tam, kde je nutné vytvořit těleso zapuštěné nebo částečně vystupující z břehu nebo dna koryta. Kámen se urovnává do předepsaného profilu s vyplněním dutin tak, aby zához tvořil hutné těleso. Viditelné plochy je možno upravit urovnáním lícu záhozu.

Navazuje-li na zához kamenná nebo betonová dlažba, je vhodné v místě spojení v koruně záhozu ukládat kameny nejméně 1,5x těžší, než je váha jednotlivých prvků dlažby, a jejich povrch ve směru kolmém ke sklonu svahu opracovat.

4.2.3 Plůtky z tyčoviny

Plůtky z tyčoviny se nejčastěji používají ke stabilizaci paty svahu břehu, jsou též použitelné při stabilizaci svahových pozemků, ohrožovaných vodní erozí a drobnými sesuvy. Lze je využít při úpravách bystřinných toků s pohybem drobnějšího materiálu.

Využití opevnění pomocí plůtků se v současné době díky malé trvanlivosti stavby zpravidla omezuje na dočasné stabilizační konstrukce.



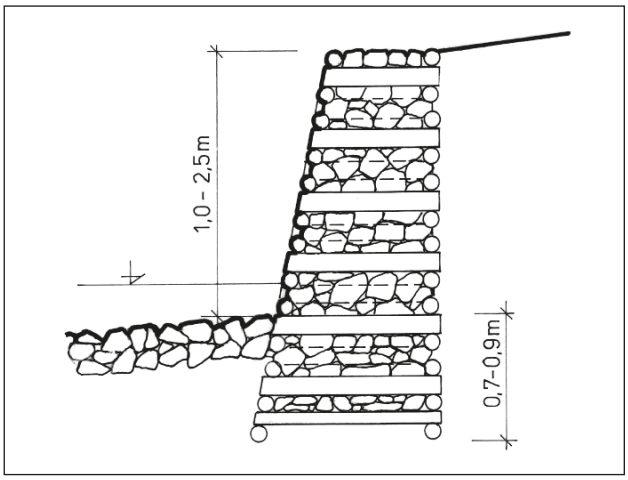
Obrázek 4-40: *Boční a horní pohled na vrbový plůtek pro zpevnění svahů nad korytem – alternativu k laťovým plůtkům. Skenováno z projektové dokumentace pro úpravu Okrouhlického potoka (zdroj: Lesy České republiky, s. p. – Odbor vodního hospodářství, archiv).*

Obrázek 4-41: *Ukázka provedeného opevnění paty pomocí plůtku z tyčoviny, nad stabilním průtokem nejčastěji na úrovni Q_{90d} je patrný přechod do opevnění provedeného pomocí zatravnění. Za plůtkem provedeno štěrkové lože jako nutná filtrační vrstva.*

4.2.4 Srubové konstrukce

Srubové konstrukce se požívají k dočasnému zajištění břehů bystřinných koryt podél komunikací, břehových nátrží a svahových sesuvů. Lze je použít i ve větších sklonech nivelety, protože odolávají účinkům i hrubých splavenin. Srubové konstrukce jsou pružné a jsou schopny přizpůsobit se menším transformacím koryta.

Zřizují jako dvoustěnné nebo jako jednostěnné, upevněné v kamenném záhozu za stěnou kleštinami, přibitými ke kulatině tvořící stěnu.



Obrázek 4-42: *Dvoustěnná srubová stěna pro stabilizaci břehu, založená pod dno potoka. Zdroj: Zuna, Jaroslav: Stavby pro plnění funkcí lesa (2008).*

Srubová konstrukce se zřizuje z jehličnaté kulatiny o průměru 150–250 mm a skládá se z podélných a příčných výřezů, které se navzájem skládají do tesaných sedel a spojují kovanými hřeby. Rubová stěna konstrukce je svislá, lícová stěna se zhotovuje ve sklonu 5 : 1. Vnitřní prostor srubové konstrukce se vyplňuje hrubým kamenivem, nejčastěji se využívá sbíraný místní kámen. Prostor mezi výřezy se klínuje plochými kameny, horní plocha konstrukce se upraví jako dlažba z kamene na sucho. Srubová konstrukce se zakládá na urovnanou základovou spáru. Pokud hrozí nebezpečí vyplavování podloží, zřídí se pod srubem podlaha z tyčoviny, která se ukotví do podloží dřevěnými pilotami.

4.2.5 Betonové dlažby a desky

Podklad a rovněž zásady pro začátek a konec opevnění jsou u betonových dlažeb stejné jako u dlažeb kamenných. Provádějí se buď z tvárnic kladených na břeh, nebo z desek betonovaných přímo na svah. Mezi jednotlivými deskami se zřizují spáry nebo dilatace, které mimo jiné umožňují spojitost koryta s podzemní vodou. Nejmenší doporučená tloušťka litých betonů je 10 cm, nejmenší rozměr dlaždic 40 × 40 cm. Kvalita betonu odpovídá podmínkám, ve kterých se opevnění navrhuje.

Betonovou dlažbu lze považovat přibližně za rovnocennou kamenné dlažbě (z hlediska stejné hmotnosti jednotlivých kusů). Srovnání však nelze uplatnit na jejich hydraulickou účinnost, neboť hladká betonová dlažba netlumí energii protékající vody. Při průtoku vody korytem opevněným betonovou dlažbou dochází k neustálému zrychlování vody a zároveň ke zvětšování pohybové energie vody. V současné době jsou potoky, které byly tímto typem opevnění zpevňovány většinou v 70.–80. letech 20. století, po destrukci opevnění povodňovými průtoky rekonstruovány s využitím kamenné rovnaniny. Místy se pro zvětšení ekologie toků (očekávalo se samovolné zatravnění břehů) používaly polovegetační zatravňovací tvárnice, které jsou v dnešní době rovněž nahrazovány kamennou rovnaninou.

Obrázek 4-43: *Opevnění dna a paty břehů podhorského potoka pomocí betonových panelů. Patrné je porušení dlažby po průchodu povodňových průtoků.*

Obrázek 4-44: *Ukázka opevnění koryta vodního toku pomocí zatravňovacích polovegetačních tvárnic. Patrné je porušení opevnění po průchodu povodně.*

Zvyšování hmotnosti jednotlivých částí opevnění (tvárnic) cestou zvětšování jejich rozměrů je omezeno možnou mechanizací, nebezpečím dotváření, sedáním násypů apod. Použití betonových dlažeb je obdobné jako použití dlažeb kamenných, přičemž volba mezi oběma těmito druhy dlažeb je zpravidla ovlivněna blízkostí materiálového zdroje (kámen, štěrkopísek), kvalitou vody v toku (agresivita) a pohybem splavenin. V případě větší agresivity vody a většího pohybu splavenin je vhodnější dlažba kamenná.

Účinnou váhu betonové dlažby z tvárnic je možno zvýšit spojením tvárnic v rozích nebo na stranách drátěnými oky a vytvořit tak souvislou rohož. Tloušťka betonu je omezena pouze nebezpečím mechanického a chemického poškození.

4.2.6 Kamenné dlažby

Kamenné dlažby se díky jejich odolnosti používají nejčastěji ke zpevnění dopadiště spádových objektů. Dlažby je možné navrhnout i tam, kde v řešeném úseku koryta nevadí zvýšení rychlosti protékající vody (např. při opevnění koryta v intravilánu). Kamenné dlažby díky své relativní hladkosti, resp. nízké drsnosti způsobují zvětšení rychlosti protékající vody korytem. Jako i u jiných opevnění je nutné začátek a konec opevnění v příčném i podélném směru řádně zajistit např. pomocí stabilizačních pasů, betonových patek a uzavřenou korunou dlažby ve břehu.

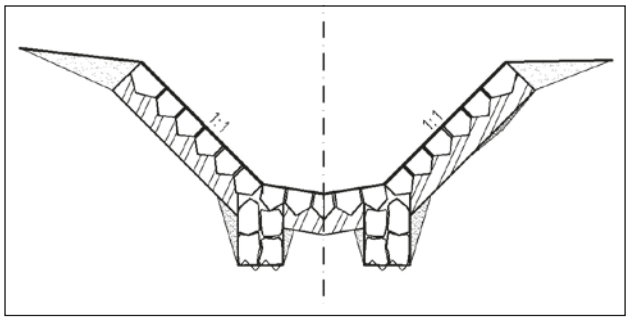
Obrázek 4-45: *Opevnění podhorského potoka kamennou dlažbou do betonu.*

Obrázek 4-46: *Opevnění dna a břehů pomocí kamenné dlažby do betonu, místy úprava pomocí kamenného pohozu.*

Nejmenší rozměr dlažebního kamene pro úpravu toků je 20 cm. Kámen se klade naplocho do připraveného a urovnaného podkladu ze štěrkopísku či štěrkodrtě o tloušťce minimálně 10 cm. Od podsypné vrstvy je možné upustit pouze v případě, že přirozený materiál podloží má vhodnou zrnitost a obsahuje dostatek skeletu. Umělý i přirozený podklad dlažby je nutné urovnat a zajistit jeho odvodnění. Jednotlivé kameny se ukládají a případně vyklínují tak, aby spáry byly široké průměrně 2 cm (nejvýše 4 cm) a kameny tvořily v dlažbě dobrou vazbu bez průběžných spár. Provádění dlažeb v tekoucí nebo stojaté vodě je nevhodné.

U dlažeb na sucho se spáry vyplní hrubým pískem, písek se zapěchuje a proleje vodou. Spáry se souvisle vyklínují kamennými štěpinami, drnem, v zastíněných polohách popř. mechem. U dlažeb se spárami vylévanými cementovou maltou (případně asfaltem) se spáry po prolití vodou vyškrabou na hloubku 7 cm, očistí, vyplní maltou a zatřou tak, aby malta zůstala asi 0,5 cm pod lícem.

U dlažeb na cementovou maltu se malta rozprostře na umělý (event. na přirozený štěrkopískový) podklad nebo na betonový podklad, a to v síle 3 cm. Jednotlivé kameny se pak kladou do malty, spáry se vyplní cementovou maltou a zadusají tak, aby povrch malty zůstal 7 cm pod povrchem. Po vyčištění spár se dlažba vyspáruje cementovou maltou. Malta se řádně zadusá a na povrchu (asi 0,5 cm pod lícem dlažby) uhladí. U dlažeb do betonového lože se doporučuje tloušťka betonu nejméně ½ tloušťky dlažby.



Obrázek 4-47: *Kamenná dlažba do betonu ve dně a na březích. V patě svahu je patrná patka zděná z kamene. Dno je upraveno do středové střelky pro zajištění hloubky minimálních průtoků.*

Obrázek 4-48: *Koryto horské bystřiny s úpravou pro zvýšení drsnosti pomocí umělých rozvaděčů vytvářejících šachovou figuru vystupujících žulových kostek, kamenných kvádrů nebo kopáků (kotvení do dna je nutné na minimálně polovinu výšky kamene). Původní lichoběžníkový profil koryta zpevněný v březích i ve dně kamennou dlažbou na cementovou maltu s vyspárováním přechází v místě přiblížení se k silnici v opěrnou zeď stavěnou z hrubého řádkového zdiva. Celkově se jedná o úpravu podélného i směrového vedení koryta. V současné době se při hrazení bystřin tato úprava z důvodu její tvrdosti a čistě technického charakteru nepoužívá.*

Mimo dlažby na cementovou maltu a dlažby do betonového lože se nedoporučuje strmější sklon svahů než 1 : 1. U strmějších sklonů je nutné dlažbu zajistit proti posunutí po svahu pomocí patky budované v patě břehu. Ve všech případech dlažeb má být zachováno spojení mezi podzemní vodou a vodou v korytě pomocí otvorů v dlažbě nebo vynecháním spárování v některých spárách.

U sklonitých úseků koryt, kde je nutné zajistit tlumení energie vody, se do dlažeb budují tzv. rozrážeče pomocí např. kamenů či kamenných kvádrů vyčnívajících maximálně ½ své výšky nad dno.

4.2.7 Štětování dna kamennou rovnaninou

S ohledem na svou odolnost se tato konstrukce doporučuje užívat pro zvláště namáhané úseku koryt nebo pro opevnění spadišť spádových objektů. Štětovaná rovnanina se provádí mezi dlážděné prahy tak, že kámen o velikosti 20–30 cm se na dně toku nastojato urovná a pak se zadusá do dna těžkými pěchy, aby byly kameny pevně zapojeny. U rovnanin využívaných pro skluzovou plochu se provádí s hrubým povrchem.

4.2.8 Drátokamenné konstrukce

Drátokamenné konstrukce se při zahrazovacích úpravách zřizují z košů, vyrobených z pozinkovaných ocelových drátů, které se vyplňují kamenivem. Používají se především továrně vyrobené koše, při menším rozsahu prací je možno koše vyrobit v rámci stavby, např. z betonářské oceli. Kamenivo musí být v koši uloženo na způsob kamenné rovnaniny, kameny ve vnějších vrstvách musí být větší než otvory v drátěném pletivu.

Výplň košů i matrací se provádí z lomového kamene. Ostré hrany na styku s pletivem je nutné opracovat. Velikost jednotlivých kusů výplně musí být asi o 50 % větší než velikost ok drátěných sítí.

Výplň se řádně urovná po vrstvách nejvýše 25 cm vysokých, čelní strana (lícová) se vždy rovná do provázané figury do napnutých drátěných košů. Drátěné pletivo je z důvodů trvanlivosti chráněno zpravidla dvojnásobným pozinkováním. Průměr drátu se volí podle agresivity vody a nebezpečí porušení vlivem obrusu (doporučuje se 3 až 5 mm).

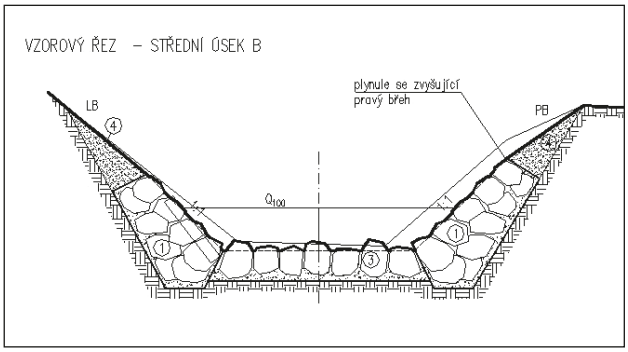
Použití je z důvodů možného poškození obrusem a splaveninami nesenými vodním proudem omezeno na břehové opevnění v úsecích s minimálním transportem hrubozrnných splavenin.

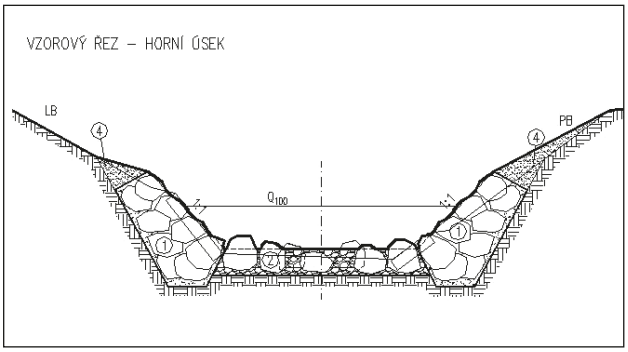
Obrázek 4-49: *Pohled proti vodě na soustavu gabionových stupňů se spadišti zpevněnými kamennou rovnaninou v březích i ve dně. Konec spadiště je stabilizován pomocí dřevěných pasů z kulatiny. V místě souběhu lesní cesty s korytem je náporový břeh zpevněn gabionovou stěnou. Přelivná hrana na jednotlivých gabionových objektech je zpevněna půlenou kulatinou, přepad přes spodní gabionový koš je zpevněný příčně položenou kulatinou tak, aby byla ochráněna hrana koše před obrusem. Způsob zpevnění přelivné hrany pomocí stěny z kuláčů, resp. pomocí položeného kmene je možné označit za vhodný.*

4.2.9 Kamenná rovnanina

Rovnanina z kamene představuje alternativu zdiva z lomového kamene na sucho. Je téměř stejně odolná, ale svou pružností umožňuje větší transformaci koryta a přispívá tak k udržení přírodě blízkého charakteru úpravy. Rovnaniny se používají zejména k zajištění břehových nátrží a pat svahů nebo celých břehů v souvislosti s objekty přemostění v lesních tratích.

Kamenná rovnanina se provádí z neopracovaných kamenů kladených na sucho, s vazbou ve směru podélném a příčném (běhouny a vazáky). Rovnání se provádí do kamenných, prostorových figur. Dutiny se vyplní a vyklínují menšími kameny. Lícní plochy se nechávají hrubé, v případě požadavku se dlažbovitě urovnají a vyklínují menšími kameny. Velikost kamene nebo betonových prvků se doporučuje nejméně 25 cm. Sklon líce rovnaniny nemá být strmější než 1 : 1, na krátké přechodové úseky lze rovnaninu provést ve sklonu až 2 : 1.





Obrázek 4-50: *Příčný profil koryta opevněného ve dně a ve březích kamennou rovnaninou (označeno 1 a 3), resp. kamenným záhozem prosypaným štěrkodrtí (označeno 2).*

Obrázek 4-51: *Pohled na přeložku koryta bystřiny zpět do údolnice. Profil koryta má po úpravě zachovánu velkou drsnost (používané kamenné figury bez urovnání líce tlumí pohybovou energii vody). Rovnanina je provedena štětováním kamene do břehu s tím, že spodní kameny jsou zhruba z poloviny uloženy nad niveletu dna a linii běžných průtoků, nedochází tak k vytvoření průběžné spáry mezi dnem a břehem. Při vytváření rovnaniny se zpevněným dnem je nutné eliminovat průběžné dnové spáry (jako první se provede založení rovnaniny břehu, následně se pokračuje s vytvořením zpevnění dna a teprve poté se dodělává nadzákladová rovnanina).*

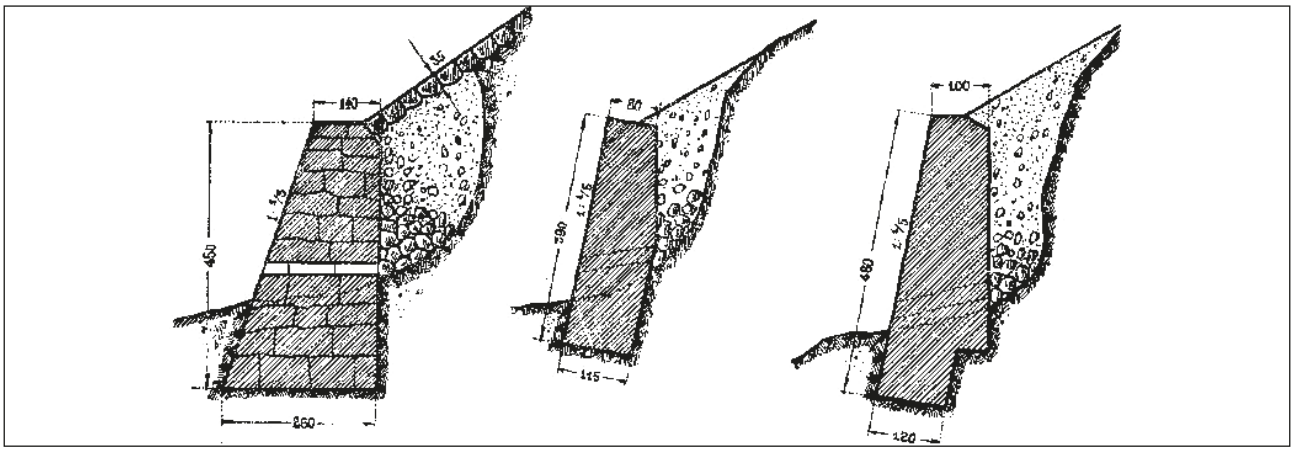
Obrázek 4-52: *Pohled na kamennou rovnaninu, resp. na kamenný obklad prováděný v pravidelném lichoběžníkovém korytě. Konstrukci je nutné prosypávat kamenem, aby mezi rubem kamene a výkopem vznikla filtrační zóna a vrstva, která zaručí nevymývání půdních částic.*

4.2.10 Opěrné zdi

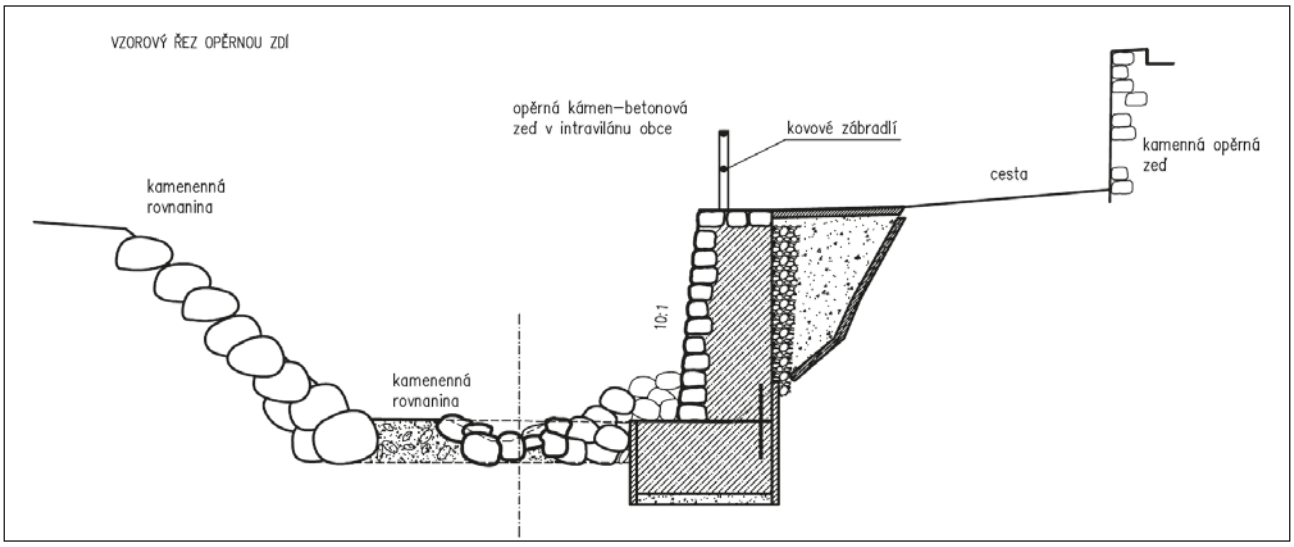
Opěrné zdi slouží k zajištění břehů v úsecích, kde je nutné akceptovat úzký příčný profil koryta (v zastavěných územích, v okolí různých objektů v bystřinném korytě a podél komunikací). Podle prostorových možností je možno navrhovat opěrné zdi na celou výšku břehu nebo pouze na jeho dolní část, na kterou pak navazuje vhodně opevněný břeh o sklonu nejvýše 1 : 1.

Obrázek 4-53: *Úprava profilu koryta typická pro bystřinu vedenou intravilánem. Obdélníkový profil je v březích zpevněn opěrnými zdmi z režného kamenného zdiva, koruna je pak uzavřena betonovou římsou. Ve dně je koryto zpevněné kamennou dlažbou na cementovou maltu s vyspárováním. Z důvodu zachování hloubky při minimálních průtocích je koryto provedeno do středové střelky. Tato směrová a profilová úprava je doporučována většinou v intravilánu v místě, kde je nutné bezpečně provést korytem vysoké povodňové průtoky. Detailně je patrné provedení spárování dlažby ve dně i u opěrných zdí, betonová římsa je o 10 cm předsazená před líc konstrukce zdi (z důvodu ochrany zdi před stékající dešťovou vodou). Spárování kamenné dlažby i zdiva se doporučuje provádět na plocho, spáru zhruba o 1 cm zatlačit pomocí spárovaček pod líc kamenného zdiva.*

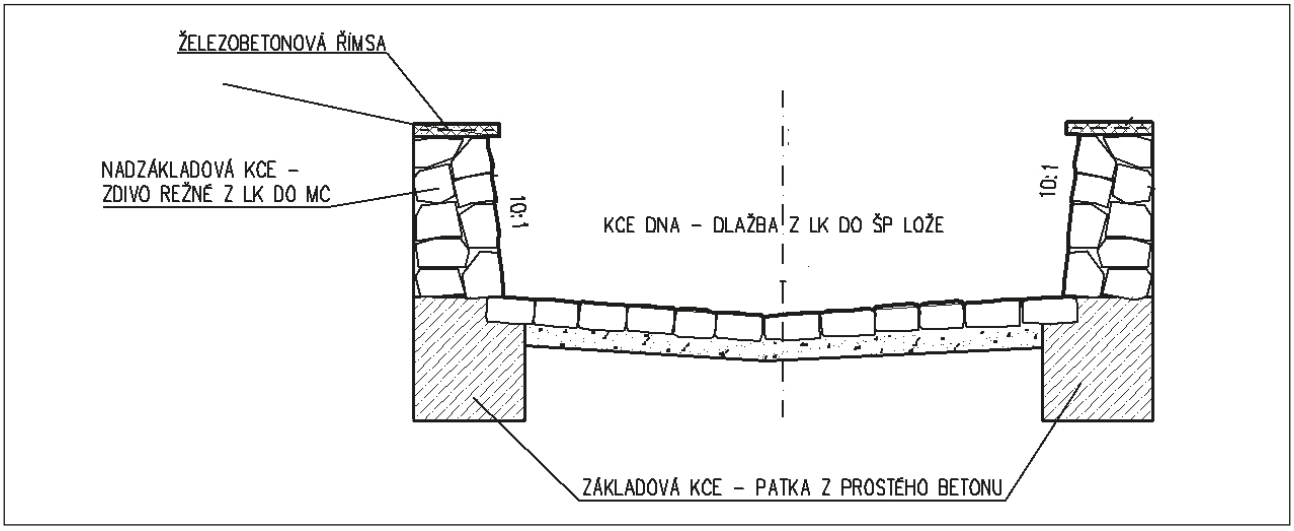
Založení opěrných zdí musí být provedeno tak, aby jejich stabilita nebyla ohrožena případným prohlubováním dna koryta. Spojitost mezi podzemní vodou v korytě lze zajistit např. drenážními otvory. Zdi se provádějí z kamene (na sucho nebo zděné na cementovou maltu), z betonu nebo železobetonu.



Obrázek 4-54: *Ukázka původně používaných konstrukcí zdí zděných z kamene a betonových. Zdroj: Hlavinka, Vincenc: Nauka o meliorací, úpravách toků a hrazení bystřin – II. díl: Úprava toků a hrazení bystřin (1927).*



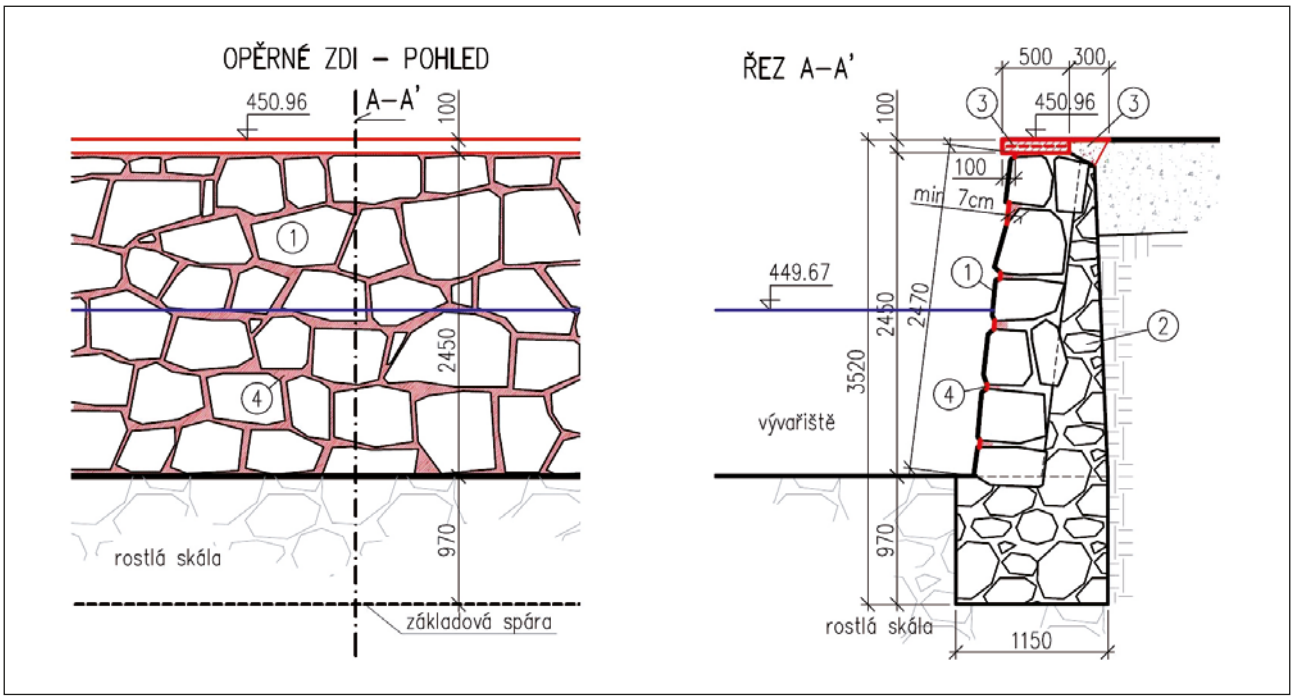
Obrázek 4-55: *Ukázka možného řešení složeného profilu bystřiny v intravilánu s opěrnou zdí na pravém břehu a s rovnaninou z velkých kamenů na levém břehu.*



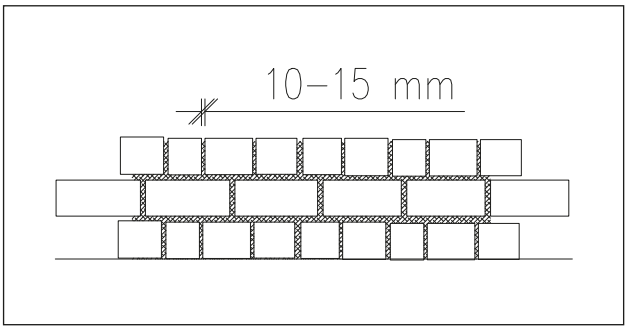
Obrázek 4-56: *Pohled na vzor kamenné zdi zděné z lomového kamene na betonový základ, ve dně intravilánové úpravy bystřiny je provedena dlažba. Koruna zdí je chráněna železobetonovou římsou.*

Zdi z kamene na sucho se provádí z hrubě opracovaného lomového kamene. Dutiny jsou vyklínovány obrácenými klíny (širším koncem dovnitř). Kameny se kladou na svou širší plochu a jsou ve zdi vázány střídáním běhounů a vazáků. Lícní plocha se provádí z vybraných kamenů nejméně 20 cm vysokých, které se vzájemně dotýkají na délku 15 cm. Šířka spár je nejvýše 4 cm.

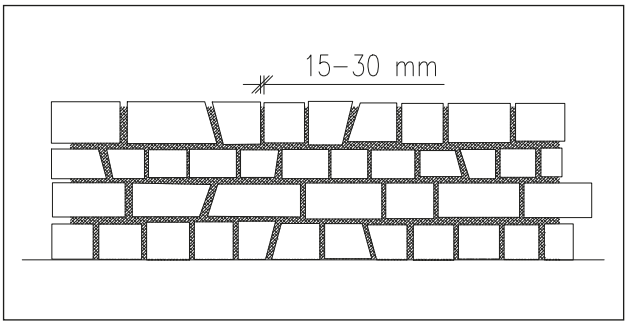
Zdi z lomového kamene na cementovou maltu se provádějí z kamenů s nejmenším rozměrem 20 cm, podle potřeby opracovaných. Před nanesením malty se kámen očistí od prachu a bláta a řádně navlhčí vodou. Jednotlivé kameny musí být dobře vázány správným rozdělením běhounů a vazáků a musí být kladeny tak, aby výška kamene nepřesahovala kratší rozměr základny. Malta (nejmenší množství cementu 300 kg/m³ písku) musí dokonale vyplnit všechny dutiny a spojit se s kameny po celé ploše. Pro lícní plochu se vyberou kameny nejvhodnějších rozměrů a před osazením se opracují na líci do rovné plochy. Šířka lícních spár nesmí být větší než 4 cm a menší než 1,5 cm. Lícní spáry se nesmějí klínovat. Spáry se po dohotovení vyškrábou, očistí a vyspárují cementovou maltou (nejmenší množství cementu 450 kg/m³ písku).



Obrázek 4-57: *Ukázka režného kamenného zdiva.*



Obrázek 4-58: *Čisté řádkové zdivo.*

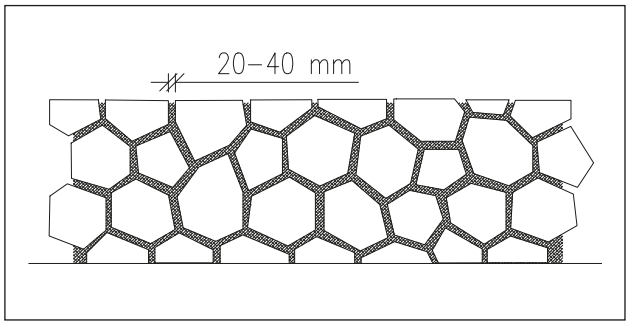


Obrázek 4-59: *Ukázka hrubého řádkového obkladního zdiva.*

Řádkové obkladní kamenné zdivo se provádí z kopáků ze zdravého nezvětralého kamene bez zřetele na odlišné odstíny základní barvy, jeho strukturu a texturu. Hrubé kopáky (pro řádkové zdivo hrubé) mají přibližně tvar hranolu. Celá lícní plocha a styčné i ložné plochy jsou nejméně do dvou třetin hrubě opracovány, ostatní plochy jsou neopracované. Nejmenší objem kopáků je 0,05 m³, nejmenší výška 20 cm. Čisté kopáky (pro řádkové zdivo čisté) jsou kameny tvaru hranolu. Čela všech kamenů musí být pravoúhlá. Lícní a ložné plochy musí být celé čistě opracovány, styčné plochy do hloubky alespoň 5 cm, ostatní plochy jsou opracovány hrubě.

Řádkové zdivo hrubé se od čistého dále dělí šířkou spár a výškou jednotlivých vrstev. U hrubého zdiva se při zdění dodržuje šířka spáry mezi kameny v rozmezí 2–4 cm. Kameny se musí přesahovat nejméně o 12 cm, výšky jednotlivých vrstev mohou být různé. U řádkového zdiva čistého jsou šířky spár poloviční, ložné a styčné spáry musí být k sobě navzájem kolmé. U obou typů zdiva platí, že na dva běhouny připadá alespoň jeden vazák, který musí přesahovat běhoun alespoň o 20 cm do hloubky.

Kyklopské obkladní zdivo se provádí z jednotlivých kamenů tvaru mnohoúhelníku na styčných plochách opracovaných na hloubku 3 cm od líce zdi tak, aby mezi kameny vznikla spára 2 až 4 cm široká. Spáry nesmějí probíhat v žádném směru přes několik kamenů, v jednom rohu se smějí stýkat nejvýše 3 spáry.



Obrázek 4-60: *Ukázka kyklopského obkladního zdiva.*

Kvádrové obkladní zdivo se provádí z kamenů nejlepší jakosti bez trhlin, štěrbin a rezivých skvrn. Jednotlivé kameny se připravují čistým špicováním nebo hrubým pemrlováním podle detailních výkresů. Ložná plocha kamenů musí být rovná, styčné plochy musí být nejméně na hloubku 5 cm od líce zdi rovné a v pravém úhlu k lícní ploše. Spáry jsou 1 až 2 cm široké. Při lícních plochách se kvádry ukládají na dřevěné klínky nebo lišty, v částech zazděných na klínky železné. Při osazování se ponechají ložné spáry do hloubky 3 až 4 cm volné, nevyplněné maltovým ložem, jednak pro spárování a jednak aby se nepoškodily hrany a rohy jednotlivých kvádrů. Nejmenší množství cementu pro malty všech druhů kamenného obkladního zdiva je 350 kg/m^3 písku.

Pro zděné konstrukce hrazenářských úprav platí ČSN EN 1996-1-1 *Eurokód 6: Navrhování zděných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla pro vyztužené a nevyztužené zděné konstrukce.* Podle této technické normy musí být zdící prvky z přírodního kamene ze sedimentárních a přeměněných hornin zhotoveny tak, aby roviny jejich vrstev byly ve zdivu uloženy vodorovně nebo téměř vodorovně. Sousední lícové zdící prvky z přírodního kamene musí mít přesahy rovné nejméně 0,25násobku rozměru menšího prvku, nejméně však 40 mm, pokud není pevnost zdiva zajištěna jiným opatřením. U stěn, u kterých rozměr zdících prvků nedosahuje tloušťky stěny, musí být vazáky o délce mezi 0,6–0,7násobkem tloušťky stěny rozmístěny ve vzdálenostech nejvýše 1 m, a to jak ve vodorovném, tak ve svislém směru. Vazáky musí mít výšku alespoň 0,3násobku své délky.

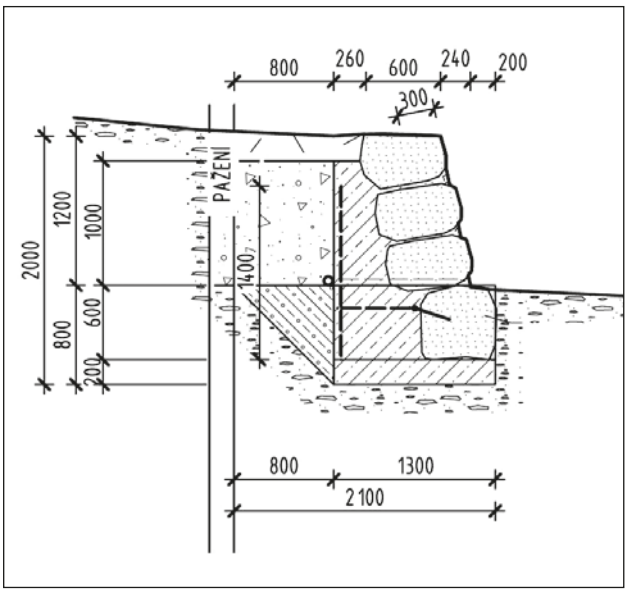
Obrázek 4-61: *Ukázka kyklopského zdiva použitého u opěrné nábřežní zdi.*

4.2.11 Alpské zdivo

Alpským zdivem se rozumí zdivo z hrubě opracovaného záhozového kamene nebo z kamenných bloků. Provádí se na předem připravený betonovo-kamenný základ provedený do výkopu, ve kterém je na rubové straně osazeno bednění. Základ má tuto skladbu: hrubý kámen o hmotnosti cca 1 t/ks je na podkladním betonu osazený na návodní straně základu, rub základu pak tvoří betonová výplň. Základové kameny jsou do betonové výplně kotveny ocelovou kotvou. Na připravený základ se většinou strojově ukládají opracované, záhozové kameny do betonového lože roztaženého do cca třetiny až poloviny hloubky ložné plochy kamene od rubu zdiva. Zbytek ložné spáry se posléze vyplňuje drnem a jílovou zeminou.

Rub zdiva se po uložení kamenů betonuje betonem do úrovně zhruba poloviny výšky závěrného (svrchního) kamene. Do betonové nadzákladové části se vkládá smršťovací výztuž zpravidla ze svařovaných sítí.

Součástí opěrní zdi je protimrazový klín a odvodnění, které se standardně provádí pomocí trubek uložených mezi kameny na návodní stranu zdi.



