

SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA V NITRE

Fakulta záhradníctva
a krajinného inžinierstva

Katedra krajinného
inžinierstva

Ing. Tatiana Kaletová, PhD.

LESOTECHNICKÉ MELIORÁCIE



Nitra 2017
Vydala Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre
vo Vydavateľstve SPU

Autorka: Ing. Tatiana Kaletová, PhD.
Katedra krajinného inžinierstva
FZKI, SPU v Nitre

Recenzenti: Dr. h. c. prof. Ing. Dušan Húska, PhD.
doc. Ing. Jana Skalová, PhD.

Schválil rektor Slovenskej poľnohospodárskej univerzity v Nitre dňa 2. 8. 2017
ako online skriptá pre študentov SPU.

© T. Kaletová, Nitra 2017

ISBN 978-80-552-1694-2

OBSAH

PREDSLOV	6
1 MELIORÁCIE - HISTÓRIA, ÚČEL, ROZDELENIE.....	7
1.1 Stručný historický prehľad	7
2 HYDROLOGICKÉ CHARAKTERISTIKY POVODIA, TYPY VODNÝCH TOKOV	9
2.1 Delenie vodných tokov	9
2.2 Charakteristiky povodia	10
2.2.1 Plocha povodia	10
2.2.2 Lesnatosť	10
2.2.3 Dĺžka hlavného toku a prítokov.....	10
2.2.4 Hustota vodných tokov v povodí.....	10
2.2.5 Dĺžka rozvodnice a údolnice	10
2.2.6 Súčiniteľ členitosti rozvodnice	11
2.2.7 Stredná šírka povodia	11
2.2.8 Súčiniteľ tvaru povodia	11
2.2.9 Miera asymetrie povodia	11
2.2.10 Absolútny spád toku	11
2.2.11 Priemerný sklon toku.....	12
2.2.12 Sklon údolnice	12
2.2.13 Absolútny spád povodia	12
2.2.14 Priemerná nadmorská výška povodia	12
2.2.15 Koeficient bystrinnosti	13
3 HYDRAULIKA BYSTRINNÝCH TOKOV	18
3.1 Spojenie hladín v korytách pri vodných dielach.....	20
3.2 Geometrické a hydraulické charakteristiky priečných profilov koryta toku a objektov	21
4 SPLAVENINOVÝ REŽIM.....	24
4.1 Vznik a zdroje splavenín.....	25
4.2 Mechanizmus pohybu splavenín	27
5 BYSTRINY	30
5.1 Delenie bystrín	30
5.2 Hradenie bystrín.....	32
5.2.1 Zásady zahrádzania bystrín a strží.....	35
5.2.2 Podklady pre návrh zahrádzania bystrín.....	37
5.2.3 Úprava smerových pomerov a zaústenie prítokov.....	38
5.2.4 Úprava pozdĺžneho sklonu nivelety dna.....	39
5.2.5 Návrh prietokového profilu	41
5.2.6 Spevnenie prietokového profilu.....	42
5.3 Opatrenia v povodiach	43
5.3.1 Vegetačné a biotechnické úpravy v povodiach	44
5.3.2 Zatrávňovanie pod ochranou siet'ovín	48
5.3.3 Hydroosev (osev nastrekovaním).....	50
5.3.4 Mačinkovanie	50
5.3.5 Kamenná rozprestierka, nahádzka, rovnanina, dlažba.....	50
5.3.6 Plôtiky z tyčoviny, latový plôtik.....	51
5.3.7 Oživené zápletové plôtiky	51
5.3.8 Vŕbové prúty a odrezky	52
5.3.9 Vŕbová krytina, prútený obklad.....	52

5.3.10	Oživená kamenná dlažba, rovnanina, nahádzka	53
5.3.11	Zrubové konštrukcie	54
5.3.12	Oživený zrub	54
5.3.13	Prútené valce	55
5.3.14	Drôtokamenné konštrukcie	55
5.3.15	Oporné múry	57
5.4	Objekty na bystrinných tokoch	57
5.4.1	Pásky	59
5.4.2	Prahy	59
5.4.3	Stupne	60
5.4.4	Skľzový stupeň	62
5.4.5	Skľzy	63
5.4.6	Prehrádzky	63
5.4.7	Výhony	64
5.4.8	Odrážky	66
5.4.9	Iné objekty	66
5.5	Údržba, opravy a rekonštrukcie bystrinných úprav	67
5.6	Starostlivosť o neupravené bystriny	68
5.7	Revitalizácia bystrín	68
6	VPLYV VEGETÁCIE NA VODNÝ REŽIM POVODIA	70
6.1	Trávne a bylinné porasty	71
6.2	Lesný porast	71
6.3	Ochranné lesné pásky	73
7	LESNÉ HOSPODÁRSTVO	75
7.1	Ťažbové metódy	78
8	ZOSUVY PÔDY A SKÁL	79
8.1	Stabilizácia zosuvov	82
8.1.1	Odvodňovacie práce	83
8.1.2	Odvodňovacie galérie a štólne	84
8.1.3	Odvodňovacie horizontálne vrty	85
8.1.4	Odvodňovacie štrbiny a ryhy	85
8.1.5	Stabilizácia pomocou vegetácie	86
8.1.6	Oporné konštrukcie	86
8.1.7	Vystuženie rebrami	89
8.1.8	Zvláštne stabilizačné konštrukcie	89
9	STRŽE	93
9.1	Škodlivosť strže	94
9.2	Stabilizácia strže	94
9.2.1	Zabezpečenie dna a zhlavia strže	94
9.2.2	Zabezpečenie svahov	95
9.3	Postup pri hradení strží	97
10	SNEHOVÉ POMERY A PROTILAVÍNOVÁ OCHRANA	98
10.1	Lavíny	99
10.1.1	Faktory vzniku lavín	102
10.2	Opatrenia proti lavínam	103
10.2.1	Biologické opatrenia	103
10.2.2	Technické zásahy	104
11	PREHRÁDZKY	113

11.1	Časti prehrádzky	117
11.1.1	Základy prehrádzky	117
11.1.2	Krídla prehrádzky	118
11.1.3	Teleso prehrádzky	119
11.1.4	Priepad prehrádzky	119
11.1.5	Dopadisko, vývar	121
11.2	Návrh prehrádzky	122
11.2.1	Výpočet prietokového množstva cez priepad	123
11.2.2	Návrh rozmerov prehrádzky	124
11.2.3	Výpočet stability prehrádzky	125
12	POUŽITÁ LITERATÚRA	129

Predslov

Predložené skriptá majú slúžiť ako učebná pomôcka k štúdiu predmetu Lesotechnické meliorácie pre študentov dennej aj externej formy štúdia II. stupňa študijných programov Krajinárstvo na Fakulte záhradníctva a krajinného inžinierstva SPU v Nitre.

Skriptá sú spracované tak, aby pokrývali tak teoretickú, ako aj praktickú stránku riešených problémov, s ktorými sa študenti stretnú či už počas štúdia, ale najmä v praxi. Teoretické informácie sú doplnené tabuľkami, obrázkami a fotografiami reálnych situácií, ako aj výpočtovými vzťahmi pre vypracovanie semestrálnych заданий. Študenti tak majú možnosť prepojiť si teóriu s praxou. Text má slúžiť ako rozširujúci doplnok k prezentovanému učivu počas prednášok a cvičení.

Všetky použité fotografie realizovaných opatrení sú z archívu autorky.

Predmet Lesotechnické meliorácie je predmetom spájajúcim viaceré vedné disciplíny a študenti sa s niektorými z nich už stretli. Pri riešení úloh využívajú poznatky z hydrológie, hydrauliky, úpravy tokov, či lesného a vodného hospodárstva. Na základe toho riešia problematiku zahrádzania bystrín a strží, stabilizáciu zosuvov, ochranu pred lavínami.

Touto cestou chcem poďakovať Ing. Jakubovi Fuskovi, PhD. za pomoc pri prekresľovaní obrázkov použitých v skriptách, doc. Ing. Petrovi Halajovi, CSc. za odbornú pomoc s terminológiou používanou v zahraničnej literatúre a Mgr. Viere Sasarákovej za jazykovú úpravu. Taktiež chcem poďakovať recenzentom za vypracovanie posudkov, cenné rady a pripomienky.

Zároveň prosím všetkých čitateľov na upozornenie ma na všetky chyby a nedostatky, ktoré sa v texte ešte môžu vyskytovať. Tiež privítam návrhy na doplnenie a upravenie informácií v ďalších vydaniach.

Autorka

V Nitre, júl 2017

1 Meliorácie - história, účel, rozdelenie

Meliorácie sú opatrenia, ktorými sa zlepšujú prírodné pomery a zabezpečujú tak hmotné aj kultúrne pomery spoločnosti. Je to súbor opatrení vedúcich k zlepšeniu pôd, ktoré sú prirodzene málo úrodné alebo pri ktorých došlo v dôsledku nevhodných zásahov či pôsobením vonkajších činiteľov k zníženiu ich produkčnej schopnosti.

Rozdeľujeme ich na:

- **poľnohospodárske meliorácie**, ktoré sa snažia trvalo uchovať a zlepšiť úrodnosť pôdy jej vhodnou úpravou a spracovaním a vytvorením biologickej rovnováhy v prírode vhodným rozdelením poľných, lúčnych a lesných pozemkov,
- **vodohospodárske meliorácie**, ktoré sa usilujú umelými zásahmi do prírodných pomerov, ovplyvňujúcich vodný režim, vytvoriť alebo zlepšiť podmienky pre život vegetácie a človeka,
- **meliorácie rybníkov** sú práce zlepšujúce pomery v rybníku na zvýšenie úrodnosti rybnickej nádrže a jej výrobnosti a
- **lesotechnické**.

Melioráciami môžu byť odvodnenie zamokrenej poľnohospodárskej pôdy, zavlažovanie pôdy s nedostatkom vlhky, vápnenie silne kyslých pôd alebo vyl'ahčovanie ťažkých pôd. Zaraďujeme tu aj protieróziu ochranu pôdy, ochranu pred zosuvmi svahov alebo lavínami, zalesňovanie.

Lesotechnické meliorácie sa zameriavajú na:

- využívanie pôdy v horských a podhorských oblastiach so zameraním na problematiku hydrologie, hydrauliky, úpravy odtoku,
- úpravu a reguláciu bystrinných a horských tokov,
- ochranu pred eróziou,
- zamedzovanie a stabilizáciu zosuvov pôdy a svahov,
- ochranu pred účinkami snehu (protilavínová ochrana).

Masívne melioračné úpravy bez správneho posúdenia ekologických a geologických dôsledkov môžu viesť ku katastrofálnym výsledkom, ako sú tvorba púští, erózia pôdy, ekologické presuny spôsobené drenážou, zasolenie pôd a pod.

1.1 Stručný historický prehľad

Efektívne a udržateľné poľnohospodárstvo nie je možné bez špeciálnych (špecifických) zásahov zameraných na zvýšenie kvality krajiny. Najvýraznejšie a najrozšírenejšie opatrenia na tvorbu udržateľných poľnohospodárskych systémov boli závlahy a odvodnenie.

Závlaha poľnohospodárskej pôdy bola prvýkrát praktizovaná starovekými obyvateľmi po zmene spôsobu životného štýlu z nomádskeho na usadlý. Starovekí Egypťania boli úzko spätý s vodným režimom rieky Níl. Ich život sa riadil zmenami v hladinách rieky, čo sledovali priamo v dnešnej Káhire vodočtom „Níloimeter“, podľa ktorého sa riadila poľnohospodárska výroba závislá na závlahách. Starovekí Egypťania pred približne 7-8000 rokmi používali špeciálne inžinierske stavby na ochranu obydľí pred povodňami a dopravu vody z Nílu na poľnohospodársku pôdu. Konštrukcia veľkých nádrží a záchytných území na Níle je datovaná 3000 rokov p. n. l.

Rozvoj závlahových systémov v Mezopotámii, ako aj v Indii a Číne, sú datované do tretieho milénia p. n. l. Prvé opatrenia na reguláciu zasolenia boli aplikované v Mezopotámii približne 2400 p. n. l.

Umenie hydraulického inžinierstva a melioračných konštrukcií bolo zdokonaľované prácou mnohých generácií vedcov a inžinierov, špecialistov v rôznych oblastiach - od hydraulikov, fyzikov, matematikov a civilných inžinierov po moderných ekologov a špecialistov informačných technológií. Z významných osobností spomeňme aspoň Archimeda, Rafaela, Leonarda da Vinci, D. Bernoulliho, L. Eulera, B. Pascala.

Úloha závlah a odvodnenia v modernom poľnohospodárstve nemôže byť nadhodnotená ale ani podhodnotená. Od antických čias po päťdesiate roky 20. stor. celková plocha upravených plôch presiahla 600 mil. ha.

Od 2. stor. p. n. l. v pobrežných oblastiach Severného mora (súčasnú územie Holandska a Nemecka) budovali ľudia umelé násypy, ktoré ich a ich dobytok a majetok chránili pred pravidelnými povodňami. V 7. storočí n. l. bola postavená prvá hrádza na brehu mora chrániaca nižšie položené miesta pred náporom morskej vody.

Je potrebné spomenúť, že meliorácie krajiny môžu radikálne zmeniť prirodzenú krajinu. Poľnohospodárske oázy priaznivé pre život ľudí sú vytvárané v púšťach a močiaroch. V súčasnosti sú vytvárané nové metódy melioračných opatrení. Ich úloha je spojená s minimalizovaním negatívnych následkov antropogénnych vplyvov na krajinu a vodné zdroje, ako aj na prírodu ako takú. Sú to opatrenia na ochranu pred eróziou, zamokrením, znečistením pôdy atď. Spolu s tradičnými metódami melioračných opatrení tvoria základy udržateľného rozvoja modernej spoločnosti.

Kolískou zahrádzania bystrín v Európe sú alpské krajiny. Služba hradenia bystrín v bývalom Rakúsku sa vyvinula z počiatočných ojedinelých ochranných prác proti povodňovým škodám, o ktorých sú záznamy zo 14. stor. V rokoch 1650-1662 bolo na 2 bystrinách pri Brixene v južnom Tirolsku prevedené zahrádzanie toku zádržnými prehrádzkami. K systematickému hradeniu bystrín došlo v roku 1826 v Tirolsku, pričom práce mali stavebný ráz. Vzápätí došlo k poznaniu, že medzi povodňami a pustošením lesa je určitá vzájomná súvislosť a že nielen voda, ale hlavne veľkými prívalmi dopravovaná kamenná suť, je hlavnou príčinou devastácie horských údolí a ľudských obydľí.

Obzvlášť katastrofálne povodne z roku 1856 vo Francúzsku dali podnet k rozsiahlemu a sústavnému zahrádzaniu, organizovanému na základe k tomu vynesenej zákonov o znovuzalesnení horských pôd (1860) a o zatrávení horských pôd (1864). Výsledky, ktoré v tomto odbore od r. 1864 dosiahli francúzsky lesníci, viedli k tomu, že úloha hradenia bystrín a strží bola zverená lesným technikom. V roku 1884 bol prijatý zákon o neškodnom odvádzaní horských vôd. V roku 1911 vydal maďarský minister orby nariadenie obsahujúce ustanovenie o navrhovaní, prerokovávaní a uskutočňovaní prác k zahrádzaniu výmoľov a strží, ktoré bolo platné aj pre územie Slovenska.

Po prvej svetovej vojne bolo v roku 1918 pri ministerstve poľnohospodárstva ČSR zriadené samostatné oddelenie hradenia bystrín. Na Slovensku (1920) bol v Bratislave pri expozitúre ministerstva zriadený pôdohospodársko-technický referát ako samostatné oddelenie zahrádzania bystrín. V roku 1952 služba lesomelioračná (a zahrádzanie bystrín) bola zaradená ku krajským správam štátnych lesov, kde boli vytvorené závody lesotechnických meliorácií - zahrádzania bystrín. Postupne prechádzali podniky rôznymi organizačnými zmenami. V súčasnej dobe je starostlivosť o bystriny, ktoré majú v správe, v náplni práce spoločnosti Lesy Slovenskej republiky, š.p.

Odbor hradenia bystrín sa rozvíjal nielen v technickej praxi, ale aj vo výskumnej činnosti a na vysokých školách. Z mnohých významných osobností je potrebné spomenúť aspoň prof. V. Kaislera (Binder, 1969), prof. L. Skatulu (1960), či Ing. R. Bindera (1969).

2 Hydrologické charakteristiky povodia, typy vodných tokov

Pod pojmom **povodie** rozumieme depresný útvar povrchu Zeme ohraničený rozvodnicou a ústím s riečnym systémom, z ktorého voda steká do daného profilu vodného toku (STN 75 0110). Povodie určujeme vždy ku konkrétnemu záverovému profilu na toku.

Čiaru, ktorá ohraničuje povodie (na mape i v teréne), nazývame **rozvodnica**. Rozlišujeme povodie povrchových vôd, vymedzené tzv. orografickou rozvodnicou a povodie podpovrchových vôd, vymedzené tzv. hydrogeologickou rozvodnicou.

2.1 Delenie vodných tokov

Môžeme rozlíšiť dve základné skupiny vodných tokov, a to potoky rovín a pahorkatín a potoky hôr a veľhôr.

Na riekach Slovenska sa výrazne prejavuje výšková zonálnosť, pričom rozlišujeme tri základné typy riečnych zón:

1. vysokohorský typ (prechodne snehový) - najvyššie mesačné prietoky sú v máji až júli, najnižšie v januári alebo vo februári - Belá v Tatrách,
2. stredohorský typ (snehovo-dažďový) - najvyššie prietoky v apríli, najnižšie v zime - Hron,
3. vrchovino-nížinný typ (dažďovo-snehový) - najvyššie prietoky v marci, najnižšie v septembri - Nitra.

Zuna (1995, in Hanák et al., 2008) pre potreby navrhovania prírode blízkych úprav a revitalizácií potočných a bystrinných tokov uvádza za vhodnejšie podrobnejšie členenie na:

- potoky rovín a pahorkatín - bežné potôčiky a potoky pretekajúce v prirodzenom stave väčšinou lúčnymi nívami, často s meandrujúcou trasou a sprevádzané skupinovým porastom krov a stromov; v minulosti boli tieto toky najčastejšie upravované pri odvodňovacích melioráciách poľnohospodárskych pozemkov, takže dnes sú prirodzené trate týchto potokov vzácne,
- potoky hôr a veľhôr - sú spojené s veľkým sklonom terénu horských území, ktorý ovplyvňuje charakter prúdenia vody v koryte a splaveninový režim natoľko, že ich úprava a revitalizácia vyžaduje špecifický prístup,
 - podhorské potoky - stredný sklon toku je 5 - 10 %, ide o lipňové až pstruhové rybnie pásma; charakteristický je vyrovnaný sklon dna a ustálený pozdĺžny profil. Transport kameňov, štrku a piesku je intenzívny, pričom dochádza k sedimentácii väčších častíc s miestnou akumuláciou piesku. V koryte sú početné brodové a perejnaté úseky so štrkovým dnom a s kameňmi, dlhšie prúdiace úseky sa striedajú s nepravidelnými tŕňami s piesočnatým dnom, miestami sa vyskytujú nízke štrkové lavice. Hlinité brehy s veľkým podielom skeletu sú narušené miestnymi nátržami, členitosť ich koryta je nevýrazná,
 - horské potoky - stredný sklon toku je 10 - 30 %, ide o pstruhové pásma. Majú premenlivý sklon toku a neustálený pozdĺžny profil s častými zmenami, ktorý spôsobuje výrazne perejové prúdenie vody. Pri vyšších prietokoch prebieha v koryte veľmi intenzívny pohyb kameňov, štrku a piesku, pričom je častá sedimentácia kameňov. Dno koryta je obvykle štrkové s častými kameňmi až balvanmi, na dne je veľa štrkových lavíc a miestne štrkové a piesočnaté akumulácie. V koryte sa striedajú stupne v nivelete dna a drobné nepravidelné tŕne. Kamenité brehy sú strmé s častými nátržami, koryto je celkovo značne členité s obmedzeným porastom vodných rastlín,
 - bystriny - majú sklon koryta cez 30 %, s typickou veľkou rozkolísanosťou prietokov, je to pstruhové pásma. Charakteristický je premenlivý sklon toku a neustálený pozdĺžny profil s častými zmenami v čase. Výrazný je transport splavenín všetkých veľkostí a sedimentácia

balvanov a kameňov. V kamenitom až balvanovitom dne koryta sa vytvárajú vysoké štrkové lavice a stupne, akumulácia a ostrovčeky drobného štrku a piesku. Stupňovité dno spôsobuje perejovitý prietok, vznikajú vodopády, v koryte sú časté nepravidelné tône pod stupňami a balvanmi. Kamenité až balvanisté brehy s hlinitými vložkami sú veľmi nepravidelné, koryto je celkovo značne členité s veľkým množstvom prúdových tieňov a úkrytov.

Pre určenie charakteru vodného toku môžeme použiť koeficient bystrinnosti (K_b), ktorý charakterizuje tok, zo vzťahu uvedeného v kap. 2.2.15.

2.2 Charakteristiky povodia

2.2.1 Plocha povodia

Plochu povodia (S_p) zistíme planimetrom z mapy 1:10 000 po zakreslení rozvodnice, v prípade elektronických podkladov jednotlivými príkazmi softvéru.

2.2.2 Lesnatosť

Lesnatosť (l) určíme podľa vzorca:

$$l = \frac{S_l}{S_p} \cdot 100 \quad (\%) \quad (2.1)$$

kde: S_p - plocha povodia (km^2),
 S_l - zalesnená plocha (km^2).

2.2.3 Dĺžka hlavného toku a prítokov

Dĺžku hlavného toku (L_t) a prítokov (L_{pi}) určíme z mapy 1:10 000, v prípade elektronických podkladov jednotlivými príkazmi softvéru. Celkovú dĺžku vodných tokov v povodí L_c určíme sčítaním dĺžky hlavného toku a dĺžky prítokov:

$$L_c = L_t + \sum L_{pi} \quad (\text{km}) \quad (2.2)$$

kde: L_c - celková dĺžka vodných tokov (km),
 L_t - dĺžka hlavného toku (km),
 L_{pi} - dĺžka prítokov (km).

2.2.4 Hustota vodných tokov v povodí

Hustotu vodných tokov (r) vypočítame podľa vzťahu:

$$r = \frac{L_c}{S_p} \quad (\text{km.km}^{-2}) \quad (2.3)$$

kde: L_c - celková dĺžka vodných tokov (km),
 S_p - plocha povodia (km^2).

2.2.5 Dĺžka rozvodnice a údolnice

Rozvodnica je čiara vyznačujúca geografickú hranicu povodia. Dĺžku rozvodnice (O) (km) zistíme po jej zakreslení do mapy 1:10 000, v prípade elektronických podkladov jednotlivými príkazmi softvéru. Zistenie hodnoty dĺžky rozvodnice je potrebné ako jeden zo vstupných údajov napr. pre výpočet koeficienta bystrinnosti K_b povodia.

Údolnica je spojnica geodeticky najnižších miest v priečných údolných profiloch. Dĺžku údolnice (L_u) (km) zistíme tiež z mapy, v prípade elektronických podkladov jednotlivými príkazmi softvéru.

2.2.6 Súčiniteľ členitosti rozvodnice

Jeho stanovenie má význam pre všeobecný popis povodia. Súčiniteľ členitosti povodia (O_α) (Graveliov koeficient) vyjadruje pomer medzi dĺžkou rozvodnice a dĺžkou kružnice, ktorá ohraničuje kruh s rovnakou plochou akú má povodie. Vypočítame ho:

$$O_\alpha = \frac{O}{2 \cdot \sqrt{\pi \cdot S_p}} \quad (-) \quad (2.4)$$

kde: O - dĺžka rozvodnice (km),
 S_p - plocha povodia (km^2).

2.2.7 Stredná šírka povodia

Strednú šírku povodia (B_p) vypočítame vzťahom:

$$B_p = \frac{S_p}{L_u} \quad (\text{km}) \quad (2.5)$$

kde: S_p - plocha povodia (km^2),
 L_u - dĺžka údolnice (km).

2.2.8 Súčiniteľ tvaru povodia

Tvar povodia spolu so sklonovými pomermi ovplyvňuje dobu sústreďovania povrchového odtoku z povodia do uzavierajúceho prietokového profilu. Najpoužívanejšou charakteristikou tvaru povodia je súčiniteľ tvaru povodia (α), ktorý vyjadruje pomer medzi strednou šírkou povodia (B_p) a dĺžkou údolnice (L_u):

$$\alpha = \frac{B_p}{L_u} = \frac{S_p}{L_u^2} \quad (-) \quad (2.6)$$

2.2.9 Miera asymetrie povodia

Miera asymetrie povodia ($\underline{\alpha}$) dáva určitú predstavu o tvare povodia a umiestnení hlavného toku v povodí. Vyjadruje ju súčiniteľ asymetrie, ktorý vypočítame zo vzťahu:

$$\underline{\alpha} = \frac{S_l - S_p}{S_l + S_p} = \frac{S_l - S_p}{S} \quad (-) \quad (2.7)$$

kde: S_l - plocha povodia vľavo od hlavného toku (km^2),
 S_p - plocha povodia vpravo od hlavného toku (km^2),
 S - celková plocha povodia (km^2).

Kladné znamienko vyjadruje, že hlavný tok je viac umiestnený k pravej strane hodnoteného povodia. V prípade zápornej hodnoty je tok orientovaný viac k ľavej strane povodia. Rozdiely od nuly (kladné alebo záporné), vyjadrujú veľkosť asymetrie povodia. Aby nedošlo k omylu, musíme uviesť čo sa považuje za pravú a čo za ľavú stranu povodia. Pravá a ľavá strana toku sa určuje po prúde!

2.2.10 Absolútny spád toku

Absolútny spád toku (ΔH_t) je orientačnou charakteristikou výškových pomerov toku. Predstavuje rozdiel medzi maximálnou a minimálnou výškou trasy toku. Môžeme ho vypočítať vzťahom:

$$\Delta H_t = H_{maxt} - H_{mint} \quad (\text{m}) \quad (2.8)$$

kde: H_{max_t} - maximálna nadmorská výška na trase toku - nadmorská výška prameňa (m n. m.),
 H_{min_t} - minimálna nadmorská výška na trase toku - nadmorská výška uzavierajúceho
profilu, príp. ústia (m n. m.).

2.2.11 Priemerný sklon toku

Priemerný sklon toku (I_t) je pomer absolútneho spádu toku (ΔH_t) k dĺžke toku (L_t) a vyjadrujeme ho vzt'ahom:

$$I_t = \frac{\Delta H_t}{L_t} \cdot 100 \quad (\%) \quad (2.9)$$

2.2.12 Sklon údolnice

Sklon údolnice (I_u) je významnou charakteristikou najmä pre malé povodia. Vypočítame ho vzt'ahom:

$$I_u = \frac{H_{max_u} - H_{min_u}}{L_u} \cdot 100 \quad (\%) \quad (2.10)$$

kde: H_{max_u} - maximálna nadmorská výška údolnice - na rozvodnici (m n. m.),
 H_{min_u} - minimálna nadmorská výška údolnice - výška uzavierajúceho profilu povodia (m n. m.),
 L_u - dĺžka údolnice (m).

2.2.13 Absolútny spád povodia

Absolútny spád povodia (H_p) je len informatívna charakteristika, ktorá udáva rozdiel medzi najvyššou a najnižšou kótou v povodí:

$$H_p = H_{max} - H_{up} \quad (m) \quad (2.11)$$

kde: H_{max} - maximálna nadmorská výška (m n. m.),
 H_{up} - minimálna nadmorská výška (m n. m.), zároveň aj nadmorská výška uzavierajúceho profilu.

2.2.14 Priemerná nadmorská výška povodia

Celkové výškové pomery povodia vo vzt'ahu k ploche územia s konkrétnymi nadmorskými výškami znázorňujeme hypsometrickou (hypsografickou) krivkou. Pomocou hypsometrickej krivky určujeme aj priemernú nadmorskú výšku povodia (H_ϕ). Hypsometrickú krivku zostrojíme tak, že v pravouhlých súradniciach vykreslíme zvislú os (y) a vodorovnú os (x). Na os y vynesieme vo vhodnej mierke nadmorské výšky a na os x tiež vo vhodnej mierke im zodpovedajúce plochy uzatvorené vrstevnicami (vo zvolených výškových rozdieloch) a rozvodnicou. Spojnicu bodov vytvoríme plynulou krivkou. Priemernú nadmorskú výšku odvodíme z hypsometrickej krivky prevedením plochy vymedzenej osami súradníc a hypsometrickou krivkou na rovnoplochy obdĺžnik so základňou, ktorá zodpovedá celkovej ploche povodia. Výška obdĺžnika určuje na osi y priemernú nadmorskú výšku povodia.

Tab. 2.1 Plochy medzi vrstevnicami na zostrojenie hypsografickej krivky pre povodie

Poradové číslo plochy	Nadmorská výška od - do	1. meranie	2. meranie	Ø	Kumulatívny súčet
1	2	3	4	5	6
1.					
2.					
3.					
...					
Spolu					

Údaje pre zostrojenie hypsografickej krivky pre povodie čerpáme z Tab. 2.1, kde do stĺpca 2 uvádzame rozdiel vrstevníc, v stĺpcoch 3 a 4 výsledky meraní plochy medzi vrstevnicami uvedenými v stĺpci 2 (tabuľku môžeme rozšíriť o tretie meranie pre zvýšenie presnosti merania). V stĺpci 5 je následne priemer zo stĺpcov 3 a 4 a v stĺpci 6 je kumulatívne súčet všetkých plôch. Výsledná hodnota musí byť zhodná s plochou povodia.

2.2.15 Koeficient bystrinnosti

Pre presnejšie určenie charakteru vodného toku sa používa koeficient bystrinnosti (K_b), ktorý určíme zo vzťahu:

$$K_b = \frac{r \cdot O \cdot V \cdot P \cdot E \cdot \sqrt{S_p + 1}}{L_t \cdot \sqrt{(S_l + 1)}} \quad (-) \quad (2.12)$$

kde r - hustota riečnej siete v povodí ($\text{km} \cdot \text{km}^{-2}$),

O - dĺžka rozvodnice (km),

V - stredný výškový rozdiel povodia (-),

P - súčiniteľ vyjadrujúci priemernú priepustnosť pôd v jednotlivých povodiach (Tab. 2.2),

E - súčiniteľ vyjadrujúci druh a rozsah erózie v povodí (erodovanosť povodia, Tab. 2.3),

S_p - plocha povodia (km^2),

L_t - dĺžka hlavného toku od prameňa po uzavierajúci prietokový profil (km),

S_l - plocha lesa v povodí, príp. S_v - plocha vegetačného krytu (km^2).

Tab. 2.2 Hodnoty súčiniteľa priepustnosti pôdy (Dvořák, Novák et al., 1994)

Pôdne druhy, resp. druh povrchu	Priepustnosť	P
Skala, zastavaná plocha, spevnená komunikácia	úplne nepriepustné	1,0
Íl, ílovité pôdy (nad 60 % ílu)	nepriepustné	0,9
Rašelina, močiar	nepriepustné	0,8
Pôdy ílovitohlinité (45 - 60 % ílu), horské kamenité pôdy	menej priepustné	0,8 - 0,7
Hlinité pôdy, podzolované pôdy, hnedé lesné pôdy	stredne priepustné	0,65 - 0,6
Hlinitopiesočnaté pôdy, piesočnatohlinité pôdy	priepustné	0,6 - 0,5
Piesočnaté pôdy, aluviálne štrkopiesočnaté pôdy	veľmi priepustné	0,45

Stredný výškový rozdiel povodia zistíme zo vzťahu:

$$V = \frac{\sum(S_i \cdot H_i)}{S_p} - H_{min} \quad (-) \quad (2.13)$$

kde S_i - plocha medzi susednými vrstevnicami (km^2),

H_i - stredná nadmorská výška medzi susednými vrstevnicami (m n. m.),

H_{min} - najmenšia nadmorská výška povodia (m n. m.).