Obrázek 4-62: *Vzorový výkres opěrné zdi provedené jako „alpské zdivo" (Ing. Jaroslav Valoušek: projektová dokumentace pro HB Mražok).*

Obrázek 4-63: *Ukázka alpského zdiva.*

4.3 Soustřeďovací o usměrňovací objekty

I přes fakt, že se v současné době v hrazení bystřin využívají soustavy příčných nebo podélných soustřeďovacích, resp. usměrňovacích objektů (výhonů) již jen v omezených případech, lze jimi např. u štěrkonosných bystřin s nestálým korytem usměrnit průtok do požadované trasy a ochránit tak břehové partie. Usměrňovací objekty se umisťují kolmo nebo šikmo k proudu a slouží k usměrnění povrchové, střední či spodní vrstvy proudu v korytě a trase vodního toku. Směrodatným průtokem pro návrh výšky koruny výhonu je průtok, při kterém nastává absolutní začátek pohybu jednotlivých zrn splavenin.

Při průtoku vody přes soustavu výhonů dochází vlivem poklesu průtočné rychlosti a vlivem příčné cirkulace vody k ukládání splavenin mezi výhony a k postupnému vytváření nových břehů. Podle situování výhonů k ose toku mohou být výhony kolmé (α = 90°) nebo šikmé, které se dále podle úhlu, resp. orientace natočení dělí na vstřícné (inklinantní, postavené šikmo proti směru proudu, α > 90°) a odchýlené (deklinantní, postavené šikmo po směru proudu, α < 90°). U všech druhů výhonů se osy protilehlých výhonů prolínají v ose toku. Střídání výhonů proti sobě se nedoporučuje.

Výhony se připojují do břehu dostatečně zavázaným kořenem a končí v korytě zhlavím, které určuje příští břehovou čáru. Koruna výhonu stoupá ve směru ke břehu ve sklonu 2–10 % s tím, že výška koruny výhonů se volí v úrovni hladiny průtoku, při kterém nastává pohyb splavenin. Zhlaví výhonu se podle potřeby navrhuje s ostruhami.

Při návrhu situování výhonů v ose budoucího koryta je třeba vycházet z posouzení stavu současného koryta. Je-li dno v budoucí trase zaneseno a bude potřeba ho prohloubit a docílit

rozrušení štěrkových lavic, je výhodné použít inklinantních výhonů svírajících s osou vodního toku úhel 70°–80°. Požaduje-li se rychlé zanesení rozsáhlých břehových nátrží, výmolů a vytvoření břehových linií, je třeba naopak navrhnout výhony deklinantní. Ty však usměrňují přepadající vodu částečně k dosavadním břehům, a proto je potřebné prostor mezi kořeny výhonů dostatečně opevnit.

Vzdálenost výhonů od sebe závisí na šířce koryta, délce výhonů, křivosti trasy, sklonu dna a na množství a zrnitosti pohybujících se splavenin.

Podle dosavadních zkušeností při úpravách bystřin pomocí výhonů se jeví jako optimální vzdálenosti výhonů L při šířce koryta v březích B následující hodnoty:

- v přímé trati $L = 0{,}75–1{,}00 \times B$,
- v konkávách $L = 0{,}50 \times B$,
- v konvexách $L = 1{,}25 \times B$.

Vzdálenost výhonů by dále neměla být větší než jejich vlastní délka. V závislosti na křivosti trasy platí, že čím je křivost větší, tím větší musí být hustota výhonů v konkávě.

Při navrhovaní trasy výhonové úpravy je nutné se vyhnout ostrým obloukům. U koryt širších než 10 m se doporučuje minimální poloměr kruhového oblouku $R = 10 \times B$, u koryt užších pak $R = 15 \times B$. Místo kruhových oblouků je vhodnější použít křivek s proměnlivou křivostí.

Všechny soustřeďovací objekty se mohou provádět z vhodných materiálů bez ohledu na vodotěsnost (kámen, kmeny, jejich kombinace). Konstrukčně musí být upraveny tak, aby byly stabilní a odolaly návrhovému průtoku.

4.4 Vegetační a kombinované konstrukce a prvky

4.4.1 Oživené opevňovací konstrukce

Oživené (biotechnické) konstrukce obsahují vegetační prvky s kladným vlivem na vlastnosti stavebních konstrukcí. Mají charakter poddajného opevnění, protože jsou schopny přizpůsobit se transformacím dna a břehů koryta, ke kterým po provedení úpravy bystřiny nebo horského potoka dochází. Přirozeným způsobem tlumí energii vodního proudu a stabilizují břehy koryta. Oživené konstrukce se využívají i ke stabilizaci erozních rýh, strží a strmých svahů a k oživení pozemků bez vegetace. Vegetační materiál, který je součástí těchto konstrukcí, musí být schopen rychlého zakořenění a musí vytvářet pružné a málo se větvící výhonky.

Nejčastější součástí oživených konstrukcí jsou pruty a řízky z keřových vrb získané v okolí staveniště. Používají se samostatně nebo jako součást oživených konstrukcí.

Oživené zápletové plůtky se používají ke stabilizaci pat svahů břehů mělkých koryt ve sklonu nivelety do 2 % s pohybem drobných splavenin (do průměru asi 50 mm) a ke stabilizaci štěrkovišť. Obvykle navazují na dřeviny vysazené na břehu koryta. Ke stabilizaci paty svahu se užívá plůtek jednořadý, dvouřadý plůtek je vhodný ke stabilizaci části svahu břehu. Oživené plůtky se zřizují v době vegetačního klidu (na podzim, v předjaří nebo na jaře).

Vrbová krytina slouží k zajištění nestabilních břehů při úpravách štěrkonosných potoků. Ke zřízení krytiny se používají vyzrálé vrbové pruty dostatečné délky, které se pokládají na urovnaný svah břehu, upravený ve sklonu 1 : 2 nebo plošším. Vytvoří se tak vrstva prutů, položených těsně vedle sebe nebo s mezerami do 30 mm. Je možné použít i pruty lísky, olše, topolu nebo jasanu, a to do 25 % z celkového množství.

Oživenou dlažbu z kopáků lze použít ke stabilizaci koryta ve velmi sklonitých tratích, variantně se budují za použití velkých kamenů získaných na staveništi. Dlažba se klade na sucho bez podkladní vrstvy, na břehových svazích se spáry mezi kameny vyplní zeminou a vypíchají silnými vrbovými řízky délky 500 mm.

Oživený kamenný zához je oživenou obdobou prostého kamenného záhozu. Díky vložení vegetačních prvků se zvýší stabilita kameniva v záhozu, zvýší se jeho drsnost a tím i účinek v tlumení energie vodního proudu, konstrukce se také lépe včleňuje do přírodního prostředí. Užívá se k zajištění paty svahu opevněného jiným biotechnickým způsobem především v konkávních březích oblouků. K oživení záhozu se používají vrbové řízky. Při zahrazovacích úpravách se osvědčily dva postupy zřizování oživeného kamenného záhozu. První spočívá ve vybudování prostého kamenného záhozu s tím, že se mezery mezi kameny následně vyplní zeminou a do zeminy vtlačují silné vrbové řízky o průměru 30 až 50 mm délky nejméně 0,5 m. Při druhém způsobu se vegetační materiál vkládá již při zřizování konstrukce tak, že se na urovnané podloží záhozu rozprostře vrbový klest, na který se uloží kameny záhozu.

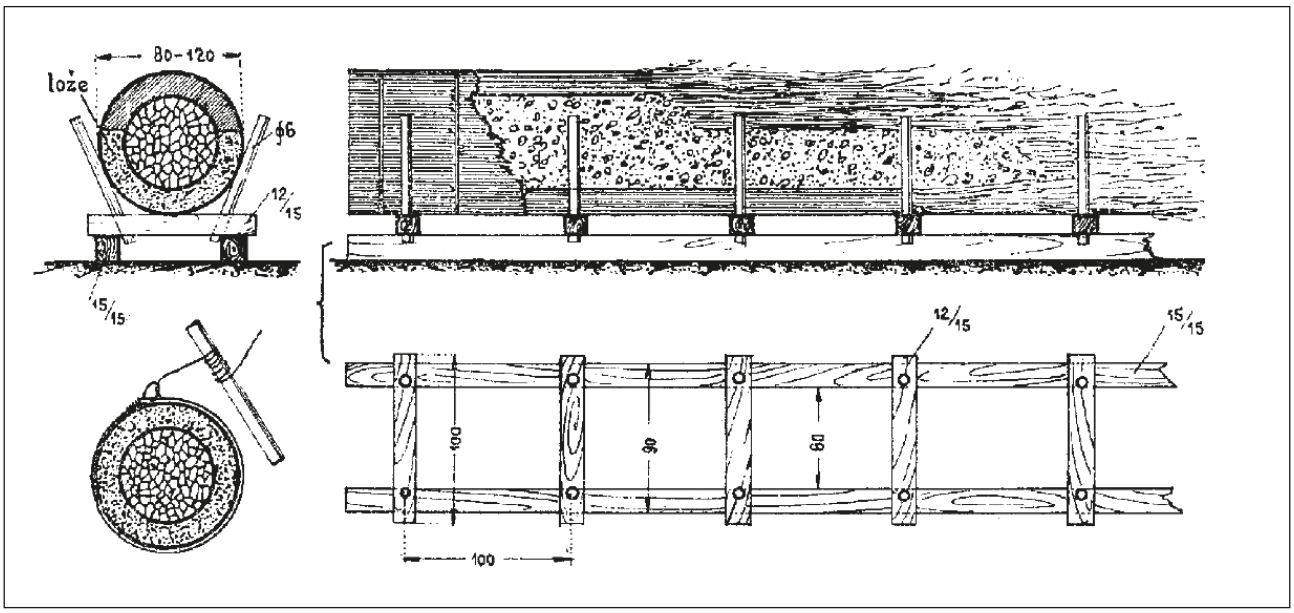
Oživená kamenná rovnanina se provádí obdobným způsobem jako prostá kamenná rovnanina, při tom se do lícní plochy použijí větší kameny. Mezery mezi kameny se vyplní zeminou, do které se vkládá vrbový klest silnějším koncem prutu směrem k lícní ploše rovnaniny. Používá se lomový kámen nebo kámen sbíraný v okolí staveniště.

Oživený srub je konstrukce složená z několika řad plůtků z tyčoviny, které jsou uspořádány nad sebou ve sklonu chráněného svahu. Nově utvořený svah se upravuje ve sklonu 1 : 1,5 nebo plošším. Mezi horními dvěma tyčemi každého plůtku je upevněna vrstva živého vrbového klestu v tloušťce 50 až 100 mm, mezi plůtky se ukládá vrbový klest silnějším koncem směrem do koryta a překryje se zeminou ve vrstvě 50–100 mm. Tyto konstrukce se používají k zajištění břehových nátrží, ale také k souvislému vegetačnímu opevnění konkávních břehů.

V současné době se nicméně kombinované a oživené konstrukce ve větší míře nenavrhují.

4.4.2 Haťové prvky a konstrukce

Účinnou součástí oživených opevňovacích konstrukcí jsou haťové prvky, které se zhotovují z 2–3letých prutů, nejčastěji vrbových, které jsou schopny zakořenění a růstu. Při nedostatku vrbového materiálu je možno použít také prutů lísky, břízy, jasanu, olše nebo jívy. Haťové prvky se používají ke stabilizaci koryta v mírném sklonu nivelety s pohybem drobnějších splavenin. Mezi základní typy haťových konstrukcí patří haťová povázka, haťový váleček, haťový válec a haťoštěrkový válec.



Obrázek 4-64: *Hať ový válec – ukázka jeho konstrukce mimo vodní tok. Zdroj: Hlavinka, Vincenc: Nauka o melioracích, úpravách toků a hrazení bystřin – II. díl: Úprava toků a hrazení bystřin (1927).*

Hať ová povázka je svazek živých vrbových prutů o průměru 80–120 mm a délky 1,2–1,8 m. Používají se pruty tloušťky 20–30 mm na silném konci, svazované vyžíhaným železným drátem ve vzdálenostech po 300 mm. Hať ová povázka se používá jako součást biotechnických konstrukcí, např. vrbových krytin a stěn.

Hať ový váleček je obdobou hať ové povázky. Jeho průměr je 120–200 mm. Používá se jako samostatný prvek ke stabilizaci paty svahu břehu, častěji jako součást oživených opevňovacích konstrukcí.

Hať ový válec tvoří svazek živých vrbových prutů. Jeho průměr je 200–600 mm, jeho délka se volí podle potřeby. K výrobě se používají pruty tloušťky 20–40 mm na silném konci, silnější pruty se umísťují uvnitř válce. Místo části vrbových prutů lze použít i klestu jiných dřevin. Pruty se svazují vyžíhaným železným drátem ve vzdálenostech po 500–700 mm. Při výrobě hať ových válců se ke stažení klestu používají řemeny, které se po upevnění drátu odstraní. Hať ové válce se používají ke stabilizaci pat svahů břehů a břehových nátrží, a také do základů opevňovacích konstrukcí. Pokud po zabudování nebudou zcela zatopeny vodou, je třeba konstrukce překrýt zeminou.

Hať oštěrkový válec se skládá z vnějšího obalu z vrstvy vrbového klestu a z vnitřní štěrkové výplně. Průměr válce je 800–1000 mm, tloušťka klestového obalu se volí 150–200 mm. Používají se vrbové pruty tloušťky 20–40 mm na silném konci, uspořádání je obdobné jako u hať ového válce. Konce válců se kuželovitě uzavírají, aby se štěrková výplň nevysypala. Do výplně válce se používá místní štěrk s obsahem písku do 20 %, valouny nebo lomový prosev s obsahem hrubé frakce nejméně 70 %. Hať oštěrkové válce se používají především ke stabilizaci narušených pat svahů břehů a břehových nátrží a jako součást biotechnických konstrukcí v úsecích s větší hloubkou vody. Jako ochrana proti obrusu splaveninami se užívá kamenný zához, v úsecích, kde je žádoucí oživení konstrukce, je třeba hať oštěrkový válec překrýt nad hladinou vody vrstvou zeminy.

Hať oštěrkové stavby se používají k podélné stabilizaci narušených břehů v úsecích, kde je třeba zmenšit šířku koryta nebo při sanaci hluboce zaříznutých břehových nátrží. Příčný profil konstrukce je lichoběžníkový se sklony svahů 1 : 1,5–2,0. Do základové spáry se příčně uloží klest proložený valouny a štěrkem, a to až do úrovně dna koryta. Na takto upravený základ se střídavě ukládá příčně (šikmo po vodě) vrstva živého vrbového klestu tloušťky 100–150 mm a podélně hať ové válečky ve vzájemné vzdálenosti 0,7–1,0 m. Hať ové válečky se upevňují dřevěnými kolíky délky 0,8–1,0 m zatloukanými ve vzájemné vzdálenosti 0,3–0,4 m. Na návodním svahu se pokládají dva hať ové válečky. Vnitřní prostor se postupně vyplňuje štěrkem. Šířka koruny hať oštěrkové stavby je 0,5–2,0 m.

4.5 Jiné objekty

Pro navrhování a prostorovou úpravu nových mostních objektů platí ČSN 73 6201 *Projektování mostních objektů* nebo příslušná technická norma pro propustky a mostky ze skupiny ČSN 73 61.

Provádí-li se úprava v úseku s již vybudovaným mostním objektem, který vyhovuje požadavkům uvedených technických norem, musí být provedena tak, aby mostní objekt vyhovoval těmto požadavkům i po provedené úpravě.

Brody se navrhují na bystřinách jen výjimečně. K zajištění brodu se obvykle provádí rámová konstrukce dřevěná nebo z kamenných podélných a příčných pásů. Dno brodu a rampy se opevňují dlažbou. Sklon rampy je obvykle 1 : 8. Za povodním pásem brodu se doporučuje dno přiměřeně opevnit.

Schody na březích koryt umožňující přístup k vodní hladině se navrhují s max. výškou stupně 20 cm a nejmenší šířkou stupně 25 cm. Délka schodu nesmí být menší než 80 cm.

Odběrné objekty se navrhují nejlépe u konce konkávního břehu a odběr se vhodným způsobem zajišťuje před zanášením.

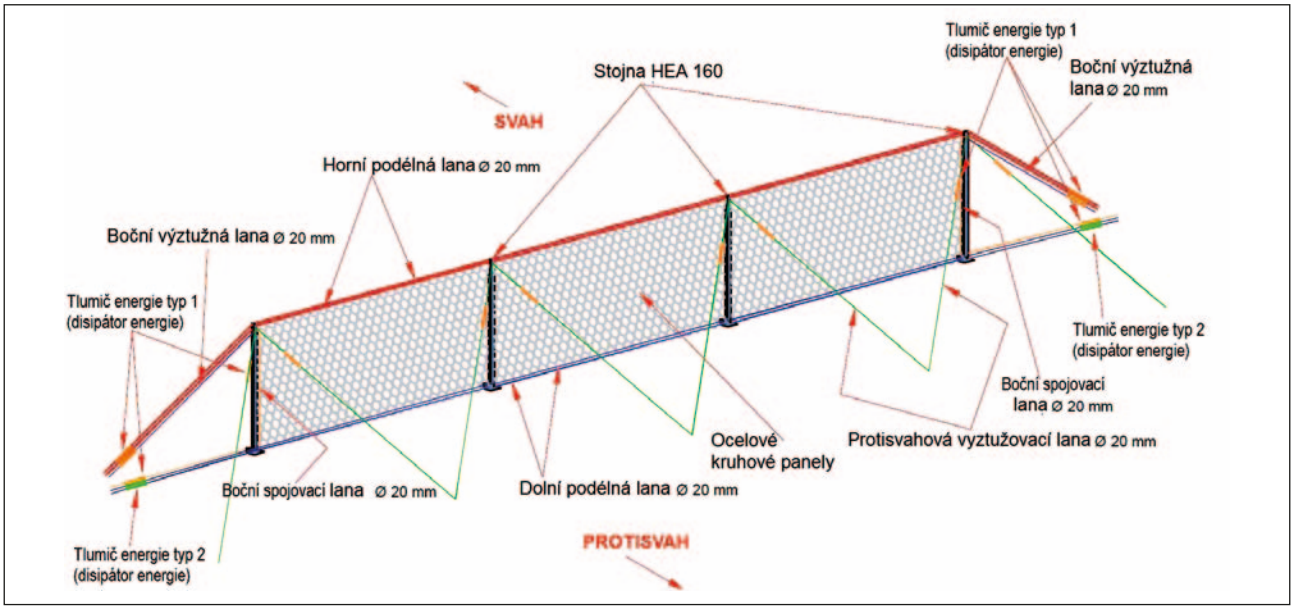
Převedení podzemních vedení pode dnem koryta se při křížení s bystřinami řídí ustanoveními ČSN 75 2130 *Křížení a souběhy vodních toků s dráhami, pozemními komunikacemi a vedeními* a dále technickými požadavky na stavby hrazení bystřin a strží podle vyhlášky 239/2017 Sb. Horní hrana potrubí musí být umístěna min. 50 cm pod niveletou dna (v případě neupraveného koryta bystřiny ale min. 140 cm). Nejmenší hloubka uložení silového elektrického kabelu včetně jeho chráničky je 70 cm pod niveletou dna upravené trati bystřiny, u sdělovacích kabelů pak 110 cm (v případě neupraveného koryta bystřiny ale min. 140 cm pod niveletou dna).

4.5.1 Flexibilní bariéry

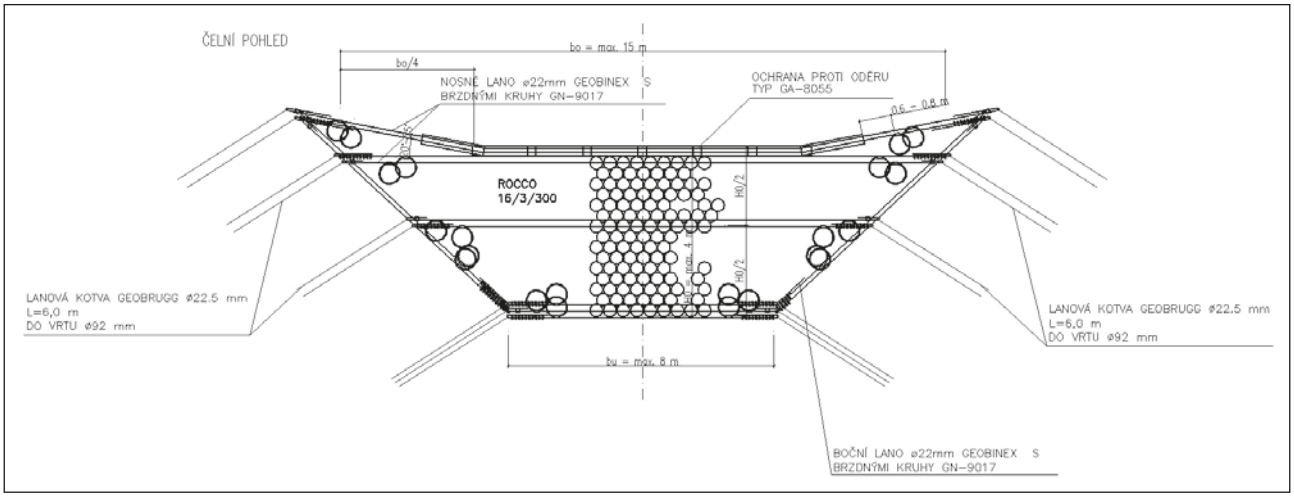
Pro stržové lokality, pro zachycení vodou unášených kamenů, pro zamezení borcení a řícení skalních masivů, případně pro zamezení pádu kamene je nožné využít dva systémy flexibilních bariér, kterou jsou v Evropě pro tyto účely do strží či na skály instalovány. Jedná se o koncepčně a funkčně podobné systémy, které využívají dynamiku konstrukčních prvků kruhových ocelových sítí:

- ochranné bariéry proti skalnímu řícení (MACCAFERRI MAC.RO.SYSTEM, „italský systém“),
- ochranný systém pro strže a stržové splazy (GEOBRUGG DEBRIS FLOW – flexibilní bariéry UX/VX, „švýcarský systém“).

Ochranné flexibilní bariéry jsou speciální systémy složené z ochranných sítí, ocelových lan, opěrných a kotevních prvků a z pohlcovačů energie. Při nárazu padajícího kamene nebo části skály do bariéry dochází k její deformaci a k pohlcení pohybové energie kamene. Bariéry proti padání skal se navrhují vzhledem k určitému množství pohybové energie padajícího kamene nebo skalního bloku, který je potřeba bezpečně zachytit. Bariéry se budují v patě svahu a tvoří tak překážku mezi skalním svahem a územím pod ním, které je ohroženo skalním řícením. Pro využití systému MACCAFERII při hrazení bystřin a strží je limitující sestava bariéry, která podle doporučení a pro možnost využití garance fungování musí být sestavena minimálně ze tří polí o délce pole 10 m (celkově tedy 30 m), pokud možno umístěných do roviny základové patky konstrukce (možná odchylka nivelety paty flexibilní patky pro osazení sloupku je 0,5 m).



Obrázek 4-65: *Flexibilní bariéra proti řícení skal – minimální garantovaná skladba polí. Autor: STRIX Chomutov, a. s.*



Obrázek 4-66: *Ukázka VX bariéry, kterou je možno díky konstrukci a fixaci pomocí lanových kotev umístit přímo do koryta vodního toku nebo do strže (systém je možné použít i pro zachycení spláví).*

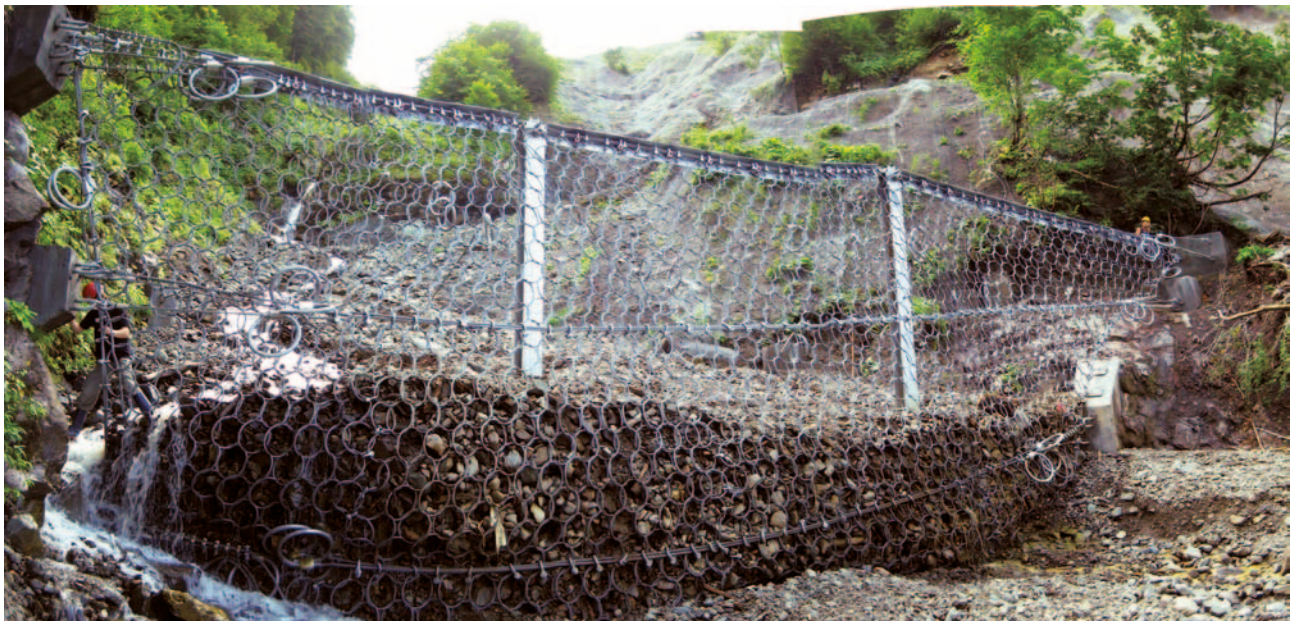
Obrázek 4-67: *GEOBRUGG systém použitý pro hrazení strže na Smědavské hoře. Systém je tvořen soustavou dvou flexibilních dynamických bariér umístěných ve svahu kamenné strže. Patrná je kruhová síť uchycená na nosná lana, v přední horní části bariéry jsou patrné brzdné kruhy. Dynamická bariéra se používá hlavně z důvodu zastavení chodu velkých splavenin, padání uvolněných kamenů, popř. se dá použít na zachytávání splaví.*

GEOBRUGG DEBRIS FLOW je systém flexibilních bariér VX/UX umožňující přímou instalaci bariéry do strže (není tedy nutné vytvářet sestavy o několik polích, aby byla bariera účinná).

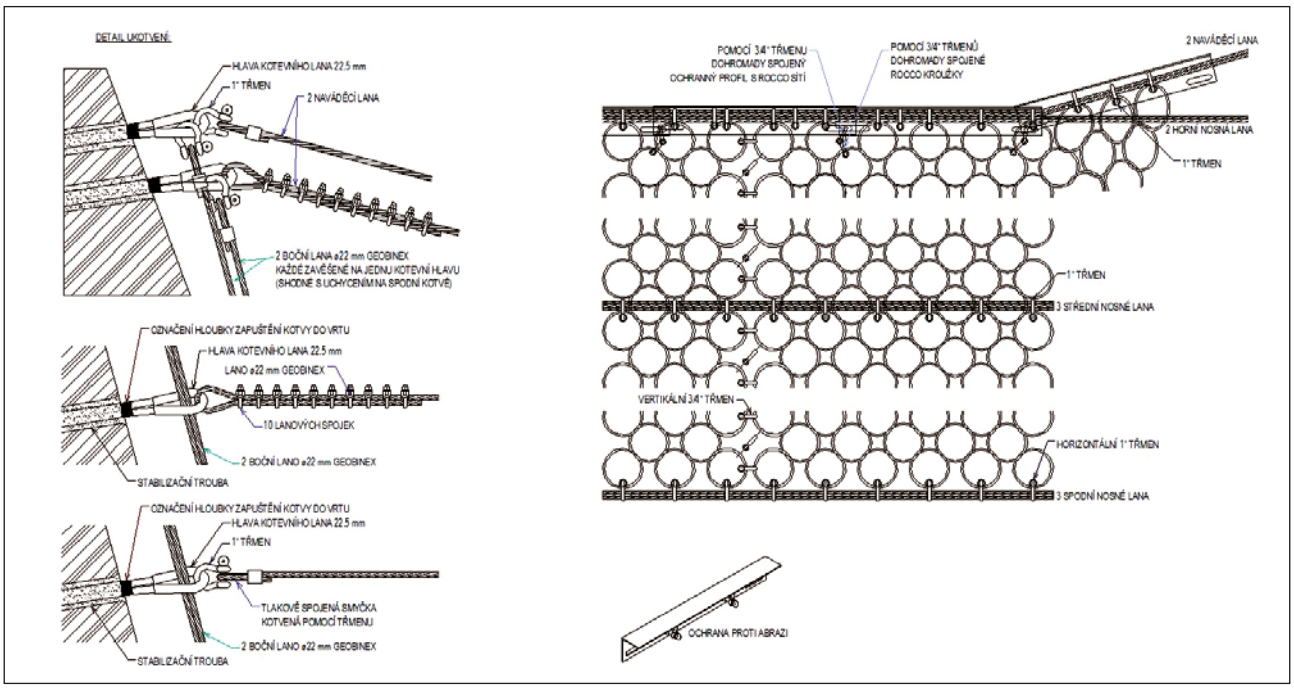
Flexibilní bariéry jsou tvořeny sítí s kulatými oky, které díky konstrukci odolávají velkému statickému i dynamickému zatížení. Nosný systém bariéry tvoří podpůrná a okrajová lana stabilizovaná v profilu pomocí speciálních kotev s flexibilní hlavou. Na nosná lana se zavěšuje samotná záchytná flexibilní síť z ROCCO kroužků (ty jsou splétané z jednotlivých ocelových drátů).

Komponenty systému GEOBRUGG:

- síť z ROCCO kroužků (základní konstrukční prvek sítě), které díky elastoplastickému chování absorbují část energie (snižuje se tak zátěž na kotvy, které stabilizují síť v profilu).
- lanová kotva do vrtu,
- podpůrná a okrajová lana doplněná o brzdové kroužky, které tlumí velké nárazy a zabraňují poškození lan,
- nosné lano GEOBINEX s brzdnými kruhy,
- boční lano GEOBINEX s brzdnými kruhy,
- ochrana vrchních lan proti abrazivním účinkům suti.



Obrázek 4-68: *Ukázka zachycení splavenin pomocí dynamické bariéry UF 180 H6.*



Obrázek 4-69: *Detail uchycení bariéry do lanových kotev.*

V závislosti na tvaru suťového splazu se aplikují dva typy systému – VX bariéry nebo UX bariéry. Oba umožňují v nenaplněném stavu normální odtok vody. Pokud jsou vlivem sesuvu bariéry naplněny, křídlovitý tvar horních podpůrných lan zajistí jasně definované místo pro odtok.

V závislosti na tvaru suťového splazu se aplikují dva typy systému – VX bariéry nebo UX bariéry. Oba umožňují v nenaplněném stavu normální odtok vody. Pokud jsou vlivem sesuvu bariéry naplněny, křídlovitý tvar horních podpůrných lan zajistí jasně definované místo pro odtok.

4.5.2 Patky

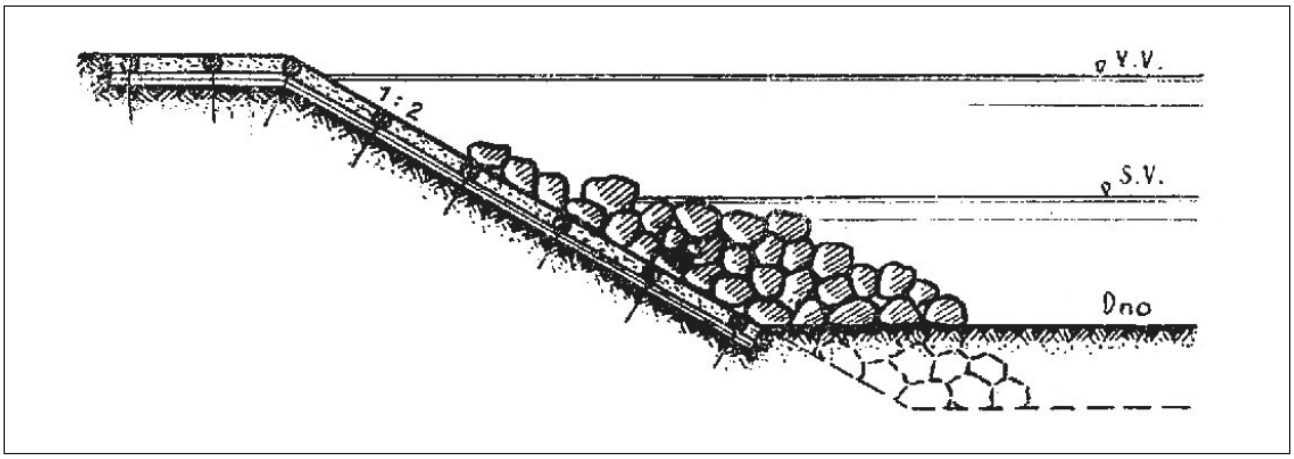
Opevnění svahů je nutné v příčném řezu zajistit tak, aby nedošlo k porušení paty opevnění. Zajištění se provádí zpravidla patkou. Ta zajišťuje opevnění svahu proti sesutí a proti podemletí. Patka je potřebná zejm. v těch případech, kde je navrženo břehové opevnění pro větší návrhový průtok než opevnění dna, tj. v případě, kdy odolnost dna je nižší než odolnost svahů.

Patky se provádějí ze záhozu, rovnaniny, betonu, drátokamene apod. Patka ze záhozu (kámen, betonové prvky, speciální tvárnice) je poddajná, a i v případě částečného porušení vlivem podemletí může plnit svou funkci. Zapuštění poddajné patky do dna nemusí být provedeno v případě, kdy je prokázána její stabilita a není tudíž ohrožena její funkce.

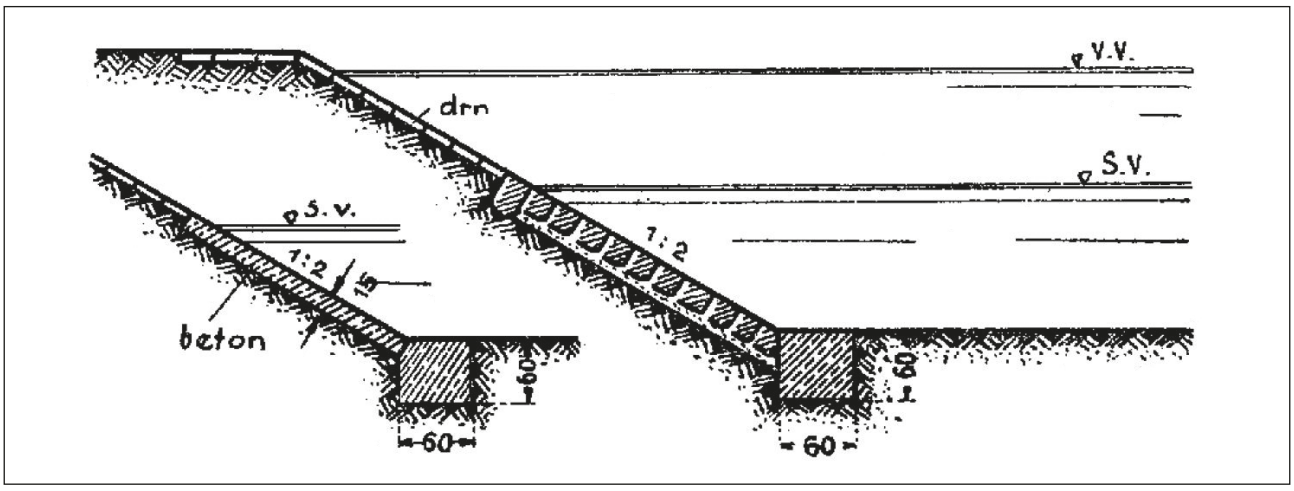
Hloubka založení patky se navrhuje tak, aby byla patka stabilní oporou svahů a zároveň nebyla porušena její funkce případným prohloubením dna. Nejmenší rozměr kamenných patek závisí na velikosti použitého kamene.

U některých druhů opevnění (pohozy, sítě, rohože apod.) lze patku nahradit prodloužením opevnění svahů do dna, neboť v těchto případech odpadá zpravidla funkce patky jako opory a ochranu svahů před podemletím zajistí prodloužené opevnění. Nutná délka prodloužení opevnění do dna se stanoví individuálně.

V případě navržení stejně odolného opevnění svahů i dna může být patka vypuštěna, zajistí-li oporu svahů opevnění dna.



Obrázek 4-70: *Zpevnění břehu vrbovou krytinou a paty svahu kamenným záhozem. Zdroj: Hlavinka, Vincenc: Nauka o melioracích, úpravách toků a hrazení bystřin – II. díl: Úprava toků a hrazení bystřin (1927).*



Obrázek 4-71: *Zpevnění břehu kamennou nebo betonovou dlažbou opřenou o betonovou patku, nad stabilními průtoky provedeno (na svou dobu běžným) drnováním. Zdroj: Hlavinka, Vincenc: Nauka o melioracích, úpravách toků a hrazení bystřin – II. díl: Úprava toků a hrazení bystřin (1927).*

4.5.3 Průsakové hráze

Funkci retenčních přehrážek plní na bystřinách a ve stržích rovněž průsakové hráze, které se pro jejich stavební jednoduchost používají především při hrazení strží.

Zřizují se z volně loženého kamene (záhozu) o velikosti kamene 0,3–0,5 m se sklonem návodní strany 1 : 1, sklonem vzdušné strany 1 : 2 až 1 : 4 a s výškou hráze maximálně 4 m. Otvory mezi kameny voda procezuje, dokud nedojde k zanesení retenčního prostoru splaveninami i k utěsnění mezer mezi kameny hráze. Následně dojde k přelévání koruny hráze vodou, proto je nutné vzdušný povrch hráze dlažbovitě urovnat. Pata hráze se opevňuje kamennou dlažbou nebo rovnaninou, aby nedošlo k vytvoření výmolu a k narušení stability hráze. U vyšších průsakových hrází (od spádové výšky 2 m) se v koruně navrhuje přeliv a v patě hráze se provádí skluz či spadiště.

Obrázek 4-72: *Průsaková hráz na vodním toku Jeřice v Jizerských horách, pohled na povodní stranu (vzdušní líc), patrná je kamenná dlažba líce.*

5 HYDROTECHNICKÉ ŘEŠENÍ A POSOUZENÍ NÁVRHU

Kapitolu z publikace Stavby pro plnění funkcí lesa se souhlasem jejího autora (doc. Ing. Jaroslav Zuna, CSc.) převzal a redakčně upravil Ing. Adam Vokurka, Ph.D.

5.1 Návrh koryta

K dimenzování koryta a k výpočtům objektů zahrazovacích úprav se používá všeobecně známých hydrotechnických postupů. Vzhledem ke specifickým podmínkám bystřinných koryt (především pro jejich hydraulické vlastnosti, charakter jejich dna a intenzivní chod splavenin) je vhodné používat postupy a vztahy uvedené v dalším textu.

5.1.1 Proudění vody v otevřeném korytě

Při výpočtu průtočné kapacity koryta se vychází ze zákonitostí turbulentního ustáleného rovnoměrného proudění vody, které je charakterizováno rovnicí kontinuity (5.01) a Chézyho rychlostní rovnicí (5.02). Pro výpočet rychlostního součinitele *C* v Chézyho rovnici lze použít řady vztahů, podle ověřovacích měření rychlosti proudění vody v korytě malých rozměrů je vhodné použití rychlostního součinitele podle Manninga, takže rychlostní rovnice bude mít tvar podle (5.03). Pro výpočet koryta se štěrkovým dnem se používá Stricklerův vzorec se zavedením konstanty *c* podle Nováka (5.04), který lze využít i k výpočtu rychlosti vodního proudu v korytech opevněných kamenivem.

$$Q = S \times v \tag{5.01}$$

$$v = C \times \sqrt{R \times i} \tag{5.02}$$

$$v = \frac{R^{0,667} \times \sqrt{i}}{n} \tag{5.03}$$

$$v = \frac{c \times R^{0,667} \times \sqrt{i}}{{d_m}^{0,167}} \tag{5.04}$$

V rovnicích je:

- Q průtok vody (m^3s^{-1}),
- S plocha průtočného profilu (m^2),
- v střední profilová rychlost vody ($m.s^{-1}$),
- C rychlostní součinitel,
- R hydraulický poloměr (m),
- i sklon hladiny vody (nivelety dna),
- n stupeň drsnosti,
- c konstanta (tabulka 5.1),
- d_m směrodatné zrno splaveninové směsi dna (m).

Tabulka 5-1: Konstanta c

d_m	c	d_m	c	d_m	c
0,01	20,49	0,11	16,46	0,16	15,31
0,03	19,58	0,12	16,16	0,17	15,20
0,05	18,71	0,13	15,90	0,18	15,12
0,07	17,88	0,14	15,67	0,19	15,10
0,09	17,49	0,15	15,47	0,20	15,10

Hodnoty stupně drsnosti *n*, které značně ovlivňují výsledek výpočtu, jsou uvedeny v normách a v odborné literatuře a jejich volba (výběr z tabulek) vyžaduje dostatečnou praktickou zkušenost. V tabulce 5-2 jsou uvedeny některé hodnoty stupně drsnosti vhodné pro použití při zahrazovacích úpravách.

Hydrotechnické posouzení navrženého bystřinného koryta se provádí výpočtem ustáleného nerovnoměrného proudění s použitím vhodného výpočetního programu se započtením vlivu změn podélného sklonu, tvaru a drsnosti koryta a objektů v korytě vodního toku. Při tom se zjišťuje, zda průběh hladiny vody odpovídá dimenzím koryta a zda nedochází ke změnám režimu proudění, které by mohly ohrozit stabilitu koryta.

Tabulka 5-2: Stupně drsnosti *n* pro Manningovu rovnici

Charakter koryta	*n*
Štěrkové dno – efektivní zrno krycí vrstvy d_m = 20 mm	0,025
Štěrkové dno – efektivní zrno krycí vrstvy d_m = 40 mm	0,031
Štěrkové dno – efektivní zrno krycí vrstvy d_m = 100 mm	0,039
Štěrkové dno – efektivní zrno krycí vrstvy d_m = 120 mm	0,043
Štěrkové dno – efektivní zrno krycí vrstvy d_m = 150 mm	0,047
Štěrkové dno – efektivní zrno krycí vrstvy d_m = 200 mm	0,050
Štěrkové dno – efektivní zrno krycí vrstvy d_m = 300 mm	0,055
Bystřiny se štěrkovým dnem, nepravidelné břehy s vegetací	0,045–0,055
Bystřiny s oblázky a valouny, peřejnatý průtok	0,055–0,067
Bystřiny s valouny a prudkým pěnícím proudem	0,080
Bystřiny s vodopády, koryto s velkými valouny a balvany, voda zpěněná	0,100
Zemní koryto pravidelné, udržovaný travní porost	0,035
Pravidelné koryto, štěrkový pohoz, plůtky z tyčoviny, udržovaný travní porost	0,035
Plůtek z tyčoviny, štěrkový pohoz dna d_m < 100 mm	0,030

Charakter koryta	*n*
Plůtek z tyčoviny, štěrkový pohoz dna d_m = 100–150 mm	0,033
Plůtek z tyčoviny, štěrkový pohoz dna d_m = 150–250 mm	0,040
Pohoz dna z kameniva d_m < 100 mm	0,025
Pohoz dna z kameniva d_m = 100–150 mm	0,030
Oživený srub z kulatiny	0,045–0,055
Oživená kamenná rovnanina	0,050–0,060
Polovegetační tvárnice bez porostu, výplň otvorů štěrkem d_m < 50 mm	0,015
Polovegetační tvárnice, výplň otvorů štěrkem d_m < 50 mm, travní porost	0,025
Dlažba z lomového kamene spárovaná cementovou maltou	0,018–0,030
Dlažba z velkých kopáků	0,020–0,026
Dlažba z lomového kamene na sucho	0,025–0,035
Betonové koryto – hladké	0,012–0,014
Betonové koryto – drsné	0,016–0,023
Zdivo z opracovaného kamene spárované cementovou maltou	0,013–0,017
Zdivo z lomového kamene spárované cementovou maltou	0,017–0,030
Zdivo z lomového kamene na sucho	0,020–0,032
Rovnanina z kamene	0,023–0,035

5.1.2 Energie vodního proudu

Charakter a účinky proudění vody závisí na úrovni energie vodního proudu. Potenciální energie je dána výškou nad srovnávací základnou, kinetická energie odpovídá čtverci rychlosti proudící vody a vyjadřuje se tzv. rychlostní výškou. Nerovnoměrnost bodových rychlostí vody v průtočném profilu vyjadřuje Coriolisovo číslo α. Hodnota tohoto čísla závisí na úrovni turbulence vodního proudu, pro běžná koryta vodních toků má hodnotu α = 1,05–1,12, u velmi drsných koryt horských potoků a bystřin s velkou rychlostí proudění vody dosahuje vyšších hodnot, při praktických výpočtech asi do hodnoty α = 1,20. Pro měrnou energii průtočného profilu koryta platí rovnice 5.05, pro výšku energetického horizontu nad srovnávací základnou (k určitému profilu koryta) rovnice 5.06.

$$E_0 = y + \frac{\alpha \times v^2}{2g} \tag{5.05}$$

$$E = H + E_0 \tag{5.06}$$

V rovnicích je:

- α Coriolisovo číslo,
- E výška energetického horizontu (m),
- E_0 měrná energie průtočného profilu (m),
- H výška dna profilu nad základnou výpočtu (m),
- g gravitační konstanta (m.s^{-2}),
- y hloubka vody (m),
- v střední profilová rychlost vody (m.s^{-1}).

5.1.3 Režim proudění vody

Při výpočtu zahrazovacích úprav je třeba znát režim, ve kterém probíhá proudění vody. Ten může být podkritický (říční), nadkritický (bystřinný) nebo superkritický. Zatímco proudění říční přechází do proudění bystřinného plynule, při přechodu proudění bystřinného do proudění říčního (např. při zmenšení sklonu dna) vzniká vodní skok s vysokou turbulencí, který ohrožuje stabilitu koryta. Na režimu proudění také závisí způsob tlumení energie v podjezí spádových objektů.

Při kritickém režimu proudění, který odpovídá kritickému sklonu, kritické hloubce a kritické rychlosti vodního proudu, je měrná energie průřezu pro daný průtok minimální. Kritický režim proudění je mezí dělící proudění říční a bystřinné, a při skutečném proudění se vyskytuje jen výjimečně. Výpočet kritické hloubky obdélníkového průtočného profilu je možný podle rovnice 5.07, při výpočtu lichoběžníkového profilu lze použít rovnic 5.08 a 5.09. V návrhové praxi se ke stanovení parametrů kritického proudění využívá vhodného výpočetního programu. Jako kritéria pro rozlišení režimů proudění lze také použít Froudeho číslo (5.10). Pro proudění kritické je Fr = 1, pro proudění podkritické (říční) je Fr < 1, pro proudění nadkritické (bystřinné) Fr > 1 a pro proudění superkritické je Fr > 2.

$$y_K = \sqrt[3]{0{,}102\alpha \times q^2} \tag{5.07}$$

$$y_{KL} = y_K \times (1 - 0{,}333\sigma + 0{,}105\sigma^2) \tag{5.08}$$

$$\sigma = \frac{m \times y_K}{b} \tag{5.09}$$

$$Fr = \frac{\alpha \times v^2}{g \times y} \tag{5.10}$$

V rovnicích je:

- α Coriolisovo číslo,
- b šířka dna profilu (m),
- Fr Froudeho číslo,
- g gravitační konstanta (m.s^{-2}),
- m pořadnice sklonu svahu,
- q měrný průtok (m^{2}s^{-1}),
- σ součinitel,
- y hloubka vody (m),
- y_K kritická hloubka obdélníkového profilu (m),
- y_{KL} kritická hloubka lichoběžníkového profilu (m),
- v střední profilová rychlost (m.s^{-1}).

Při úpravách potočních a bystřinných koryt se běžně vyskytuje jak proudění říční, tak proudění bystřinné, protože sklon nivelety dna je velmi proměnlivý a dosahuje často značných hodnot. Při praktických výpočtech se určí režim proudění tak, že se porovná v dané trati vypočtená hloubka vody s kritickou hloubkou, zjištěnou pro daný průtok a průtočný profil. Pak platí:

- proudění bystřinné $y < y_{K,}$
- proudění říční $y > y_{K.}$

Při velmi vysokých sklonech nivelety dna může dojit ke vzniku tzv. superkritického proudění, které se liší od proudění popsaného Chézyho rovnicí. Vlivem vysoké rychlosti a turbulence proudění dochází k provzdušení vody, což má za následek zmenšení měrné tíhy proudící vody, snížení vnitřního tření i tření o stěny koryta a zvětšení objemu proudící vody. Rychlost proudění provzdušené vody je pak větší než rychlost proudění stejného množství neprovzdušené vody, vlivem zvětšení objemu se však zvětší hloubka vody. Způsob výpočtu superkritického proudění vody je uveden v odborné literatuře.

5.2 Návrhový průtok

Při projektování zahrazovacích úprav je třeba provést řadu výpočtů na základě návrhového průtoku. Tím se rozumí kulminační odtok vody z povodí za povodně, jejíž statistická četnost výskytu odpovídá zvolenému stupni ochrany. Při dimenzování na *N*-letou velkou vodu se předpokládá, že území, popř. koryto nebo objekt, budou ochráněny v časovém úseku *N* let.

Pro zabezpečení stability koryta je třeba, aby návrhový průtok pro výpočet opevnění byl totožný s návrhovým průtokem pro výpočet kapacity koryta. Při úpravách bystřin s menším povodím a s velkým sklonem nivelety může být skutečná kapacita koryta vzhledem k jeho rozměrům větší než návrhový průtok stanovený s ohledem na požadovaný stupeň ochrany pobřežních pozemků, kterému odpovídá navržená kapacita koryta. Proto je třeba posoudit, zda skutečná průtočnost koryta není větší než návrhový průtok a zda tak nevzniká nebezpečí poškození opevnění koryta.

Při zpracování projektů zahrazovacích úprav a studií odtokových poměrů bystřinných povodí je třeba znát odtoky z řady dílčích povodí. V takovém případě lze využít odtokové rovnice 5.15. Parametry *B* a *n* v rovnici 5.15 lze určit z tabulky 5-3. Parametry rovnice lze také získat s využitím údajů Českého hydrometeorologického ústavu pro dané povodí. Po logaritmické transformaci rovnice 5.15 se zavedením parametru *B* z tabulky 5-3 se určí hodnota parametru a, poté se vypočte hodnota průtoku Q_{100} pro danou plochu dílčího povodí. Pro výpočet hodnot N-letých odtoků se použijí distribuční koeficienty kvantil α podle rovnice 5.16. Pokud jsou pro výpočet k dispozici údaje pro dvě plochy modelového povodí, lze obdobně vypočítat oba parametry rovnice 5.15.

$$Q_{100} = B \times F^{a} \tag{5.15}$$

$$\alpha = \frac{Q_N}{Q_{100}} \tag{5.16}$$

V rovnicích je:

Q_{100} průtok velké stoleté vody (m^3s^{-1}),
Q_N průtok N-leté vody (m^3s^{-1}),
F plocha povodí (km^2),
B parametr povodí,
n parametr povodí (tabulka 5-3),
a exponent (a = 1–n),
α koeficient kvantil odtoku.

Tabulka 5-3: Parametry *B* a n

Charakter povodí	*B*	n
Potoky horní Jizery, horního Labe, Krkonoš (nezalesněná povodí)	16,3	0,393
Bělá a Divoká Orlice	4,4	0,263
Potoky v oblasti Trutnovska, Liberecka, podkrkonošské potoky	2,9	0,300
Zalesněná povodí Ploučnice, Kamenice, Chřibské Kamenice	1,5	0,275
Metuje, Orlice, Chrudimka, Doubravka	8,8–14	0,500
Horní Jizera, Kamenice	38–40	0,560
Odra nad Ostravicí	3,8	0,330
Opava	1,0	0,500
Ostravice nad Morávkou	39,0	0,500

5.3 Dimenzování průtočného profilu

5.3.1 Návrh průtočného profilu koryta

Při řešení průtočného profilu koryta se nejprve předběžně navrhne tvar, rozměry a drsnost stěn koryta na základě výpočtu ustáleného rovnoměrného proudění s využitím rovnic 5.01 až 5.04 pro návrhový průtok v jednotlivých úsecích sklonu nivelety dna. Takto navržený průtočný profil se posoudí výpočtem průběhu hladiny pro ustálené nerovnoměrné proudění v celé upravované trati. Do výpočtů je při tom třeba zahrnout snížení nebo vzdutí hladiny spádovými objekty, propustky a mosty, a to podle odpovídajícího režimu proudění (pro proudění říční či bystřinné, pro průtok profilem o volné hladině, s volným či zahlceným vtokem, nebo pro průtok tlakový). Současně je třeba zjistit režim proudění. Na základě posouzení návrhu koryta výpočtem průběhu hladiny se provedou v případě potřeby korekce původního návrhu a posouzení se opakuje.

Výsledky výpočtů průběhu hladiny vody při zvolených průtocích se zahrnutím vlivu objektů v korytě se uvádějí v tabulkových přehledech, hladiny vody se zakreslí v podélném profilu koryta a v příčných profilech nivy, popř. v situacích zátopového území. Zároveň je třeba posoudit, zda v případě rozlivu vody dojde k inundaci pasivní či aktivní při bystřinném režimu proudění, protože tato okolnost výrazně ovlivňuje rozsah povodňových škod.

5.3.2 Převýšení hladiny v oblouku

V obloucích trasy je porušena symetrie proudění vody a dochází ke změnám v příčném proudění vody a v poloze hladiny. Při úpravách ve sklonitých tratích bystřin s velkou křivostí oblouků se může projevit převýšení hladiny vody v konkávním břehu natolik, že hloubka koryta nebo jeho opevnění vypočtené pro přímou trať by nebyly dostatečné. Převýšení hladiny v konkávním břehu oproti ose koryta (převýšení nad normální hloubku) se vypočte s použitím vzorce 5.17.

$$\mathrm{d}y = \frac{0{,}076 \times B \times v^2}{r} \qquad (5.17)$$

V rovnici je:
dy převýšení hladiny nad normální hloubku vody (m),
B šířka koryta v hladině (m),
r poloměr oblouku (m),
v střední průřezová rychlost vody ($m.s^{-1}$).

5.3.3 Umělá drsnost koryta

Ve velkých sklonech nivelety dna koryta, které jsou při zahrazovacích úpravách horských potoků a bystřin běžné, může energie vodního proudu dosáhnout extrémních hodnot. Ke snížení úrovně energie je výhodné využít účinků vysoké drsnosti stěn koryta. Toho lze docílit např. nepravidelným rozmístěním výstupků (velkých kamenů) v kamenné nebo betonové dlažbě. Lze také použít pravidelné šachovnicové rozmístění drsnostních prvků, které převyšují líc stěn koryta o hodnotu *k* = 0,1–0,3 m ve vzájemné vzdálenosti *a* = 4*k*.

Pro výpočet rychlostního součinitele *C* v rovnici 5.02 při nepravidelném rozmístění prvků drsnosti lze použít vzorec Mostkovovův (5.18). Pro výpočet rychlostního součinitele při pravidelném rozmístění drsnostních prvků se doporučuje vzorec Pikalova (5.19), který má rozsah platnosti $2 \leq \frac{y-k}{k} \leq 5$.

$$C = 22 \times log\frac{R}{z} + 9{,}5 \times \frac{z}{R} + 1{,}5 \qquad (5.18)$$

$$C = \frac{1}{0{,}052 - 0{,}0051 \times a - 0{,}0008 \times b} \qquad (5.19)$$

$$a = \frac{y-k}{k}$$

$$b = \frac{B - n \times k}{y}$$

V rovnicích je:
B střední šířka koryta (m),
k výška výstupků zdrsnění (m),
n počet výstupků (ks),
R hydraulický poloměr (m),
y hloubka vody nade dnem (m),
z hydraulický účinek výstupku drsnosti (1,3 × *k*)

5.4 Posouzení stability koryta

Základní metodou pro dosažení stability dna koryta horských potoků a bystřin je výpočet stabilního sklonu. Jeho hodnota závisí na vlastnostech splavenin, na tvaru průtočného profilu, na průběhu tečného napětí po obvodu průtočného profilu a na stupni nasycenosti proudící vody splaveninami. Vzhledem ke složitosti vzájemných vztahů těchto hlavních faktorů pohybu splavenin a k jedinečnosti každého úseku koryta je možné jen přibližné stanovení stabilního sklonu, nicméně tato metoda se v hrazenářské praxi osvědčila.

$$i_S = \frac{0{,}0035 \times c^2 \times d_m}{R} \qquad (5.20)$$

V rovnici je:
i_S stabilní sklon dna,
R hydraulický poloměr pro Q_N (m),
d_m efektivní zrno splaveninové směsi (m),
c regionální konstanta (tabulky 5-4 a 5-5).

Tabulka 5-4: Regionální konstanta *c* podle bystřinných oblastí (podle Nováka)

Oblast České republiky	c
KRKONOŠSKÝ A JIZERSKÝ ŽULOVÝ MASIV	
- krystalické břidlice (Labe, Červená, Mumlava)	5,58
- svory (Petrský potok, Huťský potok)	5,24
- ortoruly (Kotelský potok, Čistá)	5,26
- železnobrodské krystalinikum (Jizerka, Cedron)	5,19
STŘEDOČESKÝ A SEVEROČESKÝ KŘÍDOVÝ PÍSKOVEC	
- Ještědský potok	4,15
- podkrkonošský permokarbon	4,55
KRUŠNOHORSKÉ KRYSTALINIKUM	
- rulové krystalinikum	5,37
- migmatitové krystalinikum	5,18
- porfyrické krystalinikum	5,38
ŠUMAVSKÉ MOLDANUBIKUM	
- Šumava (Sputka, Volyňka, Blanice)	5,43
- granulitový masiv (kleťský, prachatický, křišťanovský)	4,83
STŘEDNÍ A ZÁPADNÍ ČECHY	
- jílovité břidlice (Bojovský potok, Kocába)	4,20
- droby (Městecký, Břežanský)	4,60
- křemenné pískovce (Červený potok)	5,60
- křemenné porfyry (Drahoňovský potok)	4,65
- granodiorit (Mnichovka)	5,05
ČESKÉ STŘEDOHOŘÍ	
- čedič (Dobranka)	5,63
ČESKOMORAVSKÁ VYSOČINA	
- rula (Martinický potok, Rychnovský potok)	4,61
HRUBÝ JESENÍK	
- Králický Sněžník, staroměstské krystalinikum (Krupá)	5,71
- Hrubý Jeseník (Vrbenský potok)	4,60
BESKYDY, VSETÍNSKÉ VRCHY, JAVORNÍKY	
- flyšové pískovce a jílovce (Čeladenka, Kněhyně)	4,77

Tabulka 5-5: hodnoty konstanty c podle druhu horniny (podle Nováka)

Geologický původ splavenin	c
žula	5,58
křemenný porfyr	4,98
migmatit	5,38
rula	4,91
granodiorit	5,05
granulit	4,83
čedič	5,63
břidlice	4,20
svor	5,24
fylit	5,19
pískovce permokarbon	4,96
pískovce flyš	4,77
pískovce křída	4,15
droba	4,60
slínovce	4,55

K posouzení stability koryta jak přirozeného, tak opevněného, a k návrhu jeho případného opevnění lze využít všeobecně rozšířené metody nevymílacích rychlostí a metody tečného napětí. Metoda mezního tečného napětí je bližší fyzikální podstatě jevu a umožňuje stanovit rozměry opevnění svahů koryta v závislosti na hloubce vody a sklonu nivelety úpravy.

Obě metody jsou ve své spolehlivosti závislé na věrohodnosti mezních hodnot, které udávají odolnost posuzovaného materiálu dna a břehů koryta a postihují pouze hlavní namáhání stěn koryta proudící vodou, nikoliv namáhání vedlejší (např. vliv bočního přítoku, zvýšené turbulence, vztlak podzemní vody apod.).

5.4.1 Metoda nevymílacích rychlostí

Metoda nevymílacích rychlostí je založena na porovnání střední profilové rychlosti v posuzovaném úseku, vypočtené pro návrhový průtok (např. s použitím vztahů 5.01 až 5.04), s nevymílací (mezní) rychlostí pro daný materiál stěn koryta. Nevymílací rychlosti jsou většinou empiricky zjištěné hodnoty a jsou uváděny v odborné literatuře a normách. V tabulkách 5-6 a 5-7 jsou uvedeny hodnoty využitelné při zahrazovacích úpravách horských potoků a bystřin.

Tabulka 5-6: Nevymílací rychlosti pro opevňovací konstrukce

Způsob opevnění	Tloušťka (mm)	Hloubka vody (m)		
		0,4	1,0	2,0
		Nevymílací rychlost ($m.s^{-1}$)		
Travní porost zapojený		1,00	1,50	2,00
Vrbová krytina	200–250	2,00	2,20	2,50
Hať̌ový pokryv	500	2,50	3,00	3,50
Zához z kamene – koeficient *)	1. vrstva	0,90	0,90	0,90
Zához z kamene – koeficient *)	2. vrstva	1,10	1,10	1,10
Štětování	200	2,50	3,00	3,50
Drátoštěrkové prvky 0,5 x 1,0 m	500	4,00	5,00	5,50
Dlažba z kamene na sucho	250	3,00	3,50	4,00
Dlažba z kamene na sucho	300	3,20	4,00	4,50
Dlažba z kamene na sucho	400	3,50	4,50	5,00
Dlažba z kopáků na sucho	300	4,00	5,00	5,50
Dlažba z kopáků na sucho	400	4,50	5,50	6,00
Dlažba z kamene na cem. maltu	250	4,00	5,00	5,50
Dlažba z kamene na cem. maltu	300	5,00	6,00	6,50
Dlažba z kamene na cem. maltu	400	5,50	6,50	7,50
Polovegetační tvárnice	150–200	2,50	3,00	3,50
Kamenná rovnanina		4,50	5,50	6,00
Zdivo z vápence		3,00	3,50	4,00
Zdivo z pevných hornin		6,50	8,00	10,00

Vysvětlivka: *) koeficientem se násobí hodnoty v tabulce 5-7.

Tabulka 5-7: Nevymílací rychlosti pro přirozená koryta

Splaveninový materiál dna koryta	d_m (mm)	Hloubka vody (m)		
		0,4	1,0	2,0
		Nevymílací rychlost ($m.s^{-1}$)		
Střední až hrubý písek	1	0,50	0,60	0,70
Střední písek až drobný štěrk	2,5	0,65	0,75	0,80
Drobný štěrk	2,5–5,0	0,80	0,85	1,00
Drobný štěrk	5–10	0,90	1,05	1,15
Střední štěrk	10–15	1,10	1,20	1,35
Střední štěrk	15–25	1,25	1,45	1,65
Střední štěrk	25–40	1,50	1,85	2,10
Hrubý štěrk	40–75	2,00	2,40	2,75
Hrubý štěrk	75–100	2,45	2,80	3,20
Hrubý štěrk	100–150	3,00	3,55	3,75

Splaveninový materiál dna koryta	d_m (mm)	Hloubka vody (m)		
		0,4	1,0	2,0
		Nevymílací rychlost ($m.s^{-1}$)		
Štěrk s valouny	150–200	3,50	3,80	4,30
Valouny	200–300	3,85	4,35	4,70
Velké valouny	300–400		4,75	4,95
Balvany	400–500		5,50	

5.4.2 Metoda tečného napětí

K posouzení stability otevřeného koryta a jeho opevnění lze použít rovnice odvozené za předpokladu parabolického rozdělení průběhu tečného napětí po obvodu koryta (Zuna, 1983), které umožňují posoudit namáhání koryta vodním proudem podle průběhu tečného napětí podél stěn koryta.

Vztah 5.21 udává průměrnou hodnotu tečného napětí a nepostihuje to, že se toto napětí po omočeném obvodu koryta plynule mění, a to od nejvyšší hodnoty v ose koryta k nule v průsečíku hladiny s břehy. K poškození koryta dochází většinou nejdříve v místě největšího tečného napětí, jehož hodnotu však nelze rovnicí 5.21 určit.

Pro určení tečného napětí v lichoběžníkovém průtočném profilu v patě svahu, v ose koryta a v bodě na svahu břehu ve zvolené vzdálenosti od paty svahu lze použít rovnice 5.21 až 5.24. Hodnoty mezního tečného napětí odvozené retrospektivním vyhodnocením povodňových průtoků a doplněné o literární údaje, jsou uvedeny v tabulce 5-8.

$$T_S = 9806 \times R \times i \tag{5.21}$$

$$T_Z = T_S \times \frac{b+2t}{1{,}13b+1{,}33t} \tag{5.22}$$

$$T_X = T_Z \times \sqrt{\frac{t-x}{t}} \tag{5.23}$$

$$T_{max} = 1{,}2 \times T_Z \tag{5.24}$$

V rovnicích je:
T_S střední tečné napětí v korytě (Pa),
T_Z tečné napětí v patě svahu (Pa),
T_X tečné napětí v bodě x ve svahu (Pa),
T_{max} tečné napětí v ose dna (Pa),
i podélný sklon dna,
R hydraulický poloměr (m),
b šířka dna koryta (m),
t délka omočeného svahu (m),
x vzdálenost bodu x od paty svahu (m).

Tabulka 5-8: Mezní hodnoty tečného napětí

Materiál stěn koryta	τ_m (Pa)
Kosený travní porost	80–90
Zruderalizovaný travní porost	60–70
Hrubý písek	10–15
Štěrk d_m = 0,05 m	40–50
Štěrk d_m = 0,10 m	90–100
Štěrk d_m = 0,13 m	100–120
Štěrk d_m = 0,15 m	100–130
Štěrk d_m = 0,18 m	110–150
Plůtek z tyčoviny	100–150
Oživený kamenný zához	100–140
Dlažba z lomového kamene nasucho tl. 250 mm	120–140
Dlažba z lomového kamene nasucho tl. 350 mm	140–160
Dlažba z lomového kamene na cementovou maltu tl. 250 mm	170–200
Dlažba z lomového kamene na cementovou maltu tl. 350 mm	180–220
Polovegetační tvárnice 0,6 x 0,8 x 0,2 m	160–180

5.4.3 Režim proudění vody a stabilita úpravy

Při posuzování stability koryta a objektů je třeba zvážit také změny podmínek proudění vody při změně sklonu nivelety, které mohou vlivem změny režimu proudění způsobit mimořádné namáhání koryta. Režim proudění je kromě parametrů koryta závislý i na průtočném množství, je proto vhodné vyšetřit hydraulické poměry proudění pro různé průtoky. Při praktickém řešení úpravy se přizpůsobí návrh tak, aby případné přechody režimů proudění vodním skokem byly zabezpečeny objekty nebo opevněním koryta v potřebném rozsahu.

Posoudit režim proudění je důležité i při hydraulickém řešení objektů a při posuzování stability koryta v jejich blízkosti. Např. při použití propustků zužujících průtočný průřez v trati s bystřinným prouděním vznikne vodní skok v profilu přechodu volné tratě do úseku vzdutí hladiny.

V případě, že při realizaci stavby není dodržen projektovaný podélný sklon, může dojít ke kritické změně podélného sklonu v úsecích s běžným typem a rozsahem opevnění. To může způsobit místní poškození koryta, které se obvykle rychle rozšíří a způsobí rozsáhlou devastaci úpravy. Proto je třeba zajistit důsledné vedení stavby a odpovědné přebírání realizovaných objektů na základě výkresů podle zaměřeného stavu skutečného provedení díla.

5.5 Výmoly ve dně koryta

Podélný a příčný průběh povrchu dna se utváří působením proudící vody, především poruchami plynulosti proudění. Charakteristickým prvkem podélného profilu potočních a bystřinných koryt jsou výmoly a tůně ve dně koryta, které vznikají v tratích s vymývatelným dnem. Ke vzniku tůní dochází především v meandrujících potočních tratích s velkým zakřivením trasy. Pro vznik výmolů je nutný přepad vody, ke kterému v přirozeném korytě dochází vlivem štěrkových lavic a akumulací valounů a též nahodilých překážek proudění. Pokud výmoly výrazně neohrozí stabilitu břehů koryta, jsou

kromě příznivých ekologických účinků i prvkem, který účinně tlumí energii vodního proudu.

Po vzniku výmolu se po přechodu velké vody jeho hloubka ustálí vlivem vytřídění splaveninového materiálu tak, že ve dně výmolu zůstanou kameny větší velikosti a vytvoří tzv. přírodní dlažbu z kamenů o velikosti zrna větší než d_{90} celkové směsi splavenin v korytě pod stupněm. Pod výmolem se ve dně vytvoří akumulace drobnějšího materiálu. Dno tůně se pak za nízkých průtoků překryje jemnozrnnými splaveninami. Tento jev se periodicky opakuje při každé povodni.

K posouzení velikosti výmolu ve dně způsobeného přepadající vodou lze využít empirických vzorců, odvozených v minulosti při úpravách menších řek a bystřin. Schoklitsch udává pro hloubku výmolu v případě dokonalého přepadu empirický vztah 5.25, Franke uvádí pro konečnou hloubku výmolu rovnici 5.26. Pro konečnou délku výmolu pak platí vztahy 5.27 až 5.29.

$$T = 4{,}75 \times \frac{{d_\mathrm{H}}^{0,2} \times q^{0,57}}{{d_{90}}^{0,32}} \tag{5.25}$$

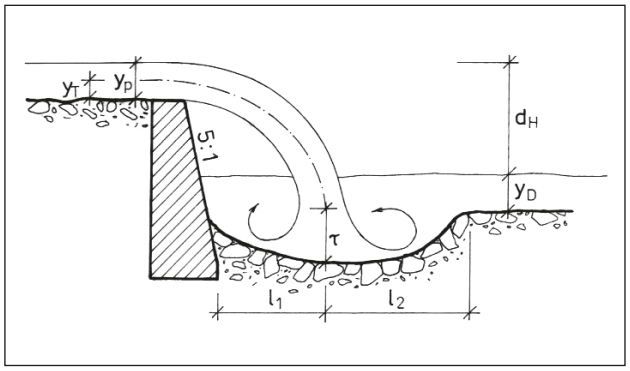
$$T = 22{,}88 \times \frac{{d_\mathrm{H}}^{0,5} \times q^{0,6}}{{d_{90}}^{0,4}} - y_\mathrm{d} \tag{5.26}$$

$$L_1 = 0{,}5 \times (T + y_\mathrm{d}) \tag{5.27}$$

$$L_2 = 1{,}8 \times (T + y_\mathrm{d}) \tag{5.28}$$

$$e = 30° \pm 2° \tag{5.29}$$

V rovnicích je:
T největší hloubka výmolu (m),
d_H rozdíl horní a dolní hladiny (m),
q měrný průtok ($m^3.s^{-1}.m^{-1}$),
d_{90} 90% zrno splavenin dna (mm),
y_d hloubka dolní vody (m),
L_1 vzdálenost největší hloubky od profilu přepadu (m),
L_2 vzdálenost konce výmolu od profilu přepadu (m),
e úhel sklonu dna výmolu v jeho konci k rovině dna.



Obrázek 5-1: *Schéma výmolu dna.*

5.6 Přepad vody

Při zahrazovacích úpravách jsou běžné příčné spádové, retenční a konsolidační objekty. Jejich bezchybná funkce závisí na správném návrhu těchto konstrukcí, zejména na zajištění jejich potřebné hydraulické účinnosti. Zjišťuje se při tom průběh hladiny za návrhového průtoku a posuzuje se stabilita koryta nad objektem i pod ním a určuje se typ, tvar a rozměry podjezí. Je známa řada výpočetních postupů, opírajících se o teoretické i experimentální řešení. Pro potřeby návrhu zahrazovacích úprav jsou dále uvedeny výpočetní vztahy ve zjednodušení, které umožní racionální provádění výpočtů při dostačující spolehlivosti výsledků.

5.6.1 Průtočná kapacita přelivu

Přeliv je část konstrukce příčného objektu, přes který přepadá voda do podjezí. S ohledem na stavební uspořádání příčných objektů se v praktických případech zahrazovacích úprav jedná o přepad přes jezová tělesa, jejichž průřez je obdélníkový. Tvar profilu přelivu je nejčastěji lichoběžníkový, obdélníkový profil je vhodný v případě, že je třeba přepadající vodní paprsek co nejvíce zúžit.

K výpočtu průtočné kapacity obdélníkového profilu přelivu bez bočního zúžení lze použít vztah 5.30. V případě bočního zúžení, což je časté u přehrážek, je třeba počítat se zúžením přelivného paprsku, kdy se účinná délka přelivné hrany vypočte z rovnice 5.31. Průtočná kapacita přelivu se pak vypočte z rovnice 5.32. Průtočnost přelivu je ovlivňována poměrem tloušťky přelivného paprsku y_P a tloušťky konstrukce v přelivné hraně t, tento vliv vyjadřuje součinitel přepadu μ. Ten je zahrnut v souborném výpočtovém součiniteli přepadu $M = 2{,}9524 \times \mu$ (v tabulce 5-9 jsou uvedeny hodnoty součinitele přepadu odpovídající podmínkám zahrazovacích úprav). Energetický horizont k přelivné hraně E, resp. E_0 se vypočte podle rovnice 5.05, do které se dosadí tloušťka přepadového paprsku y_P a přítoková rychlost nad přelivem. Pokud je poměr $\frac{t}{y_\mathrm{P}}$ větší než 3, jedná se o proudění přes širokou korunu.

$$Q = M \times b \times {E_\mathrm{P}}^{1,5} \tag{5.30}$$

$$b_0 = b - 0{,}2 \times y_\mathrm{P} \tag{5.31}$$

$$Q = M \times (b_0 + 0{,}8 \times m \times E_\mathrm{P}) \times {E_\mathrm{P}}^{1,5} \tag{5.32}$$

V rovnicích je:
b délka přelivné hrany (m),
b_0 účinná délka přelivné hrany (m),
M součinitel přepadu (tabulka 5-9),
Q průtok vody ($m^3.s^{-1}$),
E_P energetický horizont k přelivné hraně (m),
y_P tloušťka přelivného paprsku (m),
m pořadnice sklonu boků přelivu.

Tabulka 5-9: Součinitel přepadu *M*

$\frac{t}{y_\mathrm{P}}$	0,500	0,667	0,778	0,889	1,000	1,500	2,000	3,000	> 3,000
μ	0,630	0,615	0,596	0,576	0,555	0,525	0,495	0,480	0,451
M	1,860	1,816	1,760	1,701	1,639	1,550	1,461	1,417	1,330

Tabulka 5-10: Součinitel zatopení σ

$\frac{dy}{E_P}$	0,400	0,500	0,600	0,650	0,700	0,800	0,850	0,900	0,920	0,940	0,950
σ	0,990	0,980	0,960	0,940	0,906	0,790	0,699	0,575	0,515	0,412	0,412

Pokud je hladina dolní vody výše než přelivná hrana, může dojít k ovlivnění přepadu dolní vodou a přepad bude působit jako zatopený. K tomu dojde, když převýšení dolní hladiny nad přelivnou hranou je větší než $^2/_3$ energetické výšky přepadu, tedy pokud platí vztah 5.33. V takovém případě se výsledek výpočtu podle rovnic 5.30 a 5.32 redukuje součinitelem zatopení σ podle tabulky 5-10.

$$dy = y_d - s \geq 0{,}667 E_P \tag{5.33}$$

V rovnici je:
- dy převýšení hladiny vody nad přelivnou hranou (m),
- y_d hloubka vody pod objektem (m),
- s spád objektu (m).

5.6.2 Doskok vodního paprsku

Pro návrh konstrukce příčného objektu je třeba znát vzdálenost místa dopadu přepadajícího vodního paprsku od přelivné stěny. Tato délka doskoku vodního paprsku závisí na spádu (výšce) příčného objektu a na energii vodního proudu na přelivné hraně.

Přepad vody přelivnou sekcí přehrážky probíhá ze vzduté hladiny vody při velmi malé přítokové rychlosti, pro výpočet délky doskoku vodního paprsku lze užít rovnice 5.34 pro podjezí s vývarem a rovnice 5.35 při podjezí bez vývaru. Protože na začátku výpočtu není hloubka vývaru známa, je nutné tuto hloubku odhadnout a v dalším výpočtu provést iteraci.

Pro výpočet délky doskoku vodního paprsku přepadajícího ze stupně se při říčním proudění v trati nad stupněm používá rovnice 5.36, v případě podjezí bez vývaru bude v rovnici místo hloubky d součin $L_P \times i_d$. Při bystřinném proudění nad stupněm se použije rovnice 5.37, v případě podjezí s vývarem se v rovnici nahradí součin $L_P \times i_d$ jeho hloubkou d. Výpočet doskoku vodního paprsku u stupně bez vývaru je třeba provést iterací.

$$L_P = 1{,}65\sqrt{y_P \times (s + d + 0{,}32 y_P)} \tag{5.34}$$

$$L_P = 1{,}65\sqrt{y_P \times (s + L_P \times i_d + 0{,}32 y_P)} \tag{5.35}$$

$$L_P = 1{,}64\sqrt{E_P \times (s + d + 0{,}24 E_P)} \tag{5.36}$$

$$L_P = 2\sqrt{E_P \times [0{,}83 \times (s + L_P \times i_d) + 0{,}21 E_P]} \tag{5.37}$$

V rovnicích je:
- L_P délka doskoku vodního paprsku (m),
- E_P výška čáry energie přepadu (m),
- y_P tloušťka přelivného paprsku (m),
- s spád objektu (m),
- d hloubka vývaru (m),
- i_d podélný sklon dna podjezí.

5.7 Podjezí příčného spádového objektu

Stabilita a hydraulická účinnost příčných objektů závisí na správném řešení podjezí těchto objektů. Vysokou energii bystřinného proudění, které vznikne dopadem vodního paprsku do podjezí, je třeba s dostatečnou účinností utlumit. Pokud je třeba převést toto proudění na proudění říční v trati pod objektem, využije se k utlumení energie vodního skoku. V případě bystřinného proudění v dolní trati je nejvhodnějším způsobem tlumení energie účinné zdrsnění podjezí ve dně i svazích koryta.

5.7.1 Podjezí stupně při říčním proudění

Pokud je druhá hloubka vodního skoku, který vznikne na přechodu bystřinného proudění v podjezí do říčního proudění pod objektem, větší než hloubka tohoto říčního proudění, je třeba zvětšit hloubku koryta pod stupněm zřízením prohloubeného vývaru.