Ak sa v povodí vyskytuje viac druhov pôd s odlišnou priepustnosťou, stanovíme hodnotu P podľa vzťahu:

$$P = 0,4 \cdot P_{VP} + 0,7 \cdot P_{SP} + P_{NP} \quad (-) \quad (2.14)$$

kde P_{VP} - koeficient pre veľmi priepustné pôdy (-),

P_{SP} - koeficient pre stredne priepustné pôdy (-),

P_{NP} - koeficient pre málo priepustné a nepriepustné pôdy a plochy (-).

Jednotlivé koeficienty sú zhodné s koeficientmi uvedenými v Tab. 2.2.

Tab. 2.3 Hodnoty súčiniteľa intenzity erózie v povodí (Dvořák, Novák et al., 1994)

Intenzita erózných procesov v povodí a hydrologickej sieti	E
Celé povodie je zasiahnuté všetkými typmi erózie. Koryto je zničené hĺbkovou a priečnou eróziou. V toku je výrazná transportná činnosť a obnažená pôda bez dostatočného vegetačného krytu prevláda v celom povodí. Sklony svahov majú sklon nad 50 %.	1,0
Až do 80 % povodia je zasiahnutých ryhovou a stržovou eróziou. Transport a akumulácia hrubozrnného materiálu (balvany) prevláda v koryte toku.	0,9
Do 50 % povodia je zasiahnutých výmoľovou, ryhovou a stržovou eróziou pôdy. Sklon svahov je nad 30 %. V koryte je výrazný transport a intenzívna akumulácia hrubého materiálu (kamene).	0,8
Výmoľová a ryhová erózia prevládajú. Sklony svahov presahujú 20 %. Kamene a skaly sú dopravované do koryta toku.	0,7
Plošná erózia a sporadicky aj ryhová erózia prevládajú v povodí. Prejavuje sa výrazná hĺbková a priečna erózia koryta toku s transportom kameňov.	0,6
Plošná erózia postihuje do 50 % povodia, výmoľová erózia prechádza do ryhovej. Kamene sú transportované a akumulované v koryte a sklony svahov majú do 20 %.	0,5
25 - 30 % povodia je postihnutých plošnou eróziou, lokálne sa vyskytuje výmoľová erózia. Vyskytujú sa tu miesta s pohybom jemnejších častíc, ktoré sú prenášané a ukladané v koryte toku. Sklony svahov sú 10 - 15 %, vegetačný kryt je narušený - lesy sú postihnuté priemyselnými emisiami.	0,4
Okolo 20 % územia povodia je postihnutých plošnou eróziou, na niektorých miestach sa vyskytuje výmoľová erózia. V povodí sa nachádzajú zreteľné znaky zmyvu vrchnej časti pôdy. Jemný materiál je transportovaný v koryte toku.	0,3
Celé povodie je bez zreteľných znakov erózie. V území je veľký podiel poľnohospodárskej pôdy a sedimenty sú tvorené najmä eróziou v koryte. Sklony svahov sú do 20 %.	0,2
Celé povodie je bez viditeľných znakov erózie. Les pokrýva veľké percento územia a má dobré druhové a vekové zloženie, zvyšné územie je tvorené trvalými trávnyimi porastmi. Koryto toku je stabilizované výškovo aj smerovo, neprejavuje sa transport splavenín.	0,1 - 0

V prípade len ojedinelého alebo sporadického lesného porastu môžeme plochu zalesnenia nahradiť plochou s vegetačným krytom:

$$S_v = 0,6 \cdot S_l + 0,8 \cdot S_{LK} + S_{PA} \quad (\text{km}^2) \quad (2.15)$$

kde S_l - plocha lesov v povodí (km^2),

S_{LK} - plocha pokrytá permanentným trávnatým porastom - trvalý trávny porast, lúky, pasienky (km^2),

S_{PA} - plocha povodia s prevahou ornej pôdy alebo holej pôdy - vinice, chmeľnice (km^2).

Pre presnejšie stanovenie súčiniteľa vyjadrujúceho druh a rozsah erózie v povodí (erodovanosť povodia) používame vzťah (Valtýni, Jakubis, 1998)

$$E = \sqrt{\frac{E_p^2 + E_T^2 \cdot r + E_C^2 \cdot H_C}{1 + r + H_C}} \quad (-) \quad (2.16)$$

kde E_p - erózný súčiniteľ vyjadrujúci existujúcu erodovanosť v samotnom povodí (-), Tab. 2.4,

E_T - erózný súčiniteľ vyjadrujúci existujúcu erodovanosť vo vodnom toku (-), Tab. 2.5,

E_C - erózný súčiniteľ vyjadrujúci existujúcu erodovanosť na zemných lesných cestách a približovacích linkách v povodí (-), Tab. 2.6,

H_C - hustota zemných lesných ciest a približovacích liniek v povodí, čo je pomer celkovej dĺžky zemných lesných ciest a približovacích liniek v povodí k ploche povodia (-).

Tab. 2.4 Hodnoty erózneho súčiniteľa pre povodie (Valtýni, Jakubis, 1998)

Popis existujúcej erózie na skúmanej ploche (území, časti povodia, v povodí)	E _P
Nevyskytujú sa žiadne prejavy erózie. Bez plošného zmyvu, vysoká protierózna účinnosť vegetačného krytu (les, trvalé trávne porasty). Veľmi dobrá infiltrácia.	0,1
Nevyskytujú sa výraznejšie prejavy erózie, len lokálny plošný zmyv (areálna erózia) na menšej časti plochy. Nevyskytujú sa stružky, struhy, ryhy ani jarčeka.	0,2
Súvislá areálna erózia na väčšine plochy. Po intenzívnych zrážkach sa tvoria stružky a struhy. Ich hĺbka nepresahuje 10 % celkovej hĺbky pôdy.	0,3
Stružky a struhy veľmi početné. Sústreďujú sa do hlbších rýh a jarčiek. Ich hĺbka nepresahuje 30 % celkovej hĺbky pôdy. Zreteľné prejavy intenzívnej areálnej erózie na väčšine plochy.	0,4
Početné jarčeka, jarky, ryhy, struhy. Ich hĺbka nepresahuje 50 % celkovej hĺbky pôdy. Bez výmoľov. Badateľná lokálna hĺbková areálna erózia. Nánosy jemnejších materiálov v pätách svahov.	0,5
Tvorba výmoľov s hĺbkou do 70 % celkovej hĺbky pôdy. Súvislá hĺbková areálna erózia. Nie je viditeľná materská hornina (podložie).	0,6
Hĺbková plošná erózia na väčšine plochy. Jarky a výmole s hĺbkou nad 70 % celkovej hĺbky pôdy. Miestne sa môže vyskytovať odkrytá materská hornina.	0,7
Početné výmole a strže. Súvisle odkrytá materská hornina na menšej časti plochy, skaly, menšie sute. Nánosy materiálov väčšej zrnitosti v pätách svahov.	0,8
Polymorfna erózia. Strže a výmole až po materskú horninu. Materská hornina odkrytá odplavením pôdy na väčšine plochy. Zosuvy balvanov do nižších častí povodia.	0,9
Plocha zdevastovaná katastrofálnou polymorfnou eróziou. Skalné steny a blokoviská, aktívne sute veľkého rozsahu.	1

Tab. 2.5 Hodnoty erózneho súčiniteľa pre tok (Valtýni, Jakubis, 1998)

Popis existujúcej erózie v koryte toku	E _T
Koryto toku úplne ustálené, bez náznakov poškodení dna a svahov, prejavuje sa zanášanie. Smerové a sklonové pomery dlhodobo ustálené. Dno hlinité až piesčité. Na svahoch protierózna účinný vegetačný kryt - brehovú porasty a bylinný kryt. Ukončená morfogenéza toku.	0,1
Koryto toku veľmi dobre ustálené, výnimočne sa vyskytuje zanášanie a tvorba nánosových kužeľov. Dno hlinité až piesčité s prímiesou štrku, bez výmoľov. Svahy stabilné, bez porušení. Smerové a výškové pomery stabilizované.	0,2
Koryto výškovo a smerovo stabilizované. Dno koryta štrkovité s okruhliakmi, bez výmoľov. Nedochádza k zanášaniam koryta a tvorbe nánosových kužeľov. V koryte sa nevyskytujú prirodzené prahy. Svahy majú len mierne narušenia, ktoré sa prirodzene zaceľujú, ide najmä o vonkajšie strany oblúkov.	0,3
Dno koryta je štrkové s väčšími okruhliakmi. Vyskytujú sa prirodzené prahy zo splavenín s výškami do 20 cm. Na brehoch sú menšie nátrže bez prirodzeného zaceľovania. Rozširujú sa pomaly len v čase vyšších vodných stavov, najmä na konkávných stranách oblúkov. Usadzovanie štrku na konvexných stranách oblúkov a plytké, väčšinou stabilizované výmole s hĺbkami do 25 cm. Smerové pomery sa nemenia.	0,4
V koryte toku je viditeľná priečna a pozdĺžna erózia, najmä v oblúkoch. Zreteľné zmeny šírky prietokového profilu, smer toku stabilizovaný. Vyskytujú sa prahy zo splavenín s výškami 20 až 40 cm a výmole s hĺbkami 25 - 40 cm. Na dne hrubý štrk a väčšie okruhliaky.	0,5
Pre koryto sú charakteristické časté zmeny tvaru prietokového profilu a nepravidelný pozdĺžny sklon. V koryte sa ojedinele vyskytujú aj balvany. V dne sa tvoria výmole hĺbky 40 - 60 cm. Je výrazné podomieľanie konkávných strán oblúkov a usadzovanie splavenín na konvexných stranách. Päty svahov sú vymieľané aj počas nižších vodných stavov.	0,6
V koryte sa vyskytujú viaceré balvany. Prirodzené stupne majú výšku 60 - 80 cm. Extrémne	0,7

Popis existujúcej erózie v koryte toku	E_T
podmieľanie konkávných strán oblúkov s následnými zosuvmi do koryta a transportom materiálu do dolných úsekov toku. Výmole s hĺbkami nad 60 cm.	
Výrazne neustálené koryto. Pozdĺžny sklon nepravidelný, neustále dochádza k tvorbe splavenín. Prírodné stupne s výškami 80 - 100 cm. Veľký výskyt balvanov, dochádza k upchávaniu koryta. Tvar koryta sa mení po krátkych úsekoch. Hlboké výmole.	0,8
Koryto smerovo a výškovo extrémne nevyrovnané, nevyvinuté. Vyskytujú sa vysoké prírodné stupne s výškami aj nad 100 cm. Počas vysokých vodných stavov sa koryto rozvetvuje na viacero ramien. Možno rozlíšiť najväčšie - pôvodné koryto. Množstvo balvanov a vývraty stromov.	0,9
Blúdiace koryto, extrémna tvorba splavenín. Po každom vysokom vodnom stave dochádza k zmenám smeru, sklonu a tvaru prietokového profilu. Charakteristické je extrémne kolísanie vodných stavov aj viackrát v roku. Do koryta sa zosúvajú svahy.	1

Tab. 2.6 Hodnoty erózneho súčiniteľa pre zemné cesty a približovacie linky (Valtýni, Jakubis, 1998)

Popis existujúcej erózie na zemných lesných cestách a násypových a výkopových svahoch	E_C
Cesta a jej násypové a výkopové svahy bez akýchkoľvek prejavov erózie. Nedochádza k plošnému zmyvu (areálnej erózii). Svahy sú úplne stabilné, dokonale chránené protierózne účinným vegetačným krytom. Vynikajúce, spoľahlivé odvodnenie.	0,1
Miestny plošný zmyv (cesta, svahy) sa vyskytuje len lokálne. Netvorí sa stružky a ryhy. Veľmi dobré a plne funkčné odvodnenie, bez zanášania.	0,2
Lokálne sa vyskytujú stružky a ryhy, a to do hĺbky maximálne 3 cm od pláne (povrchu svahov). Súvislá areálna erózia. Odvodnenie funkčné, minimálne zanášanie.	0,3
Struhy, ryhy a plytké jarčeka do hĺbky maximálne 5 cm. Intenzívna areálna erózia na menšej časti plochy. Miestne zanášanie alebo mierne vymieľanie priekop (rigolov). Cesta zjazdná osobným vozidlom (sezónne).	0,4
Struhy, ryhy, jarčeka do hĺbky 10 cm. Prejavy hĺbkovej plošnej erózie, lokálne aj do hĺbky 10 cm. Koľaje od vozidiel. Súvislé menšie poškodenia odvodňovacích zariadení. Cesta ťažko zjazdná osobným vozidlom.	0,5
Ryhy, jarčeka, koľaje s hĺbkami do 15 cm. Súvislé plochy s hĺbkovou eróziou. Početné koľaje od vozidiel. Menej funkčné odvodňovacie zariadenia s menšími, odstrániteľnými poškodeniami. Cesta nezjazdná osobným, len terénnym automobilom. V päťach svahov nánosy jemnejších materiálov.	0,6
Ryhy, koľaje, jarky s hĺbkami do 25 cm. Hĺbková plošná erózia na väčšine plochy. Nie je viditeľná materská hornina. Bez zosuvov svahov. Väčšie poškodenia odvodňovacích zariadení, ktoré sú lokálne nefunkčné. Cesta ťažko zjazdná terénnym automobilom. V päťach svahov nánosy aj hrubších materiálov.	0,7
Cesta s veľmi početnými ryhami, jarkami, výmolmi s hĺbkami do 30 cm. Hĺbková plošná erózia, miestne aj po materskú horninu. Lokálne zosuvy svahov. Nefunkčné odvodňovacie zariadenia, poškodené. Cesta zjazdná len traktorom.	0,8
Hlboké jarky a výmole s hĺbkami do 40 cm. Zosuvy svahov súvislé. Zreteľný transport hrubších splavenín do nižších úsekov. Neexistujúce alebo ťažko poškodené odvodňovacie zariadenia. Súvisle odkrytá materská hornina. Cesta veľmi ťažko zjazdná traktorom.	0,9
Cesta katastrofálne zdevastovaná eróziou. Početné väčšie zosuvy svahov. Hlboké výmole s hĺbkami aj nad 40 cm. Mimoriadne intenzívna hlboká plošná erózia. Cesta nezjazdná pre žiadne vozidlo. Neexistujúce alebo totálne zničené odvodňovacie zariadenia. Extrémny transport splavenín (aj hrubších) do nižších častí povodia. Materská hornina odkrytá na viacerých miestach.	1

Na základe vypočítaného koeficientu bystrinnosti môžeme zatriediť vodný tok do kategórií podľa Tab. 2.7 a bystrinu bližšie podľa Tab. 2.8.

Tab. 2.7 Kategórie vodných tokov podľa koeficientu bystrinnosti (Hanák et al., 2008)

Koeficient bystrinnosti	Charakteristika vodného toku
< 0,04	potok nížiny
0,04 - 0,065	potok pahorkatiny
0,05 - 0,08	podhorský potok
0,07 - 0,15	horský potok
> 0,1	bystrina

Tab. 2.8 Kategórie bystrín a ďalších vodných tokov podľa koeficientu bystrinnosti (Dvořák, Novák et al., 1994)

Kategória	Koeficient bystrinnosti	Charakteristika vodného toku
I.	< 0,1	vodný tok bez povahy bystriny
II.	0,1 - 0,4	bystrina s nízkou intenzitou erózie
III.	0,4 - 0,7	bystrina so stredne výraznými bystrinnými znakmi
IV.	0,7 - 1,0	bystrina s výraznými bystrinnými znakmi
V.	> 1,0	bystrina s veľmi výraznými bystrinnými znakmi

3 Hydraulika bystrinných tokov

Voda sa pohybuje v koryte v neustálenom režime, pri ktorom je prietok a rýchlosť vodného prúdu veľmi premenlivá. Pre hydraulické výpočty je potrebné odvodiť tangenciálne napätie vody, ktoré pôsobí na dno koryta.

Pri dimenzovaní prietokového profilu

- vychádzame zo zákonitostí turbulentného ustáleného rovnomerného prúdenia a
- vychádza sa z rovnice kontinuity (spojitosti) a Chézyho rýchlostného vzorca.

Turbulentné prúdenie je vtedy, keď je pohyb častíc kvapaliny chaotický. **Ustálené rovnomerné prúdenie** vzniká v koryte stáleho prierezu (po dĺžke), sklonu, drsnosti, pričom v odpovedajúcich si bodoch je rýchlosť po dĺžke rovnaká.

Rovnica spojitosti je jednou z najdôležitejších rovníc hydrodynamiky. Podľa nej pri ustálenom prúdení vo všetkých prietokových plochách (S) je prietok (Q) rovnaký.

$$Q = v_1 \cdot S_1 = v_2 \cdot S_2 = \text{konštanta} \quad (\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}) \quad (3.1)$$

kde: v_i - rýchlosť vody v priereze i ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$).

Chézyho rovnica platí pre ustálené rovnomerné prúdenie a závisí od drsnosti stien a Reynoldsovho čísla. Rýchlostný súčiniteľ (C) charakterizuje vplyv drsnosti stien (n) a tvaru prietokového prierezu (R - hydraulický polomer). Na jeho výpočet bolo odvodených niekoľko empirických vzorcov. V súčasnosti je najpoužívanejší výpočet podľa Manninga:

$$C = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{1}{6}} \quad (\text{m}^{0.5} \cdot \text{s}^{-1}) \quad (3.2)$$

$$v = C \cdot \sqrt{R \cdot i_0} = \frac{1}{n} \cdot \sqrt{i_0} \cdot R^{\frac{2}{3}} \quad (\text{m} \cdot \text{s}^{-1}) \quad (3.3)$$

kde: i_0 - sklon dna (-).

Pohyb vody v toku a jeho účinky na prietokový profil je určovaný charakterom prúdenia. Pri pohybe vody v koryte dochádza k premene potenciálnej a kinetickej energie na inú formu energií. Energiu môžeme vyjadriť pomocou energetickej výšky.

Mernou energiou toku (energetická výška) nazývame mechanickú energiu prúdu kvapaliny v otvorenom koryte, ktorá pretečie za jednotku času uvažovaným prietokovým prierezom, vztiahnutú na jednotku tiaže a ľubovoľnú vodorovnú zrovnávaciu rovinu. Pre všetky prietokové prierezy v danom úseku vyšetrujeme mernú energiu toku vzhľadom k jednej zrovnávacej rovine. Pre ľubovoľný prierez platí:

$$E_m = \frac{\alpha \cdot v^2}{2 \cdot g} + \frac{p}{\rho \cdot g} + h \quad (\text{m}) \quad (3.4)$$

kde: p - tlak (Pa),

ρ - hustota vody ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$),

g - tiažové zrýchlenie ($9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$),

h - polohová výška (m).

Pri ustálenom rovnomernom prúdení alebo ustálenom nerovnomernom plynule premennom prúdení je tlak rozdelený podľa hydrostatického zákona. Z praktického hľadiska má význam predovšetkým merná energia vztiahnutá k zrovnávacej rovine v úrovni dna ľubovoľného prietokového prierezu. Túto energiu nazývame **merná energia prierezu** a vyjadrujeme ju energeticou výškou prierezu:

$$E_d = \frac{\alpha \cdot v^2}{2 \cdot g} + h = h + \frac{\alpha \cdot Q^2}{2 \cdot g \cdot S^2} \quad (\text{m}) \quad (3.5)$$

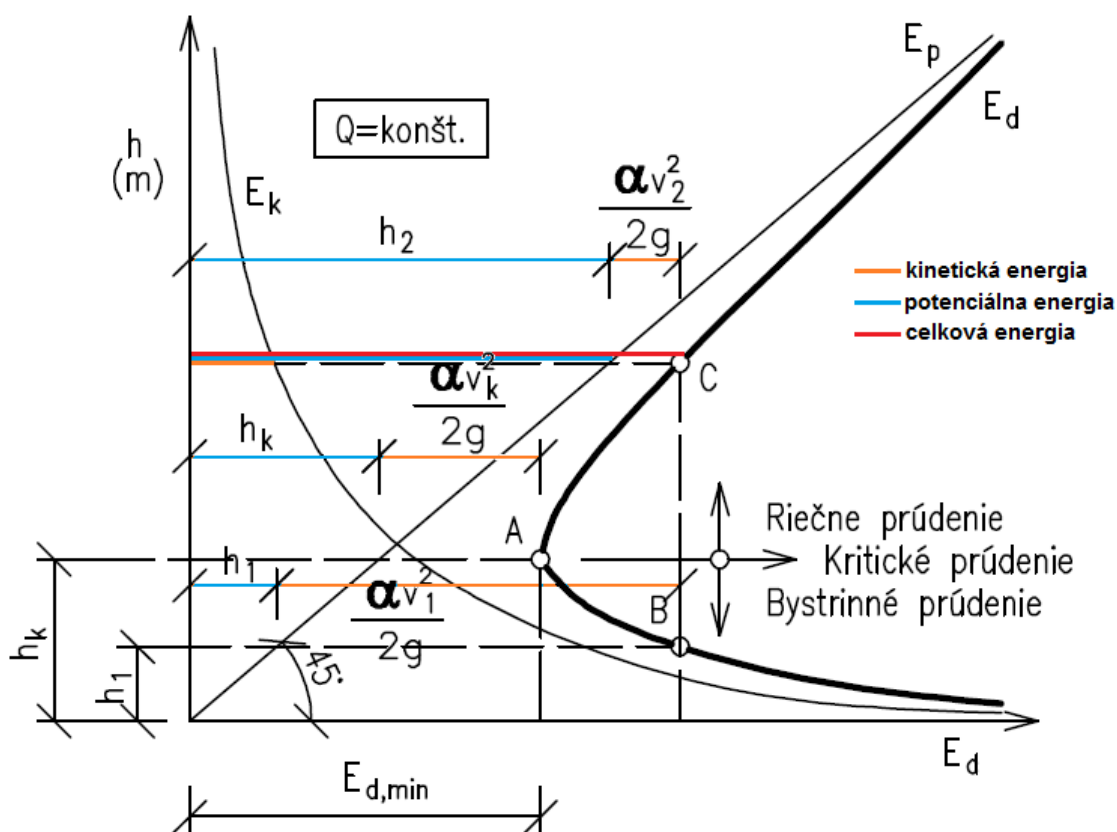
pričom stredná prierezová rýchlosť v je rovná $\frac{Q}{S}$.

Merná energia prierezu je energia jednotky tiaže prietoku týmto prierezom, ktorá je vzťahovaná k úrovni jeho najnižšieho bodu.

Energetická výška toku sa v smere prúdu znižuje o straty, zatiaľ čo energetická výška prierezu pri ustálenom rovnomernom prúdení ostáva v celom úseku stála.

Minimálnu hodnotu dosahuje merná energia prierezu pri hĺbke, ktorú nazývame kritická. Pri kritickej hĺbke nastáva kritické prúdenie, pri ktorom daný prietok preteká vyšetovaným profilom s vynaložením najmenej energie. Kritická hĺbka delí krivku mernej energie prierezu na dve časti. Prúdenie, pri ktorom sú hĺbky menšie ako hĺbka kritická, nazývame bystrinným, prúdenie s hĺbkami väčšími ako hĺbka kritická nazývame riečnym. Kritické prúdenie tvorí rozhranie medzi bystrinným a riečnym prúdením (Obr. 3.1).

Každý hĺbke rozdielnej od kritickej odpovedá jedna hodnota mernej energie prierezu väčšej ako je minimálna E_d . Avšak každej hodnote $E_d > E_{d,\min}$ odpovedajú dve hĺbky, pri ktorých môže konštantný prietok profilom pretekať.



Obr. 3.1 Graf mernej energie prierezu (upravené podľa Kaletová, 2013)

Prúdenie možno charakterizovať Froudovým číslom:

$$Fr = \sqrt{\frac{v^2}{h \cdot g}} \quad (-) \quad (3.6)$$

Pri bystrinnom prúdení je Froudovo číslo väčšie ako 1,0; pri kritickom je rovné 1,0 a pri riečnom prúdení menšie ako 1,0. Vo výraze (3.6) dosadzujeme priemernú hĺbku $h = \frac{S}{B}$, kde B je šírka koryta v hladine.

Bystrinné prúdenie ($Fr > 1$) je prúdenie v otvorených korytách, pri ktorom je rýchlostná výška väčšia ako polovica priemernej hĺbky. V tomto prípade sa vlny nemôžu šíriť proti prúdu.

Riečne prúdenie ($Fr < 1$) je prúdenie v otvorených korytách, pri ktorom je rýchlostná výška menšia ako polovica priemernej hĺbky. V tomto prípade sa vlny môžu šíriť proti prúdu.

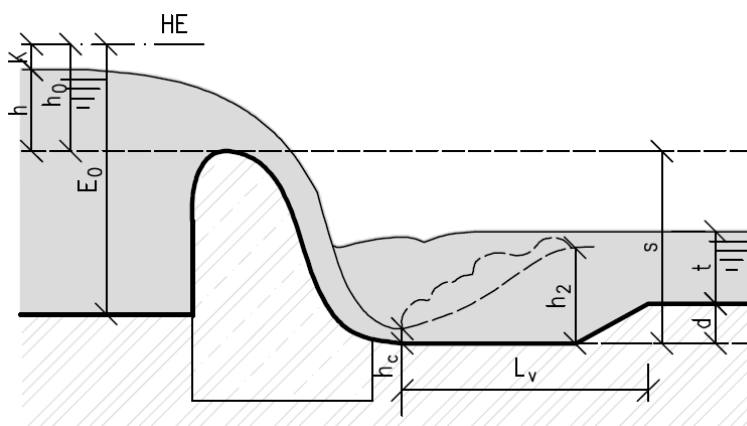
Kritické prúdenie ($Fr = 1$) je prúdenie v otvorených korytách, pri ktorom sa rýchlostná výška rovná polovici priemernej hĺbky.

3.1 Spojenie hladín v korytách pri vodných dielach

Súhrn všetkých hydromechanických javov, ktoré vznikajú pri prechode vodného prúdu cez vodné dielo so začiatkom v hornej zdrži a s ukončením v dolnej zdrži v tom mieste, kde sa vytvorí normálny odtokový režim nazývame **spojenie hladín v korytách pri vodných dielach**. Ide o javy:

- prepád vody cez priepady s bystrinným pohybom v prepádovom lúči,
- vodný skok, ktorým bystrinné prúdenie prechádza do riečneho,
- prechod prúdu do prirodzeného odtokového režimu v dolnom koryte.

Tento prechod je sprevádzaný silným vlnením a pulzáciami a vyvoláva vytváranie výmoľov za vodným dielom.



Obr. 3.2 Spojenie hladín pod vodným dielom (Kaletová, 2013)

Vývar je tá časť stavby, v ktorej sa bystrinné prúdenie vodným skokom mení na riečne. Ide o umelé prehĺbenie dolného koryta pod priepadom o hodnotu d tak, aby celková hĺbka v dolnom koryte bola väčšia ako druhá vzájomná hĺbka. Vývar je potrebný vtedy, keď pod priepadom vznikne odľahlý vodný skok. Dimenzovanie vývaru spočíva v určení jeho hĺbky a dĺžky (Obr. 3.2).

Postup výpočtu hĺbky vývaru pri zvolenom prietoku:

- poznáme tvar a rozmery priepadu, príp. rozmery horného koryta ako aj rozmery dolného koryta. Poznáme hĺbku v hornom koryte, takže vieme vypočítať energetickú výšku. Z rovnice prepádu vieme vypočítať prepádovú výšku;

$$E_0 = y_c + \frac{v_c^2}{2 \cdot g \cdot \varphi^2} = h_c + \frac{Q^2}{2 \cdot g \cdot S^2 \cdot \varphi^2} \quad (\text{m}) \quad (3.7)$$

- odhadneme hĺbku vývaru, takže poznáme energetickú výšku;
- skusmým riešením rovnice nájdeme $h_c = h_1$ a zo základnej rovnice jednoduchého vodného skoku skusmo vypočítame druhú vzájomnú hĺbku;

- dosadíme príslušné hodnoty do rovnice (3.8) a vypočítame mieru vzdutia. Pokiaľ vypočítaná hodnota leží medzi 1,05 až 1,10, tak odhadnutá hĺbka vývaru bola správna, v opačnom prípade musíme výpočet opakovať s novou hodnotou hĺbky vývaru

$$h_d + d = h_2 \cdot \sigma \quad (3.8)$$

- kde: h_2 - vzájomná hĺbka k hĺbke h_c (m),
 σ - miera vzdutia (m).

Výpočet hĺbky vývaru robíme pre niekoľko zvolených prietokov v rozsahu $0 < Q \leq Q_{\max}$ a navrhujeme najväčšiu vypočítanú hodnotu hĺbky vývaru.

Vodný skok vo vývare je mierne vzdutý, preto je jeho dĺžka menšia ako dĺžka jednoduchého vodného skoku. Dĺžka vodného skoku (L_s) je daná rovnicou podľa Nováka:

$$L_s = K \cdot (h_2 - h_1) \quad (\text{mm}) \quad (3.9)$$

kde: $K = 5,5$ pre $3 < \frac{h_2}{h_1} < 4$

$K = 5,0$ pre $4 < \frac{h_2}{h_1} < 6$

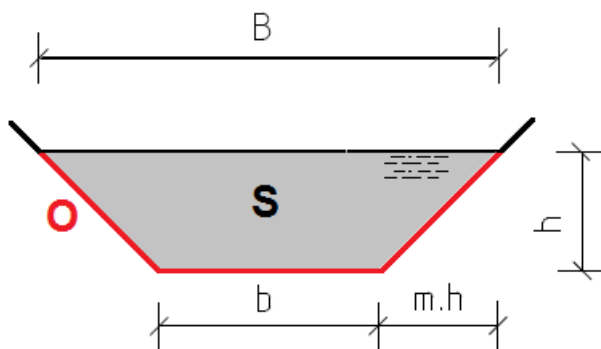
$K = 4,5$ pre $6 < \frac{h_2}{h_1} < 20$

$K = 4,0$ pre $20 < \frac{h_2}{h_1}$

Pri voľnom prepádovom lúči treba k tejto dĺžke pripočítať doskok prepádového lúča. Dĺžka vývaru (L_v) je teda daná súčtom dĺžky doskoku a dĺžky vodného skoku vo vývare.

3.2 Geometrické a hydraulické charakteristiky priečných profilov koryta toku a objektov

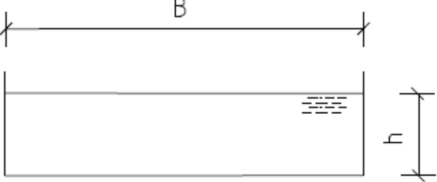
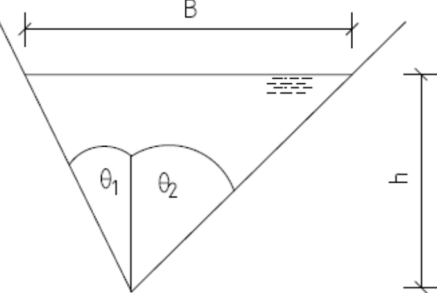
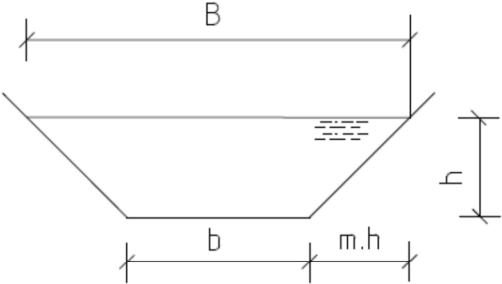
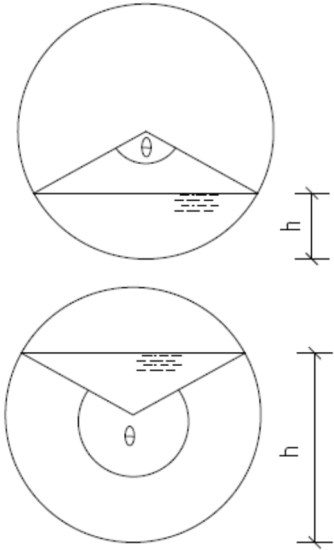
Medzi **geometrické charakteristiky** patria B - šírka koryta v brehoch (m), b - šírka dna (m), h - výška prietokového profilu (m), m - sklon svahov pri lichobežníkovom koryte (-), O - celkový omočený obvod (m), S - plocha prietokového profilu (m^2) (Obr. 3.3 a Tab. 3.1), R - hydraulický polomer (m), l - dĺžka pokusného úseku (m). Hydraulický polomer vyjadruje pomer prietokovej plochy a omočeného obvodu (m).



Obr. 3.3 Základné parametre koryta

Do **hydraulických charakteristík** zaraďujeme n - stupeň drsnosti (-), i - pozdĺžny sklon (% alebo bezrozmerné číslo), C - rýchlostný súčiniteľ podľa Pavlovského ($\text{m}^{0,5} \cdot \text{s}^{-1}$), v - priemerná profilová rýchlosť ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), Q - kapacitný prietok prietokového profilu ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

Tab. 3.1 Výpočet prietokovej plochy a omočeného obvodu najčastejších prietokových profilov

Tvar plochy	S, m ²	O, m
	$b \cdot h$	$b + 2 \cdot h$
	$\frac{b \cdot h}{2}$	$h \cdot \cos(\theta_1) + h \cdot \cos(\theta_2)$
	$b \cdot h + 2 \cdot \left[\frac{h \cdot (m \cdot h)}{2} \right]$	$b + 2 \cdot \sqrt{h^2 + (m \cdot h)^2}$
	$\frac{r^2}{2} \cdot (\theta - \sin \theta)$	$\theta \cdot r$

Rýchlostný súčiniteľ podľa Manninga vypočítame podľa vzťahu (3.2) a podľa akademika Pavlovského vypočítame zo vzťahu

$$C = \frac{1}{n} \cdot R^y \text{ platí pre } 0,1 \text{ m} < R < 3 \text{ m} \quad (\text{m}^{0,5} \cdot \text{s}^{-1}) \quad (3.10)$$

kde: n - súčiniteľ drsnosti je uvedený v Tab. 3.2,

y - hydraulický exponent stanovíme vzťahom

$$y = 2,5 \cdot \sqrt{n} - 0,13 - 0,75 \cdot \sqrt{R} \cdot (\sqrt{n} - 0,1) \quad (-) \quad (3.11)$$

Exponent y môžeme vypočítať aj zjednodušenými vzťahmi

$$R > 1 \quad y = 1,3 \cdot \sqrt{n} \quad (-) \quad (3.12)$$

$$R < 1 \quad y = 1,5 \cdot \sqrt{n} \quad (-) \quad (3.13)$$

Priemernú profilovú rýchlosť určíme

$$v = C \cdot \sqrt{R \cdot i_0} \quad (\text{m} \cdot \text{s}^{-1}) \quad (3.14)$$

a prietok

$$Q = v \cdot S \quad (\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}) \quad (3.15)$$

Tab. 3.2 Súčiniteľ drsnosti n (Kaletová, 2013)

Prirodzené vodné toky - Malé vodné toky, šírka hladiny menšia ako 30 m	n min.	n stred	n max.
a) čisté koryto s plynulou zmenou trasy, pravidelný profil	0,025	0,030	0,033
b) to isté, ale s riasami a kameňmi	0,300	0,350	0,040
c) čisté, kľukaté koryto s plytčinami a tŕňami	0,330	0,040	0,045
d) to isté, s prítomnosťou kameňov a rias	0,035	0,045	0,055
f) zarastené koryto s hlbokými výmoľmi, pri malých rýchlostiach vody	0,050	0,070	0,080

4 Splaveninový režim

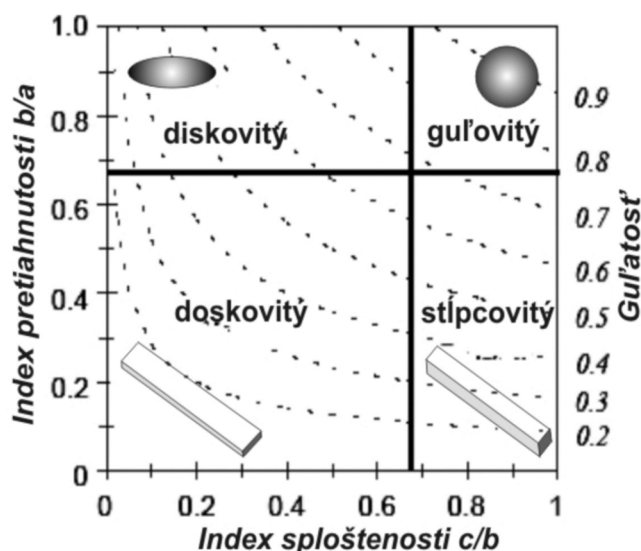
Zásady pre navrhovanie a používanie hydrotechnických metód hradenia bystrín a stabilizácie dna sú zamerané na čiastočnú alebo úplnú kontrolu typických prejavov bystrinného prúdenia na okolie, najmä eróziu, transport a ukladanie neseného materiálu. Ochrana je preto zameraná na svahy koryta a dno koryta s cieľom znížiť prietok splavenín na minimum pomocou zníženia takého prietoku alebo podpory ukladania materiálu.

Pri sústredenom odtoku, najmä vo vodnom toku, tečúca voda unáša častice zemín, ktoré môžu byť vo vode rozptýlené, trvale sa vo vode vznášať a klesať ku dnu, keď voda svoj pohyb spomaľuje alebo zrýchľuje. V priebehu času erózia a ukladanie sedimentov upravuje priečny profil koryta a ovplyvňuje drsnosť koryta.

Pri hodnotení vlastností splavenín v koryte bystriny sú rozhodujúce dnové splaveniny, ktoré sú uvoľňované a splavované po dne. Patria tu štrky s priemerom zrna 7 až 70 mm, kamene (70 až 500 mm) a balvany s priemerom nad 500 mm. Rozdelenie splavenín závisí na sklone dna, tvare priečného profilu a trase koryta. K výpočtom stability dna sa používajú hodnoty stredného efektívneho zrna, hodnoty súčiniteľa nerovnosti dna a koeficient tvaru splavenín, ktorý vyjadruje veľkosť zrn.

V prirodzených vodných tokoch splaveniny pozostávajú zo zmesi zrn rôzneho tvaru a veľkosti. Z hľadiska ich pohybu vo vodnom prúde rozoznávame niekoľko foriem pohybu, a to:

- pohyb jednotlivých zrn - zahŕňa v sebe začiatkové fázy pohybu splavenín, zrná sa pohybujú prevažne kotúľaním a šmýkaním po dne,
- všeobecný pohyb - zahŕňa pohyb zmesi zrn všetkých rozmerov, zrná menších priemerov sa chvíľami pohybujú skokmi,
- pohyb vo vlnách, dunách a laviciach - pohyb vzniká v prípade, že dnový materiál je jemný a má sklon vytvárať vlnky a duny; hrubší materiál má sklon vytvárať lavice,
- obrusovanie lavíc - vzniká pri zvýšených rýchlostiach prúdenia, jemnejšie častice sa pohybujú vo forme suspenzie, tento jav a pohyb je charakteristický pri bystrinnom prúdení,
- vznik antidún - je charakterizovaný ďalším zvýšením rýchlosti prúdenia, jav vzniká pri bystrinnom prúdení (Štich, 1958).



Obr. 4.1 Klasifikácia sedimentov podľa tvaru (Lehotský, Kidová, Rusnák, 2015)

Klasifikácia sedimentov podľa tvaru a veľkosti vytriedenosti predstavuje klasifikačný nástroj, ktorým sa častice sedimentov triedia na základe ich zaoblenosti, t.j. charakteru ich hrán, a na základe ich guľatosti a vytriedenosti. Typ guľatosti závisí od pomeru osí častice. Podľa guľatosti sa rozoznávajú štyri základné typy častíc, a to guľatý, diskovitý, doskovitý, stĺpcový (Obr. 4.1).

4.1 Vznik a zdroje splavenín

Splaveniny sú časti hornín rozličnej veľkosti, ktoré pochádzajú z povodia toku alebo z vlastného koryta a sú splavované vodou. Delíme ich na:

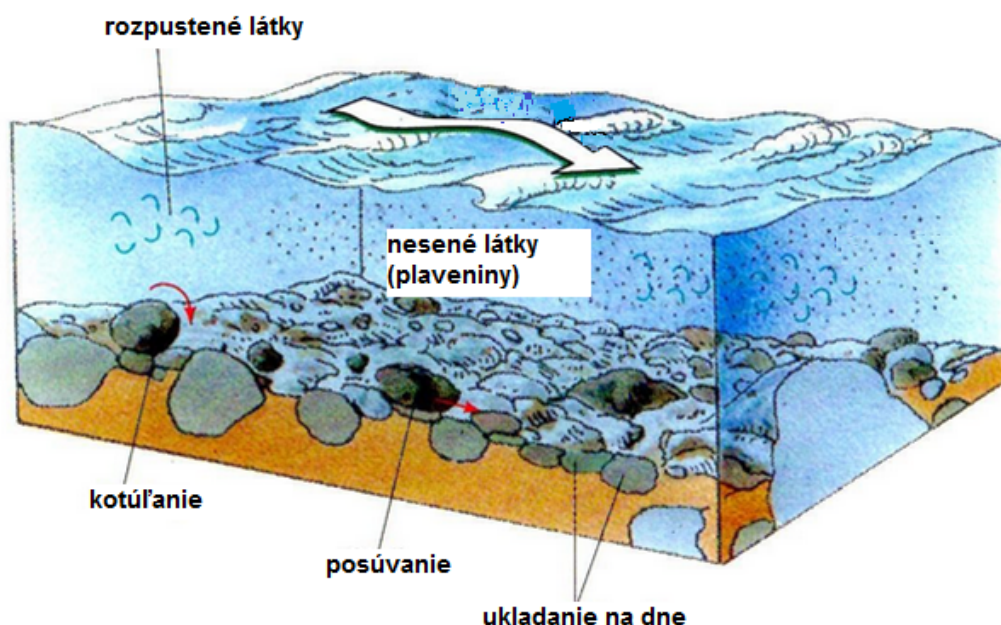
- **dnové splaveniny** - pohybujú sa kotúľaním, posunom, poskakovaním (saltáciou) alebo vo forme pohyblivých dnových útvarov,
- **plaveniny** - jemné látky, ktoré sa vo vode vznášajú.

Presnú hranicu medzi plaveninami a dnovými splaveninami je ťažko určiť, lebo závisí od momentálneho pôsobenia viacerých hydraulických charakteristík v koryte. Raz prechádza jemnejšia časť dnových splavenín do stavu suspenzie, inokedy prechádzajú väčšie zrná plavenín ku dnu a pohybujú sa ďalej ako dnové splaveniny.

Pohyb vody a materiálu v toku závisí od energie pretekajúcej vody a trenia medzi vrstvami vody a povrchom, nad ktorým voda preteká (dno a steny koryta). Závisí na rovnováhe síl a režime prúdenia (laminárny, turbulentný). Čím hlbšia voda a rýchlejší tok, tým väčšia je unášacia sila.

Turbulentné prúdenie spolu s vírmi je dôležité pri vymieľacom procese výmoľov a priehlbni v tokoch. Proces, ktorým začína pohyb častíc do toku sa nazýva unášanie.

Častice (Obr. 4.2) sa začínajú najprv pohybovať kotúľaním alebo šmýkaním po dne, čím unášajú nové častice z dna a svahov koryta. Ak rýchlosť prúdenia vzrastá, rastie aj zvislým smerom nahor pôsobiaca sila, zrno stráca na kratší alebo dlhší čas kontakt s dnom - pohybuje sa v skokoch. Pri ďalšom raste rýchlosti sa dĺžka skokov postupne zväčšuje až napokon častica prechádza do pohybu v suspenzii. Sedimenty v toku môžu byť transportované po dne toku, vznášané v toku alebo nesené na hladine toku.



Obr. 4.2 Splaveninový režim vodného toku (upravené podľa http://www.indiawrm.org/HIS/hmfile_hash_b45da0f4.png)

Unášané hmoty, ktoré majú rôznu veľkosť, tvar i hmotnosť, tvoria splaveninovú zmes. Tieto skutočnosti veľmi komplikujú riešenie základných úloh, ktoré pri úpravách vodných tokov, predovšetkým bystrín a strží,

prichádzajú do úvahy, t.j. stanoviť 1. okamih, kedy sa splaveniny dávajú do pohybu, príp. naopak, kedy sa začnú ukladať a 2. množstvo unášaných splavenín.

Splaveniny, ktoré sa dostávajú do vodného toku, vznikajú predovšetkým zvetrávaním (mechanickým, biologickým, chemickým) hornín a ich splachom do toku.

Medzi zdroje splavenín zaraďujeme:

- koryto hlavného toku,
- korytá prítokov,
- samotné povodie - priľahlé úbočia bystrinných dolín,
- výmole, strže,
- svahové zosuvy,
- nevhodne situované a projektované nespevnené lesné cesty.

Je možné vidieť jasné prepojenie prúdenia v bystrine a eróziu v povodí. Hradenie bystrín by preto nemalo byť izolované od ostatných opatrení v povodí (s výnimkou niektorých vysokohorských bystrín). Sú požadované integrované opatrenia, biologické a hydraulické, rozmiestnené v toku a povodí.

Základnou charakteristikou splavenín je **efektívne (smerodajné) zrno**, ktorým sa rozumie fiktívny rozmer náhradného rovno zrnitého materiálu, ktorý pri rovnakých hydraulických podmienkach dáva rovnaký prietok splavenín ako daná prirodzená zmes.

Obyčajne predpokladáme, že tvar zrna je guľovitý. V prípade, že tvar je odlišný, je možné vypočítať priemer náhradnej gule, ktorá má rovnaký objem ako zrno. Prirodzený splaveninový materiál má obvykle tvar trojosého elipsoidu s rozmermi v smere osí a, b, c. Zodpovedajúci priemer (d) môžeme vypočítať pomocou vzťahu

$$d = \sqrt[3]{a \cdot b \cdot c} \quad (\text{mm}) \quad (4.1)$$

Faktory ovplyvňujúce pohyb splavenín môžeme rozdeliť:

1. faktory vyplývajúce z vlastností splaveninového materiálu:
 - a. priemer zrna - spolu s hustotou určuje hmotu zrna pod vodou, jeho plocha je vystavená účinkom prúdenia, a teda rozhodujúcou mierou vplýva na pohyblivosť zrna vo vode,
 - b. tvar zrna - malé zrná bývajú obyčajne nepravidelného tvaru a väčšie zrná v oblastiach aluviálnych náplav bývajú vplyvom pokročilého obrusu zaoblené a majú tvar blížiaci sa k elipsoidu, resp. guli; Meyer-Peter uvádza, že tvar zrna je dôležitý len pri menších priemeroch zrn,
 - c. merná hmotnosť (hustota) - pohybuje sa v rozpätí 2,5 - 2,8 t.m⁻³, zvyčajne 2,65 t.m⁻³,
 - d. granulometria - zrnitosť zloženia má vplyv na pohyblivosť zmesi ako celku, drsnosť koryta, vznik piesočnatých vln a lavíc, rozmiestnenie a uloženie zrn na dne a pod.,
 - e. kohézia materiálu - prítomnosť ílovitých, organických častíc a kalu spôsobuje stmelenie zmesi, a tým jej zvýšenú odolnosť proti odnášaniam; v prípade piesočnatých, štrkopiesočnatých a iných sypkých materiálov sa vplyv kohézie neuvažuje, nakoľko je zanedbateľný,
 - f. sklon k tvoreniu piesočnatých vln a lavíc - obidva útvary spôsobujú zväčšenie drsnosti dna, a tým vznikajú väčšie energetické straty pri prúdení; v dôsledku týchto strát sa intenzita pohybu znižuje,
 - g. uhol prirodzenej sklonitosti materiálu - ak zrno určitej veľkosti je uložené na hrubšom materiáli, je uhol prirodzenej sklonitosti väčší ako v prípade jeho uloženia na jemnozrnom podklade,
 - h. rozmiestnenie zrn na dne koryta - určuje charakter povrchu (drsnosť koryta) a tangenciálne napätia pôsobiace na dno preberajú hlavne zrná nachádzajúce sa v najvrchnejšej vrstve,

- i. vzájomné ovplyvňovanie zŕn - zrno uložené na dne vplýva na prúdenie vody v najbližšom svojom okolí a tento vplyv sa prenáša aj na zrná uložené v jeho blízkosti,
2. faktory vyplývajúce z vlastností prúdenia:
 - a. sklon čiary energie - je jedným z hlavných faktorov pôsobiacich na pohyb splavenín, ale jeho konkrétny vplyv sa prejavuje až v spojení s ďalšími hydraulickými charakteristikami prúdenia,
 - b. hĺbka vody,
 - c. prietok vody a priemerná rýchlosť prúdenia - so vzrastajúcim prietokom rastie aj transportná schopnosť toku, a tým aj prietok splavenín a rovnaký účinok sa prejavuje s rastom priemernej rýchlosti prúdenia,
 - d. rozdelenie rýchlosti prúdenia vo zvislici - na pohyb splavenín má bezprostredný vplyv charakter prúdenia v blízkosti dna,
 - e. vlastnosti prúdiacej kvapaliny,
 - f. turbulencia prúdenia,
 - g. hydrodynamický vztlak,
 - h. charakter prúdenia (turbulentné, laminárne; riečne, bystrinné).

4.2 Mechanizmus pohybu splavenín

Pri obtekaní zrna vodou, ktoré leží na povrchu vrchnej vrstvy dna, na neho pôsobí:

- silový účinok vody v smere pohybu (čelná tlaková sila)

$$F_d = \rho \cdot k_1 \cdot d^2 \cdot C_x \cdot \frac{u^2}{2} \quad (\text{N}) \quad (4.2)$$

kde: ρ - merná hmotnosť vody ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$),

k_1 - tvarový súčiniteľ (-),

d - rozmer splaveniny (-),

C_x - súčiniteľ odporu (-),

u - zvislicová rýchlosť ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$),

- účinky hydrodynamického vztlaku (v smere vertikálnom) silové a vertikálne zložky pulzácie rýchlosti

$$F_x = \rho \cdot k_2 \cdot d^2 \cdot C_y \cdot \frac{u^2}{2} \quad (\text{N}) \quad (4.3)$$

kde: k_2 - tvarový súčiniteľ (-),

C_y - súčiniteľ vztlaku (0,178),

- tiaž zrna vo vode

$$F_G = k_3 \cdot d^3 \cdot g \cdot (\rho_s - \rho) \quad (\text{N}) \quad (4.4)$$

kde: k_3 - objemový súčiniteľ (-),

ρ_s - merná hmotnosť splavenín ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$).

Výpočet tvarových a objemových súčiniteľov, príp. súčinitele zistené výskumom nájdeme v literatúre.

Účinok prúdiacej vody na dno toku môžeme vyjadriť ako napätie spôsobené zaťažením kvapalinou na naklonenej rovine, a to konkrétne silovou zložkou pôsobiacou v smere sklonu dna. Rovnicu pre určenie tangenciálneho napätia odvodil Du Boys (1879) v tvare:

$$\tau = \rho \cdot g \cdot R \cdot i_0 = \gamma \cdot R \cdot i_0 \quad (\text{N.m}^{-2}) \quad (4.5)$$

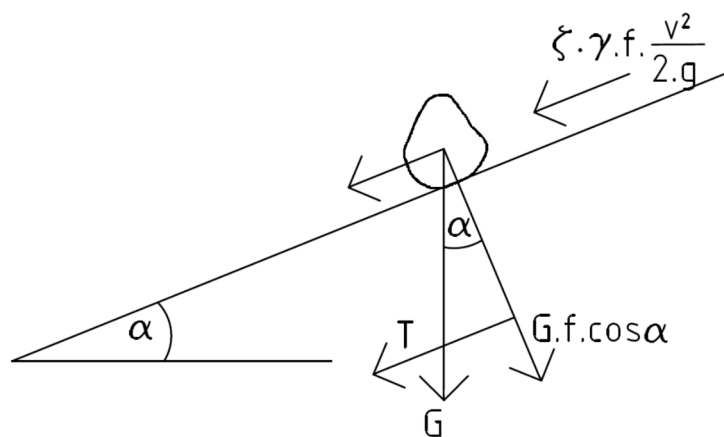
kde: τ - unášacia sila (N.m^{-2}),
 R - hydraulický polomer (m),
 g - tiažové zrýchlenie ($9,81 \text{ m.s}^{-2}$),
 i_0 - sklon dna (-),
 $\gamma = (\rho \cdot g)$ - merná tiaž (N.m^{-3}).

Ak perfektne guľatý objekt je položený na hladký vodorovný povrch, bude sa zjavne pohybovať na základe malej horizontálnej sily. V prípade erózneho odnosu jednotlivé častice nie sú dokonale guľaté ani sa nenachádzajú na hladkom povrchu, ktorý je rovný alebo vodorovný. Preto účinok sily spôsobí pohyb, ktorý je účinný na prekonanie prirodzeného odporu pohybu častice. Častice pravdepodobne nebudú rovnomerné (rovnakej veľkosti). Pri strete vody a častice spôsobí pohybujúca sa kvapalina povrchové napätie, ktoré vyvolá, že proporcionálna sila bude aplikovaná na povrch častice.

Množstvo, veľkosť a hmotnosť splavenín, ktoré sa pohybujú na dne koryta závisí od veľkosti unášacej sily. Pozorovania viacerých experimentátorov potvrdili, že pokiaľ unášacia sila (povrchové napätie) postupne narastá od 0, dosiahne bod, pri ktorom sa častica začne pohybovať, v malých plochách (výškach) nad dnom. Ďalšie malé zvýšenie unášacej sily (aj prúdiacej rýchlosti) je zvyčajne dostatočné na rozsiahly prenos sedimentov (vo forme dnových splavenín). Ďalším nárastom unášacej sily dosiahneme bod, v ktorom jemné častice sú vznášané v suspenzii.

Pokiaľ splaveniny zostávajú pri danom prietoku vody na dne koryta v pokoji, pričom sa zachováva rovnomernosť pohybu vody, konštatujeme, že unášacia sila je v rovnováhe s odporom splavenín a koryto je v ustálenom stave. Pri náraste unášacej sily a rýchlosti prúdu sa dajú tieto splaveniny do pohybu a tie splaveniny, ktoré už boli v pohybe, sa budú pohybovať ešte rýchlejšie. S ďalším priberaním splavenín sa prietoková rýchlosť vody vo vodnom toku znižuje až na určitú krajnú hodnotu, keď už ďalšie splaveniny nemôže voda priberáť, ani nesené splaveniny neukladá, čiže je nimi za daného stavu nasýtená.

V čase prívalových prietokov však dochádza tiež k pohybu väčších jednotlivých splavenín ako by zodpovedalo vypočítanému tangenciálnemu napätiu. Pohyb takýchto veľkých splavenín je však spôsobovaný tlakovým účinkom prúdiacej vody (Obr. 4.3).



Obr. 4.3 Znárodnenie rozloženia jednotlivých síl pôsobiacich na splaveniny (Húska, 1984)

Hydrodynamický vztlak, ktorý pôsobí na časticu o objeme V , sa rovná hodnote ($V \cdot \rho \cdot g$). Tiaž častice pod vodou je potom

$$G = V \cdot g \cdot (\rho_s - \rho) \quad (\text{N}) \quad (4.6)$$

Proti pohybu častice pôsobí trenie častice o dno, ktoré má sklon rovný uhlu α a hodnotu:

$$T = V \cdot g \cdot (\rho_s - \rho) \cdot f \cdot \cos \alpha = G \cdot f \cdot \cos \alpha \quad (\text{N}) \quad (4.7)$$

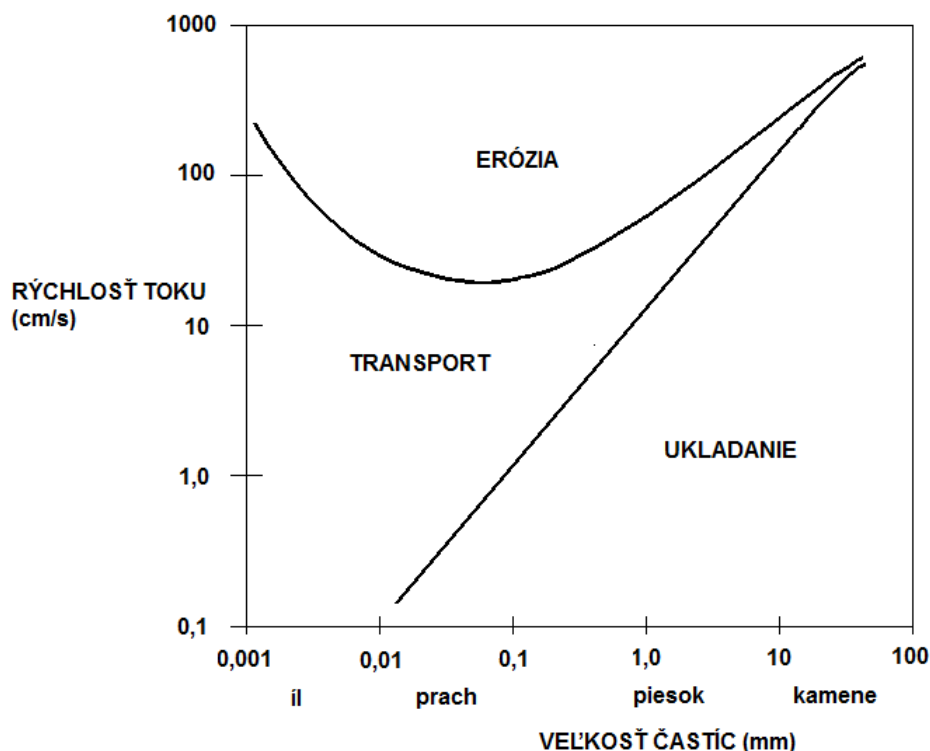
kde: f - súčiniteľ trenia.

Pre hraničný stav musia byť všetky sily v rovnováhe. To znamená, že musí platiť rovnosť $\tau = T$.

V prípade, že rýchlosť toku je väčšia ako medzná rýchlosť pre splaveniny, začnú sa splaveniny pohybovať. Podľa skúseností, rýchlosť ich pohybu predstavuje približne 50 - 85 % z profilovej rýchlosti vody. Na uvedenie splavenín do pohybu je treba asi o 30 - 50 % väčšiu rýchlosť ako je potrebná na ich udržanie v pohybe. Rýchlosť, pri ktorej sa pohyb splavenín zastavuje, je asi o 30 % menšia ako rýchlosť potrebná na ich udržanie v pohybe.

Z uvedeného vyplýva, že pre každú veľkosť, mernú hmotnosť a tvar splavenín existuje určitá rýchlosť, ktorá predstavuje hraničnú hodnotu medzi pokojom a pohybom splavenín. Keď skutočný sklon vodného toku je väčší ako vypočítaný kompenzačný sklon, ktorý predstavuje stabilný sklon dna, môžeme stabilitu koryta zaistiť zmenšením skutočného sklonu. Pokiaľ by sme pre danú situáciu neprijali žiadne opatrenia, došlo by k zvýšenej erózii dna a brehov.

Hjulströmov diagram (Obr. 4.4) vyjadruje transport materiálu v riekach podľa unášacej schopnosti. Vyjadruje závislosť medzi veľkosťou zrna, unášaním, transportom a ukladaním. Obr. 4.4 znázorňuje minimálne hraničné rýchlosti potrebné pre eróziu, transport a ukladanie.



Obr. 4.4 Hjulströmov diagram (upravené podľa <https://d320goqmya1dw8.cloudfront.net/images/quantskills/methods/hjulstrom.gif>)

5 Bystriny

Podľa STN 48 2506 je bystrina prírodný vodný tok s malým povodím a trvalým prietokom, ktorý je charakteristický rýchlymi zmenami prietoku aj v relatívne krátkych časových úsekoch, najmä po intenzívnych zrážkach s krátkym trvaním a významnou tvorbou, transportom a ukladaním splavenín, ktoré sa ukladajú vo forme štrkových lavíc a nánosov na dne koryta, v zaplavovanom území alebo sa odnášajú do tokov vyššieho rádu a vodných nádrží. Pričom malým povodím je povodie, v ktorom sa pri tvorbe a priebehu odtoku môže významne prejavovať vysoká zrážková intenzita s krátkym trvaním a spôsob využívania (obhospodarovania) pozemkov v povodí.

Bystrina pramení v najvyššie položených miestach povodia, ktorej tok začína pri prameni a končí v určitom mieste, kde stráca svoju povahu bystriny a odteká ďalej ako horský potok. Toto miesto je potrebné stanoviť zvláštnym šetrením s prihliadnutím k špecifickým znakom celého povodia ako sú pomery spádové, geomorfologické, erózne, hospodárske a k pohybu splavenín.

Najväčšie povodne na bystrinách vznikajú počas privalových dažďov a búrok v letnom období. Účinky vodného prúdu sú počas povodne násobené pohybom veľkého množstva hrubozrnných splavenín. Špecifický odtok vody je preto veľmi často mimoriadne veľký a značne prevyšuje špecifický odtok potokov rovín a pahorkatín.

Zimné povodne nedosahujú tak vysoké odtoky, vyskytujú sa najčastejšie v období od januára do marca, kedy do topiaceho sa snehu spadne intenzívna dažďová zrážka. Nebezpečné sú predovšetkým náhodné ľadové povodne s pohybom veľkého množstva ľadovej alebo snehovej kaše, ktoré sa vyskytujú bez akejkoľvek nadväznosti na dažďové zrážky.

Povodňový prietok po relatívne krátkej dobe klesá a prechádza do veľmi nízkeho prietoku alebo prietok vody sa úplne vytratí. Nebezpečenstvo bystrín tkvie predovšetkým v náhlom nástupe povodne a v charaktere ich splaveninového režimu.

Splaveninový režim bystrín je z hľadiska protipovodňovej ochrany veľmi nebezpečný - po zaplnení korýt v akumulčných úsekoch splaveninami sa voda rozlieva po príľahlom území. Ohrozenie územia v horských povodiach je preto častejšie a nebezpečnejšie ako ohrozenie územia pri potokoch rovín a pahorkatín. Následky povodní sa prejavujú nielen znehodnotením okolitých pozemkov, ale aj veľkými škodami na stavbách v úzkych strmých údoliach, prípadne častom ohrození ľudských životov.

5.1 Delenie bystrín

Potoky hôr a veľhôr, často označované ako bystriny, sú vodné toky horských údolí a úžľabín s veľkým a nepravidelným sklonom dna, s rýchlym kolísaním vodných stavov a s intenzívnym transportom splavenín vzniknutých eróziou na povrchu územia aj v hydrologickej sieti. Pojem bystrina je zvyčajne spojený s predstavou vysokých hôr, avšak nielen v horách, ale aj v pahorkatine a na rovine nájdeme bystriny alebo aspoň bystrinnú činnosť. Pri podrobnejšom delení môžeme vymedziť bystriny veľhôr, horské bystriny, bystriny pahorkatín, horské potoky a podhorské potoky. Bystrinou sa môže stať počas dažďových privalov ktorýkoľvek zemný žliabok, pokiaľ tvarom územia k nemu priliehajúcejmu je prispôsobený zbierať dažďové vody a odvádzať ich do korýt vodných tokov, pričom účinkom tečúcej vody dochádza k rozrývaniu a unášaniu pôdných vrstiev. Medzi bystriny teda môže zahrnúť aj strže ako prejavy extrémnej vodnej erózie v povodí.