Délka vývaru je součtem délky doskoku vodního paprsku a délky vodního skoku, výška vodního skoku je dána rozdílem vzájemných hloubek. Hloubka vývaru se volí tak, aby platilo, že druhá hloubka vodního skoku, zvětšená požadovanou mírou vzdutí, je rovna součtu hloubky vývaru a hloubky vody v trati pod stupněm. Platí tedy následující vztahy:

$$L_V = L_P + L_S \tag{5.38}$$

$$A_S = y_2 - y_1 \tag{5.39}$$

$$d = 1{,}2 \times y_2 - y_d \tag{5.40}$$

Hloubka vývaru se volí předběžně v předpokládané hodnotě, výpočet se pak opakuje pro vypočtenou hloubku. K výpočtu vzájemných hloubek vodního skoku je možno použít rovnic 5.41 až 5.44. Účinná délka vodního skoku se stanoví podle vztahu 5.45.

$$y_1 = \frac{0{,}235 \times q}{dH} \tag{5.41}$$

$$y_2 = 0{,}5 \times y_1 \times (A - 1) \tag{5.42}$$

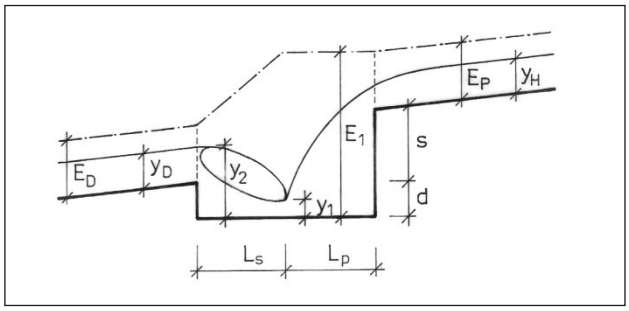
$$A = \sqrt{1 + 8M^2} \tag{5.43}$$

$$M = 0{,}319 \times q \times {y_1}^{-1{,}5} \tag{5.44}$$

$$L_S = 4{,}8 \times A_S \tag{5.45}$$

Ve vzorcích je:
- A parametr,
- A_S výška vodního skoku (m),
- d hloubka vývaru (m),
- dH rozdíl hladin nad a pod stupněm (m),
- L_V délka vývaru (m),
- L_P délka doskoku vodního paprsku (m),
- L_S délka vodního skoku (m),
- M parametr,

q měrný průtok vody ($m^2.s^{-1}$),
y_1 první hloubka vodního skoku (m),
y_2 druhá hloubka vodního skoku (m),
y_d hloubka vody v trati pod stupněm (m).



Obrázek 5-2: *Výpočtové schéma stupně s vývarem.*

5.7.2 Podjezí stupně při bystřinném proudění

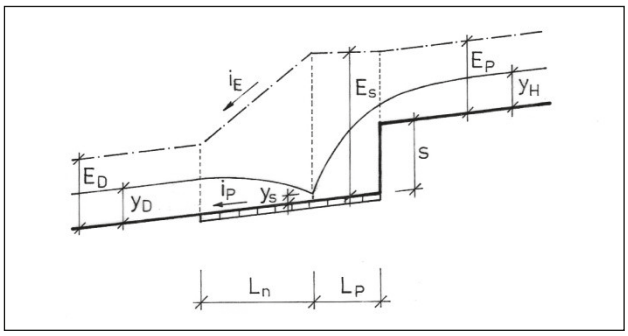
Hloubka vody v místě dopadu paprsku se stanoví iteračním výpočtem podle podmínek daných rovnicemi 5.46 až 5.48 z výšky energie přepadu a spádu příčného objektu. Při výpočtu se postupuje tak, že pro hodnotu návrhového průtoku Q se z ploch průtočného profilu podjezí stanovených pro postupně volené hloubky y_S vypočte rychlost vody. Hloubka y_S, pro kterou platí současně rovnice 5.47 a 5.48, je pak hledanou hloubkou vody v místě dopadu přepadového paprsku.

$$E_S = E_P + s + L_P \times i_d \tag{5.46}$$

$$E_S = y_S + \frac{\alpha \times v^2}{2g} \tag{5.47}$$

$$v_S = \frac{Q}{S_S} \tag{5.48}$$

V rovnicích je:
L_P délka doskoku vodního paprsku (m),
E_P výška čáry energie přepadu (m),
E_S výška čáry energie podjezí (m),
s spád objektu (m),
y_S hloubka v místě dopadu vodního paprsku (m),
v_S rychlost vody v místě dopadu vodního paprsku (m),
S_S plocha průtočného profilu v místě dopadu (m^2),
Q průtok vody ($m^3.s^{-1}$),
i_d podélný sklon dna podjezí.



Obrázek 5-3: *Výpočtové schéma stupně se spadištěm (bezvývarové řešení).*

Z hloubky y_S, které odpovídá vysoká energetická výška E_S, je nutné v podjezí přejít na hloubku vody, která odpovídá průtokovým poměrům v korytě pod objektem s energetickou úrovní, pro niž je koryto pod objektem navrženo jako stabilní. Účinnou délku podjezí lze zjednodušeným postupem stanovit pro ustálené nerovnoměrné proudění pro sklon čáry energie vypočtený pomocí rovnice 5.49.

Parametry v rovnici 5.49 se vypočtou pro profil podjezí ve středu účinné délky L_n (tedy pro střední hloubku vody) podle rovnice 5.50. Pro výpočet rychlostního součinitele lze použít vzorec Mostkovovův (5.18), kde se drsnost vyjádří velikostí výstupků účinného zdrsnění, nebo podle rovnice Manningovy se stupněm drsnosti podle rovnice 5.52. Pro zvolenou drsnost (velikost výstupků) se vypočte délka zdrsněného úseku, která postačí, aby hloubka vody z hodnoty y_S přešla do hloubky dolní vody, podle vztahu 5.51. Výpočet lze zpřesnit rozdělením výpočtového úseku na dílčí úseky pro hloubky vody stoupající např. po 0,1 m, výsledná délka úseku nerovnoměrného proudění je pak součtem délky dílčích úseků.

$$i_E = \frac{Q^2}{S^2 \times C^2 \times R} \tag{5.49}$$

$$y = \frac{y_S + y_D}{2} \tag{5.50}$$

$$L_N = \frac{E_S - E_D}{i_E - i_P} \tag{5.51}$$

$$n = \frac{{d_m}^{0,167}}{c} \tag{5.52}$$

V rovnicích je:
Q průtok vody ($m^3.s^{-1}$),
S plocha průtočného profilu (m^2),
R hydraulický poloměr (m),
C rychlostní součinitel,
c součinitel z tabulky 5-1,
E_D výška čáry energie v trati pod objektem (m),
E_S výška čáry energie podjezí (m),
i_E sklon čáry energie v podjezí (m),
i_P sklon podjezí (m),
y_S hloubka v místě dopadu vodního paprsku (m),
y_D hloubka dolní vody (m),
L_N délka úseku nerovnoměrného proudění (m),
n stupeň drsnosti,
d_m směrodatný průměr splavenin (m).

Délku účinného tlumení energie přepadu v podjezí je možno také stanovit podle vzdálenosti střetu příčných vln, určenou rovnicemi 5.53 a 5.54. Ve velmi drsném podjezí se vypočtená délka zkracuje o 30 % a získá se délka opevněného podjezí spádového objektu (5.55).

$$L_{PV} = 0{,}5 B_P \times \cot \beta \tag{5.53}$$

$$\sin \beta = \frac{\sqrt{g \times y_S}}{v_S} \tag{5.54}$$

$$L_P = 0{,}7 \times L_{PV} \tag{5.55}$$

V rovnicích je:
L_{PV} vzdálenost střetu příčných vln (m),
L_P délka podjezí (m),
B_P šířka dopadajícího paprsku (m),
β úhel odklonu vlny od osy koryta,
y_S hloubka vody v místě dopadu paprsku (m),
v_S rychlost vody v místě dopadu paprsku ($m.s^{-1}$).

6 STATICKÉ ŘEŠENÍ A POSUZOVÁNÍ OBJEKTŮ

prof. Ing. Jiří Barták, DrSc.; Ing. Miroslav Brouček, Ph.D.

Návrh konstrukce objektů hrazení bystřin musí stejně jako v případě ostatních vodohospodářských staveb zajistit, aby během předpokládané životnosti s příslušným stupněm spolehlivosti a hospodárnosti objekty odolaly všem zatížením a vlivům, které se mohou vyskytnout při provádění a používání a zároveň sloužily požadovanému účelu. Základní požadavky na konstrukce, zásady a pravidla jejich navrhování vychází z kapitol č. 2 a 3 ČSN EN 1990 *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí* a dále je upravuje ČSN 75 0250 *Zásady navrhování a zatížení konstrukcí vodohospodářských staveb*, která dále upravuje dílčí součinitele pro prostředí vodohospodářských staveb. Návrh, respektive posouzení objektů hrazení bystřin je dnes standardně prováděno pomocí metody dílčích součinitelů pro zvolené mezní stavy.

Zejména v kontextu posuzování starších konstrukcí, které nebyly navrhovány na splnění podmínek metody dílčích součinitelů, je nezbytné zdůraznit, že mezní stavy nepředstavují jednoznačně limitní situace z fyzikálně mechanického hlediska a proto fakt, že historická konstrukce nevyhoví z hlediska mezního stavu stability polohy, neznamená riziko okamžitého kolapsu stavby. Konstrukce pouze nesplňuje aktuální požadavky na stupeň spolehlivosti v daném mezním stavu.

V následujícím textu jsou uvedeny příklady posouzení jednotlivých konstrukcí objektů hrazení bystřin s ohledem na požadavky EUROKÓDů. U předmětných objektů obvykle není určujícím mezní stav použitelnosti daný nadměrným přetvořením, s výjimkou nadměrných deformací základových zemin. Analýzou konstrukce objektu je pak nutno prokázat, že nedojde k porušení stability celého objektu nebo jeho částí v pracovních spárách, v základové spáře nebo v podloží.

6.1 Prahy

Posouzení prahů vychází z odolnosti použitého materiálu vůči rychlostem a odpovídajícím tečným napětím v korytě při návrhovém průtoku. Z hlediska mezní stability není při dodržení požadovaných minimálních hloubek založení zapotřebí ověřovat mezní stabilitu polohy.

Při návrhu prahů do nesoudržných zemin je zapotřebí ověřit mezní stav hydraulického porušení, tj. vzniku vnitřní eroze shodně s postupem prezentovaným pro přehrážky.

6.2 Stupně

Na základě zkušeností z prováděných staveb se doporučuje využívat nejvyšší výška stupně s hranou přelivu v úrovni horního dna 1,0 m. Bez ohledu na konstrukční materiál je u stupňů třeba prokázat, že vlivem dominantního zatížení vodním a zemním tlakem (u konsolidačních stupňů i splaveninami) nedojde k překročení mezního stavu únosnosti – mezní stav stability polohy. Z hlediska třídy následků jsou stupně obvykle zařazeny do nejnižší třídy následků (CC1) s hodnotou součinitele γ_I = 1,0.

Návrh stupně je třeba provést tak, aby posudek stability prokázal, že stupeň je stabilní z hlediska posunutí, překlopení a nadzdvihnutí vztlakem, že únosnost základové zeminy či horniny je dostačující (návrh stupně patří do 2. geotechnické kategorie) a že nedojde k inicializaci vnitřní eroze v podloží stupně nebo podél něj.

Posouzení podle jednotlivých bodů s využitím metody dílčích součinitelů je principiálně shodné s posouzením přehrážek. Příklad posouzení přehrážky je uveden níže.

Návrh tlumicích prvků (vývaru či opevnění) pod stupněm musí zamezit tvorbě výmolů, případně musí být tyto zahrnuty do posudku stability. Dále musí tlumicí prvek pod stupněm odolat z hlediska proudových sil v místě, kde dochází k výronům prosakující vody pod objektem nebo podél něj.

Minimální hloubka založení stupně může být s ohledem na jeho výšku parametrem zásadně ovlivňujícím velikost celé konstrukce. Stávající ČSN EN 1997-1 *Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí – Část 1: Obecná pravidla* požaduje zohlednění klimatických vlivů, ovšem bez udání doporučených hodnot. Již neplatná ČSN 73 1001 *Zakládání staveb. Základová půda pod plošnými základy* udávala minimální hloubku definitivního založení s ohledem na promrzání 0,8 m pod upraveným povrchem. Tato hodnota se snižovala u skalních hornin s přihlédnutím k odolnosti hornin vůči klimatickým jevům, a naopak zvyšovala u zemin tříd F7 a F8 na 1,6 m. Ani u skalních hornin však nelze doporučit založení mělčí než 0,5 m.

U stupňů je analýza konstrukce prováděná na charakteristickém řezu v ose toku při předpokladu rovinné deformace. Výsledné hodnoty jsou posuzovány na běžný metr konstrukce. Při úspornějším návrhu, kdy konstrukce na charakteristickém řezu v toku nevyhoví požadavkům stability polohy, lze uvažovat se spolupůsobením zavázání pouze za předpokladu kompletní 3D analýzy, která potvrdí dostatečnou odolnost konstrukce při namáhání na ohyb ve směru toku. 3D analýza musí vzít v potaz způsob řešení dilatačních spár objektu, které u betonových konstrukcí stupňů navrhujeme minimálně po 10 m. Úspornější návrhy nelze doporučit při šířkách toku ve dně nad 5 m.

6.3 Přehrážky

Návrh retenčních i konsolidačních přehrážek musí být proveden tak, aby nedošlo k překročení mezního stavu únosnosti, který je zastoupen mezním stavem stability polohy objektu i celku včetně podzákladí a mezním stavem hydraulického porušení.

Z hlediska třídy následků jsou přehrážky vyšší než 1,0 m obvykle zařazeny do střední třídy následků (CC2) s hodnotou součinitele γ_I = 1,1. Přehrážky vyšší než 5,0 m musí být zařazeny do třídy CC3 s hodnotou součinitele γ_I = 1,2. Z praktických poznatků návrhů konstrukcí vodních staveb lze doporučit šířky konstrukcí převyšující 0,7násobek hrazené výšky, tj. výšky nad upraveným terénem. Užší konstrukce obtížně splňují požadavky platných norem při tížném nebo konzolově tížném působení.

Stejně jako v případě stupňů je u návrhu přehrážek třeba výpočty ověřit že přehrážka jako tuhé těleso je stabilní z hlediska posunutí, překlopení a nadzdvihnutí vztlakem, ani nedojde k usmýknutí většího celku (tj. včetně zeminy), že únosnost základové zeminy či horniny je dostačující (návrh stupně patří do 2. geotechnické kategorie) a že nedojde k inicializaci vnitřní eroze v podloží stupně nebo podél něj.

Možnost porušení, resp. nadzdvihnutí vztlakem objektů betonových a kamenných přehrážek je s ohledem na způsob posouzení možného usmýknutí vyloučena, posouzena by měla být pouze u konstrukcí netypických.

Zatížení konsolidačních i retenčních přehrážek představuje kromě vlastní tíhy zejména hydrostatický tlak a tlak splavenin v prostoru zdrže. Přestože by u konsolidačních přehrážek bylo možné uvažovat zatížení od splavenin za stálé, vzhledem k nárůstu zemního tlaku v klidu je vhodnější uvažovat toto zatížení za proměnné. Z hlediska průsaků a vztlaku je kritickým momentem povodňová událost do prázdného prostoru zdrže, tedy bez splavenin, které by prodloužily průsakovou dráhu a zvýšily stabilitu konstrukce proti nadzdvihnutí vztlakem.

U přehrážek je analýza konstrukce prováděná na charakteristickém řezu v ose toku, tj. v přelivné sekci, a dále v nejméně příznivém řezu při předpokladu rovinné deformace a při hladině na úrovni nejvyšší pevné části (obvykle odpovídá návrhovému průtoku). Výsledné hodnoty jsou pak posuzovány na běžný metr konstrukce.

Použitá podmínka spolehlivosti je dána vztahem 6.1:

$$\gamma_1 \times E_{\mathrm{dDSTB}} < E_{\mathrm{dSTB}} \qquad (6.1)$$

V rovnici je:

$E_{\text{d-DSTB}}$ návrhová hodnota účinku destabilizujících zatížení,
$E_{\text{d-STB}}$ návrhová hodnota účinku stabilizujících zatížení.

Dílčí součinitele zatížení lze určit následujícím způsobem: γ_Q = 1,0 pro zatížení od vody v nádrži (jak na návodní, tak na vzdušní líc – viz níže, i vztlak); $\gamma_{\text{G-STB}}$ = 0,9 (vlastní tíha tělesa přehrážky je vždy stabilizující silou, totéž platí pro hodnotu pasivních zemních tlaků na vzdušní straně); $\gamma_{\text{G-DSTB}}$ = 1,1 pro destabilizující aktivní zemní tlaky stálé a $\gamma_{\text{Q-DSTB}}$ = 1,5 pro proměnný tlak sedimentů působící destabilizujícím způsobem. Průchod návrhové povodně s prázdným nebo sedimenty zaplněným prostorem zdrže nelze považovat za mimořádnou kombinaci zatížení.

6.3.1 Kombinace zatěžovacích stavů č. 1 (povodňová událost, prázdná zdrž)

Posouzení proti posunutí je třeba provádět v kritických místech konstrukce, která se nachází:

- na základové spáře,
- na nevyztužené pracovní spáře (v případě vyztužení musí být toto posouzeno) nebo
- v zemině pod základovou spárou, resp. v predisponované smykové ploše (např. diskontinuitami ve skalním podloží).

Obecně lze zapsat požadavek na základové spáře vztahem 6.2:

$$\gamma_1 \leq \frac{(\sum F_{\mathrm{V,V}} + 0{,}9G)\, tg\varphi'_{\mathrm{cv;d}}}{\sum F_{\mathrm{V,H}} + \sum F_{\mathrm{Z,H}}} \qquad (6.2)$$

Ve vzorci představuje:

$\sum F_{\mathrm{V,V}}$ sumu všech svislých sil od vodního tlaku (včetně vztlaku),
$\sum F_{\mathrm{V,H}}$ sumu všech vodorovných sil od vodního tlaku,
G vlastní tíhu posuzovaného prvku,
$\sum F_{\mathrm{Z,H}}$ sumu všech vodorovných sil od zemního tlaku (s uvažováním příslušných stálých součinitelů zatížení)
$tg\varphi'_{\mathrm{cv;d}}$ návrhovou hodnotu efektivního kritického úhlu vnitřního tření, respektive tření na základové spáře.

Dílčí součinitel tangenty úhlu vnitřního tření je $\gamma_{\varphi'}$ = 1,25. Požadavek na použití dílčích součinitelů geotechnických parametrů je v normách uveden pro trvalé a dočasné návrhové situace.

Dle odst. 10 článku 6.5.3 ČSN EN 1997-1:2006, na nějž se odvolává platná ČSN 73 1208 *Navrhování betonových konstrukcí vodohospodářských objektů*, se má jakákoliv efektivní soudržnost zanedbat.

Na nevyztužené pracovní spáře lze zapsat požadavek na posunutí vztahem 6.3:

$$\gamma_1 \leq \frac{(\sum F_{\mathrm{V,V}} + 0{,}9G) \times \mu + c \times f_{\mathrm{ctd}} \times l}{\sum F_{\mathrm{V,H}}} \qquad (6.3)$$

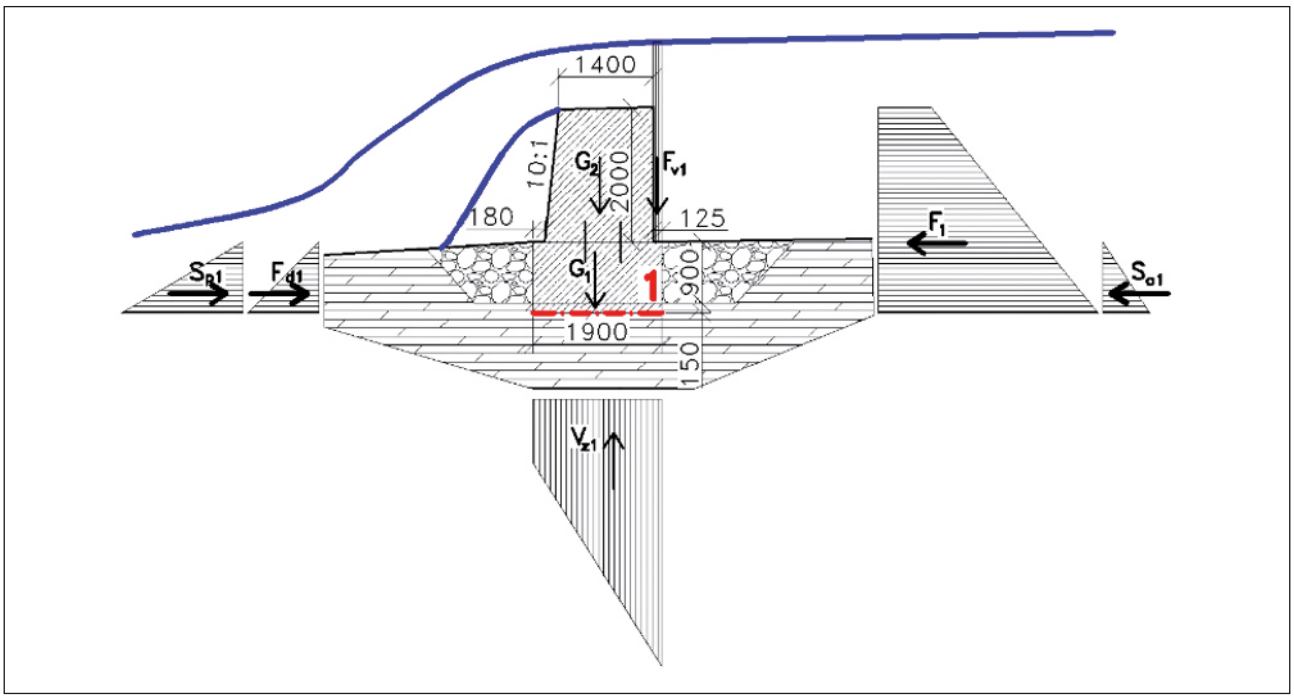
Ve vzorci představuje:

$\sum F_{\mathrm{V,V}}$ sumu všech svislých sil od vodního tlaku (včetně vztlaku),
$\sum F_{\mathrm{V,H}}$ sumu všech vodorovných sil od vodního tlaku,
G vlastní tíhu posuzovaného bloku,
μ hodnotu součinitele drsnosti mezi betonem a betonem,
c součinitele závislého na drsnosti plochy,
l délku pracovní spáry,
f_{ctd} návrhovou pevnost pracovní spáry v tahu.

U běžně ošetřovaných pracovních spár betonových přehrážek předpokládáme μ = 0,6 a c = 0,35. Hodnoty f_{ctd} pro běžné třídy betonu C25/30, resp. C30/37 jsou 1,2 MPa, resp. 1,33 MPa.

Schématické znázornění působícího zatížení, včetně analýzy ve 2D, tj. při uvažování rovinné deformace, je uvedeno níže. Předpokládáme konstrukci betonovou, nicméně totožný postup lze uplatnit u zdiva z lomového kamene na cementovou maltu nebo u drátokamenných konstrukcí, u nichž je zcela převažující tížný nebo tížný konzolový způsob odezvy na zatížení vodním tlakem. Srubové konstrukce využívají výhodných vlastností prutových dřevěných prvků a mohou vyžadovat posouzení prvku jako celku, tj. včetně zavázání.

Není-li hloubka dolní vody spolehlivě zajištěna, lze v souladu s platnými normami uvažovat součinitel pro proměnné stabilizující zatížení $\gamma_{\text{Q-STB}}$ = 0 a pro účely vztlaku předpokládat úroveň dolní vody na terénu.



Obrázek 6-1: *Posouzení v základové spáře č. 1.*

Na obr. 6-1 jsou patrné působící výsledné síly na základovou spáru označenou číslem 1.

Vlastní tíha betonové konstrukce: $G = \sum_i A_i \gamma_c$, konkrétně A_1 = 1,805 m², A_2 = 2,96 m², γ_c = 24 kN.m^{-3} a G = 114,2 kN.m^{-1}.

Hydrostatické zatížení: F_1 = 61,5 kN.m^{-1}, V_{z1} = 46,6 kN.m^{-1}, F_{v1} = 3,7 kN.m^{-1}, F_{d1} = 5,5 kN.m^{-1}.

Zemina/zásyp: $S_{a1} = K_a \times [½ \times 1{,}05^2 \times (\gamma_{sat} - \gamma_w)]$ = 1,5 kN.m^{-1}, $S_{p1} = K_p \times [½ \times 1{,}05^2 \times (\gamma_{sat} - \gamma_w)]$ = 33,6 kN.m^{-1} (např. při φ_{ef} = 40°; γ_{sat} = 20,5 kN.m^{-3}; K_a = 0,26 a K_p = 5,8).

$$1{,}1 = \gamma_1 \leq \frac{\left(\sum F_{\mathrm{V,V}} + 0{,}9G\right) tg\varphi'_{\mathrm{cv;d}}}{\sum F_{\mathrm{V,H}} + \sum F_{\mathrm{Z,H}}} = \frac{40{,}2}{32{,}9} = 1{,}2$$

Výsledek posouzení je závislý zejména na součiniteli tření, který reprezentuje $tg\varphi'_{\mathrm{cv;d}}$. V ukázkovém případě se $\varphi'_{\mathrm{cv}} = 40°$ a $tg\varphi'_{\mathrm{cv;d}}$ = 0,671.

Na obr. 6-2 jsou patrné působící výsledné síly na pracovní spáru. Průběh pórového tlaku v betonu (vztlakového obrazce) je třeba předpokládat i v případě betonových přehrážek, kdy je pracovní spára navržena jako těsněná. Výjimku by bylo možné učinit při zajištění spolehlivé plášťové izolace nebo drenážních prvků, což v případě přehrážek ani stupňů není běžné.

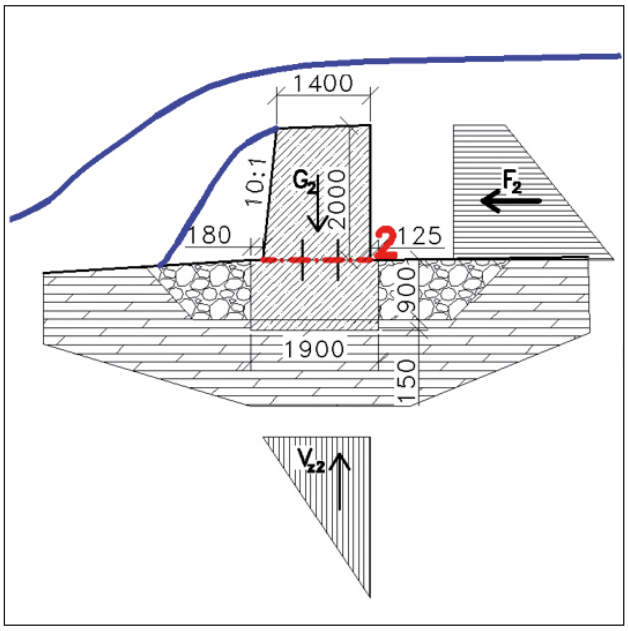
Vlastní tíha betonové konstrukce:

$$G = \sum_i A_i \gamma_c = A_2 \gamma_c = 71{,}0\ \mathrm{kN.m^{-1}}$$

Hydrostatické zatížení: F_2 = 31,6 kN.m^{-1}, V_{z2} = 19,1 kN.m^{-1}.

Parametry spáry: l = 1,6 m, f_{ctd} = 1,2 MPa (C25/30), c = 0,35.

$$1{,}1 = \gamma_1 \leq \frac{\left(\sum F_{\mathrm{V,V}} + 0{,}9G\right) \times \mu + c \times f_{\mathrm{ctd}} \times l}{\sum F_{\mathrm{V,H}}} = \frac{26{,}9 + 670{,}3}{31{,}6} = 22{,}1$$

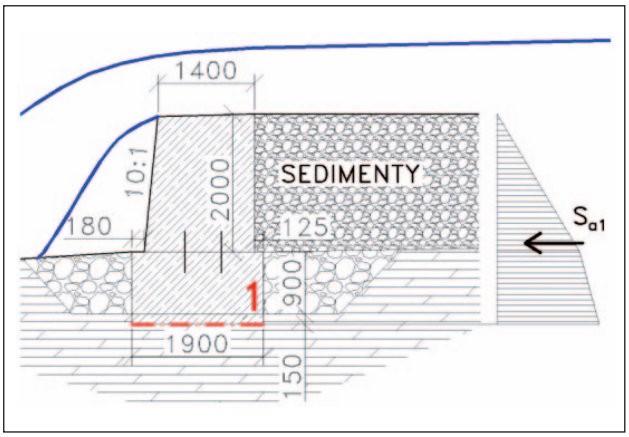


Obrázek 6-2: *Posouzení v pracovní spáře č. 2.*

Smyková odolnost pracovní spáry daná tahovou pevností betonu je dostatečná pro přenesení působících sil. Z uvedených hodnot je zároveň patrné, že příspěvek ke smykové pevnosti správně ošetřené pracovní spáry od tahové pevnosti betonu výrazně převyšuje příspěvek od tření, což je u objektů velikosti přehrážek obvyklé. Převažující efekt kotevních trnů je pak více konstrukční a z hlediska stability jen pojistný.

6.3.2 Kombinace zatěžovacích stavů č. 2 (povodňová událost, zdrž zaplněná sedimenty)

Při zdrži zaplněné sedimenty je posouzení provedeno pomocí stejných vztahů, s výjimkou aktivního zemního tlaku na návodní straně konstrukce, do kterého je třeba připočíst tlak sedimentů s ohledem na jejich charakter.



Obrázek 6-3: *Posouzení v základové spáře – plná zdrž.*

Je třeba upozornit, že pro plný rozvoj pasivního zemního tlaku u zásypu na vzdušní straně dojde k posunutí konstrukce z příkladu o 4,5–12,5 cm. Obecně se jedná o 4,5–12 % výšky konstrukce v kontaktu se zeminou. Pokles tlaku sedimentů k hodnotě aktivního zemního tlaku je dosažen již při posunutích větších než 3 mm. K poklesu tlaku z tlaku v klidu postačí posun v základu 0,1 %.

Osou, kolem které může dojít k potenciálnímu překlopení, je vzdušní pata objektu, respektive části nad posuzovanou spárou, a podmínka spolehlivosti je definována jako podíl momentů (6.4):

$$\gamma_1 \leq \frac{\sum M_{\mathrm{d_{pas}}}}{\sum M_{\mathrm{d_{akt}}}} \tag{6.4}$$

V uvedeném vztahu je:

$M_{\text{d-akt}}$ návrhová hodnota aktivního momentu sil od zatížení působící překlopení kolem osy,

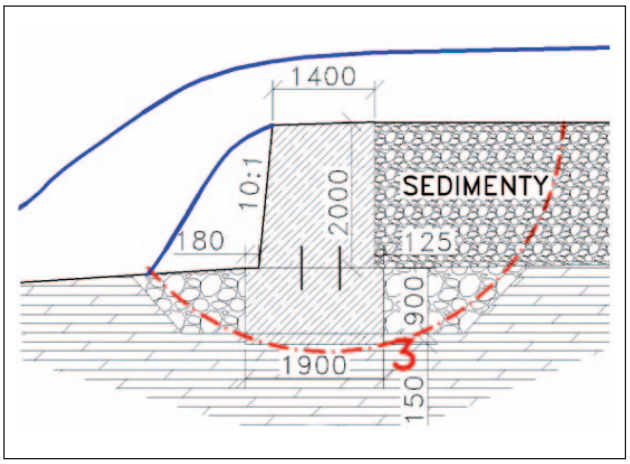
$M_{\text{d-pas}}$ návrhová hodnota pasivního momentu sil od zatížení působícího proti překlopení v uvažované návrhové situaci.

Mezi aktivní momenty jsou řazeny momenty od všech proměnných zatížení, zatímco momenty pasivní představují zatížení stálá. U konsolidačních přehrážek jsou momenty vyvozené působením sedimentů považována za proměnná zatížení. Výše uvedený způsob posouzení splnění podmínky bezpečnosti proti překlopení, tj. podílem momentů, pro vodní stavby s hydrostatickým tlakem na obou stranách a působícími vztlakovými silami je nepřesné a nespolehlivé ve všech možných výkladech aktivity a pasivity a směrů momentů (viz Danilevsky, 1998) a řada vyspělých států jej nepoužívá. Za vhodný způsob ověření lze považovat pouze velikost výstřednice výslednice působících sil e, respektive její poměr k délce základové, respektive pracovní spáry $\frac{e}{l}$. Při hodnotách $\frac{e}{l} < 0{,}5$ je zajištěna podmínka bezpečnosti proti překlopení a součinitel významu γ_1 lze do podmínky zapojit vztahem 6.5:

$$\frac{e}{l} < \frac{0{,}5}{\gamma_1} \tag{6.5}$$

Pro stupně a přehrážky do 5 m výšky je tedy $\frac{e}{l} < 0{,}45$ a pro přehrážky vyšší než 5 m je $\frac{e}{l} < 0{,}42$.

Aplikace dílčích součinitelů zatížení pro vlastní tíhu, hydrostatický tlak a zemní tlaky probíhá totožným způsobem jako v případě posouzení proti posunutí.



Obrázek 6-4: *Posouzení stability celku.*

Smykovou stabilitu celku v zemině pod základovou spárou přehrážky (naznačeno na obrázku 6-4), resp. v predisponované smykové ploše (např. diskontinuity) ve skalním podloží je třeba ověřit v souladu s kapitolou 11 ČSN EN 1997-1. Pro zeminy se použije postup analogický k analýze sesuvu svahů, přičemž potenciálně nestabilní celek, tj. zemina včetně tělesa přehrážky a části sedimentů, je podle použité metody považován za tuhé těleso nebo několik tuhých těles. Při řešení smykové stability v tvrdých horninách s dobře definovanou sítí diskontinuit je třeba pohlížet na bloky nebo klíny horniny jako na tuhé celky. Znalost prostorového rozložení diskontinuit a charakteru materiálů na plochách porušení je pro korektní posouzení zásadní.

Návrhová hodnota mezní únosnosti zeminy R_d musí být větší než návrhová hodnota svislého zatížení V_d. Zatímco návrhová hodnota zatížení vyplyne z výpočtu namáhání dle schématu uvedeného na obrázku výše, pro návrhovou mezní hodnotu únosnosti lze použít analytické metody výpočtu únosnosti plošného základu podle přílohy D ČSN EN 1997-1 s využitím parametrů zemin získaných nebo ověřených pomocí standardních postupů pro terénní a laboratorní zkoušky (2. geotechnická kategorie).

Za odvodněných podmínek lze návrhovou únosnost zeminy vypočítat podle následujícího vzorce 6.6:

$$R_{\mathrm{d}} = A^{\mathrm{ef}} \times \left(c' \times N_{\mathrm{c}} \times b_{\mathrm{c}} \times s_{\mathrm{c}} \times i_{\mathrm{c}} + q' \times N_{\mathrm{q}} \times b_{\mathrm{q}} \times s_{\mathrm{q}} \times i_{\mathrm{q}} + 0{,}5 \times \gamma' \times B' \times N_{\gamma} \times b_{\gamma} \times s_{\gamma} \times i_{\gamma}\right) \quad (6.6)$$

A^{ef} je efektivní plocha základu s vyloučením tahu, tj. po odečtení dvounásobku excentricity (výstřednice) výslednice; jednotlivé bezdimenzionální součinitele jsou prezentovány v příloze D ČSN EN 1997-1.

Návrh podle postupů pro 1. geotechnickou kategorii umožňuje norma jen u relativně jednoduchých konstrukcí, mezi které lze zahrnout prahy, pasy a nízké stupně v úzkých tocích. Za rutinní metody pak lze považovat využití tabulkových hodnot výpočtové únosnosti v závislosti na klasifikaci podložních zemin či hornin.

Potenciál k inicializaci vnitřní eroze pod nebo podél objektu přehrážky je nezbytné doložit výpočtem délky průsakové dráhy a odpovídajícího hydraulického gradientu. Zjednodušená metoda výpočtu délky průsakové dráhy publikovaná na počátku 20. století (Blighem, 1910) a pro anisotropické prostředí upravená Lanem (1935) se na základě analýzy historických dat pro hráze již nepoužívají. V oblasti hrazení bystřin pro objekty s malými rozdíly hladin je však uplatnit lze, ovšem s přihlédnutím k ověření odolnosti příslušné zeminy. Hodnoty limitních gradientů uvedené v tabulce níže vychází ze syntézy části odborné literatury.

Tabulka 6-1: Doporučený rozsah hodnot kritického gradientu

Zemina	Kritický gradient
písek, písek hlinitý nebo jílovitý	0,11 – 0,20
štěrk, štěrk hlinitý nebo jílovitý	0,25 – 0,40
písčité hlíny	0,40 – 0,60
jemnozrnné zeminy	0,33 – 0,56

Současná TNV 75 2303 *Jezy a stupně* udává vztah mezi limitní hodnotou gradientu a číslem stejnozrnnosti ($C_u = U = d_{60}/d_{10}$). Tento vztah je založen na experimentech na štěrkopískových zeminách a měl by být uplatňován pouze na ně. Podle uvedené normy jsou nestejnozrnné zeminy ($C_u > 10$) výrazně náchylnější na erozi s limitní hodnotou gradientu 0,1.

V zahraniční literatuře lze nalézt pozitivní korelace mezi hodnotou C_u a kritickým gradientem buď ve formě přímé úměrnosti $i_{\mathrm{crit}} = 0{,}05 + 0{,}183 \times (C_u - 1)$ (Schmertmann, 2000) experimentálně ověřený pro $C_u < 3$, nebo v mocninné závislosti (Sellmeijer et al., 2011).

Při délce průsakové dráhy překračující 10násobek rozdílu hladin není třeba provádět posouzení na inicializaci vnitřní eroze pod nebo podél objektu, přičemž v kontextu anisotropie je délka horizontální průsakové dráhy uvažována pouze 1/3 skutečné délky, což se projeví zejména u břehových zavázání. Při standardní hloubce založení 0,8 m a šířce 300 mm tak není potřeba posuzovat betonové prahy se spádem do 200 mm z hlediska průsaku pod objektem. Vzhledem k délce zavázání do rostlého terénu, které obvykle nepřesahuje 1,5 m, je třeba vždy vzít v potaz charakteristiku okolní zeminy. V případě nesoudržných zemin, zejména písků a štěrkopísků může být nezbytné navrhnout prodloužení průsakové dráhy pod nebo podél objektu. Návrh zavázání musí konstrukčně zajistit prodloužení průsakové dráhy (štětové či betonové stěny) na celou výšku objektu. Minimální hloubka založení do rostlého terénu je 0,5 m i v horninovém podloží. Pod betonovou část spodní stavby příčných objektů nesmí být navržen štěrkový polštář.

6.4 Opěrné zdi

Gravitačních zdí z lomového kamene, prostého nebo vyztuženého betonu a případně kombinací obou materiálů se užívá pro zajištění břehů v úsecích vyžadujících zejména z prostorových důvodů snížení půdorysného záboru koryta, v intravilánu obcí, či lokálně v blízkosti dalších objektů. Vetknutých stěn (např. štětových) se užívá jako pažících konstrukcí, ovšem pro trvalé konstrukce se v oblasti hrazení bystřin užívá téměř výhradně konstrukcí s tížným účinkem samotných zdí nebo zeminy na nich spočívající, které ČSN EN 1997-1 zařazuje do kategorie gravitačních zdí. Vyztužených úhlových zdí, které také spadají do kategorie gravitačních zdí, se v oblasti hrazení bystřin užívá málo.