Bystriny môžeme deliť podľa viacerých hľadísk:

1. podľa stálosti prietoku počas roka

- vysychajúce - v letných mesiacoch s minimom vody, príp. vyschnuté; odporúča sa ich upraviť zložitým profilom (napr. dvojité lichobežníkové),
 - so stálou vodou - vodnaté počas celého roka,
2. podľa veľkosti a vyvinutej siete (Binder, 1969)
 - jednoduché - s 1 tokom,
 - zložené - rozvetvené na viacero prítokov,
 - toky bystrinného rázu - prechod medzi bystrinou a potokom (riekou),
 3. podľa polohy (Hanák et al., 2008)
 - bystriny veľhôr - pre ne sú typické strmé sklony horských svahov, rozsiahle uloženiny glaciálnych štrkov, trvale vznikajúce svahové sutiny a veľmi sklonité balvanité koryta tokov neustále pretvárané činnosťou vodného prúdu; intenzívna je bystrinná erózia podrývajúca vysoké svahy a uvoľňujúca veľké množstvo hrubozrnných splavenín, charakteristická je tvorba aktívnych erózných rýh a rozsiahlych strží,
 - bystriny hôr,
 - bystriny pahorkatín,
 - bystriny nížin,
 4. podľa polohy podľa Wintera (Binder, 1969)
 - bystriny vysokých hôr - majú krátky a strmý tok, na svahoch a v údolí sa nachádzajú veľké množstvá zvetralinových hmôt ohrozovaných vymieľaním, podomieľaním a nátržami brehov; zberná oblasť je ostro oddelená od oblasti ukladania; odtoky vôd za normálnych pomerov sú malé,
 - bystriny stredohorí a pahorkatín - majú dlhší tok a miernejší sklon; splaveniny pochádzajú prevažne zo svahových zosuvov na hornom úseku toku a brehových nátrží na nižších úsekoch; vodné stavy sú viac-menej vyrovnané, nebezpečne vzrastajú za výdatných, dlhšie trvajúcich zrážok; rozhranie medzi úsekom zberu a ukladania je menej výrazné, za rozličných vodných stavov menlivé,
 5. podľa polohy podľa Salzera (Skatula, 1960)
 - bystriny vysokých hôr - majú krátky a strmý tok, zberná oblasť sa ostro oddeľuje od oblasti ukladania, odtoky vôd za normálnych pomerov sú malé (napr. Vysoké Tatry, Nízke Tatry, Malá Fatra, Veľká Fatra),
 - bystriny stredných hôr (napr. Malé Karpaty, Biele Karpaty),
 - bystriny pahorkatín - dlhší tok s miernejšími sklonmi, vodné stavy sú viac-menej vyrovnané, rozhranie medzi úsekom zberu a ukladania je menej výrazné,
 6. podľa nadmorskej výšky podľa Vitáska
 - do 200 m n. m. - nížiny,
 - 200 - 600 m n. m. - pahorkatiny,
 - 600 - 1400 m n. m. - stredné hory,
 - nad 1400 m n. m. - veľhory,
 7. podľa pôvodu splavenín podľa Demontzeyova (Skatula, 1960; Binder, 1969)
 - bystriny, ktoré unášajú prevažne produkty vymieľania, vznikajúce eróziou bystrinného dna a podmieľaním brehov a úpäti horských svahov, zložených zo sypkých nánosov riečneho alebo ľadovcového pôvodu, prípadne i menej odolných hornín - bystriny vymieľavé,
 - bystriny, ktorých pohyblivé hmoty sú produktom zvetrávania a splachovania hornín zbavených ochranného vegetačného krytu - bystriny zásobované zo svahových zosuvov,
 - bystriny, ktorých splaveniny vznikajú zosúvaním horských strání, t.j. bystriny suťové,
 8. podľa transportovaného materiálu
 - bystriny unášajúce drobný štrk - možnosť použiť vegetačné prostriedky,

- bystriny s hrubým štrkom - toky pahorkatín a vyšších polôh, stavebným materiálom je drevo a kameň,
- bystriny unášajúce kamene - používajú sa kamenné dlažby a stupne,
- bystriny s balvanmi - používajú sa pozdĺžne hrádze a masívne stupne.

5.2 Hradenie bystrín

Odbor hradenie bystrín sa zaoberá úpravou koryt horských potokov a bystrín, usiluje sa o zlepšenie odtokových pomerov v ich povodiach, a to predovšetkým využívaním stabilizačných účinkov porastov drevín a pomocou oživených vegetačných konštrukcií. Opatrenia realizované v rámci odboru hradenia bystrín majú za úlohu predovšetkým biotechnickými prostriedkami zabrániť sústreďovaniu povrchovo odtekajúcej vody, upraviť prevažne stavebne technickými prostriedkami odtokové pomery v korytách a v úvaloch bystrín a stabilizovať koryta všetkých prvkov hydrologickej siete v danom povodí. Súčasťou úprav v korytách bystrín a horských potokov je tiež riadna starostlivosť o pôdu a lesné porasty.

Úlohou hradenia bystrín a strží je systémovou kombináciou lesotechnických opatrení preventívne, postupne a účelne upravovať genézu odtoku z povodia usmerňovaním hospodárskych aktivít s cieľom retencie dažďovej vody, zvyšovaním vsakovania a retardáciou odtoku. Je potrebné zakladať a udržiavať stanovištne vhodnú ochrannú vegetáciu na silne erodovaných svahoch a brehoch, sanovať plošnú a ryhovú eróziu pôdy, ustáliť bystrinné korytá k neškodnému prietoku povodní a umožniť prežívať rastlinám a živočíchom veľmi suché obdobia bez nákladných opatrení. Pred návrhom na zahradenie bystriny a strže je potrebné zistiť príčiny zrýchlenia erózie a narušenia ochrannej vegetácie. Je nutné posúdiť, či a ako je možné tieto príčiny pomocou opatrení v povodí odstrániť.

Hradenie bystrín a strží je technicky i ekologicky účinným, ale časovo obmedzené pôsobiacim opatrením pre obnovu a ustálenie ekotopu v povodí. Tento proces by v prírode voľne prebiehal len dlhodobejšou sukcesiou alebo by bol (v mierke ľudskej generácie) takmer vylúčený. Strety záujmov a potrieb ľudí s prírodnými procesmi v bystrinných povodiach majú byť riešené optimálnymi opatreniami, aby tieto opatrenia boli čo najvýhodnejšie pre prírodu a spoločnosť.

Komplexná úprava povodia pri hradení bystrín znamená navrhnuť také opatrenia, ktorými budeme chrániť pôdu, vodu a ovzdušie. Tvorba, transport a ukladanie splavenín, najmä hrubozrnných sú hlavnými charakteristikami bystrín. Môžeme rozlišovať tieto charakteristické úseky bystrín:

- zberný úsek (zberná oblasť, úsek tvorby splavenín) - je najvyššie položeným úsekom s najvyšším pozdĺžnym sklonom, zhromažďujú sa odtekajúce vody a zbierajú splaveniny, brehy koryta sú strmé, dochádza často k ich podomieľaniu a k vymieľaniu dna, koryto bystriny má tvar písmena V,
- úsek dopravy (transportu) splavenín, neutrálny úsek - má podstatne nižší pozdĺžny sklon, splaveniny sú transportované do nižších častí (zväčša sa netvorí ani neukladajú), koryto má tvar písmena U,
- úsek ukladania (oblasť ukladania) - zmiernenie pozdĺžneho sklonu, ukladanie splavenín, počas vysokých vodných stavov sa môže voda vylievať aj von z koryta, zaplavovať priľahlé územia a zanášať ho splaveninami,
- úsek odtoku vody bez pevných materiálov.

Toto presné členenie bystrinného povodia je možné pozorovať len u typických bystrín vysokých hôr. V najvyššej časti povodia (zberná oblasť) sa pri prudkých lejakoch rinú zrážkové vody zo všetkých strán do koryta hlavného toku, rozrývajú pôdny povrch a strhávajú úbočné svahy. Ďalej nižšie po toku (úsek dopravy) sa zužuje údolie, ktorého svahy sú často skalnaté. Týmto úsekom pretekajú sústredené a splaveninami nasýtené vody, bez toho, aby vyvíjali eróznú činnosť. Výnimočne však môže i v tejto oblasti dôjsť k výrobe splavenín. Na konci trate sa údolie náhle rozširuje, voda stráca unášaciu silu a ukladá svoju štrkovú záťaž v tvare nánosového kužela (oblasť ukladania). Voda zbavená splavenín sa buď rozleje po celom údolí alebo odteká, pokiaľ je koryto dostatočne rozmerné, do zberného toku. Kužel sa nemusí vytvoriť, ak bystrina ústi

priamo do zberného toku a tento tok má dostatok síl, aby mohol dodané hmoty ďalej dopraviť. Jednotlivé oblasti bystriny nebývajú vždy presne vymedzené a ustálené, ale zasahujú často jedna do druhej a časom sa presúvajú. Niekedy niektorá časť chýba (napr. úsek dopravy alebo úsek odtoku vody bez pevných materiálov).

Škodlivosť bystriny je potenciálne nebezpečenstvo hroziace okoliu bystriny v súvislosti s jej rozvodnením a devastáciou okolia splaveninami. Škodlivosť bystriny spočíva v:

- náhlom odtoku veľkého množstva vody - povodne nie len v danom povodí, ale aj v nižších častiach, do ktorých ústí,
- bystrinnej erózii, pri ktorej vymieľaním dna korýt dochádza k jeho prehlbovaniu v pozdĺžnom i priečnom smere, strhávanie pobrežných pozemkov aj s vegetáciou (dochádza k premiestňovaniu materiálu, vznikajú výmole a strže),
- škodách spôsobených splaveninami - vymieľajú ryhy, výmole a strže, podmieľajú brehy, splachujú úrodnú pôdu,
- zatarasenie alebo poškodenie prietokového profilu usadeninami v nižších častiach bystriny a v tokoch, do ktorých sa vlieva (Obr. 5.1).

Na Obr. 5.1 pod označením A sú znázornené hydrologické a geomorfologické procesy regulujúce spustenie, odtok alebo rozširovanie bystriny, a to A1) zosuv (objem nad 1000 m³), A2) odtok, erózia, tvorba strže, A3) lokalita postihnutá niekoľkými plytkými zosuvmi, A4) prirodzená hrádza, A5) zarezávanie dna toku, podmývanie brehov a súvisiace nestability brehov, A6) pretekajúce a tvorba sutinového kužeľa. Skupina prvkov označených písmenom B vyjadruje vplyv človeka na ohrozenie bystrinou: B1) odlesnenie, B2) urbanizácia, B3) chybné odvodnenie, prenikanie vody a infiltrácia, B4) opustenie obrábanej pôdy, pastvín a degradácia pôdy. Opatrenia zmiernujúce následky sú označené písmenom C, pričom C1) varovný systém, C2) súbor zádržných prehrádzok, C3) ukladačí priestor a spevňovacie stavby, C4) zalesnenie, C5) pravidelné čistenie ukladačieho (zanášaňého) priestoru, C6) výhony a C7) plánovanie využívania krajiny.

Medzi hradením bystrín a reguláciou horského potoku nie je podstatnejší rozdiel, nakoľko oba pojmy znamenajú úpravu odtokových pomerov. Slovo hradenie je odvodené od hrádze, nakoľko vzhľadom na veľké spády, ktorými sa bystriny vyznačujú, je k ich úprave potrebných početné množstvo priečných objektov - prahov, stupňov a prehrádzok, ktoré často prevyšujú pozdĺžne spevnenie koryta.

Hradenie bystrín znamená preto na rozdiel od regulácie horského potoka nielen úpravu vlastného koryta, ale aj zásah do širšieho povodia, kde sa pomocou biotechnických opatrení ovplyvňuje a upravuje odtok, ako aj erózna činnosť zrážkových vôd a boj proti pôdnej deštrukcii a lavínam. Z toho vyplýva, že práce na bystrinách sú pri svojej rôznorodosti obtiažnejšie, a preto tiež pomerne nákladnejšie ako práce na potokoch.

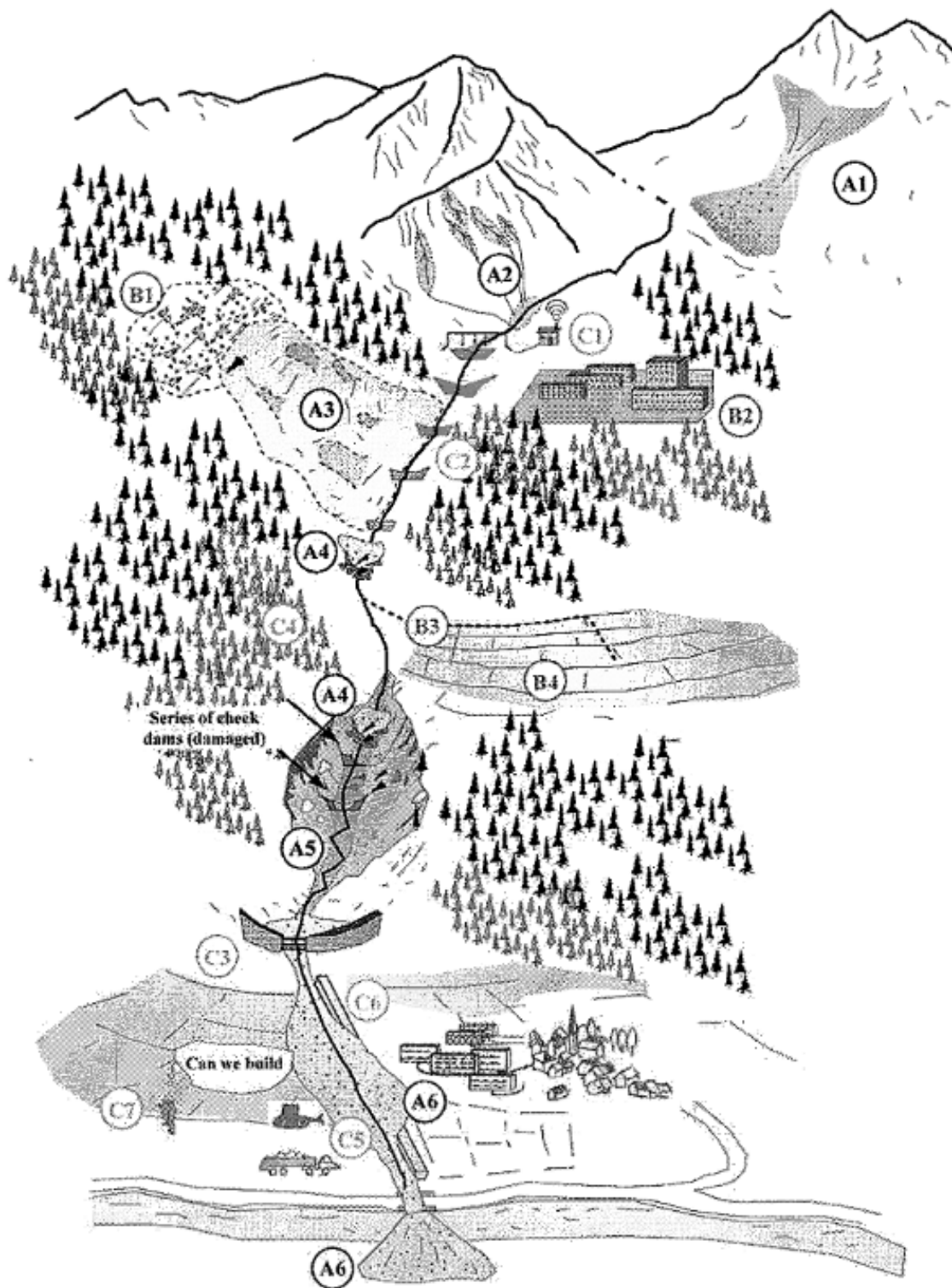
Regulácia horského potoka nevyžaduje až tak rozmanité spôsoby úpravy, používané stavebné objekty sú viac-menej typizované, stupňovanie dna je skôr výnimkou ako pravidlom, nakoľko spádové pomery sú ustálenejšie.

Prof. Kaisler (Vokurka, 2016) uvádza, že je potrebné pri úprave bystrinného povodia vyriešiť tri hlavné úlohy:

1. najprv je potrebné zabezpečiť optimálnu sústavu hospodárenia na lesnej a poľnohospodárskej pôde,
2. následne sa starať o dobrý stav neupravených tokov a brehových porastov, tzn. vykonávať údržbu koryta a porastu,
3. a potom je vhodné pristúpiť k úprave a stabilizácii poškodených alebo škodiacich úsekov vodných tokov v obciach kamennými stavbami a v extravilánoch biotechnickými prostriedkami.

Pri tom sa má vychádzať ako z ekologických podmienok územia a záujmu vodného hospodárstva, tak z potrieb obyvateľstva a z požiadaviek ochrany krajiny.

Základnou metódou stabilizácie bystrinného koryta pri úpravách je zmenšenie pozdĺžneho sklonu nivelety dna koryta. Tým sa zníži energia prúdiacej vody a ďalšie pozdĺžne opevnenie buď už nie je potrebné alebo je možné vybudovať len jednoduchšiu, menej rozsiahlu a lacnejšiu stabilizáciu dna a brehov koryta.



Obr. 5.1 Koncept rizika v povodí bystriny (upravené podľa Remaitre, Malet, 2010)

Medzi najčastejšie príčiny porušenia stavieb hradenia bystrín budovaných v minulosti môžeme zaradiť:

- návrhové parametre konštrukcií nezodpovedajú dnešným podmienkam,
- nevhodný a neodborne prevedený zásah do konštrukcie v rámci údržby,

- postupný rozpad spojiva kamenného muriva a jeho vydrvenie či vymytie z konštrukcie,
- vegetačné a klimatické podmienky, ktoré rozrušujú stavebnú konštrukciu (drevo, kameň),
- neprevedené odvodnenie rubu stupňa, prehrádzky alebo oporného múru spádoviska.

5.2.1 Zásady zahrádzania bystrín a strží

Podľa platnej STN 48 2506, medzi zásady zahrádzania bystrín a strží patria:

- komplexné riešenie melioračných opatrení v povodiach v zmysle zásad integrovaného manažérstva povodí,
- úprava odtokových pomerov v povodiach,
- optimalizácia využívania a obhospodarovania plôch v povodí,
- protipovodňová ochrana zástavby, priemyselných objektov, inžinierskych sietí, komunikácií, skultúrnených plôch atď.,
- celkové zníženie erodovanosti a erodovateľnosti bystriny a jej povodia prostredníctvom protieróznej ochrany erodovaných plôch v povodí, úsekov v koryte bystriny, eróziou poškodenej lesnej dopravnej siete a pobrežných pozemkov,
- optimalizácia zásob a kvality disponibilnej vody s využitím vodohospodárskej a vodoochranej funkcie lesných ekosystémov,
- zlepšenie stavu narušených biotopov a vytváranie biokoridorov,
- starostlivosť o prírodné a životné prostredie, čistotu vody, zaústenie prítokov a odvodňovacích zariadení,
- celková revitalizácia a sanácia krajiny.

Pri návrhu sa do úvahy berie:

- lokalizácia bystrín; horné úseky bystrín sa nachádzajú vo veľkoplošných chránených územiach s konkrétnym stupňom ochrany; túto skutočnosť je potrebné zohľadňovať vo všetkých činnostiach, ktoré sa týkajú zahrádzania bystrín a strží a vo všetkých súvisiacich činnostiach v zmysle platnej legislatívy,
- zákaz vykonávania všetkých činností, ktoré môžu ohroziť plynulosť odtoku vody v koryte, zdravie ľudí a ich bezpečnosť,
- zákaz ukladania a skladovania všetkých predmetov na miestach, z ktorých môžu byť splavené do bystriny,
- potreba zlepšenia ekologickej stability bystrinných ekosystémov,
- výška optimálnej hladiny podzemnej vody v nive doliny,
- zachovanie alebo zlepšenie podmienok na existenciu ichtyofauny, ostatných živočíchov a rastlinných spoločenstiev v bystrinných ekosystémoch.

Úlohou zahrádzania bystrín a strží je systémovou kombináciou lesotechnických opatrení a zásahov zlepšovať odtokové pomery v ich korytách a povodiach a prispievať k celkovej ekologickej stabilite povodia, pričom ide o:

- neškodné odvádzanie veľkých vôd úpravou odtokových pomerov v bystrine a jej povodí,
- predchádzanie, tlmenie a sanáciu erózne narušených plôch v povodí a stabilizáciu prietokového profilu bystriny,
- zakladanie, udržiavanie a obnovovanie ochranej vegetácie na erodovaných svahoch koryta, brehoch a pobrežných pozemkoch,
- ochranu a zlepšovanie kvality a zásob vody v povodí a jej disponibilnosti s využitím vodohospodárskej a vodoochranej funkcie lesných ekosystémov najmä premenou povrchového odtoku na podpovrchový.

Pre posúdenie najvhodnejšieho spôsobu úpravy bystrinného toku je nutné dôkladne poznať pomery v celom povodí. Podrobný prieskum je potrebné zamerať na zbernú oblasť, kde sa sústreďuje povrchová voda z privalových zrážok a eróznou činnosťou sa uvoľňujú horninové hmoty, na oblasť dopravy splavenín väčšinou v strednej časti toku a na oblasť ukladania erodovaných hmôt. Návrh zahrádzania bystrín je odborne náročný a vyžaduje komplexné vedomosti projektanta.

Pre postup jednotlivých prác a úprav postavil Demontzey (Vokurka, 2016) aj dnes platné poradie, že úpravu treba začať v oblastiach, kde hrozí tvorba výmoľov a strží. Súčasne treba spevňovať podomieľaním ohrozované brehy a svahové nátrže. Potom nasleduje zamedzenie vymieľaniu dna koryta a napokon zabezpečenie nánosov v dolnom úseku toku tak, aby z nich voda opäť nestrhávala splaveniny do pohybu. Z načrtnutého vyplýva, že s úpravami zahrádzania bystrín treba zásadne začať v zbernom úseku toku a prácami pokračovať v smere toku s patričným zreteľom na účinky už uskutočnených úprav (napr. zmenšená tvorba splavenín). Ak sa bystrina zahrádza po úsekoch, treba pri zabezpečení koryta priečnymi stavbami postupovať proti vode počínajúc kľúčovým objektom, postaveným na podklade bezpečnom proti podomletiu.

Pre úspešnosť a hospodárnosť zahrádzania je dôležité, aby jednotlivé úpravy sa vykonali včas a v náležitom rozsahu. Včasným zásahom možno často dosiahnuť cieľ aj s pomerne malým nákladom. Treba sa vyvarovať polovičatej práci v zahrádzaní. Hospodárnosť prác vyžaduje dosiahnuť zahrádzanie čo najjednoduchším spôsobom, podľa možnosti s malým nákladom bez ohrozenia výsledku prehnanou úspornosťou. Z ekonomického hľadiska môžu v nemalej miere ovplyvniť spôsob zahrádzania aj náklady na údržbu hradiaceho diela.

Prvou skupinou prác využívaných pri hradení bystrín sú biotechnické práce, ktoré slúžia na ochranu povrchu pôdy na svahoch pred účinkami vodnej erózie, obmedzujú tvorbu splavenín, upravujú vodný režim pôdy a zvyšujú infiltráciu vody do pôdy. Na to sa využíva vegetácia, ktorá viaže povrch pôdy koreňovým systémom a zdrsnením povrchu územia spomaľuje povrchový odtok vody. Na zamokrených stanovištiach sa využíva vegetácia s vysokou transpiračnou schopnosťou, najčastejšie jelša, topol, vŕba, pre zvýšenie infiltračnej schopnosti pôdy sa používajú niektoré kultúrne plodiny - ďatelina, trvalé trávne porasty a pod.

Druhou skupinou sú stavebné technické prvky, konštrukcie a objekty. Ide najmä o priečne objekty, t.j. zaisťovacie pásy, prahy, stupne, sklzy, prehrádzky budované ojedinele alebo v sústavách pri vytváraní stabilného sklonu koryta, ktorého dno potom nie je potrebné opevňovať. Špecifickými priečnymi spádovými konštrukciami hradenia bystrín sú retenčné a konsolidačné prehrádzky, ktoré slúžia na reguláciu pohybu splavenín a k stabilizácii pozdĺžneho profilu bystrinných koryt.

Nové prístupy pri úpravách bystrín sa odkláňajú od metód založených na zvyšovaní odolnosti koryta jeho opevnením a na budovaní masívnych objektov, na využívanie princípu tlmenia energie vodného prúdu vysokou drsnosťou koryta a konštrukcií. V súčasnej dobe, kedy sa zvyšuje dôraz na ochranu ekosystémov a krajinného rázu, je tiež potrebné (okrem základného princípu úpravy pozdĺžneho sklonu, stabilizácie koryta bystrinného toku a regulácie splaveninového režimu) hľadať systémy úprav šetrných k prírodným podmienkam. Je to potrebné nielen z hľadiska ekologických záujmov, ale aj z hľadiska funkčného a prevádzkového.

Základom hradiacich prác v hydrologickej sieti sú stavebné konštrukcie. Vegetačné opatrenia majú podpornú úlohu a hradiacu stavbu svojimi účinkami zabezpečujú. Len biologicky, t.j. vegetačnými prostriedkami je možné stabilizovať strže, najmä ich svahy, a erózne ryhy v menej sklonitých terénoch, ktoré vedú len malé množstvo vody a nie sú trvale vodné.

Pri hradení bystrín je spravidla potrebné vyriešiť nasledujúce úlohy:

- stanovenie návrhového prietoku pre kapacitu koryta,
- odolnosť dna a svahov,
- úpravu smerových pomerov,

- návrh pozdĺžneho sklonu dna,
- návrh prietokového profilu,
- návrh opevnenia koryta,
- návrh objektov.

5.2.2 Podklady pre návrh zahrádzania bystrín

Pri návrhu zahrádzania bystrín je potrebné získať a preštudovať podklady:

- Vodný plán Slovenska,
- Plán manažmentu povodia, plán manažmentu čiastkového povodia,
- Plán manažmentu povodňového rizika,
- územný plán a projekty pozemkových úprav,
- vodohospodárske štúdie a hydrotechnickú schému bystriny,
- dokumentáciu prípadných prítokov a všetkých zaústení,
- dokumentáciu vodných diel a všetkých objektov na toku,
- údaje o podzemných a nadzemných vedeniach a všetkých ochranných pásmach,
- údaje o súčasnej a plánovanej funkcii toku,
- údaje o škodách, ktoré tok spôsobuje,
- údaje o biotopoch toku,
- inventarizáciu brehových a sprievodných porastov,
- údaje o výskyte chránených rastlinných a živočíšnych druhov,
- údaje o územnom systéme ekologickej stability,
- údaje o chránených prvkoch prírody, vrátane ich vymedzenia a ochranných režimov,
- štatút využívania územia - národné parky, chránené krajinné oblasti, rezervácie,
- druh pozemkov pozdĺž toku a majetkovoprávne vzťahy,
- údaje o rekreačnom využívaní toku,
- stupeň prípadného znečistenia toku a údaje o znečisťovateľovi,
- údaje o splaveninovom režime,
- priebeh hladín povodňových prietokov a rozkolísanosť prietokov,
- hydrologické údaje povrchových vôd, údaje o chode ľadu, merná krivka prietoku na začiatku upravovaného úseku a pod.

V rámci prípravných prác je potrebné posúdiť:

- stav koryta bystriny - intenzitu a druh jeho poškodení vplyvom erózie,
- vývoj a stav smerových pomerov, sklonu údolia a sklonu dna,
- druhovú a vekovú skladbu brehových porastov,
- technický stav existujúcich objektov - mosty, lávky, priepusty,
- existujúcu prietoknosť koryta,
- intenzitu pohybu splavenín v koryte a prítokoch,
- stupeň ohrozenia príľahlých pozemkov, zástavby, komunikácií,
- vplyv súčasného stavu bystriny na zdroje pitnej vody v okolí,
- možnosť zlepšenia komunikačného prístupu,
- možnosť komplexného zlepšenia prírodného a životného prostredia,
- možnosti zachovania alebo vytvorenia podmienok pre hydrofaunu,
- možnosť optimálneho začlenenia navrhovanej stavby do okolitého prírodného prostredia.

V rámci prieskumných prác je potrebné sa zamerať na:

- meračské práce - vytýčenie začiatku a konca úpravy a podrobných bodov trasy vrátane vytýčenia smerových oblúkov, výškové zameranie podrobných bodov, zameranie priečných rezov, situácia existujúceho stavu, pevných bodov na trase,
- geologický a pedologický prieskum - pôdno-mechanické vlastnosti hornín a zemín, základové pomery pre objekty, zatriedenie hornín a zemín podľa ťažiteľnosti, údaje o podzemnej vode a možnosť použitia vody pri výstavbe,
- prieskum splaveninového režimu - určenie rozmeru efektívneho zrna, stupňa drsnosti, určenie začiatku pohybu a usadzovania splavenín,
- prieskum erózných javov v toku a povodí - zistenie miest a príčin vzniku produktov erózie,
- prieskum pre plán organizácie výstavby - zistenia potrebné pre realizáciu výstavby, sociálnych zariadení, skládok materiálu, zdrojov elektrickej energie, pitnej a úžitkovej vody, dopravnej prístupnosti staveniska a pod.,
- prieskum dopravných pomerov - zistenie požiadavky výstavby nových mostov, brodov, lávok a pod.,
- prieskum nadzemných a podzemných vedení - údaje o elektrických, plynových, vodovodných a iných vedení,
- ostatné prieskumy - prieskum lavínových území, zamokrených území, zosuvných území a pod.

5.2.3 Úprava smerových pomerov a zaústenie prítokov

Základným variantom smerového vedenia úpravy je zachovanie čo najväčšej dĺžky pôvodnej trasy a koridoru bystriny. Nevyhnutné zmeny trasy je potrebné vždy zdôvodniť s ohľadom na technické, ekologické a ekonomické dôsledky. Zásah musí zodpovedať charakteru prostredia, má vytvoriť podmienky na následnú údržbu bystriny a nesmie obmedzovať obhospodarovanie pobrežných pozemkov.

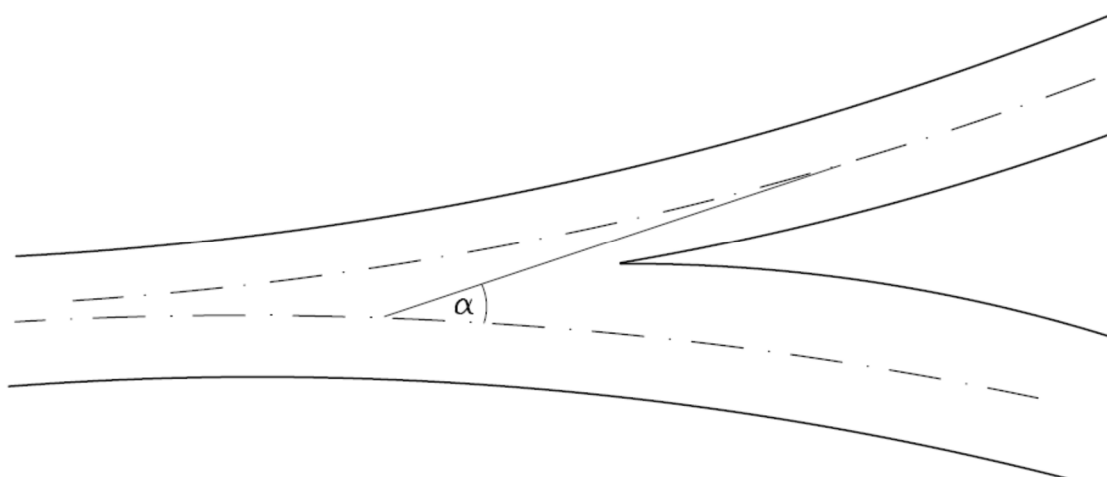
Ďalším variantom je návrh trasy zložený z geometrických prvkov. Na trasovanie sa používajú jednoduché a zložené kružnicové oblúky, oblúky s prechodnicami, krivky s postupnou zmenou krivosti a priamky. Trasu má tvoriť striedanie protismerných oblúkov, medzi ktorými sa nachádzajú priamky. Maximálna dĺžka priamok v extravilánoch by nemala presahovať dvojnásobok až štvornásobok šírky koryta v brehoch. Dĺžka priamky medzi protismernými oblúkmi nemá byť kratšia ako dvojnásobok šírky koryta v brehoch. V horných úsekoch bystrín je potrebné prispôbiť sa existujúcej trase a riešiť stabilizáciu dna.

Vo vhodných miestnych podmienkach je možné prirodzenejšie a geometricky len približne definovateľné vedenie osi trasy a ostatných rozmerových prvkov koryta, ktoré sa vykresľuje voľnou rukou. Pri takomto postupe sa sleduje:

- zachovanie ustálených úsekov koryta s vhodnými biocenózami,
- minimalizácia zemných prác a zásahov do prírodného prostredia,
- dôsledné prispôbenie navrhovaných prvkov prírodným pomerom danej lokality,
- predĺženie dĺžky prúdnice, zvýšenie členitosti dna a svahov koryta a drsnosti omočeného obvodu.

V ustálených trasách tokov pri použití kružnicových oblúkov v korytách bystrín s $B > 4$ m má byť minimálny navrhnutý polomer smerového oblúka od 6 do 10 B; v opačnom prípade 10 - 15 B. V prípade existujúcich extrémnych terénnych podmienok môžu byť polomery aj nižšie.

Skracovanie trasy sa má podľa možnosti vylúčiť. Prítoky sa zaústujú s ohľadom na vodnatosť zbiehajúcich sa tokov. V prípade sútok 2 tokov s približne rovnakou vodnatosťou volíme uhol α tvorený osami prítokov v rozpätí od 30 do 45°, pri málo vodnatých prítokoch možno navrhovať uhol do 75° (Obr. 5.2).



Obr. 5.2 Sútok tokov

5.2.4 Úprava pozdĺžneho sklonu nivelety dna

Prirodzené dno bystriny tvorené súdržným i nesúdržným materiálom považujeme za stabilné, ak nie je dlhodobo vymieľané ani zanášané (nehľadiac na dočasné pretváranie vyššími prietokmi). Miestne nepravidelnosti v dne (štrkové lavice, výmole, nánosy) sú prirodzeným prejavom vývoja toku, ak významnejšie nemenia sklonové pomery. Tieto dnové útvary sa v zahrádzaní bystrín využívajú ako ekologicky hodnotný prvok.

Ak bystrina dlhodobo vymieľa (prehlbuje) dno, zvyšuje sa jeho odolnosť:

- predĺžením trasy,
- stabilizáciou dna dnovými pásmi,
- znížením pozdĺžneho sklonu vhodnými priečnymi objektmi - stupňovaním dna,
- pozdĺžnym spevnením prírode blízkymi prvkami,
- zvýšením drsnosti umelým zdrsnením,
- úpravou geometrických charakteristík prietokového profilu a jeho ekologicky vhodným stabilizovaním,
- kombináciou uvedených opatrení.

Návrh konkrétnych opatrení a ich kombinácia sa posudzuje najmä z hľadiska ekológie a hydrauliky.

Pozdĺžny sklon nivelety dna sa má meniť plynule, aby nemohlo dochádzať k narúšaniu prietoku splavenín. Pri návrhoch konsolidačných objektov sa posudzuje ich vplyv na splaveninový režim.

Riešenie pozdĺžneho sklonu nivelety bystriny patrí medzi najťažšie úlohy v zahrádzaní bystrín. Pri tomto výpočte sa snažíme, aby sme stanovili taký pozdĺžny sklon, ktorý by zabezpečil prietok, aj všetkých prietokov bez deštrukcie dna koryta. Tento sklon môžeme nazvať **stabilný** - sklon, pri ktorom nedochádza k uvoľňovaniu splavenín z dna. Vzhľadom na to, že pozdĺžny sklon je aj funkciou nasýtenosti vody splaveninami, môžeme rozlíšiť tzv. **kompensačný sklon**, pri ktorom voda nasýtená splaveninami koryto nevymieľá ani nezanáša a **rovnovážny sklon**, pri ktorom voda bez splavenín koryto nevymieľá.

Stabilný pozdĺžny sklon je teda požadovaný sklon koryta zodpovedajúci konštantnej nasýtenosti splaveninami, ku ktorému sa však len viac alebo menej približujeme podľa toho, ako dokážeme ovplyvniť pohyb splavenín, aby bol konštantný.

Používaným vzorcom pre výpočet navrhovaného kompenzačného pozdĺžneho sklonu úpravy bystriny je vzťah odvodený Meyer-Peterom (Valtýni, Jakubis, 1998)

$$i_k = \frac{0,047 \cdot (\rho_s - \rho) \cdot g \cdot d_e - 0,25 \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{\rho \cdot g}{g}\right)} \cdot g_s^{\frac{2}{3}}}{\rho \cdot g \left(\frac{k_d}{k_s}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot R_d} \quad (-) \quad (5.1)$$

kde: i_k - kompenzačný sklon,

ρ_s - merná hmotnosť splavenín ($\text{t} \cdot \text{m}^{-3}$),

ρ - merná hmotnosť vody ($\text{t} \cdot \text{m}^{-3}$),

g - ťiažové zrýchlenie ($9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$),

d_e - rozmer efektívneho zrna (m), ktorý určíme zrnitosným rozborom,

g_s'' - jednotkový prietok splavenín meraný pod vodou ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$),

k_d - súčiniteľ drsnosti podľa Stricklera pre dno, ktorý určíme vzťahom (5.2),

k_s - Stricklerov súčiniteľ pre splaveniny, ktorý určíme vzťahom (5.3),

R_d - hydraulický polomer dna (m), ktorý určíme vzťahom (5.4).

$$k_d = \frac{v}{R^{\frac{2}{3}} \sqrt{i}} \quad (-) \quad (5.2)$$

$$k_s = \frac{21,1}{\sqrt[6]{d_{50}}} \quad (-) \quad (5.3)$$

$$R_d = \frac{Q_d}{Q} \cdot h \quad (-) \quad (5.4)$$

kde: d_{50} - rozmer efektívneho zrna pre 50 % hmotnosti splavenín odčítaný z krivky zrnitosti,

Q - celkový prietok vody ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$),

Q_d - prietok vody ovplyvňujúci pohyb splavenín vypočítaný vzťahom (5.5),

h - hĺbka vody (m).

$$Q_d = b \cdot h \cdot v_n \quad (\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}) \quad (5.5)$$

kde: b - šírka dna (m),

v_n - nevymieľajúca rýchlosť vody pre konkrétny rozmer efektívneho zrna ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$).

Pri stanovení stabilného sklonu dna je možné vychádzať z nevymieľajúcich profilových a dnových rýchlostí, z kritického tangenciálneho napätia a z intenzity pohybu splavenín. Stabilný sklon je možné vypočítať napr. aj z Meyer-Peterovej rovnice, ak predpokladáme určitú intenzitu pohybu splavenín. Z rovnice (5.1) po vylúčení časti vyjadrujúcej merný prietok splavenín dostaneme vzťah (5.6).

$$i = \frac{0,047 \cdot (\rho_s - \rho) \cdot g \cdot d_e}{\rho \cdot g \left(\frac{k_d}{k_s}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot R_d} \quad (-) \quad (5.6)$$

Ak určíme stabilný pozdĺžny sklon dna bystrín, riešime jeden zo štyroch prípadov:

1. dno bystriny je nerovné so štrkovými lavicami, začína pohyb všetkých zrn ($C_M = 0,105$),
2. dno je rovné, bez štrkových lavíc, začína pohyb všetkých zrn ($C_M = 0,075$),
3. dno je nerovné so štrkovými lavicami, odplavené sú len jednotlivé drobné zrná, vytvára sa krycia vrstva ($C_M = 0,067$),
4. dno je rovné, bez štrkových lavíc, odplavené sú len jednotlivé zrná, vytvára sa krycia vrstva ($C_M = 0,048$).

Všeobecný tvar rovnice pre stabilný sklon bystrín je

$$i_s = C_M \cdot \frac{d_e}{R_d} \quad (-) \quad (5.7)$$

Vzťah (5.7) je možné v našich podmienkach použiť pre hĺbku vody 0,01 - 1,2 m, pre sklon do 25 ‰ a prevažne rovnostrannú zmes splavenín s $d_e \leq 0,1$ m.

5.2.5 Návrh prietokového profilu

Optimálne určenie rozmerov navrhovaného prietokového profilu bystrinnej úpravy je veľmi náročná úloha. Od jej správneho vyriešenia závisí budúca funkčnosť úpravy a jej začlenenie do prostredia.

Pri hradení bystrín je potrebné určiť predovšetkým základný účel úpravy a podľa toho voliť vhodný postup. Obyčajne máme zabezpečiť:

- protipovodňovú ochranu objektov, komunikácií, pozemkov a zastavaných častí územia,
- protieróziu ochranu poľnohospodárskeho pôdneho fondu a lesného fondu,
- smerovú a výškovú stabilizáciu vlastného toku,
- komplexnú úpravu odtokových pomerov v povodí,
- úpravu trasy, zlepšenie životného prostredia a čistoty vody.

Rozmery a tvar prietokového profilu sa riešia vo vzájomnej súvislosti s:

- pozdĺžnym sklonom nivelety dna,
- smerovým vedením trasy,
- navrhovaným prietokom na kapacitu a odolnosť koryta,
- spôsobom spevnenia koryta,
- transportnou schopnosťou bystriny.

Zásady pre návrh prietokového profilu:

- nevyhnutnosť prihliadať na pokrytie dna vodou počas nízkych vodných stavov, aby sa zachoval biotop vodného živočíšstva,
- náhla zmena geometrických charakteristík prietokového profilu nie je prípustná,
- prechod svahov medzi rôznymi profilmi musí byť plynulý,
- prietokový profil sa môže navrhovať prirodzený - bez stálych geometrických prvkov, alebo geometrický - s pravidelným geometrickým tvarom (lichobežník, miskovitý, obdĺžnikový),
- prietokový profil so silným pohybom splavenín je možné upraviť usmerňovacími prvkami,
- sklony svahov sa navrhujú s miernym sklonom od 1 : 1 po 1 : 3,
- sklon svahov sa prispôsobuje navrhovanému opevneniu - prednostne vegetačné.

Minimálna rýchlosť vody by nemala byť menšia ako $0,40 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, aby nedochádzalo k zanášaniam a následnému zarastaniu koryta. Najčastejšie navrhovaným prietokovým profilom v úpravách bystrín je pravidelný jednoduchý lichobežník.

Všeobecne platí, že v zahrádzaní bystrín by hĺbka prietokového profilu nemala byť vyššia ako 1,3 - 1,5 m. Maximálna hodnota predstavuje 2 m. Šírku dna prietokového profilu navrhujeme podľa konkrétnych podmienok so zohľadnením predchádzajúceho obmedzenia. Sklony svahov sú ovplyvnené hlavne druhom použitého spevnenia, ale aj priestorovými pomermi. Nemusia byť vždy na oboch svahoch totožné, čím sa vytvorí tzv. nepravidelný lichobežník.

Z ekologických dôvodov a z dôvodov ochrany prírody je prípustné ponechanie kratších úsekov narušených (erodovaných) brehov v prirodzenom stave, ak tým nie sú priamo ohrozené pobrežné pozemky, významnejšie objekty, komunikácie a pod. Je potrebné zabezpečiť pätu takýchto svahov.

5.2.6 Spevnenie prietokového profilu

Účelom spevnenia koryta bystriny je zabezpečenie jeho stability a odolnosti jednotlivých častí prietokového profilu proti:

- mechanickým účinkom vodného prúdu,
- porušeniu svahov vytekajúcou alebo stekajúcou vodou,
- účinkom pohybu splavenín,
- chemickému pôsobeniu vody,
- poškodzovaniu ľadom.

Pri návrhu spevnenia koryta je potrebné

- vyriešiť prednostne spevnenie najviac namáhaných častí prietokového profilu,
- na konkávných stranách použiť odolnejšie, vyššie a drsnejšie spevnenie,
- uplatňovať spevňovacie prvky s členitým povrchom - tlmia kinetickú energiu toku, vytvárajú ekologicky lepšie podmienky,
- výpočtom posúdiť odolnosť a stabilitu navrhovaných pozdĺžnych spevnení,
- podľa charakteru podložia posúdiť potrebu filtračnej vrstvy pod spevňovacími prvkami.

Pozdĺžne spevnenia bystrín rozdeľujeme na:

- vegetačné spevnenia - zatrávenie vysiatím, vysiatie bylín (*Petasites sp.* a pod.), mačkovanie, trávové koberce, osev nastrekovaním (hydroosev), výsadba drevín, výsadba vrbových odrezkov, vrbový obklad, palisády, vrbové rohože, zápletový plôtik, prútený (fašinový) valec, prútený (fašinový) valček, prútovo-štrkový valec, fašinády atď.;
- nevegetačné spevnenia - latový plôtik, kamenná nahádzka, kamenná rovnanina, kamenná rozprestierka, kamenná dlažba, drôtovo-kamenné prvky, drevené zruby; v intravilánoch, v stiesnených pomeroch, v priamom pozdĺžnom styku lesných ciest s bystrinou sa navrhujú aj nábrežné múry, oporné múry, prípadne dlažba z prefabrikátov atď.;
- kombinované spevnenia - oživená kamenná nahádzka, oživená kamenná rovnanina, oživená kamenná rozprestierka, oživený výhon, oživený zrub, oživené prefabrikované prvky s otvormi, oživené drôtokamenné konštrukcie atď.

Vegetačné spevnenia sú blízke prírode a z ekologického hľadiska sú najvýhodnejšie. Ak im zabezpečíme pravidelnú údržbu, sú vhodné aj z estetického hľadiska. Vo všeobecnosti platí, že sú lacnejšie ako nevegetačné a kombinované spevnenia. Pri ich aplikácii nie sú potrebné odborne kvalifikované pracovné sily. Za nevýhodu sa považuje nevyhnutnosť pravidelnej údržby a väčšie nároky na priestor, ktoré vyplývajú z potreby menších sklonov svahov prietokového profilu. Päta svahu a určitá dĺžka svahu prietokového profilu sa spevňuje niektorým z druhov nevegetačných spevnení. Pri ich použití je potrebné zohľadniť splaveninový režim, potenciálne možnosti zanášania, kvalitu vody vodného toku a uvedomiť si, že svoju funkciu plnia až po určitom čase.

Kombinované spevnenia spájajú v sebe viaceré výhody nevegetačných a vegetačných spevnení. Sú podstatne ekologickejšie, bližšie prírode ako samotné nevegetačné. Majú dobrý stabilizačný účinok, lebo vegetačné prvky spevňujú svojím koreňovým systémom pôdny podklad pod nevegetačným prvkom. Tento efekt je významný práve v korytách bystrín, a to vzhľadom na rozkolísanosť vodných stavov, a tým aj možné vyplavovanie častíc spod niektorých druhov spevnení. Na druhej strane nevegetačné prvky chránia koreňový systém vegetácie pred poškodzovaním prúdiacou vodou.

Transportná schopnosť toku sa zníži zmenšením sklonu nivelety dna. V praxi sa to realizuje radom stupňov alebo prehrádzok. Pre návrh stabilnej nivelety dna existuje celý rad rovníc. Na Slovensku sa pre stabilný sklon nivelety dna obvyčajne používa rovnica Meyer-Petera, za predpokladu nulového prietoku splavenín. Pre návrh stabilného pozdĺžneho sklonu je potrebné vychádzať z parametrov prirodzených stabilných úsekov

koryta a v nemalej miere by tieto výsledky mali byť korigované na základe skúseností projektanta nadobudnutých z množstva realizovaných projektov úprav tokov.

Pri stabilizácii koryta vychádzame z rovnováhy medzi unášacou silou a odolnosťou koryta. Táto rovnováha je zvyčajne zabezpečená vybudovaním oporných múrov, ich správnym umiestnením v koryte v závislosti od osi koryta. Nezabezpečujú len horizontálnu ochranu brehov, ale tiež umožňujú úpravu prúdnice - zabránením dodatočnému meandrovaniu a tvorbou úsekov s hydraulickým polomerom, ktorý vyhovuje danému materiálu pre odolávanie erózii. V takýchto prípadoch sú priečne stavby (hrádze) využívané len vo výnimočných prípadoch na stabilizáciu dna a zníženie sklonu dna.

Šmykové napätie brehov môže byť kontrolované pozdĺžnymi múrmi z erózii odolného materiálu. Múry môžu byť pevné (betónové alebo murované) alebo flexibilné (drôtokamenné konštrukcie). Ďalšou metódou je zvýšenie odolnosti obložení svahu sypkým materiálom väčšieho priemeru ako je v dne alebo osadením a mulčovaním.

5.3 Opatrenia v povodiach

Každá významnejšia povodeň v povodí bystriny má byť podnetom na preskúmanie jej príčiny a priebehu. Z uvedeného skúmania majú vyplynúť návrhy účinných preventívnych opatrení v povodí, ktoré majú smerovať do oblastí:

- územného plánovania, návrhov zmien kultúr, spôsobu obhospodarovania pôdneho fondu, návrhov ochrany území ohrozovaných povodňami a zrýchlenou eróziou vrátane ich vymedzenia,
- operatívneho odstraňovania zistených poškodení hlavne vo vzťahu k sústreďovaniu povrchového odtoku, infiltrácii, intercepcii, transpirácii a pod.

Každý návrh zahrádzania bystriny a strže sa rieši komplexne v nadväznosti na opatrenia v povodí. Lesohospodárske opatrenia majú smerovať k obmedzovaniu vzniku povrchového a neskôr sústreďeného odtoku po svahu od dopadu atmosférických zrážok na povrch vegetácie. Vhodnými hospodárskymi opatreniami je možné pôsobiť retenčne a retardačne na tvorbu povrchového odtoku.

Akakoľvek činnosť v povodiach bystrín a strží musí rešpektovať zásady ochrany proti povodňam, erózii a lavínam, nesmie vytvárať podmienky na sústreďovanie a zrýchľovanie povrchového odtoku z prívalových dažďov a na vysušanie mokrad'ových priestorov. Zistené nedostatky sa musia bezodkladne odstraňovať.

Medzi základné opatrenia na zlepšenie odtokových pomerov a ochranu pred eróziou v povodiach patrí:

- premena povrchového odtoku na podpovrchový s využitím vodohospodárskej funkcie lesných ekosystémov a zvyšovanie zásob vody v krajine,
- podľa možnosti zalesňovanie nezalesnených plôch,
- delimitácia nelesných pozemkov a ich premena na lesné pozemky,
- zakladanie infiltračných lesných ochranných pásov,
- starostlivosť o nadložný humus, odstraňovanie nedostatkov a narušenia vrstvy nadložného humusu poškodeného rôznymi činnosťami a mechanizmami vrátane obmedzenia zhutnenia lesných pôd v lesných ekosystémoch v priebehu ťažbovo-dopravného procesu,
- eliminovanie zrýchleného povrchového odtoku lesnou dopravnou sieťou spravidla formou budovania vyhovujúcich odvodňovacích zariadení,
- eliminovanie a odstraňovanie erózneho poškodenia nespevnených lesných ciest a približovacích liniek, asanácia nepotrebných lesných ciest a približovacích liniek,
- zákaz približovania (sústreďovania) dreva cez koryto bystriny v priečnom aj pozdĺžnom smere,
- odvodňovanie zamokrených lesných pôd na zvýšenie ich retenčnej kapacity prednostne biologickou cestou s použitím drevín s vysokou transpiračnou schopnosťou, v prípade potreby technickou cestou

pomocou povrchových záchytných, zberných a zvodných priekop alebo podpovrchovým odvodnením pomocou drenážnych trativodov,

- zlepšovanie kvality vody formou vodoochranej funkcie lesných ekosystémov a jej disponibility.

Rozdelenie používaných opatrení v povodí bystriny je uvedené v Tab. 5.1.

V praxi je potrebné zameriavať sa na:

- starostlivosť o nadložný humus, ktorý má pre spomaľovanie odtoku veľký význam (zabezpečenie kvality a kvantity nadložného humusu - neporušenosť, priaznivé humifikačné procesy, forma, skladba, hrúbka, zhutnenosť a pod.),
- odvodnenie zamokrených a zabahnených pôd za účelom obnovenia ich retenčnej kapacity - biologicky, technicky alebo kombináciou,
- eliminovanie alebo obmedzenie povrchového odtoku a jeho premena na nesústreďený, prípadne do vsaku (ovplyvňujeme výkyvy medzi vodnými stavmi a kvalitu odtekajúcej vody),
- podchytenie odtekania zrážkovej vody lesnou cestnou sieťou so zámerom eliminovania nežiaducich vplyvov na premenu svahového nesústreďeného povrchového odtoku na sústreďený,
- zahrádzanie bystrín, strží, výmoľov a protilavínové opatrenia musia byť súčasťou komplexne chápaných biotechnických opatrení v horských povodiach,
- vykonávanie preventívnych opatrení v povodiach, ktorými sa snažíme vylúčiť alebo obmedziť po rôznych stránkach náročnejšie technické zásahy v povodiach využívaním jednoduchších, prírode blízkych, ekologicky vhodných a ekonomicky prijateľnejších biotechnických opatrení.

Tab. 5.1 Opatrenia v povodí bystriny (upravené podľa Lopez Cadenas de Llano, 1993)

Riešené územie	Možné problémy	Preventívne opatrenia	
		Klasifikácia	Popis
Povodie	Plošná a ryhová erózia Erózia v strži a prameni Problémy s infiltráciou a obsahom vody v pôde Povodeň Hlboká erózia	Biologické Mechanické Malé vodné stavby	Zalesňovanie Zlepšenie vegetačného krytu Terasovanie Odvodnenie Guľatina Fašinády
Koryto bystriny, horského potoka	Nevyrovnané koryto bystriny Nespevnené koryto Nestabilný sklon Významný splaveninový režim Nestabilné svahy koryta s narušením trasy a zatápaním	Priečne stavby Ochranné hrádze Kombinované objekty Biologické	Konsolidačné prehrádzky Retenčné prehrádzky Výhony Ochranné brehové hrádze (obloženie brehu, vlnolamy) Prahy Stupne Vegetačný kryt pozdĺž koryta

5.3.1 Vegetačné a biotechnické úpravy v povodiach

Biologické opatrenia vo veľkej miere zahŕňajú stabilizáciu svahov bystriny a podobné techniky ako sú používané pri protieróznej ochrane. Tieto opatrenia sú potrebné pre ochranu brehov pred eróziou a transportom sedimentov. Všetky opatrenia v tomto smere sa musia riadiť snahou, aby v celej zrážkovej oblasti nebolo miesto, ktoré by zostalo trvale bez vegetačného krytu, okrem plôch tečúcich a stojatých vôd a dopravnej siete, ako aj plochy slúžiace rôznym iným účelom. Jedine vegetácia vhodne prispôbená miestnym pomerom môže chrániť pôdu pred odplavovaním a môže podľa druhu krycích rastlín regulovať

povrchové a podzemné odtoky zrážkovej vody, ako aj priaznivo pôsobiť na stav vodných zásob príslušnej oblasti.

Úlohou hradenia bystrín je vypestovať v bystrinnej oblasti na plochách, kde je to potrebné, vhodný vegetačný kryt. Na pôdach holých je to zakladanie porastu, na pôdach dočasne zbavených vegetačného krytu je to obnova porastu. Tiež je možné zmeniť existujúci vegetačný kryt na iný, viac vyhovujúci záujmom ochrany pôdy a vody, a to je premena krycieho porastu.

Pokiaľ ide o ochranu vodného režimu, môžeme príslušné opatrenia rozdeliť na:

- vegetačné opatrenia, ktoré slúžia priamo na ochranu pôdy na strmých svahoch - týmito opatreniami je pôda spevnená, nepriamo pôsobí tým, že svojim drsným povrchom spomaľuje povrchový odtok,
- opatrenia, ktoré majú za účel obranu proti nadmernej zásobe podzemnej vody (porasty drevín s veľkou spotrebou vody, ktoré svojimi koreňmi a transpiračnou schopnosťou dokážu odčerpať prebytočné množstvo vody z pôdy na zamokrených pôdach),
- opatrenia, ktoré majú podporovať zvýšenie zásob podzemných vôd (zmiešané porasty hlboko koreniacich a plytko koreniacich stromov, aby sme dosiahli dokonalé preniknutie koreňov do väčších hĺbok pôdy - umožníme tak presakovanie zrážkovej vody do podzemnej vody),
- porasty, ktoré zakladáme a pestujeme proti škodlivým účinkom tečúcej vody - kerové a stromové porasty z listnatých drevín, ktorými spevňujeme brehy vodných tokov, obyčajne v spojení s oživenými pozdĺžnymi stavbami (plôtky, zruby, kamenné rovnaniny) alebo stavbami výhonovými.

Všade, kde je holá pôda v povodí by malo byť jej zalesnenie uprednostnené pred iným spôsobom využívania. Najlepšie dreviny sú tie, ktoré majú silný rýchly rast v dobre pripravenej pôde, neskôr spomaľujú rast pre spevnenie kmeňa a tvoria dobrú korunu. Má byť zachovaný pomer medzi prirodzenou vegetáciou v rôznych úrovniach a vysadenými novými drevinami pre maximalizáciu ochrany povodia. Úlohou zalesnenia povodia bystriny je pomôcť prírode spomaliť degradáciu a zrýchliť rozvoj kompletného lesného ekosystému pre zvýšenie maximálnej prirodzenej ochrany. Cieľom zalesnenia povodia má byť stabilné spoločenstvo zmiešanej, nepravidelnej vegetácie obsahujúce aj kerovú a trávnu vrstvu.

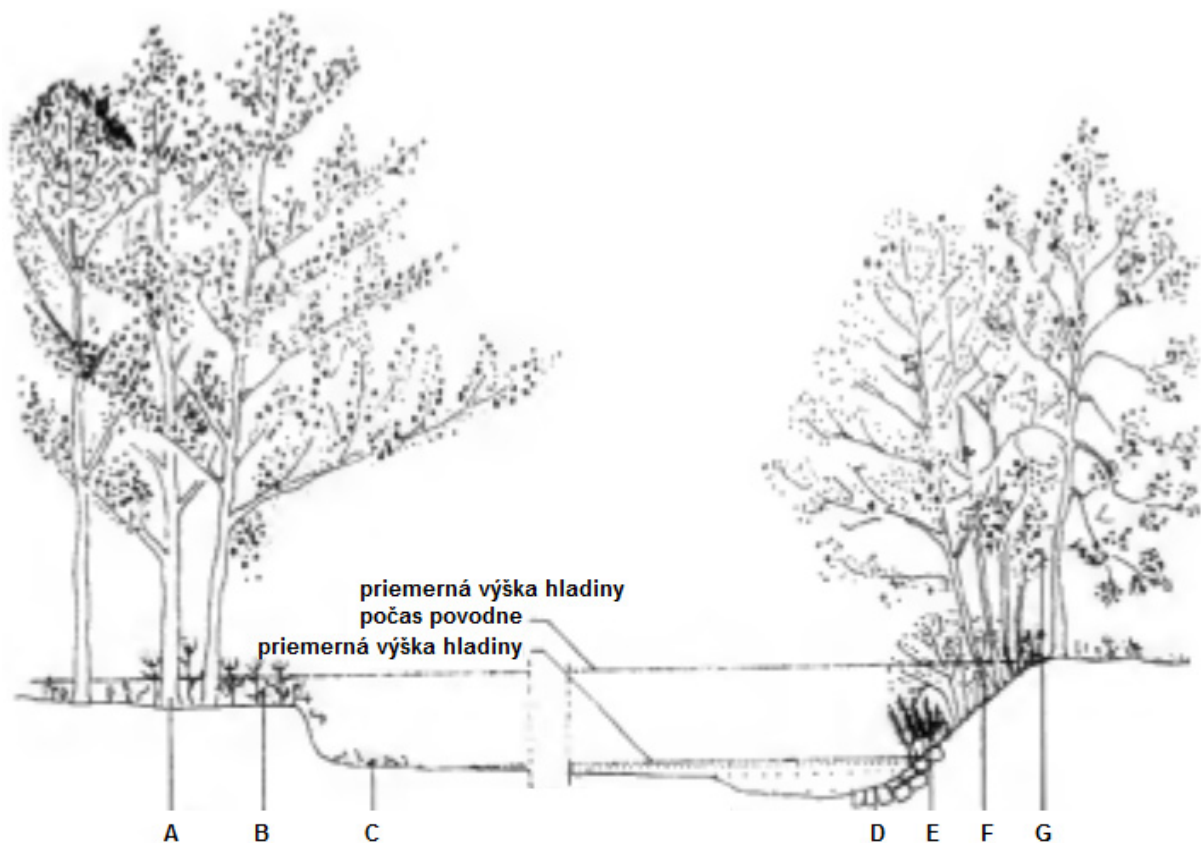
Ďalším biologickým opatrením na svahoch nepresahujúcich 30 - 35 % je trvalé zatrávnenie, ktoré môže byť využívané ako pasienky.

Biologické opatrenia ochrany povodia stabilizujú pôdu, pomáhajú redukovať množstvo plavenín prispievajúcich zakaleniu toku a zvýšeniu hustoty, a tým znížením mernej tiaže a oslabením unášacej sily toku. Taktiež majú výrazný vplyv na priamy odtok, pomáhajú znižovať špičkový prietok, skrátiť hydraulický polomer omočenej časti a znížiť unášaciu silu toku.

V návrhoch vegetačných spevnení sa zohľadní výška umiestnenia na svahu v súvislosti s jeho odolnosťou proti účinkom prúdiacej vody a prípustnou dobou zaplavenia.

Pri použití vrbových odrezkov sa použijú odrezky z dobre zakoreňujúcich stromovitých (*Salix alba*, *S. fragilis*, *S. daphnoides*, *S. incana*) alebo stromovitých až krovitých (*Salix viminalis*, *S. purpurea*, *S. triandra*) vrúb.

Postupným rozširovaním koryta vodného toku sa prirodzene permanentne mení hĺbka a šírka koryta, a teda vzniká asymetria koryta. Rozdielny sklon svahov koryta má vplyv na rozmiestnenie brehovej vegetácie. Čím miernejší je sklon brehu, tým viac vegetácie na ňom bude. Ukážka rozdelenia brehovej vegetácie je na Obr. 5.3, kde A je zóna stromov, B je zóna rastlín, C je rastlinný odpad a rákos (napr. opadané listy), D je opevnenie (napr. kamenná dlažba), E je zóna tráv (napr. chrastica), F je zóna krov (napr. vrby) a G je zóna stromov (napr. jaseň alebo jelša).