Zatímco líce betonových zdí jsou obvykle obkládány lomovým kamenem z důvodů estetických i kvůli trvanlivosti, rub zdi by měl být opatřen drenážní soustavou a protimrazovým klínem z nesoudržných propustných zemin. Drenážní soustava se skládá z podélného drenážního potrubí ve sklonu nejméně 1 % a kolmými odvodňovacími trubkami, které prochází tělesem zdi a umožňují odvádění vody do toku. Kolmé odvodňovací trubky jsou obvykle umístěny ve vzdálenostech 3–5 m. Účelem protimrazového klínu je umožnit prosakující vodě na rubu zdi dosáhnout drenážní soustavy a zároveň zabránit zamrzání nasycené zeminy na rubu zdi. Tím snižuje namáhání rubové strany a omezuje deformace vlivem klimatických účinků.

Z hlediska posouzení stability zdi jsou možné dva přístupy k nárůstu hydrostatického tlaku na rubové straně. Konzervativní přístup uvažuje plný tlak vody na úrovni terénu za zdí, minimum vody v toku a odpovídající vztlakový obrazec. Tento přístup simuluje okamžiky po průchodu povodně s omezenou funkcí drenážního systému.

Druhý přístup uvažuje pouze s úrovní hladiny podzemní vody za rubem zdi v úrovni kolmých odvodňovacích trubek. V tom případě je zapotřebí pro zeď specifikovat program údržby a pravidelných kontrol. Zároveň se doporučuje navrhovat profily drenážního systému tak, aby umožnily vizuální kontrolu pomocí kamer. Z hlediska zanášení by vnitřní průměr podélného drenážního potrubí neměl klesnout pod 150 mm.

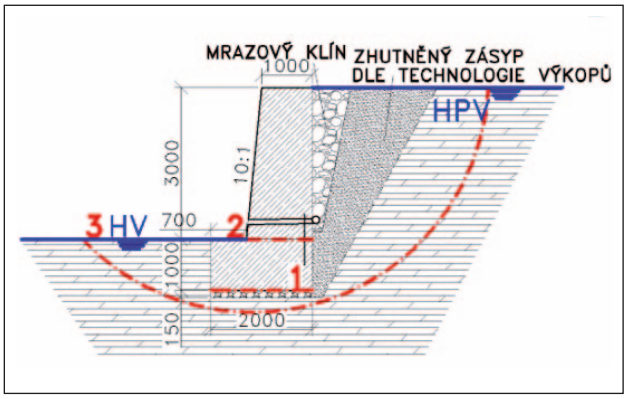
Stejně jako v případě příčných objektů, je u opěrných zdí zapotřebí výpočtem prokázat, že nedojde k překročení mezního stavu únosnosti, který je zastoupen mezním stavem stability

polohy objektu i celku včetně podzákladí a mezním stavem hydraulického porušení.

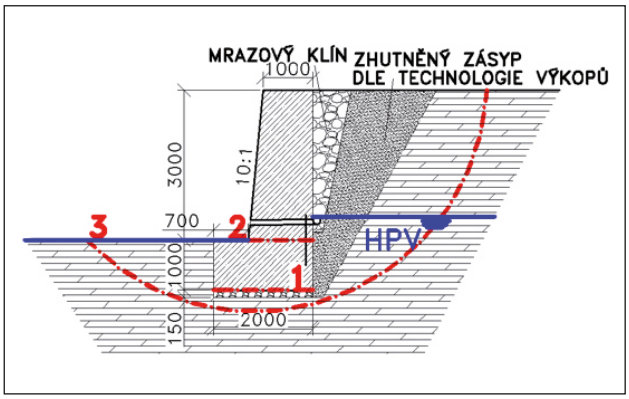
Podmínky spolehlivosti i jednotlivé dílčí součinitele jsou totožné jako v případě přehrážek a příklad zatěžovacího schématu obou přístupů je prezentován níže. 2D analýza opěrných zdí se provádí na charakteristickém příčném řezu, tj. při uvažování rovinné deformace, na běžný metr nebo délku dilatačního celku, mění-li se podstatně jeho geometrie. Z hlediska průsaků pod základem nelze doporučit návrh štěrkového polštáře, zejména při zakládání na skalní či poloskalní horniny nebo soudržné zeminy. V případě, že je u soudržných zemin překročeno dovolené namáhání, lze rozšířit bázi základu zdi.

Obrázky 6-5 a 6-6 znázorňují schéma obou přístupů pro stanovení zatěžovacích obrazců a jednotlivá místa posouzení mezního stavu stability polohy. Stejně jako v případě příčných objektů je nezbytné prokázat i dostatečnou únosnost základové zeminy. Problematika hydraulického porušení se týká stěn bez drenážního systému, u kterých může po průchodu povodně dojít dočasně k překročení namáhání podložní zeminy hydraulickým gradientem a ovlivnění jejích mechanicko-fyzikálních (zejména deformačních) charakteristik.

Při určení zemních tlaků na konstrukci opěrných zdí je třeba brát v potaz i sklon terénu za zdí a případné přitížení terénu v blízkosti zdi – budova, pilíř, komunikace atd. Postup určení mezních hodnot zemních tlaků na svislé stěny obsahuje příloha C ČSN EN 1997-1.



Obrázek 6-5: *Předpoklad nefunkční drenáže.*



Obrázek 6-6: *Fungující drenážní soustava.*

7 NÁVRH ÚPRAVY TRASY VODNÍHO TOKU

Ing. Adam Vokurka, Ph.D.; Mgr. Hana Lakomá, Ph.D.

Při řešení směrových poměrů osy liniových staveb a vodních toků se pro plynulý přechod mezi přímou (tečnu) a oblouk kružnice o poloměru *r* vkládá přechodnice, která plynule mění svou křivost *k* v závislosti na délce od hodnoty *k* = 0 do hodnoty *k* = 1/*r*. Na rozdíl od dopravních staveb není ve vodním stavitelství užívání přechodnic závazné. Přechodnicí užívanou při úpravách vodních toků je lemniskáta.

Směrové změny vodoteče lze realizovat volbou přechodnicových oblouků, dále pak pomocí souměrného lemniskátového oblouku, kdy lze použít úsek křivky od počátku po průsečík se symetrálou úhlu tečen. Při volbě nesouměrného lemniskátového oblouku lze použít jakýkoli vhodný úsek křivky. Využití prostých kružnicových oblouků, případně s mezilehlými přímými úseky, se doporučuje pouze ve stísněných prostorových podmínkách, zejména při úpravách v intravilánu. Možné je i využití složených stejnosměrných i protisměrných kružnicových oblouků s různými poloměry, které u protisměrných oblouků mohou být i stejné. V dlouhých úsecích se doporučuje využití vhodnějších kružnicových oblouků s krajními přechodnicemi.

Při návrhu trasy je vhodné vycházet ze směrových poměrů neupravovaných úseků dané vodoteče, oblouky se navrhují zpravidla protisměrné.

V mnohých případech se osa úprav vodních toků z praktických důvodů vytyčuje v odsazení – úhlové hodnoty se nemění, délkové údaje jsou konstantně zvětšeny nebo zmenšeny v poměru poloměru skutečného k poloměru vytyčovanému.

7.1 Lemniskáta

Lemniskátové oblouky se při úpravách bystřin používají většinou jako souměrné, ve stísněných poměrech mohou však být i nesouměrné. U souměrných lemniskátových oblouků leží střed lemniskáty v začátku oblouku. Křivost oblouku se postupně zvětšuje a dosahuje největší hodnoty ve středu oblouku. Křivost druhé části oblouku má opačnou tendenci. Z lemniskáty se pro návrh oblouku použije pouze část, která odpovídá vrcholovému úhlu tečnového polygonu.

Nesouměrné lemniskátové oblouky mají nejmenší křivost na začátku oblouku, největší křivost na konci oblouku. Délky tečen mají v tomto případě různou velikost. Umísťují se do trasy úpravy tak, aby u bystřin s podélným sklonem *i* > 0,01 navazovala na přímou trať na návodní straně část oblouku s větší křivostí (kratší tečnou), u bystřin s *i* < 0,01 část oblouku s menší křivostí (delší tečnou).

Křivost lemniskátových oblouků se mění podle vztahu 7.01, který znamená, že součin délky tětivy k danému bodu (průvodiče) a poloměru křivosti v tomto bodě je konstantní. Křivost oblouku se tak plynule zvětšuje od počátku k danému bodu na oblouku.

Určují se délka poloosy lemniskáty, která odpovídá poloměru kruhového oblouku největší křivosti, délka průvodiče, tj. úsečky mezi počátkem lemniskáty a bodem oblouku, amplituda, tj. úhel mezi poloosou a průvodičem a úhel normály s tečnou v začátku oblouku. Pro délku průvodiče platí rovnice 7.02 a pro amplitudu rovnice 7.03. Při kreslení a vytyčování lemniskátových oblouků se z vytyčovacích tabulek zjišťují souřadnice od tečny a délka oblouku.

$$C = r \times L \tag{7.01}$$

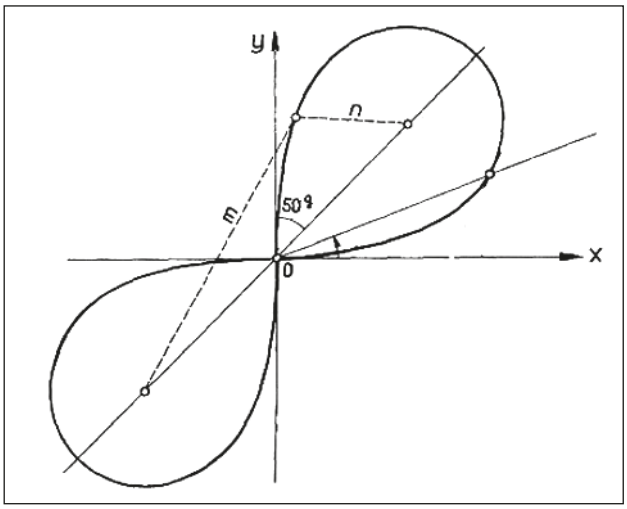
$$L = a \times \sqrt{\cos 2\varphi} \tag{7.02}$$

$$\varphi = 15 + \frac{\alpha}{3} \tag{7.03}$$

V rovnicích je:
C konstanta,
r poloměr křivosti (m),
L délka průvodiče (m),
a délka poloosy lemniskáty (m),
φ amplituda (°),
α úhel normály a tečny (°).

7.1.1 Souměrná lemniskáta

Lemniskáta (Bernoulliho křivka) je křivkou čtvrtého řádu (obr. 7-1), je tedy geometrickým místem bodů, které mají od dvou pevných ohnisek konstantní součin vzdáleností (*m* × *n* = konstanta).

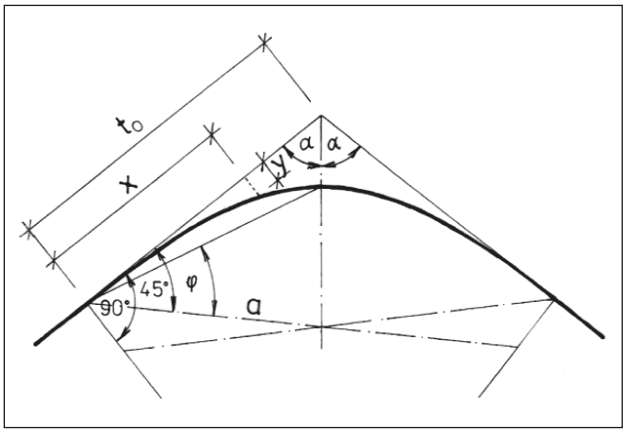


Obrázek 7-1: *Bernoulliho křivka.*

Počátek souměrného lemniskátového oblouku s nulovou křivostí se do tečnového polygonu vkládá v dotykovém bodě s tečnou, polovina oblouku končí ve vrcholu oblouku, druhá polovina se zde napojuje a tvoří souměrně druhou polovinu oblouku. Délka tečny od počátku oblouku ke středu oblouku (k vrcholu tečnového polygonu) i délka průvodiče vrcholu oblouku závisí na délce poloosy, amplitudě a úhlu mezi tečnou a normálou.

Protože se jedná o souměrný oblouk, jsou jeho obě tečny stejně dlouhé. Úhel α mezi tečnou a normálou ve vrcholu oblouku

je polovinou úhlu tečnového polygonu. Pro tento úhel se zjistí tabulková hodnota tečny t_T a délka poloosy lemniskáty se pak určí vydělením délky tečny t_O, dané návrhem úpravy, tabulkovou hodnotou t_T. Délka průvodiče vrcholu navrhovaného oblouku se určí jako násobek tabulkové hodnoty průvodiče vypočtenou délky poloosy. Jednotlivé body oblouku se potom určují výpočtem souřadnic tak, že se volí tabulková souřadnice *x* a z odpovídající tabulkové hodnoty *y* se odvodí skutečná délka souřadnice *y* násobením délkou poloosy. Obdobně se určí skutečná délka souřadnice *x* a délka oblouku z tabulkové hodnoty *O*. Mezilehlé hodnoty se při použití tabulky zjišťují interpolací.

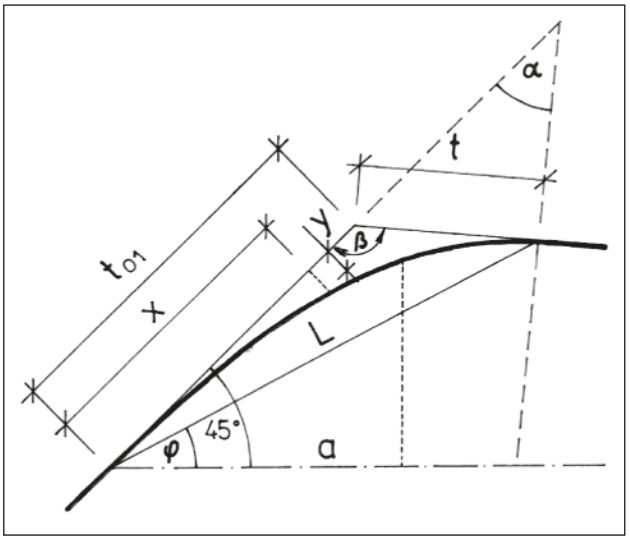


Obrázek 7-2: *Souměrný lemniskátový oblouk.*

7.1.2 Nesouměrný lemniskátový oblouk

V některých případech úpravy vodního toku je výhodné použít nesouměrný (nesymetrický) lemniskátový oblouk, v němž se mění křivosti od $k_Z = 0$ v počátečním bodě Z po $k_K = 1/r_K$, kde $r_K \geq r_{min}$ v koncovém bodě K.

Pokud projekt úpravy prostorově navazuje na předchozí úpravu, musí být bod Z k ní blíže než bod K. Při volbě nesouměrného lemniskátového oblouku lze použít jakýkoli vhodný úsek křivky.



Obrázek 7-3: *Nesouměrná lemniskáta.*

Nesouměrný lemniskátový oblouk se napojuje na tečnu stejně jako souměrný oblouk, končí však u další tečny v koncovém bodě využité části lemniskáty. Úhel mezi normálou v konci oblouku a tečnou se rovná úhlu tečnového polygonu zmenšenému o 90° ($\alpha = \beta - 90°$). Při navrhování oblouku se ze situace určí délka delší tečny (t_{O1}) a pro úhel α se z tabulky vytyčovacích prvků určí délka poloosy obdobně, jako u souměrného oblouku. Délka kratší tečny oblouku t_{O2} se určí z rovnice 7.04, nebo graficky pomocí délky průvodiče *L*, stanovené z tabulky. Určení polohy podrobných bodů a délky oblouku je stejné jako u souměrného oblouku.

$$t_{O2} = \frac{a \times \sqrt{\cos 2\varphi} \times \sin(45° - \varphi)}{\cos \alpha} \qquad (7.04)$$

7.1.3 Navrhování lemniskát

Při navrhování oblouku mezi koncovými body se stanoví (např. ze souřadnic) jejich vzdálenost (délka) *L*, dále se určí délka delší tečny t_{O1} (např. ze situace, z návaznosti na předchozí úpravu) a při známém úhlu β se vypočte délka kratší tečny oblouku t_{O2} .Výpočet poloosy (parametru) lemniskáty se provede obdobou vzorce 7.04. Určení polohy podrobných bodů a délky oblouku je stejné jako u souměrného oblouku.

Vhodná délka lemniskátového oblouku závisí na poměru šířky koryta ve březích k jeho hloubce. Je-li tento poměr *B*/*H* = 4, je vhodná délka tětivy 45 m, pro poměr *B*/*H* = 6 je to 34 m, pro poměr *B*/H = 8 je to 26 m, pro poměr *B*/H = 10 je to 21 m a pro poměr *B*/H = 16 to je 14 m.

U lemniskátových oblouků nejsou přímé úseky mezi oblouky potřebné. Navrhují se zejména při použití nesouměrných lemniskát na straně s kratší tečnou, a tedy s větší křivostí.

Pro vytyčování lemniskátových oblouků se použijí např. tabulky podle T. Ježdíka.

Postup vytyčení:

1) Souměrný lemniskátový oblouk:
   a) na základě místních podmínek volíme začátek, konec a střed oblouku,
   b) ze situace se určí délka průvodiče *L* a hodnota φ;
   c) z tabulky určíme délku poloosy *a* pro dané φ vydělením skutečné délky *L* odpovídající tabulkovou hodnotou;
   d) volíme délku souřadnice *x* na tečně od začátku oblouku, vydělíme *a* a pro tuto hodnotu určíme z tabulek odpovídající hodnotu *y* pro *a* = 1.
2) Nesouměrný lemniskátový oblouk – postup je stejný jako u souměrného lemniskátového oblouku, volí se pouze začátek a konec lemniskátového oblouku.

K výpočtu souřadnic podrobných bodů lze také použít starší způsob řešením pomocí vytyčovacích tabulek.

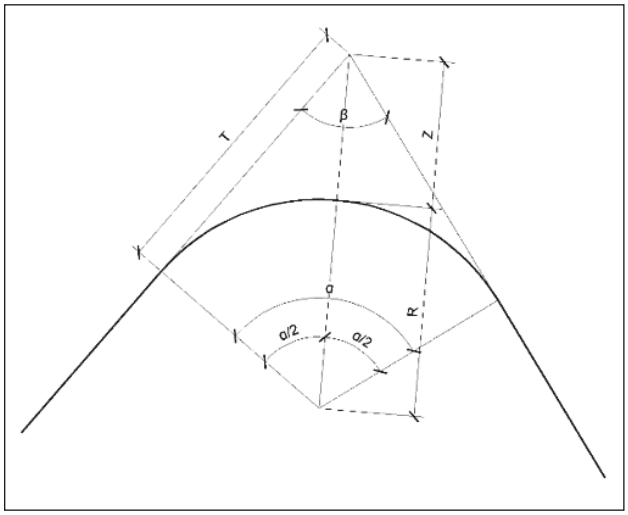
7.2 Kružnicový oblouk

V případech, které jsou uvedeny v ČSN 75 2106-1 *Hrazení bystřin a strží – Část 1: Obecně*, se do tečnového polygonu vloží kružnicové oblouky. Pro jednoznačné určení oblouku složeného z *n* kružnic je podmínkou znalost právě postačujícího a nutného počtu prvků:

$$p = (2n - 1) \qquad (7.05)$$

Prostý oblouk kružnice je tedy definován právě třemi prvky (n = 1). Pokud je znám větší počet prvků, je nutné na základě kvalifikované úvahy vybrat právě jen tři nejvýznamnější. Nejčastěji se různě kombinují tečna, bod a poloměr. Volba tečen zaručuje návaznost úpravy na starý stav, volba poloměru reaguje na podmínky norem pro jeho minimální velikost, volba bodu splňuje podmínku zachování určitého prvku (propustek, technické zařízení apod.). Ze tří daných prvků se počítají další prvky, nutné k výpočtu souřadnic hlavních bodů a hlavních prvků oblouku.

7.2.1 Prostý kružnicový oblouk



Obrázek 7-4: *Prostý kružnicový oblouk.*

V obr. 7.4 je úhel tečen označen β a r je poloměrem oblouku, přičemž pro středový úhel α platí:

$$\alpha + \beta = 2r \tag{7.06}$$

Poznámka: Pokud je průsečík tečen nepřístupný (leží např. v budově, v lese, ve vodě apod.), nelze určit úhel tečen β přímo. Pro nepřímé určení úhlu tečen se zvolí na každé z tečen po jednom vhodném bodu, mezi nimiž je přímá viditelnost. Na těchto bodech se zaměří na další bod ležící bezpečně v přímé na téže tečně a na zvolený bod na druhé tečně; tím získáme úhel ω_1, obdobně ω_2. V rovinném trojúhelníku (s vrcholy v koncových bodech oblouku a v průsečíku tečen) platí: $\beta = 2r - [(\omega_1 - 2r) + (2r - \omega_2)]$. Ve složitějších případech je nutné mezi pomocné body vsunout pouze úhlově měřený polygonový pořad. Součet vnitřních úhlů uzavřeného n-úhelníku je $(n - 2) \times 2r$.

Poté lze vypočítat potřebné hlavní prvky oblouku:

1. délka tečny t

$$t = r \times \tan\frac{\alpha}{2} \tag{7.07}$$

2. půlící bod oblouku (V, styk větví), který lze vytyčit
   a) polárně z průsečíku tečen po symetrále úhlu β pomocí vzdálenosti z

$$z = r \times \left(\frac{1}{\cos\frac{\alpha}{2}} - 1\right) \tag{7.08}$$

   b) pravoúhlými souřadnicemi od tečny (z dotykových bodů)

$$x_V = r \times \sin\frac{\alpha}{2} \tag{7.09}$$

$$y_V = r \times \left(1 - \cos\frac{\alpha}{2}\right) \tag{7.10}$$

Další způsob vytýčení bodu V je založen na skutečnosti, že leží v polovině délky jím vedené vrcholové tečny.

Možné je vytyčení i pomocí pravoúhlých souřadnic od tětivy, vedené mezi koncovými body, pomocí vzepětí h *podle vzorce*

$$h = r \times \left(1 - \cos\frac{\alpha}{2}\right) \tag{7.11}$$

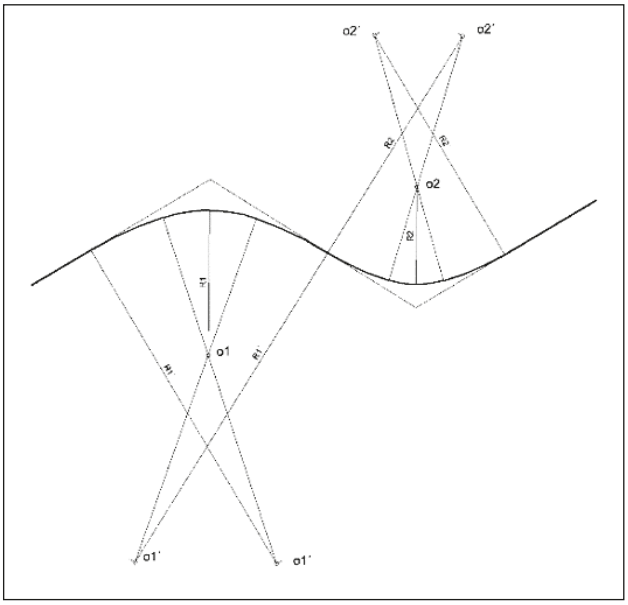
3. délka oblouku

$$o = r \times \operatorname{arc}\alpha \tag{7.12}$$

Při vytyčování podrobných bodů z koncových bodů oblouků je vhodné postupovat od vrcholu (půlícího bodu) směrem ke stanovisku přístroje.

7.2.2 Složený kružnicový oblouk

V určitých případech (např. při velkém úhlu tečen) lze lemniskátu nahradit složenými kružnicovými oblouky. Pro technicky účinné a z hlediska tvorby krajiny vyhovující vložení trasy do terénu se používají oblouky složené z více kružnic větších poloměrů bez vložených přechodnic. U vodotečí se jedná o obdobu přirozeného meandrování toku.



Obrázek 7-5: *Napojení dvou oblouků s malou křivostí, patrné je vynechání přímého úseku.*

Řešení vždy začíná kružnicí, která je dána úplně, tj. třemi prvky. Za základní rozhodnutí lze považovat volbu stejnosměrného nebo protisměrného oblouku. Je třeba poznamenat, že některá zadání nejsou matematicky řešitelná, nebo výsledek je technicky nepřijatelný (např. záporný poloměr). Protisměrný oblouk (obr. 7-5) je řešitelný vždy, stejnosměrný jen za dodržení určitých podmínek. Ty jsou stejně jako postup výpočtu uvedeny

v běžné literatuře. V případě kružnicových oblouků pro poloměr oblouku platí $r > 6 \times B$, kde B je šířka koryta v březích, nejméně však 40 m. Mezi protisměrné kružnicové oblouky je třeba vkládat přímý úsek délky $2B$ až $4B$. Tento požadavek se neuplatní u oblouků s malou křivostí, tj. pro $r > 150$ m.

Nevýhodou tohoto řešení je vyšší pracnost tvorby pomocného řídícího polygonu, který by vyhovoval navrhované trase. Z tohoto pohledu je lemniskáta pro svoji flexibilitu jednodušší. Naopak výhodou tohoto řešení je možnost provádět návrh přímo v prostředí programu AutoDESK AutoCAD a následně trasu dynamicky modelovat. Trasu s lemniskátovými oblouky je nutné v tomto programu simulovat obecnou lomenou čarou bez možnosti dynamické editace vrcholů polygonu a bez automatického vyznačování hlavních bodů trasy a hlavních bodů oblouku.

8 VYUŽITÍ VEGETACE PŘI HRAZENÍ BYSTŘIN A STRŽÍ

doc. Ing. Karel Zlatuška, CSc.; doc. Ing. Luboš Úradníček, CSc.; Ing. Boleslav Jelínek, Ph.D.; Ing. Marie Straková, Ph.D.; Ing. Martin Vaníček, Ph.D.

8.1 Břehové a doprovodné porosty dřevin

Využití porostů dřevin při hrazení bystřin a strží, resp. při lesnickotechnických melioracích obecně, nespočívá pouze v zakládání břehových porostů, ale i ve využívání vodoochranných a půdoochranných funkcí doprovodných porostů a lesních porostů v povodí vodních toků obecně. Zatímco břehové porosty (na březích koryta) mají výrazně liniový charakter kopírující trasu vodního toku, doprovodné porosty mají šířku výrazně větší a jsou tak spíše lesními porosty, ovšem primárně určenými pro plnění výše uvedených specifických funkcí. Prakticky bývá břehový porost situován do koryta vodního toku až po jeho břehovou hranu, v případě dřevin většího vzrůstu zahrnují obvykle ještě 1 až 2 řady vně břehové hrany. Porosty za touto hranicí jsou již porosty doprovodnými.

Hlavním cílem zakládání břehových a doprovodných porostů dřevin je vytvoření vegetačního společenstva, které svou druhovou skladbou a prostorovým uspořádáním bude nejlépe plnit požadované funkce. Při zakládání uvedených porostů dřevin se používají dřeviny stanovištně vhodné dřeviny a vykazující požadované vlastnosti (rychlost růstu, tvar kořenového systému, výmladnost, regenerační schopnost atd.). Přehled vlastností jednotlivých druhů vhodných dřevin je uveden v příloze těchto technických doporučení.

Břehové porosty dřevin obecně bývají převážně tvořeny listnatými dřevinami; jehličnaté dřeviny by měly dosahovat vyššího zastoupení jen v plošných výsadbách s převažující infiltrační funkcí. V břehových porostech vodních toků se jehličnany vyskytují jen v horských a podhorských oblastech, mimo dosah pravidelného kolísání vodní hladiny. Nejvhodnějšími stromovými dřevinami pro zakládání břehových porostů jsou především olše, jasany, javory lípy a duby. Specifickou skupinou dřevin běžně využívaných pro zakládání břehových a doprovodných porostů jsou keře (nejčastěji vrby). Ty svým melioračním účinkem záhy začnou zlepšovat strukturu půdy a zároveň chrání půdu proti erozi po dobu, než tuto funkci začnou plnit stromové dřeviny.

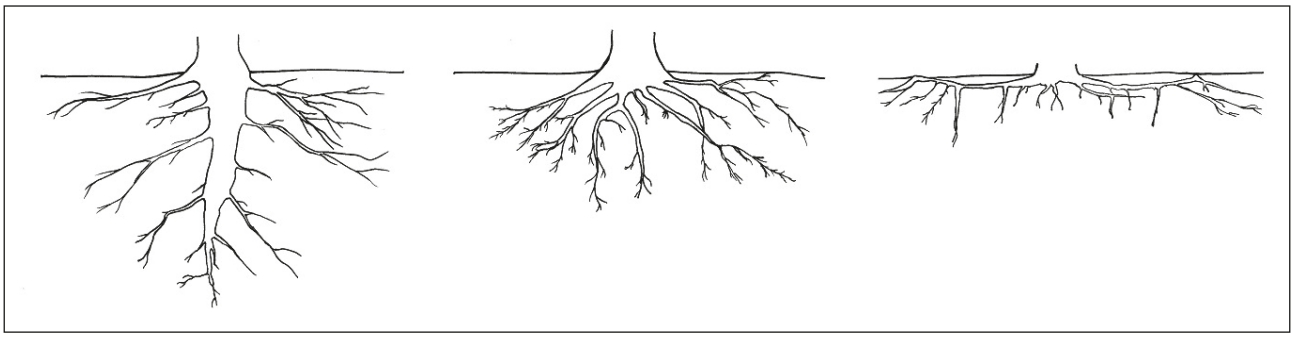
Nepůvodní druhy dřevin se do břehových a doprovodných porostů navrhují spíše ve zvláštních případech a podle možností daných právní úpravou ochrany přírody (záměrné rozšíření geograficky nepůvodního druhu rostliny do krajiny je možné jen s povolením orgánu ochrany přírody; geograficky nepůvodním druhem rostliny je takový druh, který není součástí přirozených společenstev určitého regionu).

8.1.1 Teoretická východiska

Základní funkcí břehového i doprovodného porostu při zahrazovacích pracích je jeho protierozní účinek, při kterém se nejlépe uplatňují kořenové soustavy dřevin. Kořeny působí optimálně tehdy, když jsou rozložené i na povrchu břehu, protože tehdy je dotyková plocha půdy s vodou menší, a drsný a nerovný povrch kořenů snižuje rychlost proudící vody, resp. unášecí sílu.

Při návrhu výsadeb se vychází z obvyklé architektury kořenového systému jednotlivých druhů dřevin. K typizaci architektury kořenového systému se používá tradiční klasifikace, vycházející z charakteru kostry kořenového systému v jeho centrální části. Jako doplňkový údaj bývá někdy uváděna hustota kořenového systému. Na základě kostry kořenového systému v jeho centrální části se rozlišují tři základní typy:

- Kůlový kořenový systém má především dominující silný kůlový kořen a dále pak kořeny vodorovné, z nichž vyrůstá větší či menší počet kořenů kotevních. Tento architektonický typ má v juvenilní fázi vývoje téměř každý strom, teprve později se postupně mění, kůlový kořen je potlačen, krní až odumírá a vytváří se další typ kořenového systému.
- Srdčitý kořenový systém je typický zejména kosterními kořeny. Kůlový kořen chybí, případně je jen slabě vyvinut. Horizontální kořeny nejsou tak výrazné a brzy se větví. Protože toto časné větvení je typické i pro silné kořeny, je prokořenění půdy obvykle intenzivnější než u ostatních dvou typů kořenových systémů.
- Povrchový kořenový systém má dominantní horizontální kořeny. Z těchto bočních kořenů vyrůstají se zvyšujícím se věkem víceméně svislé kotevní kořeny. Někdy bývá tento typ kořenové architektury považován za typ více podmíněný podmínkami stanoviště než taxonomicky nebo geneticky. Charakter povrchového kořenového systému získávají ve vyšším věku často i oba výše uvedené typy tím, že z báze kmene vyrůstají nové horizontální kořeny a původní vertikální kořeny odumřou.



Obrázek 8-1: *Ukázka kořenového systému kůlového, srdčitého a povrchového (zleva).*

Velký význam má i hustota kosterních kořenů pod korunovým prostorem. Z listnáčů vytvářejí husté prokořenění vrby, olše, jilmy, jasan, habr, bříza a buk. Mimořádně husté je u lip. Naproti tomu velmi malou hustotu mají duby a ořešáky. Z jehličnanů má nejmenší hustotu kořenů borovice a poté jedle, naopak vysoká je u modřínu a nejvyšší u douglasky. Hustota prokořenění je vždy největší v blízkosti kmene. Jehličnany všeobecně mají podstatně menší hustotu koncových kořínků než listnáče. Hustota prokořenění nicméně podléhá velkým výkyvům dle stanovištních podmínek (nejvýznamnější podpůrný vliv na prokořenění má množství humusu v půdě).

Na stanovištích s vysokou hladinou podzemní vody a dlouhodobě zaplavovaných je potřeba volit dřeviny, které tato stanoviště snášejí a jsou schopné i za těchto podmínek zachovat funkční kořenový systém. Vhodné jsou vrby a olše lepkavá. Jejich kořenový systém velmi dobře regeneruje a funkční zůstávají i silné (kosterní) kořeny. Jejich kořeny jsou rovněž schopné růst trvale pod vodou.

Při určitém zobecnění je možné vycházet z toho, že tvar kořenových systémů se většinou vyvíjí ve sklonu 1 : 1 až 1 : 1,5. Z hlediska hloubky prokořenění se u hluboko kořenících stromů na příznivých stanovištích velká většina kořenové masy nachází do hloubky 1 m.

Kořenový talíř má u hluboko kořenících stromů v dobrých podmínkách zhruba stejný průměr jako koruna. Naproti tomu na chudých půdách, kde obvykle bývá kořenový systém nejmohutnější, může být až trojnásobkem průměru koruny, či ještě rozsáhlejší (např. u topolů mohou kořeny sahat až do vzdálenosti 35 m).

8.1.2 Prostorové uspořádání

Při projektování, zakládání i údržbě porostů dřevin se řeší prostorová kombinace různých druhů dřevin a umístění jednotlivých jedinců ve vztahu k vodní hladině i vůči sobě navzájem. Limitující je samozřejmě prostorové vymezení pozemku vodního toku vůči sousedním pozemkům jiných vlastníků a možnosti správce vodního toku při údržbě porostů.

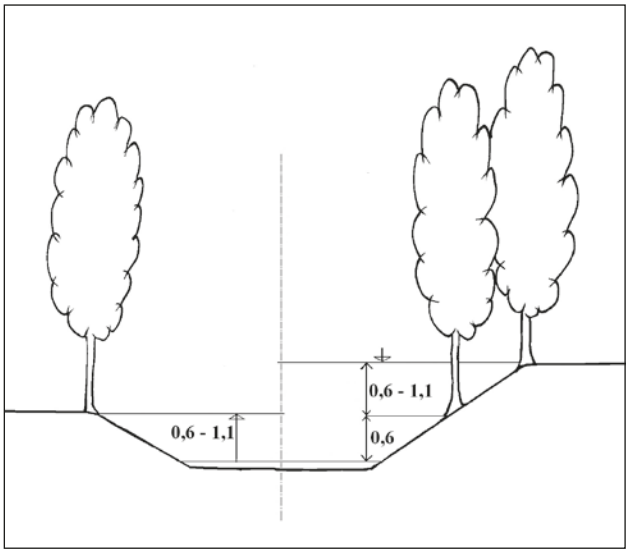
Z ekologického ani z krajinářského hlediska nejsou nejvhodnějším řešením jednořadé (alejové) výsadby, jejichž stabilita je nedostatečná. Požadované funkce mnohem lépe plní víceřadé a plošné výsadby stromů doplněné keři. Doporučuje se proto nejméně čtyřřadý porost dřevin stromového vzrůstu s jednou nebo několika řadami v korytě a nejméně pětiřadý porost dřevin stromového vzrůstu zakládaný za břehovou hranou (platí, že okrajové řady jsou nejčastěji poškozované a jejich netvární jedinci se v průběhu údržby porostu odstraní).

Stromy rostoucí v průtočném profilu vodního toku se pěstují jako kmenové porosty (nikoli pařezina), aby bylo zaručeno nasazení jejich koruny nad úrovní břehové hrany.

Při zakládání porostu je vhodné ponechat část původního porostu (nejlépe skupiny vzrostlých dřevin) a novou výsadbu provádět ve vazbě na ně a pod jejich ochranou. Obdobně je možné využít přilehlých porostů (mají-li vhodné druhové složení) jako zdroje semen pro iniciaci přirozené sukcese. Přestárlé dřeviny, vývraty a proschlé dřeviny se odstraňují před zahájením výsadby nových dřevin, aby nedošlo k poškození nové výsadby.

V případě návrhu pouze keřových porostů je vhodná skupinová výsadba, a to střídavě po obou stranách toku (nikoli souvislý pás po obou stranách). Nutná je soustavná a pravidelná údržba keřových porostů v průtočném profilu spočívající v pravidelném seřezávání keřů (obvykle jednou za dva roky). Jejich kmínky tak budou tenké a ohebné, v případě povodňových průtoků dojde k jejich žádoucímu ohnutí a přitisknutí k půdnímu povrchu. Tím je zajištěna ochrana břehu, snížení rychlosti vody při povrchu půdy a zachování průtočného profilu.

První řada dřevin se vysazuje min. 0,6 m nad „normální“ vodní hladinu (jedná se o vertikální vzdálenosti od hladiny Q_{330d} nebo od Q_a, nikoliv od Q_N). Druhá řada dřevin se pak vysazuje o 0,6 až 1,1 m nad nižší řadu.



Obrázek 8-2: *Poloha břehového porostu dřevin v korytě vodního toku.*

Za břehovými hranami se umisťují dřeviny doprovodného porostu v pásu, jehož šířka odpovídá prostorovým možnostem dané lokality. Z ekologického hlediska je optimální navrhovat prostorově i druhově členitý víceřadý doprovodný porost. Pokud tuto zásadu nelze dodržet, je nutné zajistit alespoň:

- minimálně dvouřadý doprovodný porost,
- porost o dvou etážích (s využitím keřového patra),
- zajištění kostry doprovodného porostu prostřednictvím dřevin dosahujících v dospělosti výšky 20 a více metrů,
- dostatečný odstup výsadeb od sousedních pozemků, zejména zemědělských (keře se vysazují minimálně 1 m a stromy 3 m od hranice sousedního pozemku).

Uvedené funkce může dobře plnit i lesní porost, kterým vodní tok protéká. Mimo les je vhodné větší mezery mezi skupinami vzrostlých stromů doplňovat solitéry, nebo menšími skupinkami nižších stromů a keřů.

U lesních porostů zakládaných ve stržích se zpravidla jedná původně o lesní pozemky. Při návrhu ochranných výsadeb je nutné zohlednit zejména sklon svahu a půdní a hydrické podmínky. Z počátku je potřeba rychle stabilizovat půdní povrch, k čemuž lze dobře využít zahuštěné výsadby. Je však třeba mít na paměti, že dřeviny postupně budou stále více zatěžovat svah, což by mohlo vést ke vzniku nátrží a k sesuvům. Na

těchto stanovištích je vhodné zvolit výsadbu keřů v pásech, šachovnicovitě uspořádaných skupinách apod., doplněnou výsadbou stromů ve větším sponu. Zpočátku tak budou stabilizační funkci plnit keře. Postupně odrůstající stromy tuto funkci převezmou a zároveň zastíní keře, čímž dojde k jejich proředění. Pokud jsou zvoleny hustší počáteční výsadby, je nutné zahájit včas pěstební zásahy a porosty proředit. Další možností, jak stabilizovat půdní povrch, je kombinace výsadby dřevin s rohožemi z přírodních přízí. Využití plastových mříží nebo matrací v kombinaci s výsadbou dřevin je problematické, neboť dochází k zaškrcování kmínků a kořenů.

8.1.3 Stanovištní vhodnost jednotlivých druhů dřevin

Vhodnost jednotlivých druhů dřevin a volba jejich směsi se odvozuje od stanovištních podmínek, z nichž nejdůležitějšími jsou půda, voda a ovzduší; ty mohou růst dřevin urychlovat nebo naopak brzdit, vliv mají též na zdravotní stav dřevin. Na nepříznivých stanovištích se zpravidla vyskytují málodruhové porosty, na běžných stanovištích naopak vznikají druhově bohaté a dynamicky se rozvíjející lesní porosty.

Bystřiny a horské potoky protékají dnem údolí, břehové a doprovodné porosty jsou proto zpravidla společenstvy vázanými na větší obsah vody v půdě. Půdní podmínky mohou být v závislosti na matečné hornině různé: od samotného zvětrávajícího skalního podloží přes balvanité plochy s ostrůvky s vyvinutým půdním profilem a minerálně chudé štěrkovité plochy či nánosy s hladinou podzemní vody kolísající podle hladiny vody v korytě toku až po jemnozrnné půdy s vysokým obsahem organických části nebo jílovité, s malou propustností pro vodu). Klimatické poměry porostů doprovázejících bystřiny a horské potoky jsou dány morfologií terénu (údolní polohy) a vyšší vlhkostí vzduchu. Obecně se jedná o polohy s nižší průměrnou teplotou a s vyšší pravděpodobností výskytu mrazu. V lesních porostech jsou tyto polohy více chráněny před větrem.

Prakticky lze předběžný stanovištní průzkum provést terénním průzkumem lokality zaměřeným na typické jevy. Spočívá ve zhodnocení:

- složení a zdravotního stavu stávajících porostů dřevin,
- polohy jednotlivých dřevin vůči toku (vzdálenost, četnost, smíšení),
- výskytu stromů indikujících sesuvné plochy (tzv. opilé stromy),
- zastoupení rostlin dobře indikujících stanovištní podmínky,
- přítomnosti podmáčených ploch, pramenů a vývěrů,
- přítomnosti vystupujících skalních výchozů,
- mocnosti a kvality nadložního humusu,
- typu půdy (nejlépe v obnažených půdních profilech),
- geologické stavby podloží,
- sklonitosti svahů bez nadložního humusu a bez vegetačního pokryvu (umožňují odhad úhlu přirozené sklonitosti zeminy).

Podrobněji je vhodné návrh vegetačního doprovodu na lesní půdě řešit podle lesních typů znázorněných v typologické lesnické mapě. Na nelesních pozemcích je vhodné vycházet z informací o skupinách typů geobiocénů, které se v dané lokalitě vyskytují. Tyto informace lze získat terénním mapováním nebo z některých veřejně přístupných databází (z územního plánu, z projektu pozemkové úpravy apod.). Pokud žádný z údajů není dostupný nebo dostupné údaje nejsou věrohodné, lze pro návrh stanovištně vhodné druhové směsi využít návrhy uvedené v příloze těchto technických doporučení.

Nejdůležitějšími soubory lesních typů (SLT) a skupinami typů geobiocénů (STG) odpovídajícími břehovým porostům jsou:

MĚKKÝ LUH – společenstva na zaplavovaném území aluvií řek, rozšířená převážně na jižní Moravě. Měkký luh (vrbotopolový luh) se vyskytuje na rovinách podél vodních toků, které jsou nejméně jednou ročně zaplavovány. Půdy jsou písčité, štěrkovité, ale i s hlinitými a hlinitopísčitými náplavy. Hladina podzemní vody je 0,5 až 1,5 m pod povrchem. Cílová skladba: topol 40 %, olše 40 %, vrba 20 %, jasan vtroušeně. Z vrb se vyskytují především vrba bílá, vrba křehká a jejich kříženci; z topolů topol černý, šedý a bílý. Keřové patro tvoří vrba červená, křehká a košíkářská. SLT 1G „mokřadní olšina“; STG AIS inf+sup = Alni glutinosae-saliceta inferiora et superiora, 1 BC 5b, 2-3 BC 5b.

PŘECHODOVÝ (TOPOLOVÝ) LUH – rozšířen na hlinitých a jílovitohlinitých, méně propustných půdách. Hladina podzemní vody je v hloubce 0,5 až 1,3 m, často však sahá až k povrchu. Cílová skladba: topol 50 %, olše 20 %, jasan 20 %, jilm 10 %, dub vtroušeně. Z keřů se vyskytují střemcha, svída, brslen, hloh, líska, krušina a jiné keře. SLT 1U „topolový luh“; STG UFrp inf+sup = Ulmi-fraxineta populi inferiora et superiora, 1 C (4)5a, 2-3 C (4)5a; STG Sa inf+sup = Saliceta albae inferiora et superiora, 1 B-C 5a, 2 B-C 5a.

TVRDÝ LUH – společenstva na náplavech řek, které jsou zaplavovány pouze občas. Nížinný tvrdý luh se vyskytuje v širokých říčních náplavech v nadmořské výšce 140 až 260 m n. m. Půdy jsou zde hlinitopísčité až jílovitohlinité, vlhké, černozemě nebo hnědozemě. Hladina podzemní vody je hlouběji něž 2,0 m pod povrchem. Cílová druhová skladba: dub letní 50 %, jasan 20 %, jilm 20 %, lípa 10 %, javor a topol vtroušeně. Při zakládání porostu je možno zařadit také habr, střemchu a babyku. Keřové patro tvoří bez černý, svída, hloh, brslen, líska, krušina, kalina a další keře. SLT 1L „nížinný luh“; STG QFr inf+sup = Querci roboris-fraxineta inferiora et superiora, 1 BC-C (4)5a, 2-3 BC-C (4)5a; STG UFrc inf+sup = Ulmi-fraxineta carpini inferiora et superiora, 1 BC-C (3)4, 2-3 BC-C (3)4.

POTOČNÍ JASENINA (PODHORSKÝ LUH) – vyskytuje se na širších aluviálních náplavech potočních niv v dolní a střední části toku v pahorkatinách ve výšce od 300 do 580 m n. m. Záplavy jsou zde občasné, hladina podzemní vody se pohybuje od 0,5 do 1,5 m pod povrchem. Potoční jasenině vyhovuje písčitohlinitá až hlinitopísčitá hnědozemní půda se štěrkovou spodinou. Cílové složení porostu: jasan 40 %, dub 20 %, olše 20 %, jilm 10 %, javor 10 %, lípa vtroušeně. SLT 2L „pahorkatinný luh“; STG UFrc sup = Ulmi-fraxineta carpini superiora, 2-3 BC-C (3)4.

VLHKÁ HABROVÁ DOUBRAVA – zaujímá roviny s bohatě oglejenými hnědozeměmi nebo humózními gleji od 200 do

450 m n. m. Půdy jsou hluboké, vlhké, hlinité až jílovitohlinité. Cílová skladba dřevin: dub 50 %, jasan 20 %, jilm 20 %, javor 10 %, modřín a lípa vtroušeně. SLT 1V „vlhká habrová doubrava"; STG TQac inf+sup = Tili-querceta roboris-aceris inferiora et superiora, 1 BC-C (3)4, 2 BC-C (3)4.

JASANOVÉ OLŠINY – vyskytují se v pahorkatinách a vrchovinách podél toků a pramenišť, kde jsou půdní poměry velmi proměnlivé. V terénních sníženinách s glejem nebo semiglejem hladina podzemní vody často sahají až k povrchu nebo je v hloubce 0,2 až 0,5 m po povrchem. V horních úsecích toků jsou jasanové olšiny na mladých aluviálních náplavech. Rozlišuje se jasanová olšina potoční a jasanová olšina prameništní.

JASANOVÁ OLŠINA POTOČNÍ – doprovází potoky a vyskytuje se často v jejich inundacích s pravidelnými záplavami. Cílová skladba dřevin: olše 60 %, jasan 40 %, javor a smrk vtroušeně. V nižších polohách je možno při výsadbě použít též dub a habr. Keřové patro tvoří líska, střemcha, řídce brslen a hloh. SLT 3L „jasanoolšový luh" nebo 5L „montánní jasanová olšina potoční"; STG FrAl inf+sup = Fraxini-alneta inferiora et superiora, 2-3 BC-C (4)5a, 4-5 BC-C (4)5a; STG FrAlac inf+sup = Fraxini-alneta aceris inferiora et superiora, (2)3 BC 4(5a), 4-5 BC 4(5a).

JASANOVÁ OLŠINA PRAMENIŠTNÍ – rozšířena v okolí pramenišť na zabahněných glejích. Cílová skladba dřevin: olše 80 %, jasan 20 %, smrk vtroušeně. SLT 3L „jasanoolšový luh" nebo 5L „montánní (jasano)olšový luh"; STG FrAl inf+sup = Fraxini-alneta inferiora et superiora, 2-3 BC-C (4)5a.

LUH OLŠE ŠEDÉ – osidluje aluviální náplavy potoků v horských oblastech ve vyšších polohách, především v Karpatech. V sudetohercynské oblasti na Šumavě, v Krkonoších, Sudetském mezihoří, Jizerských horách a v Jeseníkách se nad 750 m n. m. vyskytuje zřídka. Více rozšířeny je zde ve výškách pod 750 m n. m., ale sestupuje až do poloh kolem 500 m n. m., kde navazuje na jasanové olšiny. Ekologické podmínky výskytu jsou dány klimatickými a půdními poměry. Z klimatických faktorů je to chladné mezoklima údolí, mlhy, jarní mrazíky, vysoká vzdušná a půdní vlhkost a záplavy z jarního tání sněhu. Půdní poměry jsou charakterizovány hlinitopísčitými až písčitohlinitými, štěrkovitými a kamenitými náplavy. Cílová druhová skladba: olše šedá 80 %, javor klen 10 %, jasan 10 %, smrk příměs. Další přimíšenou dřevinou může být jilm, v nižších polohách olše lepkavá. Keřové patro tvoří krušina, střemcha, vrba ušatá, jeřáb, jíva a další. SLT 6L „luh olše šedé"; STG Ali = Alneta incanae, 6 BC-C 5a.

OLŠINY – jedná se o typ stanoviště, který se vyskytuje na menších, trvale zamokřených plochách. Nejběžnějším typem je olšina mokřadní.

OLŠINA MOKŘADNÍ – roste od nížin až do pahorkatin, ve výšce od 300 do 500 m n. m. Její rozšíření je vázáno na prohlubně a poklesliny s mírně stagnující vodou, s těžkými jílovitohlinitými a hlinitými, špatně propustnými půdami, např. v okolí rybníků, močálů, slepých ramen upravených toků apod. Cílová skladba dřevin: olše 100 %, jasan, vrba, osika vtroušeně. Keřové patro: krušina, bažinatá jíva. SLT 1G „mokřadní olšina"; STG Al inf+sup = Alneta inferiora et superiora, 1-2 BC-C (B-BD) 5b, 3-4 BC-C (B-BD) 5b.

8.1.4 Semenný a sadební materiál

Pro síji se využívá semenný materiál (plody a semena) stejné kvality, jako pro obnovu lesních pozemků (blíže ČSN 48 1211 *Lesní semenářství – Sběr, kvalita a zkoušky kvality semenného materiálu lesních dřevin*). Semenný materiál zejména nesmí být před výsevem naklíčený (neplatí pro dřeviny s velkými semeny – dub, buk, ořešák atp.).

Pro výsadbu se používá standardní sadební materiál lesních dřevin. Sadební materiál generativního původu (ze semene) se dále člení na semenáčky, sazenice, poloodrostky a odrostky (poloodrostky a odrostky nazývány též „špičáky") a dodává se prostokořenný nebo krytokořenný („obalovaná sadba"). Pro použití k výsadbě v extrémních podmínkách břehových a doprovodných porostů bystřin, horských potoků a strží je vhodné použít právě obalovanou sadbu. Při zahrazovacích pracích je možné také vyzvedávat semenáčky z přehoustlých náletů v blízkých lesních porostech; takto získané semenáčky mají částečně zachován kořenový bal.

U některých dřevin s velmi dobrou zakořeňovací schopností (zejm. topoly a vrby) se používá bezkořenný sadební materiál vegetativního původu – řízky, pruty a kůly. Nejčastěji se používají řízky, kterými se rozumí části jednoletého (nebo víceletého) výhonu dřeviny. Do některých biotechnických konstrukcí se používají celé pruty.

Řízky pro zahrazovací práce se získávají v lednu nebo v únoru, při odběru nesmí teplota vzduchu klesnout pod -2 °C. Řežou se nejlépe z prutů, rostoucích ve spodní části keře nebo stromu. Pro zakládání břehových a doprovodných porostů se používají řízky délky cca 30 cm a průměru cca 2 cm. Řez musí být hladký. Řízek musí mít 2 až 3 pupeny. Horní řez má být asi 1 cm nad pupenem kolmo k ose řízku, spodní řez se vede šikmo těsně pod dolním pupenem. Řízky se získávají z prutů, které se po nařezání uskladní v chladných skladištích nebo ve sněžných jamách. Zhotovené řízky se obvykle svazují po 50 až 100 kusech a uskladňují se v chladném prostoru uložené spodním koncem do vlhkého písku, popř. na vhodném místě venku v brázdách.

Pruty pro výsadbu mívají délku do 1,5 m a tloušťku do 4 cm, jsou rovné a málo rozvětvené. Kůly některé z rozměrů uvedených pro pruty převyšují, požadavky jsou obdobné.

8.1.5 Způsoby síje a sadby

Mezi nejčastější způsoby výsadby sadebního materiálu používané při zakládání břehových a doprovodných porostů patří jamková, štěrbinová a kopečková sadba pro poloodrostky a odrostky a kordónová sadba ve stržích. Ostatní způsoby výsadby sazenic jsou většinou z hlediska specifických půdních a klimatických poměrů podél vodních toků nevhodné.

Méně častým způsobem zakládání břehových a doprovodných porostů je síje do připravené půdy nebo na sníh. Zakládání břehových porostů síjí se pro většinu druhů dřevin v současné době neprovádí z důvodu zvýšených požadavků na péči o tyto výsevy a kultury a z důvodu dobré dostupnosti sadebního materiálu. Dodnes využívaným způsobem zakládání porostů je nicméně výsev břízy a olše na sníh. Jedná se o ruční výsev připraveného semene na malou vrstvu tajícího

sněhu v jarním období. Vrstva musí být jen tak silná, aby osivo bylo vodním proudem dopraveno na vhodné místo na povrchu půdy a aby neodteklo s proudem vody.

DOPRAVA SADEBNÍHO MATERIÁLU předcházejícího jeho výsadbě je riziková operace, která snižuje výhody použití sadebního materiálu ze školky oproti semenáčkům vyzvednutým z náletů blízko stavby. Sadební materiál je třeba během dopravy chránit před vysycháním, zapařením a přehřátím. Po celou dobu dopravy musí být kořenový systém zakrytý a zjevně vlhký. Pokud sadební materiál nelze ihned vysadit, je třeba sadební materiál na vlhkém a stinném místě založit do půdy nebo jej v přepravních obalech alespoň překrýt klestem nebo sítí. Délka založení se pohybuje pouze v řádu dnů (v závislosti na teplotě vzduchu a možnosti zálivky). Pro delší založení se používají sněžné jámy.

PŘÍPRAVA PŮDY zahrnuje úpravy půdního povrchu před jeho osetím nebo osázením vegetací mechanickým, biologickým, chemickým nebo kombinovaným způsobem. Většina obvyklých postupů je využitelná pro plošné výsadby dřevin, naopak pro břehové porosty dřevin v korytech lze použít jenom některé, resp. jejich modifikace. Ruční příprava půdy se užívá pouze na velmi malých plochách nebo na plochách nedostupných pro mechanizaci. Na strmých svazích, např. v korytech toků se obvykle provádí mechanizovaná příprava stavebními stroji pro zemní práce.

Základní operací při mechanické přípravě půdy pro plošné výsadby je orba, při které tažený lesní pluh svým pluhovým ostřím vodorovně odřezává asi 30 cm široký pruh zeminy a při posunu na ohrnovací desku jej obrátí o 180°. Dalšími způsoby mechanické přípravy půdy jsou brázdování, kopečkování (na silně zamokřených a zabuřenělých půdách) a jamkování (v korytech vodních toků a těsně za jejich břehovou hranou, zejm. na zabuřenělých půdách). Přípravu půdy pro jarní výsadbu se doporučuje provést na podzim předcházejícího roku, neboť zemina slehne a stabilizuje se a zároveň promrzne, čímž se zlepší její fyzikální vlastnosti.

Chemická příprava půdy zahrnuje vápnění, přihnojování, přidávání bazických mouček apod. Při přípravě půdy pro výsadbu dřevin v rámci zahrazovacích prací se vápnění nebo přidávání bazických mouček užívá ojediněle pouze pro plošné výsadby do půd s vysokým obsahem humusu nebo na základě půdního rozboru; v korytech se neprovádí. Celoplošné přihnojování se neprovádí; doporučuje se přihnojování tabletami při výsadbě sazenic. Herbicidy se pro celoplošnou přípravu půdy nepoužívají kromě ojedinělých případů tlumení invazních druhů bylin (např. křídlatka, rákos apod.); používají se však pro odstraňování nárostů ve stávajících konstrukcích po odstranění jejich nadzemních částí.

JAMKOVÁ SADBA je jedním z nejrozšířenějších druhů sadby, je vhodná pro všechny druhy dřevin. Nejvíce se používá pro výsadbu dřevin s povrchovým a srdčitým kořenovým systémem, poloodrostky a odrostky. Velikost jamky a její hloubka závisí na velikosti kořenového systému sazenice. Jamka je tak hluboká, aby vysazená sazenice byla ve vzpřímené poloze a kořenový krček byl v úrovni původního terénu (sadba úrovňová). Na lehkých a vysýchavých půdách lze sazenice zasadit o 1 až 2 cm níže (sadba hlubinná). Při sadbě vyvýšené je kořenový systém sazenice nad úrovní původního terénu, tento způsob sadby se používá zejména na zamokřených stanovištích a lokalitách ohrožených přízemními mrazíky. Při výsadbě obalovaných sazenic musí být povrch balu mírně pod úrovní terénu.

ŠTĚRBINOVÁ SADBA je druhým nejrozšířenějším druhem sadby, obdobně jako sadba jamková nevyžaduje přípravu půdy. Je používán pro semenáčky a menší sazenice s kůlovým kořenovým systémem. Používá se zejména na lehkých a humózních půdách. Nelze ji použít na půdách zamokřených, balvanitých a těžkých. Na půdách zabuřenělých je nutné nejprve odstranit drn. Pro štěrbinovou výsadbu se používá sazeč, který se zabodne do země a pohybem k sobě nebo od sebe vytvoří štěrbinu. Do ní se vloží sazenice tak, aby kořenový krček byl v úrovni terénu. Štěrbina se sazenicí se uzavře šikmým vpichem v její blízkosti a výkyvem se přitlačí půda k sazenici. Štěrbina po druhém zapíchnutí sazeče se uzavře zašlápnutím. Na stejném principu je založena strojní výsadba sazenic rýhovým zalesňovacím strojem.

KOPEČKOVÁ SADBA je modifikací jamkové sadby. Jamky se dělají na připravených kopečcích ze zeminy získané na místě nebo donesené; kořeny sazenice jsou nad úrovní původního terénu. Tento typ sadby je používán na zamokřených půdách, na mělkých půdách a na plochách ohrožených přízemními mrazíky. Kopečky je lepší připravit na podzim předcházejícího roku (přes zimu dojde ke zlepšení fyzikálních vlastností půdy a stabilizaci zeminy).

VÝSADBA OBALOVANÉHO SADEBNÍHO MATERIÁLU se provádí jamkovou sadbou nebo speciálními pomůckami (sázecí roury, duté rýče, sázecí trny, půdní vrtáky). Těmi se v půdě vytvoří otvor odpovídající 1,5násobku průměru kořenového balu sazenice. Do vzniklého otvoru je vložena sazenice tak, aby kořenový bal byl mírně pod úrovní terénu. Bal se následně překryje zeminou. Stěny jamky a její dno nesmí být hladké a zhutněné a působit jako překážka v růstu kořenů. Pokud je pěstební obal zcela prokořeněný, je potřeba jej na obvodu narušit. Přitom by nemělo dojít k jeho rozdrobení nebo výraznějšímu poškození.

KORDÓNOVÁ SADBA je speciálním způsobem výsadby používaným při zahrazování strží na velmi prudkých svazích (sklonitost 100–120 %). Ve směru vrstevnice se vykope ve svahu plocha šířky nejméně 0,5 m, jejíž dno je ukloněné proti svahu min. 10 % (optimálně 20–30 %). Vertikální (zadní) stěna je svislá. Na plochu terásky se rozloží kořenový systém sazenice a přihrne se zeminou odkopnutou ze svislé stěny. Na jeden metr se má vodorovně (do řady vedle sebe) položit nejméně 5 sazenic. Zbylý prostor terásky se vyplní zeminou odebíranou při tvorbě terásky výše ve svahu.

VÝSADBA BEZKOŘENNÉHO SADEBNÍHO MATERIÁLU se provádí na jaře (nejpozději do poloviny dubna). K zapichování dochází ihned po dopravě (bez zakládání), před dopravou a před výsadbou se sadební materiál na 1–2 hodiny namáčí do vody. Zapichování se provádí nejlépe na mokrých a zamokřených půdách (řízky a pruty zde nezasychají) vhodné zrnitosti (do štěrkovitých a kamenitých půd se řízky a pruty špatně zapichují). Před zápichem se vytváří odpovídající otvor sázecím kolíkem, železnou tyčí nebo vyvrtáním, po zasunutí sadebního materiálu se otvor opět utěsní. Řízky se většinou zapichují celé, pruty do hloubky cca 25 cm, kůly po hladinu spodní vody. Nad půdním povrchem se nechává minimálně jedno očko (pupen).

SPON SAZENIC se řídí druhem výsadby, vlastnostmi stanoviště, způsobem přípravy půdy, druhem dřeviny, použitým sadebním materiálem a požadovanou funkcí. Sazenice lesních dřevin při zakládání břehových a ochranných porostů se vysazují v menším spolu, než je běžné při obnově lesa, protože by se jinak nedosáhlo rychlého zapojení korun mladých porostů a vytvoření porostních vazeb. Na konkávním břehu, v příliš zakřivených obloucích, je vhodné vysazovat stromy ve sponu 1,0–1,7 m, u oblouků s malou křivostí ve sponu 2 m. Tento spon je vhodný i pro přímé úseky toku a konvexy oblouků. Vzdálenosti sazenic v řadě je možné upravovat podle potřeby, stejně jako rozestup řad. U keřových druhů je možné zvolit i menší spon; doporučuje se 0,7 × 0,7 m až 1,0 × 1,0 m. Menší spon se užívá na horších stanovištích a pro pomalu rostoucí dřeviny (např. buk). Větší spon se užije u dřevin se širokou korunou (např. dub a borovice) a u rychle rostoucích dřevin (např. olše, vrba a topol), zejm. na lepších stanovištích. V praxi se pro poloodrostky navrhuje spon 1,0 m a pro odrostky se navrhuje spon 1,5 m.

V případě použití řízků stromových druhů se doporučuje spon 0,3 × 0,3 m až 1,0 × 1,0 m, u keřových druhů pak spon od 0,1 × 0,1 m do 0,5 × 0,5 m. U některých druhů je rovněž možné použít silnější pruty ve sponu 1 × 1 m až 2 × 2 m.

V souhrnu jsou pro jednotlivé druhy stromových dřevin doporučeny spony podle tabulky 8-1.

Tabulka 8-1: Doporučené spony při řadových a skupinových výsadbách vyjmenovaných dřevin

DŘEVINA	ŘADOVÁ VÝSADBA		SKUPINOVÁ VÝSADBA	
	sadební materiál	spon (m)	sadební materiál	spon (m)
olše	odrostky	2,0–3,0	poloodrostky	2,0–2,0
vrba stromová	odrostky	2,0–6,0	poloodrostky, pruty	1,5–3,0
jasan	odrostky	3,0	polodrostky	3,0
javor	-	-	poloodrostky	2,0

DOBA VÝSADBY PROSTOKOŘENNÉHO SADEBNÍHO MATERIÁLU je zejména na jaře, které je vhodné pro všechny druhy dřevin. S výsadbou lze začít v době, kdy to umožní půdní podmínky (půda není zmrzlá nebo rozbahnělá) a teploty vzduchu jsou nad +5 °C. Výsadbu je třeba dočasně přerušit nebo ukončit, pokud nastalo půdní sucho, nebo stromkům roste již nový terminální výhon. Výsadba v květnu již rozhodně není vhodná.

Letní období je vhodné pouze pro sazenice jehličnanů (s výjimkou MD). Období výsadby je od poloviny srpna do poloviny září. Vysazované stromky musí mít ukončený výškový přírůst.

Nejvhodnějším termínem pro výsadbu listnáčů a modřínu je období od poloviny října do období zámrzu půdy. Sadební materiál musí být ve fázi hluboké dormance a nesmí již mít funkční asimilační aparát.

Zimní výsadba je nepřípustná. Výjimkou je výsadba poloodrostků, topolů a modřínu v předjaří.

Doba výsadby obalovaného sadebního materiálu odpovídá celému průběhu roku s výjimkou doby intenzivního růstu sadebního materiálu (nevyzrálý přírůst delší než 2 cm), doby půdního sucha, období zamrzlé nebo rozbahněné půdy a doby, kdy teplota vzduchu klesá pod -2 °C.

8.1.6 Péče o výsadbu

Po výsadbě je nutno o vysazené kultury dále pečovat a chránit je zejména před buření, zvěří a nepříznivými klimatickými vlivy. V prvním roce se doporučuje provádět kypření půdy, a to dvakrát až čtyřikrát ročně do hloubky 3 až 12 cm (podle stáří a druhu sadebního materiálu).

Zálivka výsadby poloodrostků a odrostků je s ohledem na jejich velikost nezbytná. Zálivka se provádí nejprve do sadební jamky a pak po vysazení na povrch sadební mísy. Množství vody je závislé na aktuálních klimatických podmínkách; doporučené množství vody je 50 l na každý vysazený strom a 20 l na každý vysazený keř. Další zálivka vysazených porostů je v některých případech problematická s ohledem na přístupnost porostu. Přesto se doporučuje v prvním roce po výsadbě provést celkem 10 dávek závlahy ke každému vysazenému jedinci. Uvedené údaje platí pro standardní průběh počasí. během vegetační sezóny. Zálivka plošných výsadeb lesních sazenic ani řízků nebo prutů se obvykle neprovádí.

Vysazené dřeviny je potřeba chránit ožínáním proti negativnímu vlivu buřeně. Doporučuje se jednou až dvakrát ročně provést ožnutí výsadeb, aby se omezila konkurence nežádoucích rostlin. Intenzivní ožínání se obvykle provádí po dobu tří let od založení porostu. Na suchých stanovištích je možné využít pokosenou biomasu pro mulčování.

Při chemické ochraně výsadeb proti zvěři se používají různé repelenty, které mají odpudit zvěř a omezit tak okus především na terminálních výhonech. Důležité je provést nátěr alespoň dvakrát za rok, aby se omezil jak zimní, tak letní okus. Mechanická ochrana výsadeb proti zvěři spočívá v instalaci různých chrániček terminálu, obalování rákosem, koudelí nebo jiným vhodným materiálem, případně v individuálním oplocení každého jedince. Při plošné ochraně se vybuduje oplocenka chránící celou plochu založeného porostu. K tomuto účelu se nejčastěji používá uzlíkové oborní pletivo vysoké alespoň 160 cm. Důležité je dolní okraj pletiva dobře přichytit k terénu kotvami nebo po celé délce zahrnout zeminou. Pletivo se instaluje na kůly o dostatečném průměru zapuštěné minimálně 40 cm do země. Zapuštěnou část kůlu je potřeba impregnovat nebo opálit. Kůly se instalují v rozestupu 3–4 m, alespoň každý třetí kůl se zavětruje. Tento způsob ochrany je potřeba dobře zvážit v lokalitách častých záplav, kde může negativním způsobem ovlivnit průtok. Stav oplocenky je potřeba minimálně třikrát ročně zkontrolovat a provést případné opravy, aby stále účinně chránila vysazené dřeviny před poškozováním zvěří. V případě rozsáhlejšího oplocování břehových porostů je třeba počítat s vytvářením průchodů pro zvěř.

Poté, co vysazení jedinci odrostou vlivu zvěře, nastupuje riziko jejich poškození vytloukáním, proti němuž již chemická ochrana a různé typy chrániček nefungují. Funkční mohou být dobře provedené oplůtky. Dobře provedená udržovaná oplocenka nicméně může chránit odrostlé výsadby i nadále a škody vytloukáním omezuje. Obdobná je situace i v případě ohryzu.

Jsou-li k založení porostu použity odrostky, je potřeba sazenice ukotvit pomocí kůlů. Doporučuje se kotvení alespoň dvěma kůly. Spolu s kůly se instaluje i individuální ochrana (nejčastěji z pletiva), která chrání vysazené dřeviny proti vytloukání a ohryzu.

Všechny typy ochrany se odstraní poté, co vysazení jedinci uvedeným negativním vlivům odrostou.

Pokud by došlo k nadměrnému úhynu výsadby nebo by vznikly větší mezery ve výsadbě, musí být provedena jejich náhrada, tzv. vylepšení a doplnění výsadeb. K vylepšení výsadeb je potřeba používat sadební materiál, který svou velikostí (výškou) odpovídá okolnímu porostu. Stejně jako při zakládání porostu se vylepšování provádí v jarním nebo podzimním období za vhodných klimatických podmínek.

Výchovné pěstební zásahy, které jsou nezbytné pro splnění účelu (funkce) vysazených porostů, spočívají především v odstraňování nežádoucích jedinců. Četnost pěstebních zásahů se odvíjí od druhu dřeviny, způsobu založení porostu a sponu. U hustších výsadeb stromů je potřeba první pěstební zásah provést zhruba 8–10 let po výsadbě. U porostů založených nahusto píchanými řízky či kůly je nutné provést pěstební zásah dříve.

8.1.7 Údržba porostů

Stávající i nově založené porosty je potřeba pravidelně kontrolovat, hodnotit jejich stav a funkčnost a případné zjištěné nedostatky včas napravovat. Kromě pravidelných kontrol je důležité provést kontrolu po každé povodni. Cílem je zejména:

- zhodnocení stavu porostu a návrh opatření směřujících k vytvoření věkově a prostorově diferencovaného porostu;
- zhodnocení vitality a provozní bezpečnosti stromů a případné zahájení postupné obnovy porostu;
- zhodnocení zdravotního stavu stromů, napadení škůdci a dřevokaznými houbami, poškození stromů zvěří, hospodářskými zvířaty, případně lidmi;
- vyhledání a ochrana ekologicky a esteticky hodnotných stromů;
- nalezení a náhrada dřevin s podemletým kořenovým systémem a stromů, u nichž hrozí pád do koryta toku;
- nalezení a odstranění dřevin zhoršujících průtočnost koryta.

8.2 Travní a travinobylinné porosty

Břehové porosty netvoří pouze porosty dřevin, ale velmi často i travní porosty a smíšené porosty travin a bylin. Typickým příkladem lokalit výskytu těchto porostů jsou souběhy a křížení vodních toků a nadzemních vedení inženýrských sítí. V některých případech se břehové porosty bez dřevin využívají pro úpravu mikroklimatu v korytě toku, ke zvýšení teploty vody nebo ke zvýšení slunečního záření dopadajícího na příbřežní vegetaci.

Jiná je funkce travních a travinobylinných porostů (TBP) při hrazení strží. Zatravnění upravených svahů strže je základním a nejrychlejším opatřením pro zakrytí povrchu z důvodu úpravy mikroklimatu a pro rychlou protierozní ochranu ploch před zalesněním, resp. zapojením vysazených porostů dřevin. Z hlediska časového průběhu stabilizace strže se jedná o přípravné, dočasné porosty.

8.2.1 Stabilizační porosty

Nejčastějším použitím travních porostů při hrazení bystřin a strží je zřízení stabilizačních porostů v korytech na březích bystřin, na svazích nad korytem a ve dnech strží. Obdobně lze travní porosty využít pro stabilizaci povrchu nátrží buď po sanaci celkové (např. po zřízení patky a po zasypání odtržené části břehu nebo svahu) nebo částečné (např. zajištění pouze paty svahu a ponechání povrchu vytvořeného při nátrži).

Stabilizační funkci travního porostu plní zapojený travní drn. Proto se zakládání travinobylinných porostů v tomto případě nedoporučuje. Výjimkou jsou přípravné porosty zejména s vikvovitými bylinami a sukcesní stadia uměle založených porostů s druhovou skladbou přizpůsobenou místním podmínkám.

Travní a travinobylinné porosty se dále využívají pro stabilizaci velkoplošně obnažených svahů, při sanaci zemníků a lomů a po dokončené sanaci nestabilních svahových území. V tomto případě se jedná o stabilizaci povrchové vrstvy zeminy, která umožní své prokořenění vegetací.

Stabilizační efekt travních i travinobylinných porostů lze částečně zvýšit použitím protierozních geotextilií trvalých nebo dočasných. V případě dočasných protierozních geotextilií se nejčastěji využívá okamžitá odolnost povrchu. Geotextilie v okamžiku založení travního porostu vykazuje stejnou hodnotu nevymílací rychlosti nebo tečného napětí jako projektované opevnění (travní drn, který se v požadované kvalitě ale vytvoří až za 2–3 roky).

8.2.2 Plošné porosty

Travní a travinobylinné porosty se užívají i mimo koryto, tedy za břehovou hranou. Tyto porosty mají zcela jiný charakter; obvykle jsou zakládány na rovině nebo na svazích s výrazně menším sklonem než v korytech bystřin a ve dnech strží. V případě bystřin a horských potoků je jejich zakládání vázáno na existenci nivy. Prakticky se jedná o pozemky dotčené stavebními pracemi na toku, které byly následně srovnány a připraveny pro založení vegetačního krytu. Takové porosty mají především funkci infiltrační, případně sedimentační. Porosty mají být navrženy tak, aby se znečištěná voda přitékající ze zemědělských pozemků nebo z ploch bez vegetačního pokryvu (např. z lesních cest, skladů dříví apod.) při průtoku porostem částečně nebo zcela vsákla a omezilo se tak množství nesených cizorodých chemických látek i splavenin a plavenin přitékající do koryta toku.

V případě ploch s větším sklonem je třeba počítat i s protierozní funkcí travních a travinobylinných porostů a podle toho volit druhové složení a případně i způsob založení.

8.2.3 Druhová skladba

Volba druhu směsi musí vycházet z přírodních podmínek, účelu porostu a ceny. Pro zatravnění při zahrazovacích pracích na bystřinách a na horských potocích se doporučují travní a travinobylinné směsi uvedené v příloze těchto technických doporučení.

Volba druhu směsi ve stržích je obdobná jako při zahrazovacích pracích na bystřinách a na horských potocích. Největším rozdílem je dočasnost zakládaných porostů, protože konečným cílem ochrany strží je vytvoření funkčního lesního porostu.

8.2.4 Osivo travin a bylin

V současné době se v naprosté většině případů užívá šlechtěné osivo nakoupené u odborné firmy. Alternativou je ponechání plochy spontánní sukcesi.

8.2.5 Příprava půdy

Obvyklý sklon břehů bystřin navrhovaný k zatravnění je 1 : 1,5 (až 1 : 3). Příprava půdy v korytech bystřin a horských potoků se v současné době provádí převážně stavebními stroji pro zemní práce (obvykle bagrem) s nezbytným minimem manuální práce (např. rovnání plochy hráběmi nebo hrably). Záleží na zkušenosti obsluhy bagru, do jaké míry je schopna povrch připravit nebo zda bude nutná manuální příprava. Pro přípravu půdy v korytě toku nelze uvažovat s obvyklými zemědělskými nebo zahradnickými stroji pro zakládání trávníků. Založení travního (případně travinobylinného) porostu přímo na minerální půdu se nedoporučuje. Koryta bystřiny a horských potoků jsou velmi často tvořena hlinito- a písčito-štěrkovými náplavami, které jsou minerálně chudé a velmi propustné.

Před výsevem nebo před drnováním je takové plochy nezbytné ohumusovat vrstvou ornice, lesní půdy nebo kompostu o tloušťce min. 150 mm (při strojním ohumusování); při ručním ohumusování na povrch bez výstupků a prohlubní se za dostatečnou považuje tloušťka 50 až 100 mm. Humózní vrstva se před osetím nehutní. Při ručním drnování je doporučená tloušťka humózní vrstvy pod drnovkami 50, max. 100 mm a je doporučeno ruční zhutnění této vrstvy drnovými tlouky. V některých případech je půda tvořící koryta bystřin přirozeně humózní, minerálně bohatá až přesycená a má dobré vlhkostní poměry. V takových případech se osévá a drnuje přímo na upravený povrch koryta bez ohumusování. Za naprosto minimální tloušťku připravené půdy se považuje 100 mm. Půdní podmínky v korytě nemusejí být jednotné a mohou se měnit nebo střídat. Způsob zatravnění je nutno těmto podmínkám přizpůsobit.

Povrch půdy připravené v rámci předsetťové přípravy nesmí obsahovat předměty větší než 5 cm (zbytky rostlin, kameny aj.). Půda na pozemku připraveném na výsev má být dostatečně prokypřená s jemně hrudkovitou půdní strukturou, s urovnaným povrchem, což usnadní nejenom vzcházení, ale i další péči o porost (zejména kosení).

V případě použití travních a travinobylinných porostů při hrazení strží je situace obdobná jako při zatravňování zemědělské půdy na strmých stanovištích. Svahy zemních a sprašových strží se upravují do sklonu blízkému úhlu přirozené sklonitosti zeminy (prakticky lze uvažovat o maximálních sklonech 1 : 2 až 1 : 3). V krátkém období po sanaci strže a založení porostu lze uvažovat o plném oslunění. Cílem úpravy je však zalesnění. Časem se bude vlivem vzrůstu dřevin a jejich zapojování do porostu plocha travních a travinobylinných porostů zmenšovat. Rychlost ústupu zatravnění ve prospěch lesních porostů bude závislá na mnoha faktorech a není možno ji předem odhadnout. Půdy ve stržích bývají chudé, ale dobře zásobené povrchovou i podzemní vodou. Ohumusování je vzhledem k rozsahu obnažených ploch téměř nerealizovatelné; humózní zemina se častěji používá do sadebních jam či rýh pro dřeviny. Půdní podmínky na plochách nemusejí být jednotné a mohou se měnit nebo střídat. Způsob zatravnění je nutno těmto podmínkám přizpůsobit.