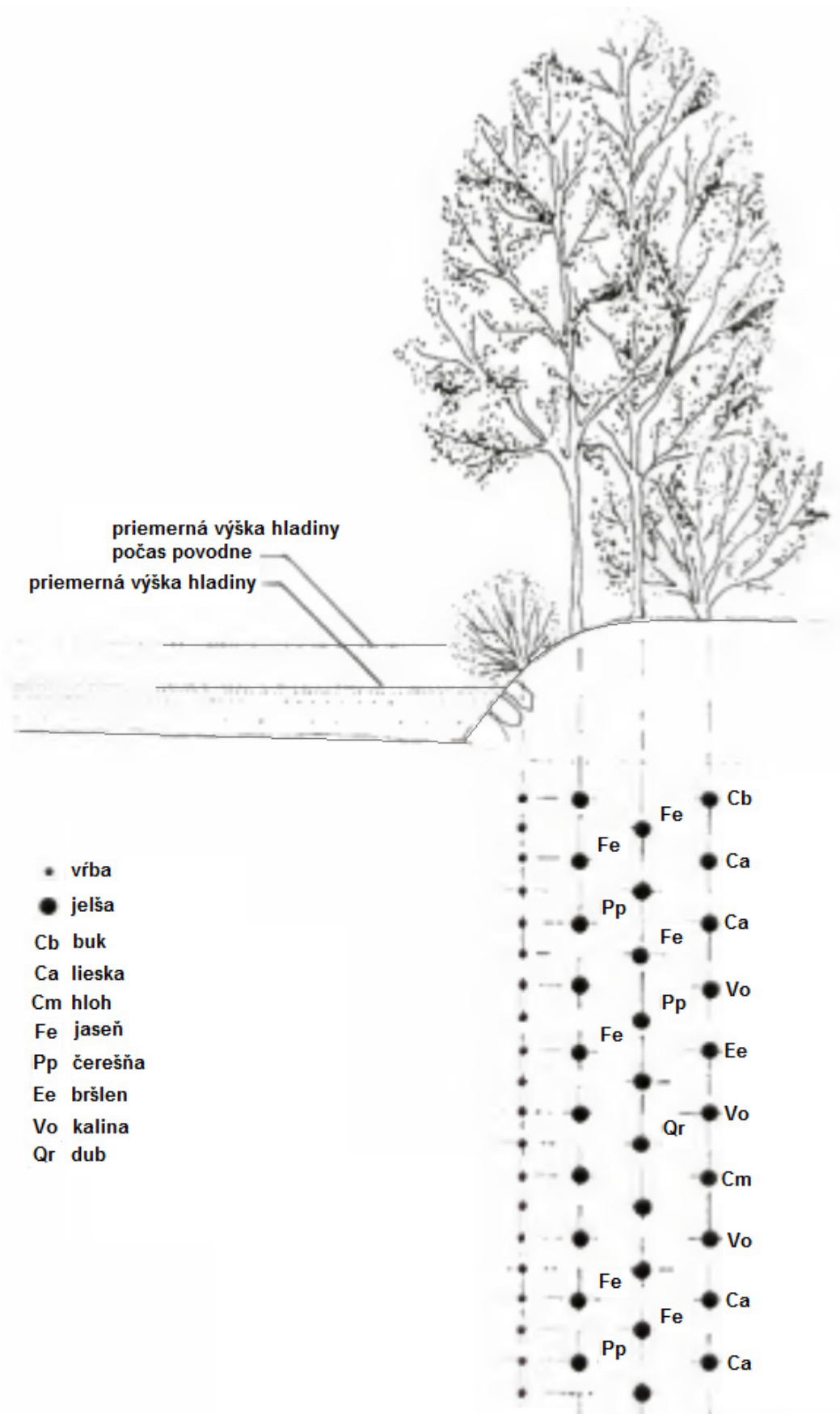
Obr. 5.3 Priečný rez prirodzeným korytom s vegetačnou zónou (upravené podľa López Cadenas de Llano, 1993)

Výber drevín, ktoré sa vysádzajú v rámci vegetačných spevnení brehov, vychádza z ekologických podmienok stanovišť a nárokov drevín. Zo stromových drevín sa používajú *Alnus sp.*, *Salix sp.*, *Acer sp.*, *Populus sp.*, *Fraxinus sp.*, *Ulmus sp.*, *Tilia sp.*, z krovitých *Salix sp.*, *Cornus sp.*, *Euonymus sp.*, *Crataegus sp.*, *Frangula sp.*, *Corylus* atď. Utvorenie vhodnej drevinovej zóny je dané výsadbou drevín s rôznou schopnosťou zakorenenia (Obr. 5.4).

Biotechnické opatrenia, niekedy tiež nazývané ako oživené opevňovacie konštrukcie, obsahujú vegetatívne prvky, ktoré sú schopné oživenia. Majú charakter poddajného opevnenia, pretože sú schopné prispôsobiť sa transformácii dna a brehov koryta, ku ktorým po vykonaní úpravy bystriny alebo horského potoka dochádza. Postupom času tiež vyrastená vegetácia preberá hlavnú spevňujúcu funkciu brehov.

Medzi biotechnické úpravy v povodiach zahŕňame všetky práce, k prevedeniu ktorých sa používajú živé hmoty, t.j. semená, sadenice, trsy, odrezky a pod. Okrem vlastnej práce na založenie porastu a popri ďalšej starostlivosti patria do súboru týchto úprav aj rôzne ochranné zásahy v záujme vzrastu a vývinu zdravých kultúr ako ochrana proti hmyzu, zvery, činnosti človeka a pod.

Podľa použitého materiálu môžeme biotechnické opatrenia roztriediť na pestovanie bylinného (najmä trávneho) krytu, zakladanie porastu krov a stromov a rôzne oživené konštrukcie ako vrbové plôtky a krytiny, oživené kamenné rovnániny a pod. Týmito prostriedkami spevňujeme povrch pôdy, aby nebol rozrušovaný vodou, snehom, vetrom, tepelnými zmenami a inými škodlivými vplyvmi. Ak je už povrch pôdy uvoľnený, príp. obnažený až na podložie, je potrebné použiť pomocné konštrukcie z dreva, kameňov, betónu, drôtených košov s kamennou výplňou a pod. Tieto práce slúžia na ochranu pôdy, a preto ich nazývame pôdoochranné opatrenia.



Obr. 5.4 Ukážka rozmiestnenia drevín v rámci brehovej ochrany (upravené podľa López Cadenas de Llano, 1993)

5.3.2 Zatrávňovanie pod ochranou sieťovín

Na ochranu osiateho svahu po dostatočné zakorenenie trávneho porastu používame protierózne siete (Obr. 5.5). Ich úlohou je podpora rastu a vývoja tráv tým, že obmedzia plošnú a ryhovú eróziu na zatrávňovanom svahu. Tým nedochádza k odplaveniu semien, resp. v neskorších štádiách k obnažovaniu koreňov alebo odnášaniam zakorenených rastlín zo svahu, ale naopak, dochádza k usadzovaniu splavenín medzi jednotlivými očkami protieróznej siete. Spomalením odtoku zrážkovej vody dochádza k jej väčšej infiltrácii a zlepšeniu vodnej bilancie pôdy v horných častiach svahu.

V praxi sa môžeme stretnúť so sieťami z umelých alebo prírodných materiálov. Použitie prírodného materiálu má výhodu, nakoľko v priebehu 2 až 3 rokov je trávny porast dobre zapojený a protierózna sieť postupne degraduje (z kokosových vlákien 5 - 9 rokov, resp. z juty 2 - 3 roky v závislosti od hrúbky a podmienok prostredia).

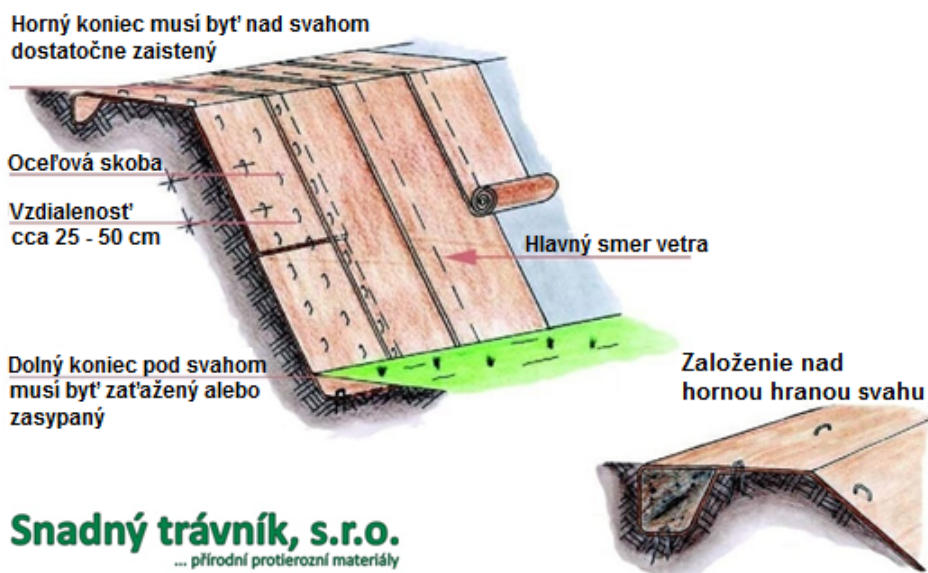


Obr. 5.5 Zatrávňovanie svahu pod sieť

Postup prác pri použití protieróznych sietí môžeme zhrnúť do nasledujúcich krokov (Obr. 5.6):

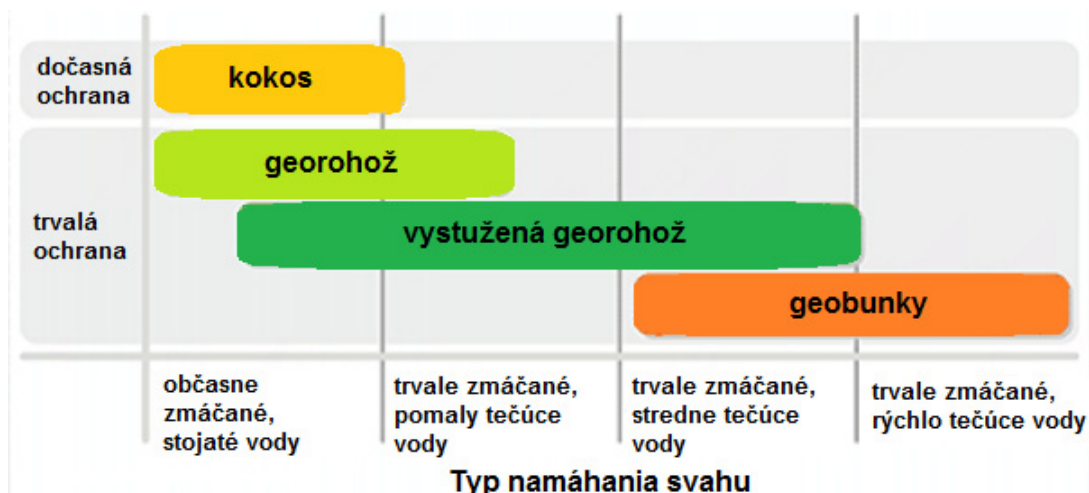
- spracovanie pôdneho profilu do hĺbky cca 75 mm, odstránenie väčších kameňov;
- nakyprenie povrchu a jeho vysvahovanie;
- osiatie svahu;
- rozbalenie pásov siete zo svahu dole alebo pozdĺž svahu (horizontálne) z dola, pásy je potrebné prekladať cca 100 mm a klásť ich tak, aby sa pod ne nemohla dostať voda;
- sieť sa rozloží voľne a rovnomerne, bez napínania. V 1. kalendárnom roku po položení siete na svah dochádza vplyvom striedania klimatických podmienok k napínaniu a predlžovaniu siete. V priebehu zimy dochádza k zatlačeniu siete do pôdy a začínajú biodegradačné procesy siete (hnutie);
- konce a cípy vrchného pruhu musia byť zapustené do 150 mm hlbkej brázdy (výkopu) a zaistené kolíkmi (asi 5 kolíkov na 1 pás). Veľké množstvo kolíkov je možné nahradiť drevenou tyčou priemeru 50 - 100 mm prichytenou kolíkmi;
- pozdĺžne spoje pruhov majú mať prekryv 100 mm a odporúča sa ich kotviť po 1 metre. Ďalšia rada kolíkov sa umiestňuje do stredu pruhu (šachovnicovo);
- pokiaľ ukladáme pruh siete po svahu, musia sa jednotlivé pásy prekrývať 500 mm;
- dosiatie svahu.

Okrem sieťovín sa používajú aj PE fólie. Fólie majú perforované otvory (30 – 40 % plochy), cez ktoré preniká k trávnenému porastu voda a svetlo. Po určitom čase cez otvory prerastie tráva. Fólie, ktoré sa upevňujú na svah drôťmi alebo kolíkmi sa po čase vplyvom poveternostných vplyvov rozpadnú.



Obr. 5.6 Príklad uloženia ochrannej siete (upravené podľa <http://www.snadnytravnik.cz/stranky/pokladka.htm>)

Ďalšou možnosťou zvyšovania odolnosti svahov opevnených trávnyim porastom je použitie protieróznych rohoží. Protierózne rohože sú materiály pórovitej štruktúry hrúbky 10 až 50 mm. Vyrábajú sa z polypropylénu, polyesteru alebo iných termoplastických hmôt. Protierózna rohož sa zakryje vrstvou zeminy (max. 30 mm) a na jej povrch sa vyseje trávne semeno. Pretože prázdne priestory v rohoži sú vyplnené pôdou, korene rastlín prenikajú cez rohož, a tým sa celý protierózny ochranný systém v pôde stabilizuje. Protierózna funkcia rohoží spočíva v tom, že v prípade kontaktu prúdiacej vody a rohože dochádza k zvýšeniu odporu voči prúdeniu, zníženiu bodových rýchlostí vody na hodnotu, ktorá nemôže odplaviť zeminu. Slúžia ako trvalá a spoľahlivá ochrana povrchovej vrstvy svahov proti erózií. Zaisťuje zosilnenie povrchu počas rastu vegetácie a výrazne zlepšuje súvislosť koreňového systému. Spoločnosť Geomat s.r.o. uvádza zjednodušené grafické zobrazenie použitia rôznej ochrany zatrávneného svahu podľa životnosti a typu namáhania (Obr. 5.7).



Obr. 5.7 Rozdelenie protieróznej ochrany podľa životnosti a typu namáhania svahu (upravené podľa <http://www.geomat.cz/>)

Alternatívou zatrávnenia pod ochrannú sieť je založenie trávnikovej textilie. Na pripravenú plochu (odburinenú, skyprenú, vyrovnanú a uhrabanú) rozprestrieme a pripevníme špeciálnu tenkú textíliu, ktorá má v sebe už zakomponované trávnikové osivo a zároveň potrebnú dávku štartovacieho hnojiva. Stačí už len zavlažovať a tráva sa o niekoľko dní zazelená, prerastie textíliu a zakorení do pôdy.

Tenká látka sa rýchlo rozloží. Tento spôsob má dobré uplatnenie na svahoch aj na rovine, dobre kopíruje členitý terén. Jeho výhodou je, že v počiatkovej fáze potláča rast burín v trávniku.

5.3.3 Hydroosev (osev nastrekovaním)

Ide o progresívnu formu osievania predovšetkým svahovitých terénov a zvlášť exponovaných svahov do sklonu 60° (1 : 0,5) trávnu zmesou, prípadne aj semenami drevín. Pri tomto hydraulickom spôsobe osievania plôch sa pod tlakom rovnomerne rozstrekuje zmes osiva, vody, hnojiva, organickej hmoty, prípadne protieróznej prísady s cieľom vytvoriť súvislý porast s protieróznymi účinkami. Organická hmota zabezpečuje lepšiu výživu klíčiacych semien a stabilizuje celú zmes. Používame rašelinu, celulózu, celulózové kaly, buničinu alebo rastlinný odpad. Z dôvodu zabránenia upchávaniu aplikačného zariadenia hydroosevnej súpravy najlepšie vyhovujú častice do veľkosti 20 mm. Protierózna prísada, najvhodnejšia z prírodných látok (vyhýbame sa látkam na báze dechtu), zabezpečuje ochranu semien a pôdy pred odplavením v koryte prúdiacou a zrážkovou vodou. Pred vlastným hydroosevom je potrebné odstrániť zaburinenie. Môžeme použiť herbicídy a po 2 až 3 týždňoch začať s hydroosevom. Optimálna doba výsevu je od polovice marca do polovice októbra, pričom sa vyhýbame letným horúcim dňom. Prvá kosba sa robí pri výške porastu 25 až 30 cm.

5.3.4 Mačिनovanie

Tento typ opevnenia spočíva v obložení svahov koryta alebo časti erodovaného svahu kobercami mačiny. Pre tento účel používame prirodzenú mačinu priamo z blízkosti staveniska. Mačina sa zrezáva v segmentoch o veľkosti 30 x 30 cm zvlášť upravenými nožmi a pomocou lopaty odoberáme tabule o hrúbke 10 cm. Mačinu používame pokiaľ možno čerstvú, resp. uložíme ju vo vrstvách koreňmi k sebe a zabezpečíme jej polievanie vodou. Pri mačिनovaní kladieme mačinu striedavými styčnými škárami, jednotlivé tabule k sebe prirážame, aby nevznikali roztvorené. Po uložení tabule vrstvu mačiny patrične utlačíme. Spodné rady pripevňujeme drevenými kolíkmi dĺžky 30 - 50 cm. Pri kladení mačiny na málo úrodnú zeminu dávame 10 cm hrubú humusovú vrstvu. Uloženú mačinu je potrebné ošetrovať, zalievať, väčšie škáry vyplniť a vyschnuté miesta dosiať. Pri nedostatku prirodzenej mačiny môžeme použiť rolovanú mačinu (trávny koberec), ktorú pestujeme na polyetylénovej fólii s vrstvou humusu o hrúbke 2 až 3 cm, ktorú vystužíme jutovou sieťovinou. Asi 40 dní po zasiatí môžeme dostatočne vysoký a zakorenený trávny koberec zvinúť a použiť pri opevňovaní svahov.

5.3.5 Kamenná rozprestierka, nahádzka, rovnanina, dlažba

Kamenná rozprestierka sa konštruje z kameniva (veľkosť 7 - 20 cm), ktoré sa rozhrnie na svahu a urovná do predpísanej hrúbky (min. 15 cm). Hrúbka rozprestierky má byť aspoň trikrát väčšia ako je efektívne zrno rozprestierky. Sklon na svahu nemá byť strmší ako 1 : 2,5, výnimočne 1 : 2. Pre zvýšenie odolnosti a stability svahov sa rozprestierka zhutní, čím vzniká štrkový koberec.

Kamenná nahádzka sa robí z lomového kameňa. Nesmú sa používať zaoblené a ploché prvky. Rozmery kameňov musia byť také, aby ich voda prúdiaca v koryte nemohla posúvať alebo odnášať. Sklon líca nemá byť strmší ako 1 : 1,25. Nahádzka musí tvoriť homogénne teleso, jej povrchová vrstva sa upravuje urovnávaním líca na spôsob rovnaniny. Je možné preliať nahádzku betónom (nesmie sa robiť pod hladinou vody), pričom zrnitosť kameniva v betóne a konzistencia betónovej zmesi musí zodpovedať veľkosti medzier v nahádzke.

Kamenná rovnanina sa robí z neopracovaných kameňov, ktoré sa kladú na sucho, tesne k sebe, s väzbou v pozdĺžnom a priečnom smere. Medzery na lícnych plochách sa vyplňajú menšími kameňmi. Najmenší odporúčaný rozmer kameňov je 20 cm. Sklon líca rovnaniny nemá byť strmší ako 1 : 1.

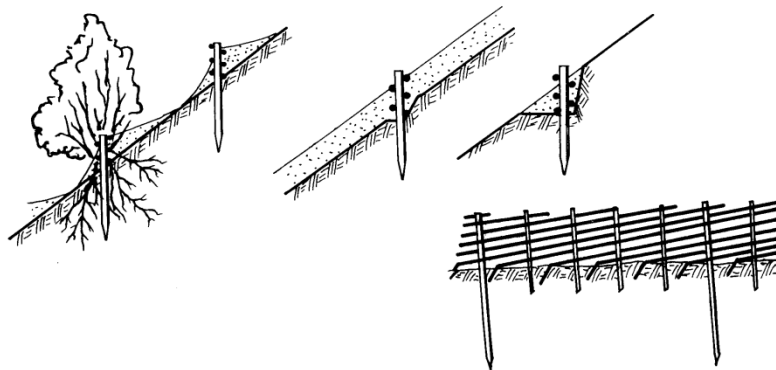
Rovnanina z kameňa predstavuje alternatívu muriva z lomového kameňa na sucho. Je takmer rovnako odolná, ale svojou pružnosťou umožňuje väčšiu transformáciu koryta a prispieva tak k udržaniu prírody

blízkeho charakteru úpravy. Krajnotvorné pôsobenie kamennej rovnaniny je priaznivejšie ako pôsobenie kamenného muriva. Tieto konštrukcie sa používajú najmä k zaisteniu brehových nátrží a piet svahov alebo celých brehov v súvislosti s objektmi premostenia v lese, kedy sa lícová stena rovnaniny upravuje v sklone 1 : 0,5. Pri použití v dlhších úsekoch úprav sa líčna stena rovnaniny buduje v miernejšom sklone, zvyčajne 1 : 1, a to na zaistenie päty svahu brehu. Pri zriaďovaní kamennej rovnaniny je potrebné venovať náležitú pozornosť založeniu konštrukcie na únosnom podloží.

Kamenná dlažba sa v súčasnosti používa len výnimočne. Kamenná dlažba sa robí z lomového kameňa požadovanej kvality, ktorý musí mať najmenší rozmer minimálne 20 cm. Zhotovená hrúbka dlažby sa od projektovanej môže líšiť najviac o 10 %. Jednotlivé kamene sa ukladajú tak, aby medzery medzi nimi boli priemerne 2 cm, najviac 4 cm. Kamene musia tvoriť dobrú vzájomnú väzbu. Dlažby sa nemajú robiť v stojatej alebo tečúcej vode. Robia sa v sklonoch 1 : 1 - 1 : 1,5, ale ak ide o dlažbu na cementovú maltu alebo do betónového lôžka, môže byť sklon aj strmší. Hrúbka dlažby býva 20 - 40 cm, ale môže byť aj väčšia. Kamennú dlažbu môžeme ukladať na sucho, so zaliatím škár (medzier) cementovou maltou (do štrkopieskového lôžka), na cementovú maltu s vyškárovaním alebo do betónového lôžka s vyškárovaním.

5.3.6 Plôtky z tyčoviny, latový plôtik

Plôtky z tyčoviny (latový plôtik, Obr. 5.8) sa bežne využívajú na stabilizáciu päty svahu brehu, sú tiež použiteľné pri stabilizácii svahových pozemkov, ohrozovaných vodnou eróziou a drobnými zosuvmi. Používajú sa pri úpravách potokov s pohybom drobnejšieho materiálu. Po vyhlbení ryhy v päte svahu šírky 0,2 - 0,3 m a hĺbky 0,3 - 0,4 m, v oblúkoch trasy až 0,6 m sa zabarania pilóty z kolov s priemerom 100 - 120 mm a s dĺžkou 1 - 1,2 m vo vzájomných vzdialenostiach 1,5 m. Na pilóty sa pripevnia smrekové tyče s priemerom najmenej 60 mm na slabšom konci a do 120 mm na silnejšom konci. Medzi plôtikom a šikmým svahom brehu sa uloží zásyp zo štrku, príp. zo zeminy s viac ako 50 % skeletu. Výška plôtikovej steny nad dnom môže byť 0,5 m, pod úroveň dna musia byť uložené najmenej 2 tyče. Plôtky sa budujú ako jednoradové, pri hlbších korytách a zaistení strmých svahov aj dvojradové.



Obr. 5.8 Plôtky z tyčoviny (Donat, 1995)

Tieto plôtky je možné ľahko kombinovať s inými metódami a opatreniami. Vyžadujú si však vysoké náklady na prácu a materiál a pravidelnú kontrolu. Je možné ich ľahko poškodiť, a preto sú nevhodné do oblastí s padajúcimi skalami.

5.3.7 Oživené zápletové plôtky

Oživené plôtky sa používajú na stabilizáciu piet svahov brehov plytkých koryt v sklone nivelety do 2 % s pohybom drobných splavenín (do priemeru asi 50 mm) a na stabilizáciu štrkovísk. Zvyčajne nadväzujú na dreviny vysadené na brehu koryta. Na stabilizáciu päty svahu sa používa plôtik jednoradový, dvojradový plôtik je vhodný na stabilizáciu časti svahu brehu. Oživené plôtky budujeme v čase vegetačného pokoja, t.j. v jeseni alebo na jar.

Konštrukcia je podobná plôtiku z tyčoviny. Pri budovaní sa vyhlíbi v päte svahu ryha široká 0,4 m, vo vzájomnej vzdialenosti 0,5 - 0,7 m sa do ryhy zabarania koly zo smrekovej tyčoviny s priemerom 80 - 120 mm a s dĺžkou 0,8 - 1 m. Pomedzi koly prepletieme vřbové prúty s hrúbkou 30 - 50 mm, pričom konce prútov založíme do dna ryhy. Výška plôtika nad dnom môže byť 0,2 - 0,4 m, pod dnom je potrebné plôtik založiť na hĺbku 0,3 - 0,6 m. Vhodné je použiť vřbové koly. Na záplet pod úroveň dna sa použije haluzina rôznych drevín, aj ihličnatých, nad úrovňou dna je možné použiť tiež prúty liesky a topoľa.

5.3.8 Vřbové prúty a odrezky

Najčastejšou súčasťou biotechnických konštrukcií sú prúty a odrezky z kríkových vřb - vřba košíkarska (*Salix viminalis*), vřba červená (*Salix rubra*), vřba purpurová (*Salix purpurea*), vřba trojtyčinková (*Salix triandra*), vřba srdcovitá (*Salix cordata*). Prúty a odrezky sa získavajú väčšinou v okolí staveniska po dohode so správcom vodného toku, príp. s vlastníkom porastu. Prúty a odrezky sa používajú samostatne alebo ako súčasť oživených konštrukcií. Z vysadených odrezkov vzniknú rýchlo kerové porasty vřb s dostatočným ochranným účinkom. Pri ich použití v priestore pod spádovým objektom však nemôžeme očakávať dostatočnú stabilizáciu koryta bez použitia ďalších opevňovacích prvkov. Vřbové porasty nie sú totiž schopné samostatne odolávať vysokej turbulencii vodného prúdu, ktorá sa vyskytuje pod stupňami a sklzmi. Obdobné nebezpečenstvo sa skrýva aj pri použití vřbových odrezkov a prútov v spádisku nízkych stupňov a prahov drevenej konštrukcie, kedy môže byť vplyvom podtlaku vyplavovaná zemina, čo znemožní oživenie vegetačných prvkov.

Výsadbu odrezkov je vhodné urobiť hneď po ich narezaní. Pokiaľ to nie je možné, je potrebné vegetačný materiál po reze vhodne uložiť. Otvory na povrchu pôdy pre výsadbu odrezkov sa robia kolíkom, pri vkladaní odrezkov je potrebné dbať na to, aby sa nepoškodila kôra alebo puky odrezkov. Odrezky sa zapustia tak, aby nad úrovňou terénu vyčnievali 1 až 3 puky, vhodné je k vysadenému odrezku prihrnúť zeminu a ľahko prekryť púčiky, aby nezaschli. Na suchých stanovištiach sa zapustí odrezok tak, aby vyčnieval 1 púčik.

Na zaistenie brehov koryta sa robí plošná výsadba odrezkov, predovšetkým v priamych úsekoch a na konvexných brehoch. Vo viac namáhaných úsekoch, napr. v konkávných brehoch, je potrebné výsadbu doplniť stabilizáciou päty svahu, napr. zápletovým plôtikom alebo plotom z tyčoviny. Odrezky sa vysádzajú v radoch vzdialených navzájom 0,3 až 0,5 m v sponě 300 mm. Na brehu koryta sa odrezky vysádzajú šikmo proti smeru prúdenia vody.

5.3.9 Vřbová krytina, prútený obklad

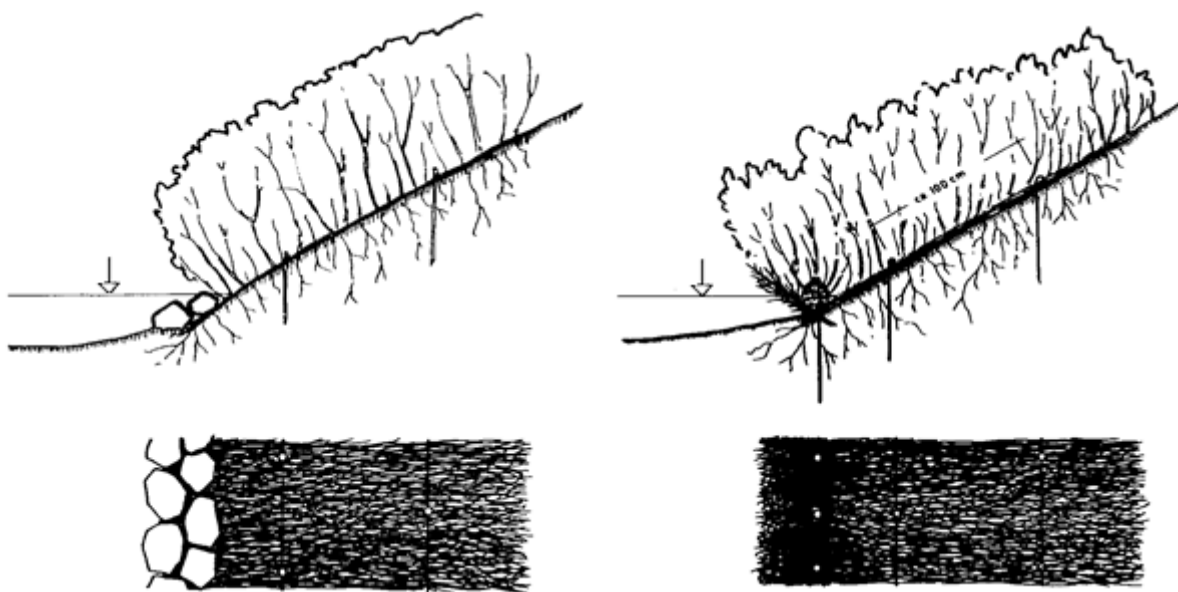
Vřbová (prútená) krytina slúži na zaistenie nestabilných brehov pri úpravách štrkonosných potokov. Na vybudovanie krytiny sa používajú vyzreté vřbové prúty dostatočnej dĺžky, ktoré sa ukladajú na urovnaný svah brehu, upravený v sklone 1 : 2 a plošším. Vytvorí sa tak vrstva prútov položených buď tesne vedľa seba alebo s medzerami do 30 mm. Je možné použiť aj prúty liesky, jelše, topoľa alebo jaseňa, a to do 20 % celkového množstva.

V päte svahu vyhlíbime ryhu hlbokú 0,5 m, do ktorej zapustíme prúty silnejšími koncami a prekryjeme ich výkopom. Kládne sa jedna vrstva prútov, pri väčšom namáhaní vodným prúdom budujeme vrstvu prútov v hrúbke do 100 mm. V päte svahu sa prúty istia plôtikom alebo jednoduchou haluzinou. Na svahu krytinu pripevňujeme väčšinou drôtom uchyteným na kolíkoch zatĺčených šachovnicovito na svahu vo vzájomnej vzdialenosti 0,9 - 1,2 m. Vřbovú krytinu prekryjeme vrstvou zeminy v hrúbke 30 - 70 mm. Z púčikov ležiacich na svahu brehu vyrastú korene, z protíahlych púčikov potom nadzemné časti krov, postupom času sa na svahu brehu vytvorí plošný vřbový porast.

Na zaistenie svahov je možné použiť aj **vřbové rohože** (prútený obklad, Obr. 5.9) so šírkou 1,5 - 1,8 m a dĺžkou 10 - 15 m, dopredu vyrobené z jednoročných vřbových prútov. Rohož pripevníme ku svahu brehu drevenými kolíkmi a prekryjeme zeminou podobne ako krytinu.

Výhodou tohto opatrenia je okamžitý účinok po vybudovaní, hustý koreňový systém a rozvoj krovia, flexibilita opravy a ochrany brehov a ľahko dostupný materiál.

Nevýhodou je vysoká požiadavka na materiál a prácu, potrebná občasná prebierka krovia a vysoký podiel manuálnej práce.

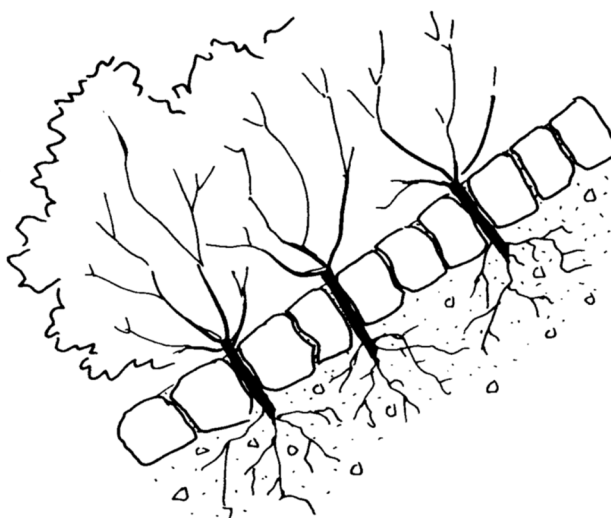


Obr. 5.9 Prútený obklad (Donat, 1995)

5.3.10 Oživená kamenná dlažba, rovnanina, nahádzka

Na stabilizáciu koryta vo veľmi sklonitých trasách je možné použiť **oživenú dlažbu** (Obr. 5.10) z hrubých kameňov, častejšie však z veľkých kameňov získaných na stavenisku. Dlažba sa kladie nasucho bez podkladovej vrstvy, v brehoch sa škáry medzi kameňmi vyplnia zeminou a vypchajú silnými vrbovými odrezkami s dĺžkou 500 mm.

Takto položená dlažba schopná sa prispôbiť drobným poklesom dna predstavuje spôsob opevnenia s vysokou drsnosťou. Vďaka oživeniu sa spevní dlažba v brehoch, priaznivý je tiež krajnotvorný účinok. Tento spôsob opevnenia sa používa pri úprave väčších korýt štrkonosných bystrinných tokov.



Obr. 5.10 Oživená dlažba (Donat, 1995)

Oživená kamenná nahádzka je obdoba kamennej nahádzky. Vložením vegetačných prvkov sa zvýši stabilita kameniva v nahádzke, zvýši sa jej drsnosť, a tým i účinok tlmenia energie vodného prúdu. Konštrukcia sa lepšie včleňuje do prírodného prostredia. Oživená kamenná nahádzka sa používa na zaistenie päty svahu opevneného iným biotechnickým spôsobom, predovšetkým v konkávných brehoch oblúkov. Na oživenie nahádzky používame vrbové odrezky.

Pri hradiacích úpravách sa osvedčili dva postupy budovania. Je možné zhotoviť prostú kamennú nahádzku a medzery medzi kameňmi následne vyplníme zeminou, a do zeminy potom vtlačíme silné vrbové odrezky s priemerom 30 - 50 mm a s dĺžkou najmenej 500 mm. Pri druhom spôsobe vegetačný materiál vkladáme už pri budovaní konštrukcie tak, že na urovnané podložie nahádzky sa rozprestrie vrbová haluzina, na ktorú sa uložia kamene. Vrbové výhony po zakorenení prerastajú medzerami medzi kameňmi.

Oživená kamenná rovnanina sa buduje podobným spôsobom ako prostá kamenná rovnanina, pričom sa do lícnej plochy použijú väčšie kamene. Medzery medzi kameňmi sa vyplnia zeminou, do ktorej vkladáme vrbovú haluzinu silnejším koncom prútu smerom k lícnej ploche rovnaniny. Používame lomový kameň alebo kameň zbieraný v okolí staveniska.

Oživenú rovnaninu budujeme na zaistenie brehových nátrží, príp. na ochranu konkávných brehov ďalších úsekov koryta. Ide o pružnú konštrukciu, schopnú prispôsobenia sa transformáciám koryta, ktorá vďaka oživeniu má dostatočnú tuhosť a intenzívne tlmí energiu prúdiacej vody.

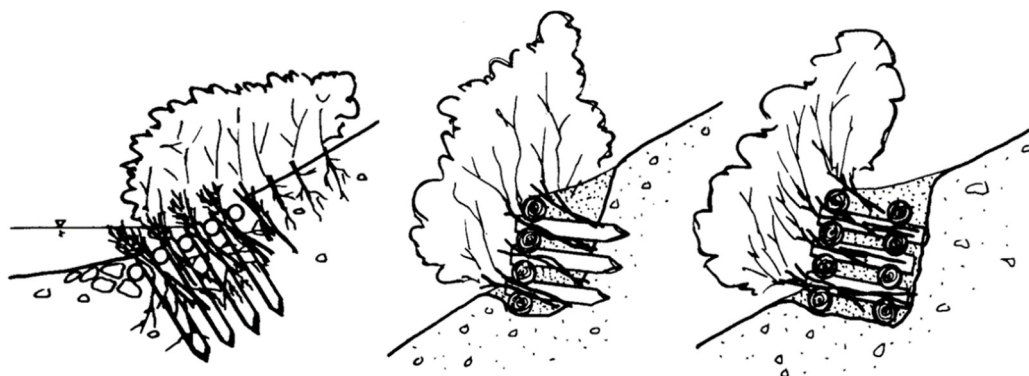
5.3.11 Zrubové konštrukcie

Používajú sa k dočasnému zaisteniu brehov bystrinných korýt pozdĺž komunikácií, brehových nátrží a svahových zosuvov. Je možné ich použiť aj pri väčších sklonoch nivelety, pretože odolávajú účinkom aj hrubých splavenín. Zrubové konštrukcie sú pružné a sú schopné prispôbiť sa menším transformáciám koryta. Budujú sa ako dvojstenné alebo ako jednostenné, upevnené v kamennej nahádzke za stenou haluzinou s priemerom 12 cm, pribitými ku guľatine, ktorá tvorí stenu.

Konštrukcia sa buduje z ihličnatej guľatiny s priemerom 150 - 250 mm a skladá sa z pozdĺžnych (priemer 200 - 300 mm) a priečných výrezov (priemer 150 mm), ktoré sa navzájom skladajú do tesaných sediel a spojujú sa klincami. Rubová stena konštrukcie je zvislá, lícová sa zhotovuje v sklone 5:1. Vnútorný priestor zrubovej konštrukcie sa vyplňa hrubým kamenivom, najčastejšie sa využíva zbieraný miestny kameň. Priestor medzi výrezmi sa klinuje plochými kameňmi, horná plocha konštrukcie sa upraví ako dlažba z kameňa nasucho. Zrubová konštrukcia sa zakladá na urovnanú základovú škáru. Pokiaľ hrozí nebezpečenstvo vyplavovania podložia, zriadi sa pod zrubom podlaha z tyčoviny (priemer 100 mm), ktorá sa ukotví do podložia drevenými pilótami.

5.3.12 Oživený zrub

Je to konštrukcia zložená z niekoľkých radov plôtikov z tyčoviny, ktoré sú usporiadané nad sebou v sklone chráneného svahu. Novovytvorený svah upravujeme v sklone 1 : 1,5 a plošším. Medzi hornými dvomi tyčami každého plôtika je upevnená vrstva živého vrbového raždia v hrúbke 50 - 100 mm, medzi plôtiky ukladáme vrbovú haluzinu silnejším koncom smerom do koryta a prekryjeme ju zeminou vo vrstve 50 - 100 mm. Tieto konštrukcie používame na zaistenie brehových nátrží, ale aj na súvislé vegetačné opevnenie konkávných brehov.



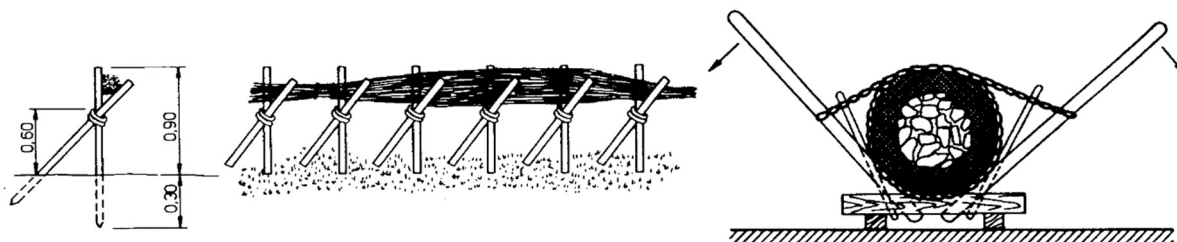
Obr. 5.11 Oživený zrub (Donat, 1995)

5.3.13 Prútené valce

Ukladajú sa do priekop hlbokých a širokých 0,3 - 0,5 m, príp. sa používajú v koryte toku. Skladajú sa min. z 5 tyčí alebo výhonkov s priemerom min. 1 cm (Obr. 5.12). Sú fixované kolíkmi s minimálnou dĺžkou 0,5 m a vzdialenosťou od seba 0,75 m. Používajú sa na stabilizáciu vrchnej vrstvy pôdy, svahov z jemného materiálu alebo päty svahu koryta, drenáž vlhkých zón, či ochranu iných konštrukcií.

Ich výhodou je jednoduchá a rýchla konštrukcia. Sú užitočné pri vlhkých svahoch a vyžadujú si len malé opravy.

Nevýhodou je potreba ohybných konárov a výhonkov, ktoré sú citlivé na padanie kameňov a posun. Poskytujú slabú stabilizáciu hlbších vrstiev pôdy a tiež sú náročné pre manuálnu prácu.



Obr. 5.12 Prútené valce (Donat, 1995)

5.3.14 Drôtokamenné konštrukcie

Drôtokamenné konštrukcie sú prvky v tvare kocky, kvádra alebo matraca vyrobené zo šesťhranného dvojzákrutového oceľového pletiva vyplnené prírodným alebo lomovým kameňom, popri prípade vhodným recyklátom. Drôtokamenné konštrukcie sa používajú pri stabilizácii brehov koryt tokov, budovaní prehrádzok a sústreďovacích stavieb alebo vo výstavbe oporných konštrukcií. Drôtokamenné prvky sú priepustné a pružné, majú schopnosť absorbovať rozsiahle deformácie bez toho, aby boli poškodené. Pružné konštrukcie sú neprekonateľné v situáciách, kedy môže dôjsť k erózii, k podomletiu konštrukcie alebo v prípade neistoty morfológie v danej oblasti. Sú extrémne efektívne z hydraulického a konštrukčného hľadiska, výborne sa integrujú do okolitého prostredia, pretože umožňujú rast vegetácie.

Skladajú sa z 3 hlavných zložiek, a to drôtených košov, výplňového kameňa a spojovacieho materiálu. Všetky komponenty musia spĺňať požiadavky na materiálové charakteristiky a musia mať minimálne takú životnosť ako má samotná konštrukcia. Medzi hlavné typy drôtokamenných konštrukcií patria matrace, gabióny a vrecové gabióny.

Matrace sú flexibilné jednotky, ktoré sa ľahko prispôbujú zemnému profilu a vyrovnávajú ho. Okrem toho je možné nainštalovať matrac pod hladinou vody. V tomto prípade je matrac obyčajne vybavený

geotextilným filtrom, na ktorom je umiestnené kamenivo. Môžu byť použité na opevnenie, ako základy pre drôtokamenné koše, vývary prehrádzok, ochranu mostných pilierov. Ak sú matrace umiestnené nad stálou hladinou vody, je potrebné podporiť rast vegetácie, pretože opevnenie je tak odolnejšie proti pôsobeniu vody. V záujme dosiahnutia tohto cieľa môže byť horná vrstva matraca naplnená humóznou zeminou a veko môže tvoriť georohož vystužená dvojjákrutovou, oceľovou sieťou.

STN EN 10223-3 udáva, že matrace musia byť vyrobené z dvojjákrutovej šesťuholníkovej oceľovej siete typu 6x8 s priemerom drôtu 2,2 mm s poplastovaním alebo bez poplastovania. Kamene použité na vyplnenie matraca by mali byť kvalitné, odolné voči poveternostným vplyvom s rozmermi 70 - 150 mm v závislosti na výške matraca.



Obr. 5.13 Použitie drôtokamenných košov

Gabióny alebo drôtokamenné koše (Obr. 5.13) sú prvky vyrobené z dvojjákrutovej šesťuholníkovej oceľovej siete, tvorí ich spodný panel a bočné panely s voliteľnými priečkami, ktoré sú spojené s panelmi podľa odporúčaní výrobcu. Vonkajšie okraje panelov majú okrajový drôt s priemerom väčším ako je drôt použitý pre pozdĺžne vystuženie. Veko koša môže byť vyrobené zo samostatného panelu dvojjákrutovej siete. STN EN 10223-3 udáva, že koše musia byť vyrobené z dvojjákrutovej šesťuholníkovej oceľovej siete typu 6x8, priemer drôtu 2,7 mm alebo 8 x 10, priemer drôtu 2,7/3,0/3,4/3,9 mm. Plastová povrchová úprava môže byť aplikovaná na drôte s priemerom väčším ako 2,7 mm. Je dôležité upozorniť, že na trvalé konštrukcie sú povolené iba produkty s plastovou povrchovou úpravou. Kamene použité na vyplnenie koša by mali byť kvalitné, odolné voči poveternostným vplyvom s rozmermi 120 - 200 mm.

Vrecové gabióny sú valcovité produkty vyrobené z dvojjákrutovej oceľovej siete s bočným otvorom umožňujúcim naplnenie kameňom na stavbe. Vrecový gabión tvorí jedna dvojjákrutová šesťuholníková sieť. Vrecové gabióny sa zvyčajne používajú pri zabezpečovacích prácach, napr. pri oprave zničených brehov riek. Môžu byť tiež použité na vytvorenie päty svahu pod vodou.

Zvárané drôtokamenné konštrukcie nemožno považovať za pružné konštrukcie, nerovnomerné sadanie ich môže poškodiť. Je dôležité zdôrazniť, že európska norma STN EN 10223-8: 2013 stanovuje, že pre zvárané drôtokamenné konštrukcie je nutné použitie zdvojených viiek a bočných panelov.

Životnosť drôtokamenných matracov nie je limitovaná iba životnosťou drôtenej siete. Výplňový kamenný materiál, ktorý musí byť dlažbovito uložený, vytvára vhodné podmienky na vegetáciu, lebo priestor medzi kameňmi sa zanáša splaveninovým materiálom, ktorý je bohatý na živiny. Po niekoľkých rokoch je drôtokamenné opevnenie pokryté zeleňou. Koreňový systém vegetácie dokáže prevziať funkciu drôteného matraca po jeho poškodení alebo skorodovaní.

Pri drôtokamenných konštrukciách sa vykonáva 6 a 12 mesačná kontrola. Poškodené miesta musia byť okamžite opravené, aby sa zabránilo poškodeniu alebo erózii svahu alebo vymletiu brehu. Malo by sa tiež uvažovať s nasledovnými bodmi:

- sutina alebo blato by malo byť odstránené z vonkajších plôch pre uľahčenie kontroly,
- kontrolovanie porušeného spojenia medzi časťami alebo košmi, výmena spojovacích prostriedkov podľa potreby, kontrola zvarov a porušených drôtov, výmena alebo oprava porušených matracov alebo košov,
- kontrola poškodenia plastovej povrchovej úpravy,
- kontrola, či sa nazväčšujú medzery vo vnútri koša - takéto koše musia byť otvorené a kamene doplnené tak, aby sa vo vnútri vplyvom prúdu príliš nepohybovali a neničili sieť,
- kontrola známky zarezávania sa či iné nestability systému.

5.3.15 Oporné múry

Slúžia na zaistenie brehov v úsekoch, kde je potrebné použiť čo najužší priečny profil koryta, predovšetkým v zastavaných územiach, v okolí rôznych stavieb v bystrinnom koryte a pozdĺž komunikácií. Podľa priestorových možností je možné navrhovať oporné múry na celú výšku brehu alebo len na jeho dolnú časť, na ktorú potom nadväzuje vhodne opevnený breh so sklonom najviac 1 : 1.

Minimálna šírka nábrežných múrov závisí od použitého materiálu, a to betónové nábrežné múry majú min. 0,5 m, murované na cementovú maltu 0,6 m a murované na sucho 0,7 m.

Základová škára múru musí byť dostatočne únosná, teleso múru sa zakladá na dosku z betónu alebo z kamenného muriva. V prípade neúnosného podlažia je potrebné základovú škáru spevniť. Základ múru je potrebné zabezpečiť proti bočnej erózii v koryte.

V ťažko prístupných územiach sa výnimočne zriaďuje kamenný múr na sucho, t.j. bez spojiva, a to z miestneho kameňa, ktorý sa čiastočne opracuje. Zvyčajne sa oporné múry budujú z muriva z lomového kameňa na cementovú maltu alebo z vodostavebného betónu. V podmienkach hradiacich úprav, kedy často dochádza k transportu hrubozrnných splavenín, a tiež z dôvodu vhodného začlenenia do prostredia sa betónové murivo obkladá lomovým kameňom. Rubová stena sa buduje zvislá, lícová stena najčastejšie v sklone 5 : 1. Koruna steny sa upraví dôkladným špárovaním, príp. sa vybuduje parapetná doska z betónu. Priestor za múrom je potrebné odvodniť. Za stenou sa vykoná filtračný zásyp zo štrku, príp. protimrazový klin a vo vzájomných vzdialenostiach 3 až 5 m sa v múre vybudujú priečne drenážne otvory. Stabilitu múru je potrebné staticky posúdiť.

5.4 Objekty na bystrinných tokoch

Pri navrhovaní stavieb hradenia bystrín a strží v podhorských a horských oblastiach je potrebné brať do úvahy špecifické podmienky, ktoré v týchto oblastiach panujú. Základným špecifikom je veľký pozdĺžny sklon a s tým súvisiaca veľká kinetická energia vody. Vďaka morfológii terénu ide väčšinou o povodia s malou plošnou výmerou a často tiež s nízkym podielom vegetácie.

Pri hradení sa dodnes používajú technické či biotechnické opatrenia vždy s ohľadom na charakter územia, dostupnosť lokality a miestnych stavebných materiálov. Zároveň je nutné pri návrhu opatrení vychádzať z požiadaviek na využitie okolia potoka a jeho celého povodia.

Súčasťou zahrádzania bystrín sú objekty, ktoré delíme na priečne, sústred'ovacie a usmerňovacie, hate a iné. Pri osadzovaní priečných objektov do terénu je potrebné vyvarovať sa hlbokých výkopov, ale dbať na ich dôkladné založenie do prírodného terénu.

Medzi priečne objekty zaraďujeme pásy, prahy, stupne, sklzové stupne, sklzy a prehrádzky. Sústred'ovacie objekty môžu byť priečne a pozdĺžne. Patria tu výhony, odrážky a hrádze. Úlohou sústred'ovacích stavieb v bystrinách s transportom splavenín s neustáleným korytom je nasmerovanie prietoku do požadovanej trasy. Zanesený priestor medzi priečnymi a pozdĺžnymi stavbami (výhonové polia) je vhodné spevniť výsadbou bohato koreniacich listnatých drevín, ktoré znášajú krátkodobé zaplavenie. Sústred'ovacie objekty sa môžu

konštruovať najmä z vhodných miestnych materiálov bez ohľadu na vodotesnosť. Ich konštrukcia musí byť stabilná a odolná pri uvažovanom navrhovanom prietoku.

Usmerňovacie objekty sa umiestňujú kolmo alebo šikmo na os toku. Usmerňujú jednotlivé vrstvy vodného prúdu. Používajú sa najmä pri povodniach ako protierózna ochrana brehov.

Sústred'ovacie stavby sa používajú na väčších vodných tokoch s väčším pozdĺžnym sklonom a veľkým pohybom splavenín, teda najmä pri štrkonosných vodných tokoch, kde dochádza k rozdeleniu koryta na viac riečnych ramien. Nejde len o zabezpečenie brehov, ale predovšetkým o to, ako vytvoriť v spletitej sieti ramien jednoduchými prostriedkami a využitím vlastnej sily vody jednotné koryto, ktoré sa potom vhodným spôsobom stabilizuje. Pri úprave štrkonosných vodných tokov je požiadavka, aby sa materiál sústred'ovacími stavbami zachytil na vhodných miestach pod stavbou a v priestoroch medzi starými a novými brehmi. Aby toto naplavovanie bolo účinné, koruna sústred'ovacích stavieb sa konštruuje na úroveň hladiny toho prietoku, pri ktorom sa dávajú splaveniny do pohybu alebo len o málo vyššie, maximálne do hladiny korytotvorného prietoku.

Účinok sústred'ovacích stavieb z pohľadu revitalizácie vodných tokov možno charakterizovať ako:

- vytvorenie zakrivenej trate na kanalizovaných vodných tokoch v období nízkych vodných stavov,
- prehĺbenie dna úzkych vodných tokov,
- podpora členitosti koryta,
- ochrana svahov pred eróziou,
- koncentrácia prietokov v období minimálnych vodných stavov,
- zníženie prehrievania vody,
- podpora brehovej vegetácie.

Najkritickejším krokom je voľba umiestnenia sústred'ovacích stavieb v koryte vodného toku. Skúsenosti z aplikácie sústred'ovacích stavieb sa dajú zhrnúť do týchto bodov:

- treba sa vyvarovať úsekov vodných tokov s veľkou transportnou schopnosťou,
- nie sú vhodné na vodných tokoch, ktorých pozdĺžny sklon hladiny je nad 3 %,
- treba sa vyvarovať strmým, vysokým a erodovaným svahom,
- nepriepustné sústred'ovacie stavby nie sú vhodné pre nestabilný substrát svahov, pretože by mali byť zapustené aspoň 1,2 až 1,8 m do svahu,
- svahy oproti výhonom musia byť stabilné.

Pozdĺžne stavby sú dlhé telesá, ktoré vychádzajú zo starých brehov a idú v trase budúcich brehových čiar, to znamená, že vytvárajú nový breh. Pozdĺžne stavby v prvej stavebnej etape ležia spravidla oboma stranami vo vode. Staré koryto zužujú, v dôsledku čoho sa zvýši unášacia sila, ktorá zase vyvolá prehĺbenie dna v novom koryte. Preto musia byť pozdĺžne stavby na strane vodného toku tak založené, aby prehlbujúce sa koryto neovplyvnilo ich stabilitu. Prednosť pozdĺžnych stavieb je, že definujú ihneď nové brehy a napomáhajú plynulejšiemu prúdeniu vody. Ich nevýhodou je, že príliš uzatvárajú staré koryto, a tým zamedzujú donášaniu a ukladaniu splavenín do častí, ktoré majú byť zanesené. V pozdĺžnych stavbách sa síce ponechajú nápusťné otvory, ale tie na rýchle zazemnenie starého koryta a jeho ramien vždy nestačia. Tak ostanú staré ramená dlho nenaplavené a materiál, ktorý odplavuje voda z dna pri prehľbovaní koryta pozdĺž pozdĺžnych stavieb sa posúva a ukladá v nižších častiach toku. Stavebné a udržiavacie náklady na pozdĺžne stavby sú vyššie. Zmena nevyhovujúcej šírky alebo brehovej čiary je ťažko možná.

Začiatok (koreň) pozdĺžnej stavby treba starostlivo zaviazať do starého brehu, aby ho voda nemohla obísť. Dolný koniec stavby sa neprípája k brehu.

Smerové stavby majú podobné konštrukčné charakteristiky ako výhony. Výhony nie sú vystavené (okrem čiel) priamemu nárazu vody ako smerové stavby, popri ktorých tečie voda po celej dĺžke, a preto je ich údržba lacnejšia ako údržba pozdĺžnych stavieb.

5.4.1 Pásy

V korune sú zladené s výškou nivelety dna a sú zapustené do hĺbky predpokladaných výmoľov. Do brehov sa zapúšťajú krídlami tak, aby bola zabezpečená ich stabilita. Vzdialenosť pásov sa navrhuje podľa sklonu nivelety dna, šírky koryta a veľkosti splavenín (10 - 50 m). Budujú sa z drevenej guľatiny, výrezov, kamennej rovnanky alebo kamenného muriva, výnimočne z betónu alebo betónových prefabrikátov. Najmenší rozmer pásu v priečnom reze je 0,60 m. Minimálne zapustenie do terénu je 0,80 m. Minimálna hrúbka pásu je 0,25 m.

Rozdeľujú dno na kratšie úseky, kde poskytujú oporu splaveninám a prirodzeným vývojom sa stávajú prepádovými objektmi. Slúžia na stabilizovanie dna a svahov koryta a na zabezpečenie začiatku a ukončenia pozdĺžneho spevnenia, ak nie je ukončené iným priečnym objektom.

5.4.2 Prahy

Podľa STN 48 2506 sú **prahy** priečne objekty nižšie ako 40 cm s prepádovou hranou v úrovni horného dna. Neprerušujú brehovú líniu a pri vysokých prietokoch sú zaplavené vodou, čo treba zohľadniť pri posudzovaní ich hydraulickej účinnosti. Zabezpečujú sa proti podtekaniu vodou a sú dostatočne zviazané do brehov, pričom spôsob má zodpovedať druhu použitého materiálu. Najmenší rozmer prahu v priečnom reze je 0,60 m. Minimálne zapustenie do terénu je 1 m. Minimálna hrúbka prahu je 0,30 m.



Obr. 5.14 Drevený prah

Prahy (Obr. 5.14) sú konštrukčne najnižšie. Slúžia na úpravu pozdĺžneho sklonu a k zaisteniu nivelety dna koryta proti hĺbkovej erózii. Budujú sa väčšinou v dlhších úsekoch v sústavách, ich vzájomná vzdialenosť sa riadi sklonom nivelety a ich spádom. Prepád vody zvyšujú turbulenciu prúdenia, preto je potrebné venovať ich stabilite náležitú pozornosť. Je potrebné dostatočne zabezpečiť najmä dopadisko prahu a koryto v úseku pod prahom a zaistiť, aby nedošlo bočnou eróziou na prepade k rozšíreniu koryta a obnaženiu konštrukcie prahu. Tiež je potrebné dbať na to, aby stena z guľatiny nebola vodou pretekaná.

Samovoľné vytvorenie výmoľu pod prahom je priaznivé z ekologického hľadiska, je vhodné tvorenie výmoľu pripustiť a konštrukciu prahu následným transformáciam prispôbiť. Tiež využitie miestneho kameňa v konštrukcii prahu umožní vytvoriť prírode blízku krajnotvornú stavbu.

Konštrukcia prahu musí zabezpečiť utlmenie energie prepadu, najskôr vysokou drsnosťou dopadiska, inak by bolo zníženie sklonu nivelety hydraulicky neúčinné. Preto nie sú vhodné prahey v úsekoch spevnených dlažbou, čo je často v intravilánoch obcí. Dopadisko prahu sa realizuje napr. z hrubého kamenného záhozu,

pri použití dlažby je potrebné previesť jej umelé zdrsnenie. Podobne je potrebné zaistiť aj brehy v úseku aspoň 1 m nad a 3 m pod prepacom.

Pri úpravách bystrín v miernom sklone s pohybom drobných splavenín sú úspešne používané prahy drevené. Prepádovú stenu tvoria 2 až 3 výrezy guľatiny s priemerom 200 až 300 mm. Dôležité je dostatočné zaviazanie konštrukcie do brehov.

Kamenné prahy sa zriaďujú v úsekoch, kde je potrebné s prihliadnutím k účelu a spôsobu úpravy bystrinného koryta zaistiť dlhú životnosť konštrukcií. Budovanie betónových prahov pri úpravách nie je vhodné pre ohrozenie konštrukcie intenzívnym obrusom splaveninami a pre celkom nevhodný krajínovotvorný účinok.

5.4.3 Stupne

Nadväzujú na prahy, sú vyššie a konštrukčne odlišné, hlavne svojim usporiadaním a spádoviskom, resp. vývarom pod stupňom. Slúžia k zmenšeniu sklonu nivelety dna a ku stabilizácii pozdĺžneho profilu koryta. Ich konštrukčné usporiadanie zodpovedá použitému stavebnému materiálu.

Podľa STN 48 2506 sú **stupne** priečne objekty vyššie ako 40 cm. Priepádovú hranu majú v úrovni dna a nemajú nádržový priestor. Slúžia na stupňovanie dna na vytvorenie vyrovnaného sklonu, a tým na zabránenie erózie dna. Budujú sa z kamenného muriva, betónu, drôtokamenných prvkov, drevených guľatinových výrezov, oceľových valcovaných profilov alebo z vhodných kombinácií týchto materiálov.

Stupeň sa skladá spravidla z telesa stupňa s krídlami, z predprahu s krídlami, z vývaru so spádoviskom, z pätiiek a z obojstrannej bočnej dlažby vývaru. Najmenší rozmer telesa stupňa a predprahu v priečnom reze je 0,80 m, minimálne zapustenie telesa stupňa a predprahu vrátane krídel do terénu je 1,00 m. Minimálna hrúbka telesa stupňa a predprahu je 0,60 m. Rozmery konštrukčných prvkov je potrebné prispôsobiť výške telesa stupňa.

Výšky stupňov sa navrhujú čo najnižšie. V bystrinách s významnou násadou rýb sa nesmú vplyvom vysokých stupňov prerušiť ich migračné ťahy, teda s maximálnou výškou od 0,6 m do 1,0 m s vývarmi. Namiesto vyššieho stupňa je výhodnejšie navrhnuť 2 alebo viac nižších stupňov. Dosiahneme tak väčšiu plynulosť prúdenia vody a hĺbka koryta sa v profiloch stupňov príliš nezväčšuje. Najmä v oživených bystrinných častiach je vhodné dbať na zachovanie aspoň čiastočnej migračnej priepustnosti koryta, čo môžeme dosiahnuť len použitím nižších objektov.

Základná časť konštrukcie je teleso stupňa, ktoré sa skladá z prepádovej sekcie v strednej časti a z krídel, ktoré musia byť riadne zaviazané do brehov koryta. Teleso stupňa spočíva na základovom páse založenom v nezamrzajúcej hĺbke. Priestor nad telesom stupňa sa odvodňuje otvormi v murive.

Prepádová časť stupňa sa buduje v tvare, ktorý odpovedá prietochnému profilu koryta nad stupňom. Priepádová hrana musí byť odolná proti obrusu splaveninami. Krídla telesa sa budujú s vodorovnou hornou hranou, základová škára krídel je odstupňovaná tak, aby ležala v nezamrzajúcej hĺbke a zasahovala do prírodného terénu dostatočne hlboko. Tým sa zabráni obtekaniu krídel vodou v dôsledku bočnej erózie koryta.

Návodná strana telesa stupňa sa obyčajne navrhuje zvislá. Vzdušná stena sa navrhuje v sklone od 5 : 1 do 10 : 1. Krídla stupňov sa zaväzujú do brehov tak, aby spodná obrysová plocha krídel bola minimálne 1 m pod povrchom terénu svahového spevnenia. V murive stupňa je potrebné vytvoriť 2 až 3 odvodňovacie otvory.