V případě, že se na lokalitě nachází extrémně vysoký podíl vytrvalých plevelů nebo invazních druhů rostlin, je pro úspěšné založení a vývoj kvalitního rostlinného společenstva potřeba půdu před výsevem odplevelit. Výskyt jednoletých plevelů je běžný a není problémem. Mechanické odplevelení se upřednostňuje před aplikací přípravků na ochranu rostlin. Úspěšnost mechanického odplevelení vytrvalých plevelů, popř. likvidace staršího drnu je závislá na výkonnosti dostupné mechanizace a vývojové fázi plevele. Často je nutné provést několik operací zpracování půdy za sebou (orba, frézování). Při použití totálního herbicidu je nezbytné zvolit registrovaný přípravek vhodný do daného prostředí (koryta bystřin a horských potoků, jejich nivy, sesuvná území apod.).

8.2.6 Zakládání travních a travinobylinných porostů

V minulosti se uvažovalo s dlouhodobější a intenzivnější přípravou půdy pro plochy dotčené zahrazovacími pracemi včetně sanačních prací v zemnících, lomech a na plochách, na kterých se sloupával drn pro výrobu drnovek. V současné době je možno reálně uvažovat s využitím technologie krycí plodiny, přesněji krycí kultury. Tím nazýváme plodiny, do kterých se podsévají víceleté pícniny. Aplikace této technologie (jako součást protierozního řešení na svazích) se používá při výsevu druhově pestrých travinobylinných směsí s pomalým vývojem a nízkým výsevkem, které by neudržely svým kořenovým systémem horní vrstvu vegetačního substrátu a velmi pomalu by se zapojovaly. Pro tento účel je možné využít diploidní odrůdu jílku mnohokvětého (*Lolium multiflorum* var. *westerwoldicum*), který z porostu postupně ustoupí poté, co splní svoji protierozní funkci rychlým zapojením na svahu a částečným zastíněným pomalu vzcházejících druhů. Není žádoucí, aby krycí kultura na stanovišti zůstávala trvale, protože konkrétně jílek mnohokvětý svým habitem, nižší odolností vůči suchu a vysokou konkurenční schopností neodpovídá záměrům a ostatním požadavkům, které jsou kladeny na travinobylinné společenstvo.

K technologii použití krycí plodiny by se mělo při výsevech na svahy přistupovat především v těch případech, kdy je skutečně velmi pozdní termín výsevu směsi nebo v období, kdy hrozí přívalové deště. Z tohoto pohledu se jako nejvhodnější termín pro zakládání druhově pestrých porostů na svazích bez krycí plodiny jeví pozdní srpen a září.

Proces vývoje společenstva travních či travinobylinných směsí trvá několik let a stejně je tomu i při použití jílku mnohokvětého coby krycí plodiny pro ochranu porostu proti případné erozi na svahu. V prvním roce obvykle svah vypadá, jako by byl řídce oset pouze jílkem, ale během 2–3 let se začnou více a více objevovat kvetoucí druhy a suchovzdorné trávy. Jílek postupně vymrzá nebo zasychá. Jeho setrvání v porostu může být mimo jiné zapříčiněno vysemeněním při opožděném termínu seče.

Základním způsobem založení TBP je prostý výsev do připravené půdy. Základním předpokladem pro úspěšnost výsevu je kvalita osiva a vhodné složení výsevní směsi. Při manipulaci s jakoukoli směsí semen je třeba vždy zohlednit tzv. „samotřídění“, tj. separaci semen podle rozdílných fyzikálních vlastností (tvar, velikost, hmotnost) nebo díky výskytu osin nebo háčků na povrchu semen apod. Pro eliminaci tohoto jevu je

třeba výsevní směsi průběžně míchat, a tak v nich udržovat rovnoměrné rozložení semen. Dalšími významnými faktory jsou termín výsevu, předseťová příprava půdy a použité výsevní množství (výsevek), v neposlední řadě i lidský faktor.

Termín výsevu, a tím i vzejití kompletního porostu, ovlivňuje doba vzcházení jednotlivých druhů rostlin. Významnou roli hraje také dostatek vláhy. Travní směsi je možné vysévat po celou vegetační sezónu, ale nejvhodnějšími termíny jsou jaro a podzim. V případě hrazenářských prací se doporučuje výsev časně z jara po sejití sněhu nebo v termínu od počátku dubna do 15. května, nejlépe po teplém dešti; podzimní výsev se nedoporučuje.

Výsevní množství se v závislosti na typu směsi a účelu pěstování pohybuje zpravidla v rozmezí od 2 g/m^2 u krajinných trávníků do 20 g/m^2 u technických trávníků. Většina dodavatelů těchto typů směsí udává i doporučená výsevní množství pro konkrétní typy směsi.

Při zakládání TBP v korytech bystřin, horských potoků a strží se postupuje takto:

- na připravený svah se vyseje travní směs v předepsaném množství; výsev se provádí ručně nebo jednoduchými (ručními) stroji; pro lepší homogenitu a kontrolu výsevku se doporučuje osevní směs smíchat s pětinásobkem suchých a přesátých pilin,
- výsevek se zahrabe do půdy do hloubky max. 3 cm,
- následně se povrch lehce zhutní travními pěchy nebo údery lopatou na plocho,
- nakonec se provede první zálivka.

Alternativou prostého výsevu je zakládání TBP za podpory geotextilií. Při úvahách o použití geotextilií z přírodních přízí jako podpory zatravnění břehu je třeba stále mít na mysli, že cílem je zatravnění, nikoliv aplikace protierozních geotextilií. Vzhledem k tomu, že se jedná o práci se živým a měnícím se materiálem, není možno zpracovat jednoznačné a neměnné návody a doporučení. Naopak je třeba stále sledovat dříve realizované stavby a srovnávat záměr projektanta s realitou v přírodě. K tomu je třeba sledovat a navzájem oddělovat vliv jednotlivých činitelů, ovlivňujících výsledek nebo spíše přání projektanta.

V procesu navrhování je nezbytné zohlednit životnost geotextilie. Životnost, resp. protierozní funkčnost protierozní geotextilie z přírodních jutových přízí je 2 až 3 roky, u kokosových 3 až 6 let.

Protierozní geotextilie z přírodních jutových přízí o plošné hmotnosti 500 g.m^{-2} se používá na svazích o sklonu do 1 : 2 (extrémně do 1 : 1,5); protierozní geotextilie z přírodních kokosových přízí o plošné hmotnosti 400 g.m^{-2} do sklonu 1 : 1,5 (extrémně do 1 : 1); protierozní geotextilie z přírodních kokosových přízí o plošné hmotnosti 700 g.m^{-2} do sklonu 1 : 1 (extrémně strmější). Poznámka: „Extrémně“ znamená na velice krátkém svahu nebo v kombinaci s hydroosevem apod.
Postup při pokládání přírodních geotextilií je následující:

- Půdní profil musí být zpracován do hloubky cca 75 mm a musí být zbaven odpadů (igelitové pytle, dráty, betony apod.). Má-li být svah hladký, je vhodné jej zbavit velkých kamenů. V opačném případě je možno velké kameny, resp. plochy štěrkování (bez vrstvy humózní půdy) vynechat a nepokrývat sítí. V případě potřeby je možno půdu přihnojit. Mulčování a hydroosev se doporučuje jen u některých typů geotextilií, u rohoží jsou zbytečné. Stávající keřovou vegetaci na svahu je možno ponechat, je však nutno ji seřezat na cca 30 cm výšku. Při kladení na půdu se v příslušných místech oko geotextilie zvětší (rohož se prořízne křížem) a „navlékne“ se na keř.
- Nakypření povrchu a jeho vysvahování.
- Osetí svahu.
- Rozbalení pásů sítě směrem ze svahu dolů nebo podél paty svahu. Pásy je nutno překládat cca 100 až 200 mm a klást je tak, aby se pod ně nemohla dostat voda, při kladení podél paty svahu se tedy začíná od nejnižšího pásu.
- Síť je nutno rozložit volně a rovnoměrně, bez napínání. V prvním roce po položení sítě na svah dochází vlivem střídání klimatických podmínek k napínání a prodlužování sítě. Během první zimy dojde k zatlačení sítě do půdy a začnou biodegradační procesy (hnití). Potom délkové a plošné změny zmizí.
- Konce a cípy vrchního pruhu musí být zapuštěny do 150 mm hluboké brázdy (výkopu) a zajištěny kolíky (asi 3 kolíky na 1 m). Použití dřevěné tyče uchycené dřevěnými kolíky a zakopané do rýhy se neosvědčilo.
- Spodní konce nebo cípy musí být podhrnuty (zdvojeny) v délce minimálně 150 mm a zajištěny 3 kolíky na 1 m. Rovněž je možno spodní konec pruhu zajistit kameny (kamenným záhozem), laťovým plůtkem nebo záplatovým plůtkem, nebo je možno síť zasunout za rub stavebního objektu, na který chráněný svah navazuje (opěrná zeď, mostní křídlo apod.).
- Podélné spoje pruhů mají mít překryv 100 až 200 mm a doporučuje se je kotvit po 0,5 až 1 metru. Další řada kolíků se umísťuje do středu pruhu (šachovnicovitě) opět při rozestupu 0,5 až 1,0 m nebo podle potřeby (prohlubně apod.). Pro kotvení se používají dřevěné kolíky ze smrkového řeziva, dřevěné kolíky ze živých vrbových nebo olšových větví (kůlové sazenice), drátěné skoby z pružinového drátu, ocelové kolíky ze stavební žebírkové oceli nebo skalní hřeby. Výběr způsobu kotvení a délka jednotlivých prvků závisí na podloží. Do hlíny a písku se používají dřevěné kolíky nebo drátěné skoby, do štěrku dřevěné nebo ocelové kolíky, do podmáčených nebo sesouvajících se ploch živé dřevěné kolíky zasahující až za smykovou plochu. Obvyklé rozměry kotvících prvků jsou 30 x 30 x 300 mm.
- Pokládají-li se pruhy sítě po svahu, musí se jednotlivé role překrývat v délce alespoň 500 mm.

Hydroosev je způsob osévání ploch nástřikem, při kterém se rovnoměrně nanáší směs osiva, vody a dalších látek na určenou plochu. Největší význam hydroosevu spočívá v možnosti ozelenění těžko dostupných ploch, ploch s horší kvalitou podkladové zeminy či velmi příkrých svahů až 1 : 0,6. Vedle dopravních staveb je možno jej využít k zakládání travních a travinobylinných porostů při zahrazovacích pracích (na bystřinách i ve stržích) na všech plochách, na kterých je navrženo zatravnění. Hydroosev se provádí speciálním strojem (Hydroseeder), který aplikuje směs potřebných materiálů ze zásobníku postřikem na určenou plochu pod vysokým tlakem. Směs je navrhována v souladu s potřebami osévané plochy, většinou obsahuje osivo, vodu, hnojivo, organickou hmotu, pomocné půdní látky pro podpoření klíčení a růstu rostlin a protierozní přísady. Součástí směsi je také mulčovací materiál, který zajišťuje vyšší klíčivost,

kvalitnější zakořenění a zadržuje vlhkost. Jednotlivé typy mulčovacích materiálů se liší podle svažitosti terénu. Pro udržení směsi mulče a semen v místě nástřiku se používá fixátor, který usnadňuje průchod směsi hydroosevním zařízením a napomáhá samotnému klíčení. Optimální doba výsevu je od poloviny března do poloviny října, s vyloučením provádění hydroosevu v červenci a v srpnu, pokud to neumožní příznivé klimatické podmínky. V tomto období je nutné mezi komponenty hydroosevu zařadit pomocné půdní látky na bázi hydroabsorbentů, které mají schopnost poutat srážkovou vodu a zpřístupňovat ji znovu rostlinám. Výsevní množství osiva by mělo odpovídat typu směsi a mělo by být stejné jako při klasickém výsevu.

Drnování, resp. zakládání trávníku pokládkou travních koberců je způsob používaný v oblasti intenzivních trávníků. V minulosti bylo drnování mnohem více využíváno. Používal se přírodní drn získávaný na loukách v okolí stavby. Drnovky (drnové pásy nebo dlaždice) měly obvykle rozměr 0,3–0,4 × 0,3–0,4 × 0,05–0,10 m. Pokládka musí být provedena neprodleně, maximálně do 48 hodin od sloupnutí. Pokládka se provádí na zraněný, ale vyrovnaný povrch půdy, nebo se použije ohumusování. Při celoplošné pokládce se drnovky pokládají vodorovně (rovnoběžně se dnem bystřiny nebo strže) nebo šikmo k linii břehu. Pokládka je prováděna tak, aby mezi jednotlivými travními koberci nebyly podélné a příčné mezery. Při šachovnicové pokládce se drnovky střídají s plochami vyplněnými humusem na výšku drnovky (po zhutnění). Obvyklý poměr plochy drnovek a ohumusovaných ploch na břehu je 1 : 1. Zvláštním způsobem podélného vegetačního opevnění je tzv. drnování čelní nebo čelné. Jedná se o ukládání drnovek na sebe. Tento způsob je velmi efektivní a rychlý. Použití technologie drnování, resp. založení trávníku pokládáním travních koberců je podmíněno důkladnou následnou zálivkou v délce minimálně 3 týdnů. Intenzita zálivky závisí na vláhových poměrech v korytě bystřiny nebo strže a celková denní (přírodní i umělá) závlaha se doporučuje 2–5 $l.m^{-2}$.

Zatravnění pozemků může proběhnout i samovolně, tj. spontánní sukcesí. Spontánní sukcesi jako způsob založení porostu lze uvažovat pouze na plochách břehových porostů a v omezené míře na březích strží; sukcesní TBP v korytech bystřin se nedoporučují s ohledem na málo předvídatelný cíl a termín dosažení projektovaného stupně opevnění. Spontánní sukcese v našich podmínkách vede ve výsledku téměř vždy k porostům dřevin. Výjimkou jsou jen velmi suchá, nebo naopak některá zamokřená místa. Cíleně se tato metoda s následným sečením při zakládání travních a travinobylinných porostů při hrazenářských úpravách užívá výjimečně.

8.2.7 Péče o travní a travinobylinné porosty

Rozsah péče o TBP při hrazenářských úpravách souvisí s jejich účelem – opevnění koryta toku a protierozní ochrana. Vzhledem ke způsobu správy bystřiny a požadavku na minimalizaci údržby je nezbytné navrhnout takové zatravnění, u něhož bude většina operací soustředěna na založení porostu a na období v délce cca 3 týdny, tj. do vzejití porostu. V dalším období přichází v úvahu pouze sečení s uvažovanou intenzitou 1x za rok. V případě neúspěšného vzejití osiva nebo nezakořenění drnovek, změny mikroklimatu nebo poškození zvěří (např. divočáky) lze uvažovat s dosetím.

Kromě doby od založení délky 3 týdny se při hrazenářských úpravách se závlahou TBP nepočítá. Se zálivkou po založení je proto nutno počítat ještě v rámci harmonogramu stavebních prací. Při zálivce je nezbytné volit takovou technologii aplikace, aby vodní proud nepoškodil svahy (odhadem 5 $l.m^{-2}$ na jednu závlahovou dávku).

Hnojení a vápnění TBP při hrazenářských úpravách v korytech se kromě úpravy půdních vlastností před založením porostu neprovádí, případně se hnojení řeší společně s ohumusováním. Při zakládání plošných porostů se hnojení a vápnění provádí na základě pedologických rozborů podle toho, zda je porost cílovým porostem, nebo dočasným porostem před zapojením břehového porostu dřevin a zda se provádí ohumusování či nikoliv. Hnojení nebo vápnění pro trvalé porosty se může provádět celoplošně, pro dočasné porosty je hnojení nebo vápnění součástí přípravy půdy pro výsadbu dřevin.

Vlastní přísev se provádí dosetím travní nebo travinobylinné směsi do narušeného travního drnu nebo travinobylinného porostu zpravidla ručně. K přísevu lze použít rostlinné travní a bylinné druhy včetně jetelovin, které mají rychlejší vývoj a vyšší konkurenceschopnost. Před samotným přísevem je důležité porost nízko pokosit a odklidit posečenou hmotu.

Nejvhodnějším způsobem ošetřování TBP při hrazenářských úpravách je jejich sečení. U nesečených porostů dochází k hromadění stařiny, která braní růstu semenáčků, a omezuje tak zvyšování druhové pestrosti porostů. V nesečených porostech také dochází k rozšiřování nežádoucích plevelných druhů, jako jsou šťovíky, pcháče, kopřivy, třtina křovištní aj. Dalším rizikem, spojeným s extenzivním využíváním travních porostů, je zarůstání náletovými dřevinami.

První sečení se provádí na výšku kolem 8–10 cm v době výšky porostu 20–30 cm. Hlavním cílem prvního sečení je potlačení jednoletých plevelů v porostu a zlepšení světelných podmínek pro pomaleji se vyvíjející druhy.

Pro plochy břehových porostů bystřin mimo koryta a břehů strží se jako nejvhodnější žací stroj jeví žací lišta nesená na traktoru. Na březích bystřin a při velké fragmentaci porostů se sečení provádí motorovou kosou, jejíž použití je nejšetrnější vůči mladým rostlinám. V dalších letech je prováděna zpravidla jedna seč v období června, popř. druhá v září. Posečenou hmotu je třeba odstranit, i když za určitých podmínek je možné materiál ponechat 2–5 dnů na ploše, aby došlo k vydrolení dozrálých semen, a hmotu odstranit až poté.

9 SEZNAM DOPORUČENÝCH MATERIÁLŮ A DÍLCŮ

Ing. Adam Vokurka, Ph.D.; doc. Ing. Karel Zlatuška, Ph.D.; Ing. Miroslav Brouček Ph.D.

9.1 Dřevo, klest, proutí

Pro navrhování hrazenářských objektů a konstrukcí ze dřeva jako inženýrských konstrukcí platí ČSN EN 1995-1-1 *Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla – Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Požadavky na dříví jako konstrukční materiál pro vodohospodářské stavby ale nejsou jednoznačně uvedeny v žádné technické normě.

Při výběru druhu dřeva je nutno přihlížet k požadované životnosti stavby (konstrukce) ve vlhkém a mokrém prostředí. Ze zkušeností jsou pro hrazenářské úpravy nejvhodnější odkorněné stavební výřezy z jedle, z modřínu nebo z jasanu v jakosti III.A/B nebo sloupovina, případně jako tyčovina nebo tyčkovina; pro konstrukce pod trvalou hladinou podzemní vody lze využít stavební výřezy z dubu, při akceptování nižší životnosti je možné variantně použít i výřezy ze smrku. Dřevo musí být s minimální a výhradně jednoduchou křivostí (do ø 29 cm max. 0,5 cm/m, nad ø 29 cm max. 0,75 cm/m), se zdravými srostlými suky do 2 cm, resp. do 3 cm u nesrostlých (nezdravé se nedovolují), s nevýznamnými trhlinami, bez jakéhokoliv poškození houbami a maximálně s povrchovým poškozením hmyzem. Výřezy musí být ihned po pokácení ručně odkorněny; strojní odkornění se nepřipouští. V případě použití tyčoviny nebo tyčkoviny pod hladinou vody není odkornění nezbytné. Vzhledem k absenci obecných standardů v technických normách je nezbytné v každé projektové dokumentaci požadavky na dřevo definovat.

Klest a proutí tvoří zcela okrajový materiál při hrazenářských úpravách. Pro zápletové plůtky, vrbové krytiny, klejonáž a garnisáž se uvažuje klest (větve) dřevin, které jsou schopné vegetativního množení (nejčastěji větve vrb). Pro ostatní konstrukce lze použít klest (větve) jakýchkoliv dřevin, preferuje se však klest z jehličnanů pro vyšší obsah pryskyřičných látek. Použití jehličnatého klestu s jehlicemi není na závadu. Vzhledem k absenci obecných standardů v technických normách je opět nezbytné v každé projektové dokumentaci požadavky i na klest definovat.

Pro definování vlastností klestu a proutí (živého i suchého) pro hrazenářské úpravy lze přiměřeně využít ustanovení ČSN 83 9041 *Technologie vegetačních úprav v krajině – Technicko-biologické způsoby stabilizace terénu – Stabilizace výsevy, výsadbami, konstrukcemi ze živých a neživých materiálů a stavebních prvků, kombinované konstrukce*:

- větve a větvičky musí být rozvětvené a nejméně 1 m dlouhé (používají se při klejonáži, garnisáži, do povázek a haťových válců a do kordonových stěn);
- proutí musí být nejméně 1,2 m dlouhé, nerozvětvené nebo málo rozvětvené a musí se dát splétat (používá se při klejonáži, do povázek a haťových válců a do kordonových stěn);
- kolíky musí mít průměr nejméně 3 cm a délku nejméně 50 cm, na tlustším konci musí být šikmo seříznuté nebo zašpičatělé; suché kolíky musí být rovné a zašpičatělé; může být použito také štípané dříví, z praktických důvodů i řezivo (používá se do zápletových plůtků, při klejonáži a garnisáži);
- tyče ze syrového dřeva musí mít ve vzdálenosti 1 m nad svým silnějším koncem průměr nejméně 14 cm včetně kůry;
- kulatina má mít střední průměr bez kůry nejméně 20 cm.

Další požadavky na dřevo jsou uvedeny např. v katalozích popisů a směrných cen jednotlivých cenových soustav.

9.2 Kámen a kamenivo

Kámen pro úpravy bystřin a strží musí odpovídat ČSN EN 13383-1 *Kámen pro vodní stavby – Část 1: Specifikace*. Velikost kamenů (geometrické vlastnosti) musí být popsány v projektové dokumentaci podle účelu použití; strusky se v hrazenářských úpravách nepoužívají. Z fyzikálních vlastností je nutné zejména dodržet odolnost proti porušení, odolnost proti otěru, nasákavost a odolnost proti zmrazování a rozmrazování.

Za horniny vhodné pro kámen pro vodní stavby se všeobecně považují níže uvedené horniny (Sokol, 1962); přesto je vždy třeba ověřit, zda splňují požadavky výše uvedené technické normy: žula (zvláště jemného a středního zrna), granodiorit a diorit, čedič, droba (nenavětralá a bez úlomků jílových břidlic), nenavětralý vápenec, některé nenavětralé pískovce, ruly (zvláště některé biotitické a amfibolitické), žuloruly, amfibolit, křemence, granulit.

Podle petrografického rozboru vykazují pro vodní stavby nevyhovující odolnost proti zmrazování a rozmrazování v mírných a nepříznivých podmínkách vysokému stupni zvětrávání nebo štěpení horniny) následující horniny: slepence, brekcie, krystalická břidlice, svor, fylit, křída, slín, lupek a horniny volně spojené jílovitými minerály.

Pro použitý kámen pro zahrazovací práce musí být známy následující vlastnosti a informace:

1. ZÁKLADNÍ ÚDAJE
   a) název a místo těžby nebo výrobny a případně skládka;
   b) druh kamene pro vodní stavby (např. drcená hornina);
   c) jednoduchý petrografický rozbor;
   d) zrnění kamene pro vodní stavby, např. 10 kg až 60 kg.
2. DALŠÍ INFORMACE
   a) kód;
   b) objemová hmotnost;
   c) zrnitost nebo rozložení hmotnosti;
   d) tvar: poměr délky ke tloušťce, lomové plochy;
   e) nasákavost: pro vodohospodářské stavby a stavby hrazení bystřin je nutné, aby nasákavost byla menší než 0,5 procenta hmotnosti (stavební kámen kategorie $WA_{0,5}$);
   f) pevnost v tlaku podle ČSN EN 1926 *Zkušební metody přírodního kamene – Stanovení pevnosti v prostém tlaku*;
   g) odolnost proti otěru podle ČSN EN 1097-1 *Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 1: Stanovení odolnosti proti otěru (mikro-Deval)*: kategorie MDE10, tj. součinitel mikro-Deval, má být menší než 10;

h) odolnost proti zmrazování a rozmrazování podle ČSN EN 13383-2 *Kámen pro vodní stavby – Část 2: Zkušební metody*: požaduje se kategorie FTA, tj. pouze jeden z první desítky zkoušených kusů může mít více než 0,5% ztrátu hmotnosti nebo vytvoření otevřených trhlinek, ale žádný z dalších zkoušených kusů nesmí mít více než 0,5% ztráty hmotnosti nebo vytvoření otevřených trhlinek;

i) odolnost proti krystalizaci solí podle ČSN EN 1367-2 *Zkoušení odolnosti kameniva vůči teplotě a zvětrávání – Část 2: Zkouška síranem hořečnatým*: kategorie MS_{25} (tj. hodnota síranu hořečnatého) tvoří nejvýše 25 % hmotnosti;

j) přítomnost známek rozpadavosti („Sonnenbrand") podle ČSN EN 13383-2 *Kámen pro vodní stavby – Část 2: Zkušební metody*: požaduje se kategorie SB_A, tj. maximálně jeden kus z prvních zkoušených 20 kusů a ani jeden z dalších 20 zkoušených kusů nemůže vykazovat známky rozpadavosti.

Pro kamenivo použité v hrazenářských úpravách platí ČSN EN 13242 *Kamenivo pro nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy pro inženýrské stavby a pozemní komunikace*. Pro kamenivo není touto technickou normou přímo požadována odolnost proti zmrazování a rozmrazování. Použití struskového štěrku a recyklovaného kameniva se na objektech hrazení bystřin a strží neuvažuje.

9.3 Beton, železobeton

Betonu a železobetonu se při navrhování úprav toků využívá zejména pro objekty opěrných zdí, přehrážek, stupňů a prahů. Obecné využití, způsoby vyztužení a návrh betonové směsi se řídí příslušnými ustanoveními technických norem:

- ČSN EN 1992-1-1 *Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*,
- ČSN 73 1208 *Navrhování betonových konstrukcí vodohospodářských objektů* a
- ČSN EN 206 *Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda*.

Zatížení na konstrukce se stanoví podle ČSN 75 0250 *Zásady navrhování a zatížení konstrukcí vodohospodářských staveb*. S ohledem na specifika vodohospodářských staveb a objektů hrazení bystřin uvádíme dále jednotlivá konkrétní doporučení pro návrh betonových objektů. Je třeba zdůraznit, že u objektů hrazení bystřin nepožadujeme obvykle nepropustnost z hlediska možných průsaků, a tedy není prováděn výpočet šířky trhlin od vynucených přetvoření, ani návrh výztuže na jejich omezení.

9.3.1 Návrh směsi

Převážná část vodohospodářských konstrukcí je navrhována principálně jako tížná, a tedy namáhána tlakem nebo kombinací tlaku a ohybu s relativně malým vlivem ohybu. Z toho vyplývá požadavek na malé nebo žádné vyztužení, není-li požadována vodotěsnost ve smyslu kontroly rozvoje a velikosti trhlin. Normálová napětí v konstrukci navíc nejsou velká a požadavky na pevnost betonu na rozdíl od pozemních staveb jsou častěji určovány vlivem prostředí než namáháním. U konstrukcí umístěných v toku je požadována vyšší odolnost proti obrusu splaveninami (houževnatý beton) a proti působení mrazu. V případě masivnějších konstrukcí je pak třeba brát ohled na vývoj hydratačního tepla, odpovídající namáhání a na správné rozložení dilatačních prvků. Obrácené sklony bednění (tzv. negativní bednění) kladou vyšší nároky nejen na správné zhutnění směsi na stavbě, ale i na konzistenci dodávaného betonu stejně jako možná potřeba čerpání při staveništi vzdáleném od cest přístupných pro domíchávače.

Trvanlivost betonových konstrukcí je ve stávajících normách řešena pomocí indikativních pevnostních tříd betonu, které s ohledem na působící vlivy prostředí často převyšují pevnostní požadavky dané analýzou konstrukce.

Pro předpokládanou životnost staveb, při zahrnutí vlivu prostředí dle ČSN EN 206 *Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda*, je minimální označení betonu pro účely objektů hrazení bystřin následující:

- Minimální stupeň vlivu zmrazování a rozmrazování pro všechny konstrukce hrazení bystřin je XF1. V závislosti na poloze konkrétní konstrukce v toku a lokalitě se pak volí až třída XF3 (toky s častým výskytem ledových jevů). Vliv mrazu lze zanedbat jen u konstrukcí umístěných bezpečně v nezámrzné hloubce či dostatečně izolovaných.
- Pro železobetonové konstrukce je minimální stupeň vlivu koroze v důsledku karbonatace XC2 (pro konstrukce trvale pod úrovní hladiny může být zvolen stupeň XC1, nicméně z důvodu požadavků plynoucí z předchozího bodu – zmrazování a rozmrazování se obvykle nepoužívá). Pro opěrné stěny toků, stejně jako tělesa přehrážek, se vyžaduje stupeň vlivu XC4.

Z výše uvedených minimálních stupňů vlivu prostředí vyplývá minimální třída pevnosti betonu pro konstrukce v úpravách toků C25/30 (případně vyšší), minimální množství cementu 300 kg/m^3 směsi a maximální součinitel *w/c* 0,55. Požadavky se mohou zvýšit v důsledku agresivity prostředí nebo přítomnosti rozmrazovacích prostředků (např. propustky, mostky).

Pro houževnatý beton, tj. beton dostatečně odolný proti obrusu splaveninami a nárazům ledových ker a plavenin, který je navrhován jako náhrada obkladů z přírodního kamene, platí nejnižší pevnostní třída betonu C35/45 a maximální vodní součinitel *w/c* 0,45.

Množství cementu ve směsi vodostavebního betonu nesmí přesáhnout 450 kg/m^3, přičemž za doporučená maxima lze považovat hodnoty 400 kg/m^3 a 320 kg/m^3 pro tenkostěnné, resp. masivní konstrukce.

Z hlediska vývoje hydratačního tepla platí omezené použití portlandských cementů ve směsi pouze u masivních konstrukcí s tloušťkou nad 5 m, které nejsou u objektů hrazení bystřin běžné. Při návrhu masivnějších konstrukcí je nezbytné nejen řídit se doporučením příslušných norem, ale provést i výpočet napjatosti a odpovídajících účinků vývoje hydratačního tepla.

S ohledem na možný výskyt alkalicko-křemičité reakce (ASR) se do vodostavebních betonů nesmí používat drcené kamenivo z uhličitanových hornin a v případě použití většího množství betonu na stavbě se doporučuje provést stanovení reaktivnosti kameniva s alkáliemi dle ČSN EN 16301 *Zkušební metody přírodního kamene – Stanovení citlivosti k náhodné tvorbě skvrn*. Na kamenivo houževnatých betonů jsou kladeny

zvýšené požadavky ve formě obsahu křemene a silikátových hornin (minimální hodnota 75 %), otlukovosti frakce 8–16 (maximální hodnota 30) a maximální velikosti zrna (32 mm).

9.3.2 Provádění betonáže

Pro stavbu betonových částí, základů opěrných zdí či těles přehrážek a stupňů, jejich správné tvarové a prostorové uspořádání se během stavby používá systémové bednění. Před jeho umístění většinou na podkladní, vyrovnávací vrstvu betonu je nutné v případě návrhu železobetonové konstrukce vyvázat v budoucím betonovaném prostoru výztuž, případně ji navázat na vytaženou výztuž ze základové desky. Po kontrole správného provedení výztuže se provádí bednění.

Bednění se provádí většinou jako systémové s tím, že před montáží je nutné jej ošetřit odbedňovacím prostředkem. Bednění se na požadované místo umisťuje např. pomocí jeřábu. Nejprve se umístí z jedné strany, poté z druhé, a nakonec se obě strany bednění spojí pomocí korunky a spínací tyče.

Beton je na stavbu dopraven pomocí autodomíchávače a do konstrukce následně pomocí dopravního žlabu nebo pomocí čerpadla. Beton je třeba vibrovat. Po dostatečném vytvrdnutí betonu se stěny odbední (pro odbednění je vhodné použít opět např. jeřáb). Betonáž se provádí po jednotlivých úsecích a dilatačních celcích.

9.3.3 Dilatace a pracovní spáry

Maximální délka dilatačních celků, u kterých není zapotřebí provádět výpočet objemových změn konstrukce a není potřeba pro jednoduchost konstrukce posudku statika, je 8 m pro opěrné a nábřežní zdi a 10 m pro přehrážky, stupně a prahy z prostého betonu. I v případě posouzení vlivu objemových změn se nedoporučuje překračovat délku dilatačního celku 12 m u opěrných a nábřežních zdí a 20 m u ostatních konstrukcí.

Návrh rozmístění dilatačních spár musí omezit vliv objemových změn a klimatických účinků, zabránit vzniku trhlin v důsledku nerovnoměrného sedání podloží či přenosu statických nebo dynamických účinků do oddělených částí konstrukce.

Za výplň spár se volí poddajné materiály, které umožní pohyby dilatačních celků bez vzniku vyšší napjatosti – např. polystyreny, u kterých je nutné posléze zajistit pomocí vhodných materiálů vodotěsnosti spáry (konopné provazce, mirelon, polyuretan apod.).

U pracovních spár je třeba provést ošetření spáry před dalším postupným betonováním, aby nedošlo ke snížení kvality betonu u spáry. Nutné je zároveň vodotěsné napojení betonovaných úseků a napojení či protažení probíhající výztuže.

9.3.4 Železobeton – výztuž

Z hlediska vyztužení nejsou na konstrukce objektů hrazení bystřin kladeny nestandardní nároky s výjimkou zvýšeného požadavku na krytí, který se odvíjí od vlivů prostředí. Minimální krytí výztuže u trvale ponořených konstrukcí (prahy, stupně, základy opěrných stěn) při návrhové životnosti 100 let je 40 mm. Pro konstrukce vystavené kolísání hladiny (opěrné stěny, přehrážky) je krytí stanoveno na 45 mm a v případě obrusu splaveninami se doporučuje zvýšit na 50 mm. U vyšších pevnostních tříd lze krytí snížit.

10 POUŽITÁ A DALŠÍ DOPORUČENÁ LITERATURA

BĚLSKÝ, Jiří. *120. výročí služby hrazení bystřin a strží.* Lesnická práce, ročník 84 (2004), č. 1, str. 28–30.

HÁNEK, Pavel; HÁNEK, Pavel; MARŠÍKOVÁ, Magdalena. *Geodézie pro obor pozemkové úpravy a převody nemovitostí.* České Budějovice: Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta, 2007. ISBN 978-80-7040-971-8.

HLAVINKA, Vincenc. *Nauka o melioracích, úpravách toků a hrazení bystřin. Díl 2: Úprava toků a hrazení bystřin.* Brno: Česká vysoká škola technická v Brně, 1927.

JEŽDÍK, Theodor. *Oblouky proměnlivé křivosti při trasování*, Technický obzor, č. 42, Praha, 1934

KRUMPHANZL, Václav. *Inženýrská geodézie. Základy vytyčovacích prací.* Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1966.

LICHTENEGGER, Erwin. *Hochlagenbegrünung unter besonderer Berücksichtigung der Berasung und Pflege von Schipisten.* Vlastním nákladem, 1994.

NĚMEC, Josef a kol. *Lesotechnické meliorace.* In: Technická příručka lesnická. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1964.

NĚMEC, Jaromír. *Inženýrská hydrologie.* Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1964.

NEUSCHMID, Kurt. *Methoden der Böschungssicherung von Hangquerungen im steilen Gelände. Schipisten, Forstwege, Objektsicherungen, etc.* Vlastním nákladem, 1996.

PELIKÁN, MILOŠ. *Tabulky pro navrhování a vytyčování lemniskátových oblouků.* Praha: České vysoké učení technické v Praze, 1984.

RIEDL, Otakar; ZACHAR, Dušan. *Lesotechnické meliorace.* Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1973.

SKATULA, Leo. *Hrazení bystřin a strží.* Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1960.

SOKOL, František. *Lesnickotechnické meliorace.* In: *Praktická rukověť lesnická. 2. díl.* Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1962.

ŠKOPEK, Václav; NOVÁK, Ladislav. *Hrazení bystřin a strží. Komentář k ON 48 2506.* Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1977.

ŠLEZINGR, Miloslav; Úradníček, Luboš. *Stabilizace břehů.* Brno: CERM, 2007. ISBN 978-80-7204-550-1.

ŠLEZINGR, Miloslav; ÚRADNÍČEK, Luboš. *Vegetační doprovod vodních toků a nádrží.* Brno: CERM, 2002. ISBN 80-7204-269-6.

ŠVEC, Mojmír; HÁNEK, Pavel. Stavební geodézie 10. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2006. ISBN 80-01-03403-8.

ZACHAR, Dušan. *Lesnícke meliorácie.* Bratislava: Príroda, 1984.

ZLATUŠKA, Karel. *Ochrana břehů vodního toku zatravněním zejména za podpory geotextílií.* Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2003. ISBN 80-7157-691-3.

ZUNA, Jaroslav. *Hrazení bystřin.* In: *Stavby pro plnění funkcí lesa.* Praha: Informační centrum ČKAIT, s. r. o., 2008.

SOUVISEJÍCÍ ČESKÉ TECHNICKÉ NORMY

ČSN 01 1320 *Veličiny, značky a jednotky v hydromechanice*

ČSN 01 3469 *Výkresy inženýrských staveb – Výkresy hydrotechnických a hydroenergetických staveb – Stavební část*

ČSN 01 3473 *Výkresy inženýrských staveb – Výkresy hydromeliorací*

ČSN 01 3481 *Výkresy stavebních konstrukcí. Výkresy betonových konstrukcí*

ČSN 01 3489 *Výkresy stavebních konstrukcí. Výkresy konstrukcí z kamene*

ČSN 48 1211 *Lesní semenářství – Sběr, kvalita a zkoušky kvality semenného materiálu lesních dřevin*

ČSN 48 2115 *Sadební materiál lesních dřevin*

ČSN 48 2116 *Umělá obnova lesa a zalesňování*

ČSN 48 2117 *Příprava stanoviště pro obnovu lesa a zalesňování*

ČSN 73 1001 *Zakládání staveb. Základová půda pod plošnými základy*

ČSN 73 1208 *Navrhování betonových konstrukcí vodohospodářských objektů*

ČSN 73 6101 *Projektování silnic a dálnic*

ČSN 73 6108 *Lesní cestní síť*

ČSN 73 6109 *Projektování polních cest*

ČSN 73 6110 *Projektování místních komunikací*

ČSN 73 6201 *Projektování mostních objektů*

ČSN 75 0120 *Vodní hospodářství – Terminologie hydrotechniky*

ČSN 75 0140 *Meliorace – Terminologie eroze, hydromeliorace a rekultivace půdy*

ČSN 75 0146 *Lesnickotechnické meliorace – Terminologie*

ČSN 75 0250 *Zásady navrhování a zatížení konstrukcí vodohospodářských staveb*

ČSN 75 2101 *Ekologizace úprav vodních toků*

ČSN 75 2106-1 *Hrazení bystřin a strží – Část 1: Obecně*

ČSN 75 2106-2 *Hrazení bystřin a strží – Část 2: Navrhování konstrukcí a objektů hrazení bystřin a strží*

ČSN 75 2130 *Křížení a souběhy vodních toků s dráhami, pozemními komunikacemi a vedeními*

ČSN 83 9011 *Technologie vegetačních úprav v krajině – Práce s půdou*

ČSN 83 9021 *Technologie vegetačních úprav v krajině – Rostliny a jejich výsadba*

ČSN 83 9031 *Technologie vegetačních úprav v krajině – Trávníky a jejich zakládání*

ČSN 83 9041 *Technologie vegetačních úprav v krajině – Technicko-biologické způsoby stabilizace terénu – Stabilizace výsevy, výsadbami, konstrukcemi ze živých a neživých materiálů a stavebních prvků, kombinované konstrukce*

ČSN 83 9061 *Technologie vegetačních úprav v krajině – Ochrana stromů, porostů a vegetačních ploch při stavebních pracích*

ČSN EN 1097-1 *Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 1: Stanovení odolnosti proti otěru (mikro-Deval)*

ČSN EN 13242 *Kamenivo pro nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy pro inženýrské stavby a pozemní komunikace*

ČSN EN 13383-1 *Kámen pro vodní stavby – Část 1: Specifikace*

ČSN EN 13383-2 *Kámen pro vodní stavby – Část 2: Zkušební metody*

ČSN EN 13670 *Provádění betonových konstrukcí*

ČSN EN 1367-2 *Zkoušení odolnosti kameniva vůči teplotě a zvětrávání – Část 2: Zkouška síranem hořečnatým*

ČSN EN 1926 *Zkušební metody přírodního kamene – Stanovení pevnosti v prostém tlaku*

ČSN EN 1990 *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí*

ČSN EN 1992-1-1 *Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*

ČSN EN 1995-1-1 *Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla – Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*

ČSN EN 1997-1 *Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí – Část 1: Obecná pravidla*

ČSN EN 206 *Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda*

TNV 75 2102 *Úpravy potoků*

TNV 75 2103 *Úpravy řek*

TNV 75 2303 *Jezy a stupně*

OBDOBNÉ ZAHRANIČNÍ NORMY

STN 48 2506 Lesotechnické meliorácie – Zahrádzanie bystrín a strží. Úrad pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo SR, 1996

DIN 19657 Sicherungen von Gewässern, Deichen und Küstendünen; Richtlinien. Deutscher Normenausschuss, Berlin, 1973

DIN 19661-2 Richtlinien für Wasserbauwerke – Sohlenbauwerke – Teil 2: Abstürze, Absturztreppen, Sohlenrampen, Sohlengleiten, Stützschwellen, Grundschwellen, Sohlenschwellen. Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, 2000

DIN 19663 Wildbachverbauung; Begriffe, Planung und Bau. Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, 1985

ONR 24800 Schutzbauwerke der Wildbachverbauung – Begriffe und ihre Definitionen sowie Klassifizierung. Austrian Standards Institute, Wien, 2009

ONR 24801 Schutzbauwerke der Wildbachverbauung – Statische und dynamische Einwirkungen, Austrian Standards Institute, Wien, 2013

ONR 24802 Schutzbauwerke der Wildbachverbauung – Projektierung, Bemessung und konstruktive Durchbildung. Austrian Standards Institute, Wien, 2011

ONR 24803 Schutzbauwerke der Wildbachverbauung – Betrieb, Überwachung und Instandhaltung. Austrian Standards Institute, Wien, 2008

ONR 24810 Technischer Steinschlagschutz – Begriffe, Einwirkungen, Bemessung und konstruktive Durchbildung, Überwachung und Instandhaltung. Austrian Standards Institute, Wien, 2013

PRÁVNÍ PŘEDPISY

Zákon č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny, ve znění pozdějších předpisů

Zákon č. 289/1995 Sb., o lesích a o změně a doplnění některých zákonů (lesní zákon), ve znění pozdějších předpisů

Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), ve znění pozdějších předpisů

Zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon), ve znění pozdějších předpisů

Vyhláška č. 590/2002 Sb., o technických požadavcích pro vodní díla, ve znění pozdějších předpisů

Vyhláška č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby, ve znění pozdějších předpisů

Vyhláška č. 239/2017 Sb., o technických požadavcích pro stavby pro plnění funkcí lesa

11 ZÁVĚR

Obor hrazení bystřin a strží se v současné době ubírá cestou, která více respektuje okolí vodních toků a ve větší míře klade důraz na co nejmenší zásah do přírody a krajiny. Voda přestala v průběhu minulého století plnit funkci hlavního energetického zdroje a díky tomu se z okolí spáditých horských a podhorských vodních toků v průběhu let vytratila zpracovatelská odvětví závislá na energii proudící vody (mlýny, hamry, pily). Svůj zásadní funkční účel tak postupem let pozbylo rozsáhlé podélné opevňování a trasové úpravy bystřin, které se dnes navrhují pouze v intravilánech měst a obcí, případně v těsném souběhu dopravní infrastruktury a vodního toku. Současné trendy, které se v hrazení bystřin stále častěji prosazují, se zaměřují na umísťování jednotlivých objektů hrazení bystřin v úsecích koryt tak, aby se dal optimalizovat chod splavenin korytem vodního toku, nebo aby byly splaveniny z vodního toku odstraněny vždy nad kritickými profily – nad intravilány, nad propustky nebo nad významně zatrubněnými úseky koryt.

Díky moderní výpočetní technice a možnostem GIS technologií je možné obor hrazení bystřin a strží vnímat v novém koncepčním rozměru. Budoucnost oboru je v návrhu preventivních zásahů a opatření v ucelených povodí bystřin pro eliminaci negativních vlivů velmi rychlého povrchového odtoku z málo lesnatých nebo čerstvě odlesněných povodí. Uvedené moderní technologie již umožnují predikovat a vyhledávat potenciálně nebezpečné údolnice, definovat odtokové dráhy povrchového odtoku v morfologicky složitých lesních povodích a v širším kontextu celého území.

Díky výkonné výpočetní technice, pomocí speciálních softwarových nástrojů a řadě zpřesněných vstupních údajů se tak obor lesnickotechnických meliorací vlastně vrací k původní principům této inženýrské disciplíny, ze kterých již na samotném počátku vycházela i služba hrazení bystřin, tj. k návrhu preventivních opatření v povodí bystřiny i na samotném korytě vodního toku. Právě optimalizace splaveninového režimu a koncepční práce s chodem splavenin (především za povodňových průtoků) efektivně umožní v budoucnu zajistit požadovanou minimalizaci dopadů erozní účinnosti proudící vody.

12 PŘÍLOHY

12.1 Dřeviny vhodné pro jednotlivá stanoviště

typ stanoviště	charakteristika stanoviště	vhodné dřeviny
Měkký luh – vrbotopolová společenstva	široké nivy na dolních tocích s pravidelnými (min. 1× ročně) dlouhotrvajícími záplavami	vrba bílá, ve vyšších polohách vrba křehká, topol černý, topol bílý, topol šedý, olše lepkavá
Měkký luh – olšiny	široké nivy na dolních tocích v místech s vysoko položenou hladinou spodní vody (často je hladina vody při půdním povrchu)	olše lepkavá, příměs vrba bílá
Přechodný luh – jilmojasanotopolová společenstva	široké nivy na dolních tocích s pravidelnými (1× ročně) kratšími záplavami	jilm vaz, jilm habrolistý, topol černý, topol bílý, topol šedý, střemcha obecná, příměs jasan ztepilý, na jižní Moravě jasan úzkolistý
Tvrdý luh – dubojasanová společenstva	okrajové části širokých říčních niv s méně častými krátkodobými záplavami (1× za 2–5 let)	dub letní, jasan ztepilý, na jižní Moravě jasan úzkolistý, jilm vaz, jilm habrolistý, mimo pravidelné záplavy – javor babyka, lípa srdčitá, habr obecný, někdy javor mléč
Potoční luh – jasanové olšiny	užší nivy kolem toků v pahorkatinách	olše lepkavá, jasan ztepilý, střemcha obecná, v nižších polohách dub letní, lípa srdčitá, ve vyšších polohách javor klen, olše šedá
Potoční luh – olšiny	užší nivy kolem menších toků v pahorkatinách s vysoko položenou hladinou spodní vody	olše lepkavá
Potoční luh – horské olšiny	úzké nivy tvořené štěrkovými náplavy kolem toků v podhůří a horách	olše šedá, střemcha obecná, javor klen, smrk ztepilý
Horský „luh“ – potoční smrčiny	kolem toků v horách, úzká údolí se štěrkovými náplavy	smrk ztepilý, ojediněle javor klen, jeřáb ptačí, jedle bělokorá, jilm horský
strže ve spraši (nížiny)	hluboké strže a nátrže v naplaveninách (spraš)	dub zimní, dub letní, dub pýřitý, jilm habrolistý, jasan ztepilý, javor babyka KEŘE: třešeň křovitá, trnka obecná, brslen bradavičnatý, brslen evropský, dřín jarní, ptačí zob obecný, kalina tušalaj, růže galská a zimolez obecný
strže (vyšší polohy)	hlubší zářezy na sutích aj.	jasan ztepilý, jeřáb ptačí, buk lesní, jedle bělokorá, jilm horský, topol osika KEŘE: rybíz alpínský, zimolez černý, růže převislá, borovice kleč, vrba hrotolistá, vrba slezská

12.2 Charakteristiky dřevin vhodných pro výsadby podél bystřin – LISTNÁČE

druh dřeviny	výška (m)	kořenový systém	výskyt v ČR	ekologické nároky
bříza bělokorá (BR) *Betula pendula*	20–30	srdčitý až povrchový	nížiny až hory do 1000 m n. m.	silně světlomilná, široká ekologická amplituda
buk lesní (BK) *Fagus sylvatica*	35–45	srdčitý	pahorkatiny až hory do 1100 m n. m.	stín snášející, půdy svěží, kyselé až na živiny bohaté, citlivý na pozdní mrazy
dub letní (DB) *Quercus robur*	30–40	kůlový, s věkem se mění na srdčitý	nížiny až pahorkatiny do 600 m n. m.	světlomilný, upřednostňuje živné, hlinité až těžší půdy, poškozován pozdními mrazy
dub pýřitý (DBP) *Quercus pubescens*	10–20	kůlový až srdčitý	nížiny až teplé pahorkatiny do 500 m n. m.	světlomilná, suché živné půdy, často na vápenci
dub zimní (DBZ) *Quercus petraea*	30–40	kůlový, s věkem se mění na srdčitý	pahorkatiny až do 600 m n. m.	světlomilný, snáší chudší a sušší půdy, poškozován pozdními mrazy
habr obecný (HB) *Carpinus betulus*	15–25	srdčitý	nížiny až pahorkatiny do 500 m n. m.	stín snášející, upřednostňuje svěží živné půdy, mimo pravidelné záplavy
jasan úzkolistý (JSU) *Fraxinus angustifolia*	30–40	srdčitý až povrchový	nížiny do 250 m	v mládí stín snášející, živné půdy, vlhké až zamokřené, citlivý na mráz
jasan ztepilý (JS) *Fraxinus excelsior*	30–40	srdčitý až povrchový	nížiny až hory do 1000 m n. m.	v mládí stín snášející, živné půdy, suché i zamokřené (dle ekotypu), citlivý na mráz
javor babyka (BB) *Acer campestre*	15–25	srdčitý až povrchový	nížiny až pahorkatiny do 600 m n. m.	stín snášející, vlhké nebo suché půdy (dle ekotypu), živné
javor klen (KL) *Acer pseudoplatanus*	30–40	srdčitý až povrchový	pahorkatiny až hory do 1200 m n. m.	v mládí stín snášející, živné svěží půdy, netrpí mrazy
javor mléč (JV) *Acer platanoides*	20–30	srdčitý až povrchový	nížiny až horské polohy do 1000 m n. m.	v mládí stín snášející, živné svěží půdy
jeřáb břek (BRK) *Sorbus torminalis*	15–25	srdčitý	nížiny až pahorkatiny do 600 m n. m.	v mládí stín snášející, živné svěží půdy
jeřáb oskeruše (OSK) *Sorbus domestica*	15–25	srdčitý	nížiny až pahorkatiny do 400 m n. m.	světlomilný, půdy živné vysychavé
jeřáb ptačí (JR) *Sorbus aucuparia*	10–15	srdčitý až povrchový	nížiny až hory do 1200 m n. m.	silně světlomilná, široká ekologická amplituda
jilm habrolistý (JL) *Ulmus minor*	30–40	kůlový, s věkem se mění na srdčitý	nížiny až pahorkatiny do 500 m n. m.	stín snášející, živné půdy, suché nebo svěží (dle ekotypu)
jilm horský (JLH) *Ulmus glabra*	25–35	kůlový, s věkem se mění na srdčitý	pahorkatiny až podhůří do 800 m n. m.	stín snášející, svěží živné půdy
jilm vaz (JLV) *Ulmus laevis*	25–35	kůlový, s věkem se mění na srdčitý, výrazné kořenové náběhy	nížiny až pahorkatiny do 500 m n. m.	stín snášející, živné půdy
lípa srdčitá (LP) *Tilia cordata*	25–30	srdčitý	nížiny až pahorkatiny do 600 m n. m.	stín snášející, upřednostňuje svěží živné půdy,
lípa velkolistá (LPV) *Tilia platyphyllos*	25–35	srdčitý	nížiny až pahorkatiny do 500 m n. m.	stín snášející, svěží živné půdy
mahalebka obecná *Prunus mahaleb*	10–15	povrchový	nížiny až pahorkatiny do 400 m n. m.	světlomilná, vysychavé bohaté půdy, často na vápencích, výjimečně na kyselých substrátech (na Moravě)
olše lepkavá (OL) *Alnus glutinosa*	25–35	srdčitý	nížiny až podhůří do 800 m n. m.	světlomilná, snáší záplavy i stagnující vodu, nenáročná na půdu

druh dřeviny	výška (m)	kořenový systém	výskyt v ČR	ekologické nároky
olše šedá (OLS) *Alnus incana*	10–20	povrchový	podhůří až hory do 1000 m n. m.	světlomilná, vlhké půdy, štěrkové náplavy, nenáročná na půdu
střemcha obecná (STR) *Prunus padus*	10–20	srdčitý až povrchový	nížiny až vrchoviny do 700 m n. m.	stín snášející, půdy vlhké až mokré, na živiny bohaté
topol bílý (TP) *Populus alba*	30–40	převážně povrchový, mohutný, široce rozvětvený, sahající do hloubky i šířky	nížiny až pahorkatiny do 400 m n. m.	světlomilný, spíše živné půdy, suché až vlhké
topol černý (TPC) *Populus nigra*	30–40	převážně povrchový, mohutný, široce rozvětvený, sahající do hloubky i šířky	nížiny až pahorkatiny do 400 m n. m.	světlomilný, písčitohlinité až hlinité živné vlhké půdy
topol osika (OS) *Populus tremula*	15–25	povrchový	nížiny až hory do 1000 m n. m.	světlomilná, široká ekologická amplituda
topol šedý (TPS) *Populus × canescens*	30–40	převážně povrchový, mohutný, široce rozvětvený, sahající do hloubky i šířky	nížiny až pahorkatiny do 400 m n. m.	světlomilný, spíše živné půdy, suché až vlhké
vrba bílá (VR) *Salix alba*	25–35	povrchový	nížiny až pahorkatiny do 500 m n. m.	světlomilná, vlhké až zamokřené půdy, písčité až hlinité živné, citlivá na mráz
vrba jíva (JIV) *Salix caprea*	do 12	povrchový	nížiny až hory do 1400 m n. m.	světlomilná, nesnáší zamokření, půdy kyselé až živné
vrba křehká (VR) *Salix euxina*	15–25	povrchový	pahorkatiny od 300 do 900 m n. m.	světlomilná, vlhké až zamokřené půdy, písčité až hlinité živné

druh dřeviny	záplavy (dny)		výmladnost		vhodná pro		
	ve vegetační době	mimo vegetační dobu	kořenová	pařezová	břehové porosty	doprovodné porosty	strže
bříza bělokorá (BR) *Betula pendula*						✓	✓
buk lesní (BK) *Fagus sylvatica*				+		✓	✓
dub letní (DB) *Quercus robur*		až 14		++	✓	✓	✓
dub pýřitý (DBP) *Quercus pubescens*							✓
dub zimní (DBZ) *Quercus petraea*				+++			✓
habr obecný (HB) *Carpinus betulus*				+++		✓	✓
jasan úzkolistý (JSU) *Fraxinus angustifolia*	do 14	do 60		++	✓	✓	
jasan ztepilý (JS) *Fraxinus excelsior*	do 14	do 60		++	✓	✓	✓
javor babyka (BB) *Acer campestre*		do 14		++	✓	✓	✓
javor klen (KL) *Acer pseudoplatanus*				+		✓	✓
javor mléč (JV) *Acer platanoides*				+++	✓	✓	✓

druh dřeviny	záplavy (dny)		výmladnost		vhodná pro		
	ve vegetační době	mimo vegetační dobu	kořenová	pařezová	břehové porosty	doprovodné porosty	strže
jeřáb břek (BRK) *Sorbus torminalis*			++	+		✓	✓
jeřáb oskeruše (OSK) *Sorbus domestica*							✓
jeřáb ptačí (JR) *Sorbus aucuparia*						✓	✓
jilm habrolistý (JL) *Ulmus minor*		do 14	++	+	✓	✓	✓
jilm horský (JLH) *Ulmus glabra*				+	✓	✓	✓
jilm vaz (JLV) *Ulmus laevis*		do 30		++	✓	✓	✓
lípa srdčitá (LP) *Tilia cordata*				+++		✓	✓
lípa velkolistá (LPV) *Tilia platyphyllos*				++		✓	✓
mahalebka obecná *Prunus mahaleb*				+			✓
olše lepkavá (OL) *Alnus glutinosa*	do 14	60+		+++	✓	✓	✓
olše šedá (OLS) *Alnus incana*	do 14	do 30	+	+++	✓	✓	✓
střemcha obecná (STR) *Prunus padus*		do 14	+	++	✓	✓	✓
topol bílý (TP) *Populus alba*		do 14	+++	++	✓	✓	✓
topol černý (TPC) *Populus nigra*	až 60			+++	✓	✓	✓
topol osika (OS) *Populus tremula*			+++	+		✓	✓
topol šedý (TPS) *Populus × canescens*			++	++	✓	✓	✓
vrba bílá (VR) *Salix alba*	až 120	dlouhodobě		+++	✓		✓
vrba jíva (JIV) *Salix caprea*				++		✓	✓
vrba křehká (VR) *Salix euxina*	až 30	až 60		+++	✓		✓

12.3 Charakteristiky dřevin vhodných pro výsadby podél bystřin – JEHLIČNANY

druh dřeviny	výška (m)	kořenový systém	výskyt v ČR	ekologické nároky
borovice blatka (BL) *Pinus mugo* nothosubsp. *rotundata*	15–20	povrchový	pahorkatiny až hory do 900 m n. m.	světlomilná, kyselé zamokřené půdy
borovice lesní (BO) *Pinus sylvatice*	30–45	kůlový až srdčitý	nížiny až hory do 900 m n. m.	světlomilná, široká ekologická amplituda
jedle bělokorá (JD) *Abies alba*	30–50	srdčitý	pahorkatiny až hory do 1200 m n. m.	stín snášející, vlhké až podmáčené chudé až živné půdy
modřín evropský (MD) *Larix decidua*	30–40	srdčitý	pahorkatiny až vrchoviny do 750 m n. m.	světlomilný, mírně kyselé až živné svěží půdy
smrk ztepilý (SM) *Picea abies*	30–50	povrchový	pahorkatiny až hory do 1300 m n. m.	stín snášející, vlhké až podmáčené kyselé půdy

druh dřeviny	vhodná pro		
	břehové porosty	doprovodné porosty	strže
borovice blatka (BL) *Pinus mugo* nothosubsp. *rotundata*	✔	✔	
borovice lesní (BO) *Pinus sylvatice*		✔	✔
jedle bělokorá (JD) *Abies alba*		✔	
modřín evropský (MD) *Larix decidua*		✔	✔
smrk ztepilý (SM) *Picea abies*		✔	

12.4 Charakteristiky dřevin vhodných pro výsadby podél bystřin – KEŘE

druh keře	výška (m)	kořenový systém	výskyt v ČR	ekologické nároky
bez černý *Sambucus nigra*	4–8	povrchový	nížiny až pahorkatiny do 650 m n. m.	stín snášející, zejména v mládí, půdy svěží až vlhké, bohaté na živiny, zejména dusík
bez červený *Sambucus racemosa*	do 4	povrchový	pahorkatiny až hory do 1300 m n. m.	stín snášející, vyžaduje dostatek vláhy (půdní nebo srážkové, půdy kyselé humózní
borovice kleč *Pinus mugo*	1–4	povrchový	podhůří až hory do 1500 m n. m.	světlomilná, široká ekologická amplituda
brslen bradavičnatý *Euonymus verrucosus*	2–4	povrchový, bohatě větvený	nížiny až pahorkatiny do 450 m n. m.	stín snášející, upřednostňuje na živiny bohaté svěží půdy, i vysýchavé
brslen evropský *Euonymus europaeus*	2–8	povrchový, bohatě větvený	nížiny až pahorkatiny do 550 m n. m.	stín snášející, upřednostňuje na živiny bohaté svěží až vlhké půdy
břečťan popínavý *Hedera helix*	liána do 30	povrchový	nížiny až pahorkatiny do 500 m n. m.	stín snášející, svěží živné půdy
dřín jarní *Cornus mas*	2–6	povrchový	nížiny a teplé pahorkatiny do 600 m n. m.	světlomilný, snáší mírný zástin, půdy bohaté na živiny, vápnité, vysychavé
dřišťál obecný *Berberis vulgaris*	1–3	povrchový	nížiny až pahorkatiny do 500 m n. m.	světlomilný, půdy živnější až vápnité, svěží až vysychavé
hloh jednosemenný *Crataegus monogyna*	5–12	povrchový až srdčitý	nížiny až pahorkatiny do 500 m n. m.	světlomilný, snáší mírný zástin, půdy živné až bohatší, svěží až vysychavé
hloh obecný *Crataegus laevigata*	4–10	povrchový až srdčitý	nížiny až vrchoviny do 600 m n. m.	snáší mírný zástin, svěží kyselé až živné půdy

druh keře	výška (m)	kořenový systém	výskyt v ČR	ekologické nároky
kalina obecná *Viburnum opulus*	do 5	srdčitý, bohatě rozvětvený	od lužních poloh až do 1000 m n. m.	snáší mírný zástin, půdy vlhké, kyselé až neutrální
kalina tušalaj *Viburnum lantana*	do 4	srdčitý, bohatě rozvětvený	nížiny až pahorkatiny do 400 m n. m.	stín snášející, půdy bohaté vysychavé
klokoč zpeřený *Staphylea pinnata*	do 5	srdčitý	nížiny až pahorkatiny do 500 m n. m.	stín snášející, svěří bohaté půdy, často na suti
krušina olšová *Frangula alnus*	do 7	povrchový až srdčitý, bohatě větvený	nížiny až hory do 1000 m n. m.	stín snášející, vlhké až mokré převážně kyselé půdy, snáší kolísaní spodní vody
líska obecná *Corylus avellana*	do 7	povrchový, bohatě rozvětvený	nížiny až podhůří do 800 m n. m.	snáší mírný zástin, široká ekologická amplituda
olše zelená *Alnus alnobetula*	1–5	povrchový	podhůří do 800 m n. m.	světlomilná, kyselé vlhké až podmáčené půdy
ptačí zob obecný *Ligustrum vulgare*	do 4	srdčitý	nížiny až pahorkatiny do 500 m n. m.	stín snášející, vyhýbá se suchým kyselým půdám
růže bedrníkolistá *Rosa spinosissima*	do 1	povrchový	nížiny až pahorkatiny do 500 m n. m.	světlomilná, bohaté vysychavé půdy
růže galská *Rosa gallica*	do 1	povrchový	nížiny až pahorkatiny do 450 m n. m.	světlomilná, bohaté vysychavé půdy
růže podhorská *Rosa dumalis*	1–3	povrchový, bohatě větvený	nížiny až hory do 900 m n. m.	světlomilná, na půdu nenáročná
růže převislá *Rosa pendulina*	1–2	povrchový	pahorkatiny až hory do 1200 m n. m.	stín snášející, kyselé vlhké půdy
růže šípková *Rosa canina*	3–4	povrchový, bohatě větvený	nížiny až hory do 800 m n. m.	světlomilná, na půdu nenáročná
rybíz alpínský *Ribes alpinum*	1–2	povrchový	pahorkatiny až hory do 1100 m n. m.	světlomilný, humózní vlhké skeletovité půdy
řešetlák počistivý *Rhamnus cathartica*	do 8	srdčitý	nížiny až pahorkatiny do 500 m n. m.	snáší mírný zástin, půdy živné, vysychavé až vlhké
svída krvavá *Cornus sanguinea*	3–5	srdčitý, bohatě větvený	nížiny až pahorkatiny do 600 m n. m.	stín snášející, široká ekologická amplituda
tavolník vrbolistý *Spiraea salicifolia*	1–2	povrchový	podhůří do 700 m n. m.	světlomilný, podmáčené kyselé půdy
trnka obecná *Prunus spinosa*	1–3	povrchový, bohatě větvený	nížiny až pahorkatiny do 600 m n. m.	stín snášející, široká ekologická amplituda
třešeň křovitá *Prunus fruticosa*	do 1	povrchový	nížiny až teplé pahorkatiny do 500 m n. m.	světlomilná, vysychavé živné půdy, často na vápenci
vrba košíkářská *Salix viminalis*	3–6	povrchový	nížiny až vrchoviny do 700 m n. m.	světlomilná, živnější vlhké až mokré půdy, snáší stagnující vody
vrba nachová *Salix purpurea*	2–7	povrchový, bohatě rozvětvený	podhůří až hory do 900 m n. m.	světlomilná, upřednostňuje živnější vlhké až mokré půdy, štěrky
vrba slezská *Salix silesiaca*	1–4	povrchový	podhůří až hory do 1500 m n. m.	světlomilná, kyselé vlhké půdy
vrba ušatá *Salix aurita*	1–3	povrchový	pahorkatiny až hory do 1200 m n. m.	světlomilná, podmáčené kyselé půdy
vřes obecný *Calluna vulgaris*	do 0,5	povrchový	nížiny až hory do 1500 m n. m.	světlomilný, suché až podmáčené kyselé půdy
zimolez černý *Lonicera nigra*	1–2	srdčitý	podhůří až hory do 1200 m n. m.	stín snášející, kyselé humózní vlhké půdy
zimolez obecný *Lonicera xylosteum*	3–4	srdčitý, bohatý, hustě rozvětvený	nížiny až pahorkatiny do 500 m n. m.	stín snášející, půdy živnější, svěží až vysychavé

druh keře	záplavy (dny)		výmladnost		vhodná pro		
	ve vegetační době	mimo vegetační dobu	kořenová	pařezová	břehové porosty	doprovodné porosty	strže
bez černý *Sambucus nigra*		do 14		+++		✓	✓
bez červený *Sambucus racemosa*						✓	✓
borovice kleč *Pinus mugo*					✓	✓	✓
brslen bradavičnatý *Euonymus verrucosus*							✓
brslen evropský *Euonymus europaeus*			++		✓	✓	✓
břečťan popínavý *Hedera helix*				+++		✓	✓
dřín jarní *Cornus mas*				+++			✓
dřišťál obecný *Berberis vulgaris*				++		✓	✓
hloh jednosemenný *Crataegus monogyna*				++		✓	✓
hloh obecný *Crataegus laevigata*				++		✓	✓
kalina obecná *Viburnum opulus*			++		✓	✓	✓
kalina tušalaj *Viburnum lantana*			++				✓
klokoč zpeřený *Staphylea pinnata*			++				✓
krušina olšová *Frangula alnus*			++		✓	✓	✓
líska obecná *Corylus avellana*				+++		✓	✓
olše zelená *Alnus alnobetula*				++	✓	✓	✓
ptačí zob obecný *Ligustrum vulgare*			++	++	✓	✓	✓
růže bedrníkolistá *Rosa spinosissima*			+++				✓
růže galská *Rosa gallica*			+++				✓
růže podhorská *Rosa dumalis*			+			✓	✓
růže převislá *Rosa pendulina*			+		✓	✓	
růže šípková *Rosa canina*				++		✓	✓
rybíz alpínský *Ribes alpinum*							✓
řešetlák počistivý *Rhamnus cathartica*		do 7	+	+	✓	✓	✓
svída krvavá *Cornus sanguinea*		do 14	+++	++	✓	✓	✓

druh keře	záplavy (dny)		výmladnost		vhodná pro		
	ve vegetační době	mimo vegetační dobu	kořenová	pařezová	břehové porosty	doprovodné porosty	strže
tavolník vrbolistý *Spiraea salicifolia*		do 14	+++		✓	✓	
trnka obecná *Prunus spinosa*			+++			✓	✓
třešeň křovitá *Prunus fruticosa*			+++				✓
vrba košíkářská *Salix viminalis*	do 60			+++	✓		✓
vrba nachová *Salix purpurea*	do 14	do 30		+++	✓		✓
vrba slezská *Salix silesiaca*		do 14		+++	✓	✓	
vrba ušatá *Salix aurita*				++	✓	✓	
vřes obecný *Calluna vulgaris*				++			✓
zimolez černý *Lonicera nigra*					✓	✓	
zimolez obecný *Lonicera xylosteum*				+		✓	✓

12.5 Doporučené travní a travinobylinné směsi

Travinobylinná směs „krajinný trávník pro suché polohy s bylinami“

kostřava načernalá (*Festuca nigrescens*) 12,1 %, kostřava červená (*Festuca rubra*) 15,0 %, kostřava niťolistá (*Festuca trichophylla*) 10,0 %, kostřava žlábkatá (*Festuca rupicola*) 5,0 %, kostřava drsnolistá (*Festuca brevipila*) 37,0 %, jílek vytrvalý (*Lolium perenne*) 15,0 %, lipnice úzkolistá (*Poa angustifolia*) 3,0 %, řebříček obecný (*Achillea millefolium*) 0,2 %, chrpa luční (*Centaurea jacea*) 0,1 %, chrpa čekánek (*Centaurea scabiosa*) 0,1 %, mrkev obecná (*Daucus carota*) 0,1 %, svízel povázka (*Galium mollugo*) 0,1 %, svízel syřišťový (*Galium verum*) 0,1 %, máchelka srstnatá (*Leontodon hispidus*) 0,1 %, kopretina bílá (*Leucanthemum vulgare*) 0,2 %, bedrník obecný (*Pimpinella saxifraga*) 0,1 %, jitrocel kopinatý (*Plantago lanceolata*) 0,1 %, šalvěj luční (*Salvia pratensis*) 0,2 %, krvavec menší (*Sanguisorba minor*) 0,1 %, úročník bolhoj (*Anthyllis vulneraria*) 0,2 %, štírovník růžkatý (*Lotus corniculatus*) 0,2 %, tolice dětelová (*Medicago lupulina*) 0,2 %, vičenec ligrus (*Onobrychis viciifolia*) 0,8 %

Doporučený výsevek:
na rovině 4–6 g/m^2, ve svahu 8–10 (12) g/m^2

Travní směs pro sušší stanoviště s nižším obsahem živin

lipnice luční (*Poa pratensis*) 15,0 %, kostřava luční (*Festuca pratensis*) 20,0 %, kostřava niťolistá (*Festuca trichophylla*) 25,0 %, kostřava načernalá (*Festuca nigrescens*) 15,0 %, kostřava drsnolistá (*Festuca brevipila*) 15,0 %, jílek vytrvalý (*Lolium perenne*) 10,0 %

Doporučený výsevek:
na rovině 20–25 g/m^2, ve svahu 40–50 g/m^2

Travní směs pro stanoviště s dostatkem vláhy dobře zásobená živinami

lipnice luční (*Poa pratensis*) 40,0 %, kostřava niťolistá (*Festuca trichophylla*) 25,0 %, kostřava načernalá (*Festuca nigrescens*) 15,0 %, jílek vytrvalý (*Lolium perenne*) 20,0 %

Doporučený výsevek:
na rovině 20–25 g/m^2, ve svahu 40–50 g/m^2

Travinobylinná směs pro vlhká stanoviště

psineček obecný (*Agrostis capillaris*) 3,0 %, psineček veliký (*Agrostis gigantea*) 5,0 %, psárka luční (*Alopecurus pratensis*) 7,0 %, poháňka hřebenitá (*Cynosurus cristatus*) 4,0 %, metlice trsnatá (*Deschampsia cespitosa*) 1,0 %, kostřava luční (*Festuca pratensis*) 8,0 %, kostřava načernalá (*Festuca nigrescens*) 12,0 %, kostřava červená (*Festuca rubra*) 18,0 %, kostřava niťolistá (*Festuca trichophylla*) 10,0 %, medyněk vlnatý (*Holcus lanatus*) 2,0 %, jílek vytrvalý (*Lolium perenne*) 2,0 %, bojínek luční (*Phleum pratense*) 3,0 %, lipnice hajní (*Poa nemoralis*) 5,0 %, lipnice bahenní (*Poa palustris*) 7,0 %, lipnice luční (*Poa pratensis*) 3,0 %, bukvice lékařská (*Betonica officinalis*) 0,3 %, kmín kořenný (*Carum carvi*) 1,0 %, chrpa luční (*Centaurea jacea*) 0,5 %, škarda dvouletá (*Crepis biennis*) 0,4 %, mrkev obecná (*Daucus carota*) 0,2 %, tužebník jilmový (*Filipendula ulmaria*) 0,2 %, svízel bílý (*Galium album*) 0,6 %, kuklík městský (*Geum urbanum*) 0,3 %, chrastavec rolní (*Knautia arvensis*) 0,7 %, kopretina bílá (*Leucanthemum vulgare*) 0,8 %, kohoutek luční (*Lychnis flos-cuculi*) 0,7 %, kyprej vrbice (*Lythrum salicaria*) 0,4 %, máta dlouholistá (*Mentha longifolia*) 0,2 %, jitrocel kopinatý (*Plantago lanceolata*) 0,2 %, černohlávek obecný (*Prunella vulgaris*) 0,3 %, pryskyřník prudký (*Ranunculus acris*) 0,3 %, krvavec toten (*Sanguisorba officinalis*) 0,2 %, hrachor luční (*Lathyrus pratensis*) 0,4 %, štírovník růžkatý (*Lotus corniculatus*) 1,8 %, jetel ladní (*Trifolium campestre*) 0,3 %, jetel luční (*Trifolium pratense*) 0,2 %

Doporučený výsevek:
na rovině 4–6 g/m^2, ve svahu 8–10 (12) g/m^2

Travní směs pro stanoviště ve vyšších polohách s drsnějšími klimatickými podmínkami

lipnice luční (*Poa pratensis*) 20,0 %, kostřava červená (*Festuca rubra)* 20,0 %, kostřava niťolistá (*Festuca trichophylla*) 15,0 %, kostřava načernalá (*Festuca nigrescens*) 10,0 %, kostřava drsnolistá (*Festuca brevipila*) 20,0 %, psineček obecný (*Agrostis capillaris*) 5,0 %, jílek vytrvalý (*Lolium perenne*) 10,0 %

Doporučený výsevek:
na rovině 20–25 g/m^2, ve svahu 40–50 g/m^2

Travní směs pro stanoviště ve vyšších polohách s drsnějšími klimatickými podmínkami na půdě chudé a s nižšími hodnotami pH

lipnice luční (*Poa pratensis*) 10,0 %, kostřava červená (*Festuca* rubra) 35,0 %, kostřava niťolistá (*Festuca trichophylla*) 10,0 %, kostřava načernalá (*Festuca nigrescens*) 30,0 %, jílek vytrvalý (*Lolium perenne*) 5,0 %, psineček obecný (*Agrostis capillaris*) 10,0 %

Doporučený výsevek:
na rovině 20–25 g/m^2, ve svahu 40–50 g/m^2

Travinobylinná směs pro břehové (a doprovodné) porosty bystřin mimo koryto

psineček obecný (*Agrostis capillaris*) 3,0 %, psineček veliký (*Agrostis gigantea*) 2,0 %, tomka vonná (*Anthoxanthum odoratum*) 1,0 %, ovsík vyvýšený (*Arrhenatherum elatius*) 5,0 %, kostřava luční (*Festuca pratensis*) 9,0 %, kostřava načernalá (*Festuca nigrescens*) 10,0 %, kostřava červená (*Festuca rubra*) 15,0 %, kostřava niťolistá (*Festuca trichophylla*) 6,0 %, kostřava drsnolistá (*Festuca brevipila*) 18,0 %, jílek vytrvalý (*Lolium perenne*) 2,0 %, bojínek luční (*Phleum pratense*) 8,0 %, lipnice luční (*Poa pratensis*) 11,0 %, řepík vonný (*Agrimonia procera*) 0,4 %, koukol polní (*Agrostemma githago*) 0,2 %, řebříček obecný (*Achillea millefolium*) 0,3 %, marunek barvířský (*Cota tinctoria*) 0,5 %, kmín kořenný (*Carum carvi*) 0,2 %,

chrpa luční (*Centaurea jacea*) 0,4 %, mrkev obecná (*Daucus carota*) 0,1 %, svízel bílý (*Galium album*) 0,3 %, třezalka tečkovaná (*Hypericum perforatum*) 0,4 %, máchelka podzimní (*Scorzoneroides autumnalis*) 0,1 %, máchelka srstnatá (*Leontodon hispidus*) 0,1 %, kopretina bílá (*Leucanthemum vulgare*) 1,6 %, sléz pižmový (*Malva moschata*) 0,4 %, heřmánek pravý (*Matricaria recutita*) 0,2 %, dobromysl obecná (*Origanum vulgare*) 0,4 %, mák vlčí (*Papaver rhoeas*) 0,2 %, jitrocel kopinatý (*Plantago lanceolata*) 0,2 %, šalvěj luční (*Salvia pratensis*) 0,8 %, krvavec menší (*Sanguisorba minor*) 0,5 %, úročník bolhoj (*Anthyllis vulneraria*) 0,5 %, štírovník růžkatý (*Lotus corniculatus*) 0,8 %, tolice dětelová (*Medicago lupulina*) 0,2 %, vičenec ligrus (*Onobrychis viciifolia*) 1,0 %, jetel luční (*Trifolium pratense*) 0,2 %

Doporučený výsevek:
na rovině 4–6 g/m^2, ve svahu 8–10 (12) g/m^2

Travní směs pro břehy strží

jílek vytrvalý (*Lolium perenne*) 15,0 %, jílek mnohokvětý jednoletý (*Lollium multiflorum* var. *westerwoldicum*) 5,0 %, kostřava červená (*Festuca rubra*) 20,0 %, kostřava niťolistá (*Festuca trichophylla*) 10,0 %, kostřava načernalá (*Festuca nigrescens*) 15,0 %, kostřava drsnolistá (*Festuca brevipila*) 25,0 %, lipnice luční (*Poa pratensis*) 5,0 %, psineček obecný (*Agrostis capillaris*) 5,0 %

Doporučený výsevek:
na rovině 20–25 g/m^2, ve svahu 40–50 g/m^2

Jetelotravní směsi pro vysokohorské polohy 1300–1600 m n. m.

Druh	zásaditý substrát		bazický substrát	
	jižní svah	severní svah	jižní svah	severní svah
bojínek luční *Phleum pratense*	0	5	5	10
srha laločnatá *Dactylis glomerata*	5	10	10	5
sveřep bezbranný *Bromus inermis*	10	0	5	0
ovsík vyvýšený *Arrhenatherum elatius*	10	0	10	0
psárka luční *Alopecurus pratensis*	5	10	5	10
kostřava červená *Festuca rubra*	40	50	40	50
psineček obecný *Agrostis capillaris*	0	0	0	5
lipnice luční *Poa pratensis*	5	0	5	0
jílek vytrvalý *Lolium perenne*	5	5	5	5
štírovník růžkatý *Lotus corniculatus*	15	10	5	0
úročník bolhoj *Anthyllis vulneraria*	5	0	0	0
jetel zvrhlý *Trifolium hybridum*	0	10	10	15
Množství osiva (kg/ha)	**100**	**100**	**100**	**100**

Poznámky

Poznámky

Vydalo
Ministerstvo zemědělství
Těšnov 17, 110 00 Praha 1
www.eagri.cz

Česká společnost krajinných inženýrů ČSSI, z. s.

Praha 2020

ISBN 978-80-7434-557-9