Priestor pod stupňom slúži na tlenie prepadu vody a zaisťuje teleso stupňa pred poškodením spätnou eróziou. V prípade riečného prúdenia v koryte pod stupňom sa tlmí účinok vodného skoku prehĺbeným vývarom. Pokiaľ je režim prúdenia v dolnej časti bystrinný, buduje sa priestor bez vývaru, opevnený najčastejšie kamennou dlažbou alebo nahádzkou z veľkých kameňov. Priestor je na dolnom konci zaistený predprahom, ktorý je v prípade vývaru prevýšený nad jeho dno. Vo vzdialenosti doskoku prepádového lúča

od telesa stupňa sa obvykle do dna a piet svahov umiestňuje zaist'ovací pás. Predprah aj zaist'ovací pás sa zakladajú najmenej 200 mm pod konštrukciu opevnenia dna. Pre stabilitu stupňa je dôležité dostatočné opevnenie bokov priestoru pod stupňom, ktoré sa väčšinou robí kamennou dlažbou na cementovú maltu v sklone 1 : 1 a plošším, v prípade strmších brehov priestoru sa používajú oporné múry. Dlažba bokov priestoru sa zakladá na pätky, ktoré sa zvyčajne budujú z kamenného muriva a zakladá sa rovnako hlboko ako predprah.

Pôdorysné usporiadanie priestoru pod stupňom závisí na šírke koryta pod stupňom a na tvare a rozmeroch prepadovej časti. Pretože je potrebné zabrániť tomu, aby prepadajúca voda poškodzovala bočné opevnenie stupňa, navrhuje sa šírka dna priestoru pod stupňom s lichobežníkovým tvarom prepadu väčšia ako šírka koryta pod stupňom, priestor sa oproti dĺžke priepadovej hrany rozširuje na každom brehu najmenej o dĺžku

$$p = 0,67 \cdot m \cdot h \quad (\text{m}) \quad (5.8)$$

kde: h - hĺbka prepadu (m),

m - sklon bokov (-).

Toto rozšírenie je potrebné ponechať najmenej na dĺžku doskoku vodného lúča. Dno sa preto smerom od stupňa zužuje a má pôdorysný tvar lichobežníka nadväzujúceho na obdĺžnik pri telese.



Obr. 5.15 Drevený stupeň

Pri budovaní murovaných stupňov môžeme vychádzať z rozmerov konštrukcií uvedených v Tab. 5.2.

Tab. 5.2 Rozmery konštrukčných častí murovaných stupňov v m (Valtýni, Jakubis, 1998)

Výška stupňa	do 0,8	0,8 - 1,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0
Sklon vzdušnej steny stupňa	1:5	1:5	1:5	1:5
Sklon vzdušnej steny krídiel	1:10	1:10	1:10	1:10
Šírka koruny	0,8	0,8 - 0,9	0,9 - 1,1	1,1 - 1,3
Šírka základov	0,98 - 1,06	1,06 - 1,22	1,22 - 1,54	1,54 - 1,86
Šírka predprahu	0,7 - 0,8	0,8 - 0,9	0,9 - 1,0	1,0 - 1,1
Hĺbka vývaru	0,4 - 0,5	0,5 - 0,6	0,6 - 0,7	0,7 - 0,8
Dĺžka vývaru	6,0	6,0 - 6,5	6,5 - 7,0	7,0 - 8,0
Hrúbka dlažby vývaru	0,30 - 0,35	0,35 - 0,40	0,40 - 0,45	0,45 - 0,50
Hrúbka podkladového betónu	0,10	0,10 - 0,15	0,15 - 0,20	0,20 - 0,25
Zapustenie predprahu	0,2	0,2 - 0,3	0,3 - 0,4	0,4 - 0,5
Zapustenie základu stupňa	0,3	0,3 - 0,4	0,4	0,4 - 0,5

Drevené stupne (Obr. 5.15) sa vzhľadom na krátku životnosť konštrukcie používajú len výnimočne, najmä ako dočasné objekty a v miestach, kde nie je možný prísun stavebných materiálov. Tieto stupne sa zriaďujú v korytách bystrín s drobnejšími splaveninami, kde je možno zabaraňovať drevené pilóty. Teleso dreveného stupňa predstavuje stena z pritesanej guľatiny s priemerom 200 až 300 mm opretej o drevené pilóty s priemerom 200 mm zabaraňované najmenej 1,5 m do dna koryta. Na spojenie jednotlivých častí sa používajú kovové klnce. Pretekaniu steny z guľatiny a následnému vyplavovaniu zeminu nad stupňom je potrebné zabrániť vhodným spôsobom. Priestor pod stupňom sa istí kamennou dlažbou nasucho v dne zaistenou drevenými ráhami. Niekedy sa dlažba ešte pokrýva podlahou z tyčoviny (Obr. 5.16).



Obr. 5.16 Podlaha z tyčoviny

Bežne používaný typ sú drôtokamenné stupne s vývarom bez jeho stabilizácie. Tento typ konštrukcie je najvhodnejší aj z pohľadu bioty, lebo výmol' pod stupňom je cenný mikrohabitat, ktorý poskytuje optimálne podmienky v období minimálnych prietokov. Vo výmoli je dostatočná hĺbka, voda je prekysličená a prepadový lúč vytvára úkryt. Vzhľadom na prirodzenú lokalizáciu bystrín a s ohľadom na podporu biodiverzity a stability bystrinných ekosystémov sa má podľa možnosti na vyšších stupňoch (0,70 m – 1,00 m a viac) skonštruovať rybovod alebo do súvislej plochy pod telesom stupňa uložiť kamenná rovnanina, ktoré umožnia migráciu rýb.

5.4.4 Sklzoý stupeň

Na stupňovanie nivelety dna úpravy bystriny sa môžu navrhovať sklzoý stupne, v ktorých sa pretekajúca voda (vodný lúč) neoddeľuje od telesa stupňa. Z ekologického hľadiska sú vhodné v bystrinách s významnou obsádkou rýb, pretože nevytvárajú migračné bariéry.

Sklzoý stupne sa konštruujú z dvoch priečnych pásov, ktoré sa umiestňujú vo výške nivelety dna nad a pod sklzom a sklzovej plochy v tvare krivky tvorenej protismernými oblúkmi, ktorá sa umiestňuje medzi horným a dolným pásom. Priečne pásy sklzoého stupňa sa spravidla stavajú z lomového kameňa na cementovú maltu, z drôtovo-kamenných prvkov, z prefabrikátov a pod. Podklad sklzovej plochy sa spravidla konštruuje z cementovej malty, na povrch plochy sa osadia kamene, ktoré vytvoria zdrsnenie povrchu sklzovej plochy. Sklzoá plocha sa konštruuje v sklone od 1 : 4 do 1 : 10.

Pod dolným pásom sklzoého stupňa je potrebné na zabránenie tvorby výmol'a v prípade potreby použiť vhodné spevnenie dna (kamenná rovnanina a pod.).

5.4.5 Sklzy

Sklzy sa najviac približujú prírodným útvarom v dne koryta horských potokov a bystrín. Tomu zodpovedá aj ich priaznivé hodnotenie z ekologického hľadiska a priechodnosť pre vodné organizmy.

STN 48 2506 uvádza, že **sklzy** sú priečne objekty, pri ktorých je rozdiel výšok nivelety dna vyrovnaný súvislou plochou, na ktorej sa vodný prúd od telesa sklzu neoddeľuje. Sklzová plocha sa navrhuje so sklonom 1 : 4 až 1 : 15. Kinetickú energiu vody možno tlmiť priamo na sklze (zdrsnením sklzovej plochy), vo vývare pod sklzom alebo v nadväzujúcom úseku toku pomocou zvýšenej drsnosti dna a svahov koryta. Objekt sklzu sa navrhuje tak, aby výška vodného stĺpca pri minimálnych prietokoch umožnila migračný i potravinový ťah rýb. Na túto skutočnosť sa prihliada pri balvanovitých sklzoch. Teleso sklzu sa buduje z kamenného muriva alebo betónu, sklzovú plochu je potrebné dôkladne spevniť.

Sklzovú plochu opevňujeme kamennou dlažbou murovanou na cementovú maltu s výstupkami jednotlivých väčších kameňov v dlažbe. Výstupky je vhodné na sklzovej ploche rozmiestniť šachovnicovito a mali by zaujímať 30 až 40 % celkovej plochy. Menej vhodná je betónová dlažba s kamennými rozrážачmi, ktorú je možné použiť pri úprave koryt v menších sklonoch s pohybom drobných splavenín. Priestor pod sklzom je potrebné opevniť v prípade bystrinného prúdenia v trase pod sklzom rovnakým spôsobom, v prípade riečného prúdenia je potrebné posúdiť parametre vodného skoku a podľa potreby vybudovať prehĺbený vývar.

Koryto nad sklzom opevňujeme v dĺžke najmenej trojnásobku šírky koryta, pod sklzom je vhodné uložiť kamennú rovnaninu do dna a do časti brehov koryta.

Balvanovitý sklz tvorí v koryte šikmú rovinu s pozdĺžnym sklonom od 1 : 8 do 1 : 15, pričom prekonáva výškový rozdiel 1 až 2 m. Je vhodný v bystrinách s vyšším prietokom a v prirodzených vodných tokoch s hrubozrnným splaveninovým materiálom.

Teleso balvanovitého sklzu sa zriaďuje z 1 alebo viacerých vrstiev hrubej kamennej rovnaniny. Najdlhší rozmer použitých kameňov má byť 0,8 - 1,2 m. Povrch sklzu by mal byť čo najdrsnejší, aby bol schopný energiu prúdiacej vody dostatočne tlmiť.

Balvanovité sklzy sú veľmi vhodné pri úpravách ako alternatíva k sústave stupňov a prahov. Tieto konštrukcie, vzhľadom na veľkú drsnosť sklzovej plochy, sú hydraulicky veľmi účinné, pri vyšších prietokoch sú aj migračne priestupné a svojou konštrukciou dobre zapadajú do krajinného prostredia. Výhodou je tiež využitie miestneho materiálu a možnosť vytvoriť tak prírode blízky vzhľad a charakter koryta.

Sklz vybudovaný z drôtokamenných matracov alebo košov sa všeobecne umiestňuje na veľkých riekach s piesočnatým splaveninovým materiálom, ktorý vytvára nízke abrázne zaťaženie. Tam, kde je veľké zaťaženie od štrkopiesku, koruna, svah a vývar musia byť chránené voči abrázii betónovou doskou alebo kameňom. Súčasťou musí byť rybovod.

5.4.6 Prehrádzky

Majú priepadovú hranu nad úrovňou dna bystriny a majú tak vytvorený nádržový priestor. Plnia funkciu retenčných a konsolidačných objektov. Zabezpečujú dno a päty svahov v dosahu usadzovacieho priestoru pred eróziou.

Budujú sa z kamenného muriva na sucho, na cementovú maltu, zo železobetónu, prefabrikátov, guľatiny s výplňou kameňom, drôtokamenných konštrukčných prvkov, valcovaných oceľových profilov a z kombinácií uvedených materiálov.

Funkciu prehrádzky môžu plniť aj priepustné hrádze z neopracovaného lomového kameňa, ktoré sa budujú napr. vo forme kamennej rovnaniny, ktorá je priečne uložená v koryte. Tento typ prehrádzok v menších rozmeroch je vhodné používať aj pri zaústeniach menších prítokov. Pri návrhoch priepustných hrádz sa

pripúšťa možnosť preliatia koruny hrádze, no vodný stĺpec musí byť nízky, aby hrádzu nenarušil. Minimálny rozmer použitého kameňa sa overuje výpočtom.

V prípade výstavby prehrádzok v bystrinách s významnou obsádkou rýb je možné stavať ich s otvorom na zabezpečenie prietoku $Q_1 - Q_2$ v spodnej časti telesa prehrádzky (pri dne) s oceľovými hrablicami proti upchatiu otvoru.

Účel prehrádzok môžu plniť aj zemné hrádze so spodným výpustným zariadením a spevneným prepacom alebo priepustné hrádze z nepracovaného lomového kameňa.

Podľa účelu, na ktorý sa budujú, je možné v nich ponechať otvory, ktoré regulujú pohyb splavenín. Prehrádzky s výškou nad 2,5 m majú mať výpustné zariadenie na vypúšťanie vody pri čistení nádržového priestoru.

Tvar prepacového otvoru môže byť v tvare lichobežníkovom, miskovitom, príp. obdĺžnikovom. Prietok cez otvor sa dimenzuje na Q_{100} . Pri návrhoch priepustných hrádzí sa pripúšťa možnosť preliatia koruny hrádze, no vodný stĺpec musí byť nízky, aby hrádzu nenarušil.

Ak sa predpokladá zaplavenie retenčného priestoru splaveninami, koruna prehrádzky musí byť úplne odolná proti obrusu, ktorý môžu splaveniny spôsobiť. Na oddialenie dopadu vodného lúča od vzdušnej steny telesa prehrádzky je vhodné priepacovú hranu konzolovito predĺžiť.

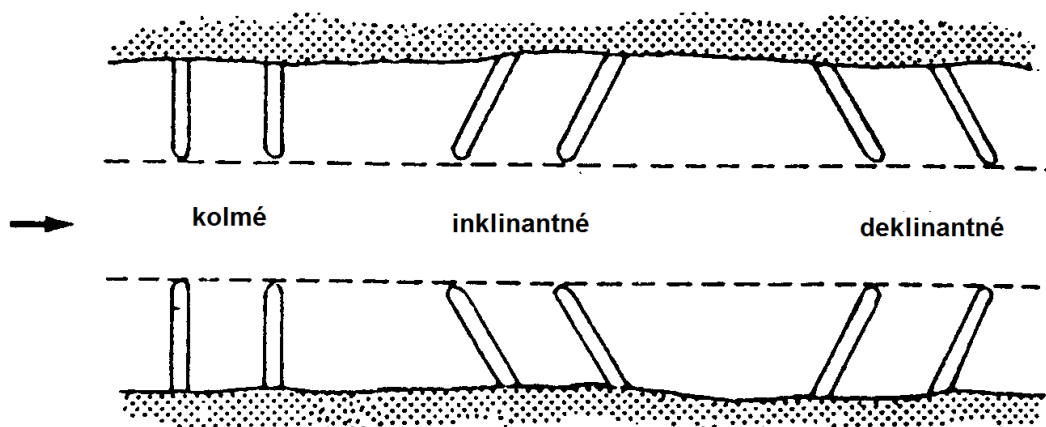
Prehrádzkam, ich deleniu a návrhu sa podrobnejšie venujeme v kap. 11.

5.4.7 Výhony

Výhonmi sa nazývajú stavby vybudované naprieč prúdu vody i smeru úpravnej línie, ktoré vychádzajú zo starého brehu a končia sa v projektovanej brehovej línii koryta. Výhony zahradzujú časť koryta a sústreďujú vodný prúd do užšieho koryta. Možno ich použiť aj na ochranu ohrozených brehov, od ktorých oddiaľujú prúd, a tak ich chránia.

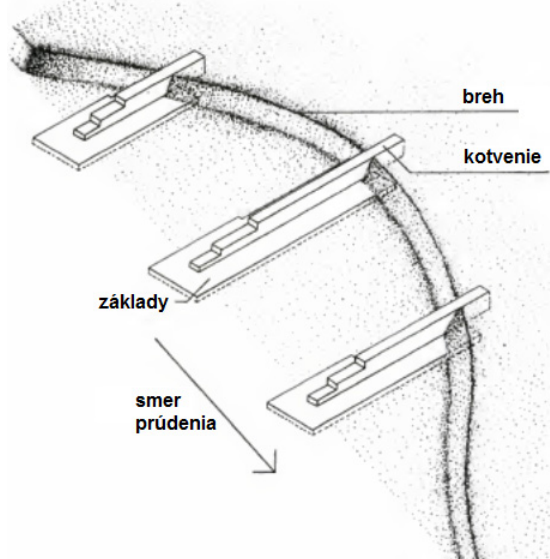
Pri prietoku vody sústavou výhonov dochádza vplyvom zníženia prietokovej rýchlosti a priečnou cirkuláciou vody k ukladaniu splavenín medzi výhonmi a k postupnému vytváraniu brehových línii. Je potrebné spomenúť, že výhony znižujú prietokovú časť koryta.

Podľa toho, aký uhol zvierajú výhony s osou vodného toku rozoznávame kolmé, inklinantné a deklinantné výhony (Obr. 5.17). **Kolmé výhony** sa konštruujú kolmo na os toku, **inklinantné** zvierajú so smerom prúdenia vody tupý uhol (prechádzajú šikmo proti prúdu toku) a **deklinantné výhony** zvierajú ostrý uhol (prechádzajú šikmo po prúde toku). Hustota výhonov na konkávných stranách oblúkov (breh z vonkajšej strany oblúka) má byť väčšia ako na konvexných. Striedanie proti sebe sa neodporúča.



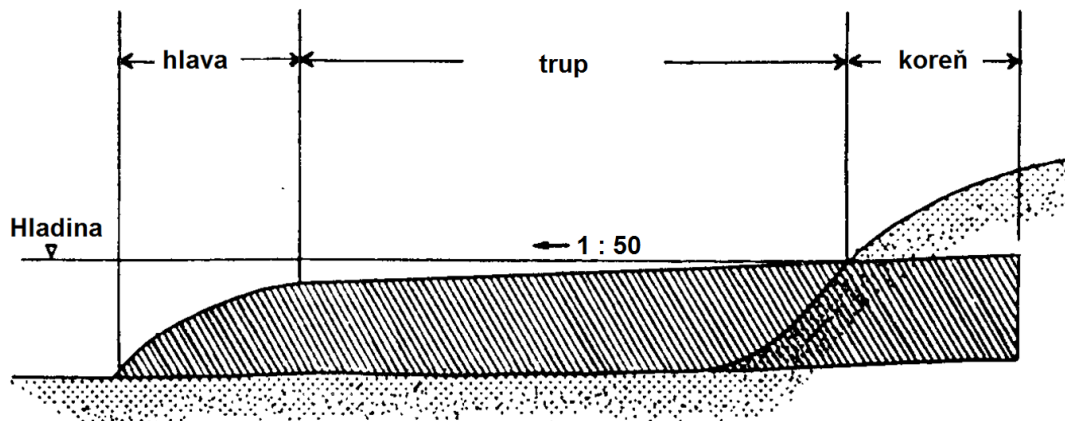
Obr. 5.17 Poloha výhonov (Donat, 1995)

Výhony sa pripájajú do brehov zapustením (koreň) a končia čelom (hlavou) v koryte toku na mieste, ktoré určuje budúcu brehovú čiaru (Obr. 5.18). Trup - vlastné teleso, býva najčastejšie lichobežníkového tvaru. Rozoznávame na ňom korunu, protivodnú stranu (obrátenú proti prúdu) a povodnú stranu (obrátenú po prúde). Koruna výhonu stúpa od čela k brehom v sklone 2 - 10 %. Výšku koruny výhonu volíme v úrovni takej hladiny prietoku, pri ktorej predpokladáme začiatok pohybu splavenín. Výhodné je, keď je koruna výhonu pri koreni vyššie ako hladina maximálneho prietoku, pretože vtedy sa voda cez neho neprelieva a nemôže ho obísť. Koruna výhonu nemôže byť vyššia ako je breh, lebo takýto výhon by v období vysokých vodných stavov voda pri koreni obišla (Obr. 5.19).



Obr. 5.18 Výhony (upravené podľa López Cadenas de Llano, 1993)

Pri navrhovaní výhonov sa neodporúčajú ostré oblúky. V korytách, kde $B > 10$ m, sa odporúča minimálny navrhovaný polomer kružnicových oblúkov $R = (10 \cdot B)$, ak $B < 10$ m potom $R = (15 \cdot B)$. Namiesto kružnicových oblúkov je výhodnejšie použitie kriviek s postupnou zmenou krivosti. Vzdialenosť jednotlivých výhonov závisí od šírky koryta, dĺžky výhonov, zakrivenia trasy, sklonu dna, množstva a zrnitosti splavenín. Vzdialenosť medzi výhonmi má byť menšia ako dĺžka výhonov a nemala by byť väčšia ako je šírka koryta. Z uvedených podmienok rozhoduje tá, ktorá dáva menšiu hodnotu. Vzdialenosť má byť taká, aby bol prúd vody sústavne odtláčaný od brehu, aby bol prúd vody, ktorý vchádza medzi ne oslabovaný a aby sa priestor medzi výhonmi zanášal. Pre začiatok sa odporúča vybudovať len každý druhý výhon, a to preto, lebo čiastočným zanesením výhonového poľa sa značne zmenší kubatúra nového výhonu, ktorý sa založí neskôršie uprostred.



Obr. 5.19 Časti výhonu (Donat, 1995)

Výhony sa používajú spravidla v súbežných radoch. Ojedinelé výhony majú len lokálny význam a používajú sa len na miestnu ochranu brehu a na odrazenie vodného prúdu od podomletého brehu (horizontálny výmol').

Pri návrhu je potrebné pamätať na to, že trenie spôsobuje v upravenom koryte nižšie rýchlosti pri brehoch ako sú v strede. To vytvára tlak, ktorý v kombinácii s inými povrchovými javmi, produkuje prúdnice pozdĺž oboch brehov a pri dne kanála, čo spôsobuje silnú eróziu pozdĺž stien, ktorá môže narušiť základy. V koryte so strmými svahmi a hrubozrnným dnovým materiálom voda často podmýva brehy ľahšie ako stred koryta, kde vyššia rýchlosť prúdenia tvorí ochrannú vrstvu vymývaním malých častíc.

Voda, ktorá sa prelieva cez inklinantné výhony sa vracia do prostriedku koryta a nepodmýva brehy. Deklinantné výhony čiastočne usmerňujú prúd vody na staré brehy. Aby tieto brehy vody nepodmývala, musia byť dobre opevnené.

Priečne profily výhonov sú rôzne v každom povodí a v každej časti vodného toku a závisia od použitého stavebného materiálu, od miestnych pomerov, teda od toho, či sa stavba realizuje na suchu alebo vo vode, v akej hĺbke a pri akej rýchlosti vody.

Priečny profil výhonov vytvorených z drôtokamenných produktov má štandardne obdĺžnikový tvar alebo pri viacerých vrstvách prvkov je odstupňovaný. Šírka koruny výhonu závisí od veľkosti vodného toku, jeho pozdĺžneho sklonu, hĺbky vody, druhu stavebného materiálu a pod. a býva približne v medziach 1 - 3 m. Sklon čela výhonu z drôtokamenných prvkov je kolmý, ak je výhon tvorený z viacerých vrstiev, odporúča sa stupňovité odsadenie jednotlivých vrstiev. Medzi výhonmi sú oblasti, kde sa koryto prehĺbuje a oblasti, kde sa zanáša, čím sa vytvára priaznivé členité prostredie, a to aj v období minimálnych prietokov, preto sa výhony využívajú aj ako revitalizačné stavby s jediným cieľom - podporiť členitosť koryta vodného toku.

Ukladanie splavenín a nánosov pokračuje pri výhonoch rýchlejšie ako pri pozdĺžnych stavbách, ktoré vytvárajú prevažne uzavreté priestory, kde hrubšie splaveniny voda doplavuje iba v obmedzenej miere.

5.4.8 Odrážky

Krátke deklinantné výhony, ktoré slúžia na ochranu brehov, postupnú likvidáciu brehových nátrží, odrážanie a usmerňovanie vodného prúdu. Tvar a umiestnenie odrážok vychádza zo stanovištných charakteristík.

5.4.9 Iné objekty

Hrádze vznikajú pozdĺžnym spojením čiel výhonov. Jej sklon v priečnom reze sa navrhuje totožný s budúcim svahom brehu koryta.

Medzi pozdĺžnu stavbu a starý breh sa budujú naprieč korytom prebehajúce priečne stavby - traverzy. Traverzy oslabujú prúd prechádzajúci za pozdĺžnou stavbou alebo ho úplne rušia, a tak podporujú ukladanie splavenín. Odstavenie ramien a ich postupné zanášanie sa dosahuje vybudovaním priečných stavieb naprieč ramenom, tieto stavby sa nazývajú priečky alebo závery. Záverou sa nazýva prvá stavba v sústave priečok, ktorá oddeľuje rameno od hlavného toku. Závera je budovaná buď za pozdĺžnou stavbou alebo je postavená priamo v brehovej línii koryta.

Hate môžeme navrhovať pevné aj pohyblivé. Z hľadiska zanášania a čistenia je výhodnejšie navrhovať pohyblivé hate.

Medzi iné objekty, ktoré si zahrádzanie bystriny v niektorých prípadoch vyžaduje na zabezpečenie jej prevádzky a ktoré priamo neriešia odtokové pomery v toku, patria aj mostové objekty, lávky, brody, schody, vyústenia stôk a potrubí a vodomerné zariadenia.

Mosty sa navrhujú v priamej trati toku, podľa možnosti s kolmým križovaním. Ak túto podmienku nie je možné splniť, nemá byť uhol križovania menší ako 60°. Na vytvorenie bezpečnostnej rezervnej výšky spodná hrana (najnižšie miesto) nosnej mostovej konštrukcie má byť nad maximálnou hladinou vody

(hladina pri dosiahnutí navrhovaného prietoku) minimálne 0,50 m, pri mostoch, kde hrozí upchatie plávajúcim drevom, a pri železničných mostoch minimálne 1,0 m.

Pri stavbe mosta sa na jeho ochranu odporúča spevniť koryto bystriny pred ním i za ním v dĺžke minimálne od 10 m do 30 m, pri stavbe priepustu (rámového, rúrového, iného) odporúča sa spevnenie koryta bystriny v dĺžke od 6 do 10 m s napojením na existujúcu trasu toku. Začiatok i koniec spevnenia je potrebné zabezpečiť vhodným priečnym objektom (pásom, prahom). Návrh má rešpektovať plynulosť prúdenia, vylučovať vírenie a podstatnú zmenu rýchlosti vody. Dĺžka takto navrhovanej úpravy závisí od celkového návrhu trasy a veľkosti toku.

Brody na bystrinách sa navrhujú v plytkých a širších korytách väčšinou v priamej trati. Brod pozostáva z dvoch spevnených rámp, svahov a spevnenej časti dna toku. Maximálny sklon rampy je 1 : 8. Spevnenie dna nad brodom i pod ním sa zabezpečí proti tvorbe výmoľa. Spevnenie má svojou šírkou zodpovedať šírke jedného vozidla.

Schody na brehoch majú umožňovať prístup k vode užívateľom pobrežných pozemkov. Ich výška má byť maximálne 0,20 m, šírka stupňa minimálne 0,25 m a celková šírka schodišťa minimálne 0,80 m. Päťu schodišťa je potrebné zabezpečiť kamenným alebo betónovým prahom proti zosunutiu.

Pri **križovaní potrubí** s bystrinou sa horná hrana potrubia umiestňuje minimálne 0,7 m pod niveletou dna (s uvážením možného prehĺbenia neopevneného dna). Pri križovaní káblov s bystrinou sa vyžaduje minimálna hĺbka uloženia kábla 1,0 m pod niveletou dna, ak ide o oznamovacie káble, minimálna hĺbka uloženia kábla je 1,4 m pod niveletou dna.

Návrh zahrádzania bystriny nesmie znemožňovať odber alebo meranie prietoku povrchovej vody. Jeho úlohou však nie je zabezpečovať ochranu odberného alebo meracieho zariadenia, pretože táto úloha prináleží vlastníčkovi tohto zariadenia.

5.5 Údržba, opravy a rekonštrukcie bystrinných úprav

Údržbou sa rozumie sústavná a pravidelná starostlivosť o vybudovanú úpravu bystriny (strže), ktorou sa zlepšuje a spomaľuje proces fyzického opotrebovania a zhoršovania projektovaných parametrov úpravy. Údržba je súčasne podmienkou stability a bezpečnosti úpravy a protipovodňovej a protieróznej ochrany územia.

Súčasťou údržby bystrinného koryta a koridoru sú:

- opravy poškodených pozdĺžnych spevnení svahov a dna bystrín,
- opravy priečných objektov,
- zlepšujúce zásahy v brehových porastoch,
- čistenie koryta (od nánosov splavenín, neželateľnej vegetácie v koryte a pod.),
- opravy škodlivých deformácií koryta, odstraňovanie brehových nátrží, výmoľov a nevyhovujúcich brodov.

Rekonštrukciou sa rozumie zásah do konštrukčného usporiadania úpravy a brehových porastov presahujúci zvyčajný rozsah údržby a bežných opráv, pričom sa mení použitý materiál, technické parametre alebo účelové funkcie úpravy bystriny alebo jej časti.

Súčasťou rekonštrukcie bystrinného koryta sú najmä tieto zásahy:

- úprava smerového vedenia trasy,
- zmena nivelety dna úpravy pomocou priečných objektov,
- zmena druhu pozdĺžneho spevnenia,
- zmena druhu priečných objektov,
- zmena tvaru prietokového profilu,

- zmena (zvýšenie) kapacity prietokového profilu.

Podkladom na vykonávanie údržby a rekonštrukcií sú pravidelné prehliadky vykonávané minimálne raz v roku a po každom vyššom a povodňovom prietoku. Výsledky prehliadok sa musia zaznamenávať.

Prehliadky a ich vyhodnotenia vykonáva správca toku, ktorý zároveň určuje poradie naliehavosti a termíny realizácie navrhovaných zásahov.

Pri údržbe a rekonštrukciách sa nesmie znížiť súčasná kapacita prietokového profilu na stanovený navrhovaný prietok Q_N ani ohroziť stabilita úpravy. Treba posúdiť vplyv prípadných zmien hydraulických a geometrických charakteristík prietokového profilu.

5.6 Starostlivosť o neupravené bystriny

Starostlivosťou o neupravený tok bystriny rozumieme súbor opatrení, ktoré zabezpečujú požadovaný prietokový a splaveninový režim neupraveného koryta a vyhovujúci stav vegetačného sprievodu a primeranej protipovodňovej ochrany bez súvislej úpravy bystriny. Zabezpečovanie starostlivosti o bystrinné koryto má charakter trvalej činnosti, za ktorú zodpovedá správca toku, ktorý vypracúva plány starostlivosti, sleduje ich realizáciu a vyhodnocuje účinky jednotlivých opatrení.

Údržba je zameraná na miestne biologicko-technické zásahy, ktorých účelom je:

- zabezpečenie prietochnosti koryta - čistenie od nánosov, uvoľňovanie prekážok v toku, zväčšovanie rozmerov, a tým aj kapacity prietokového profilu,
- ošetrovanie brehových porastov a stabilizácia brehových nátrží a výmoľov,
- stabilizácia dna bystriny formou vhodných priečných objektov; pri rozsiahlom eróznom poškodení koryta je možné použiť priečne objekty s retenčnou a konsolidačnou funkciou na zachytávanie splavenín i vyšších vodných stavov, pričom výška týchto objektov sa navrhuje od 1 do 2 m,
- budovanie jednoduchých pozdĺžnych opevnení,
- konštrukcia pozdĺžnych hrádzok na smerovú a pozdĺžnu stabilizáciu koryta,
- miestne smerové úpravy koryta v mimoriadne odôvodnených prípadoch,
- údržba retenčných vodných nádrží a rybníkov.

V rámci starostlivosti o bystriny sa brehové nátrže a miestne pozdĺžne spevnenia koryta stabilizujú spravidla jednoduchými konštrukciami z dreva, kameňa a pod., ktoré je vhodné kombinovať s vhodnými vegetačnými prvkami. Stabilizácia dna sa spravidla navrhuje vo forme pásov alebo priečnymi objektmi s výškou do 0,5 m z guľatiny, kameňa, alebo zrubové konštrukcie. Priestor dopadu vodného lúča je potrebné zabezpečiť proti tvorbe výmoľa.

Technické prostriedky a konštrukcie, ktoré sa používajú v rámci starostlivosti o bystrinné koryto, nesmú znižovať ekologickú hodnotu príslušných biotopov a nesmú narušiť prirodzený ráz prostredia. Zemné práce sa vykonávajú ručne, príp. len s použitím malých mechanizmov, pričom sa nesmie narušiť súbor funkcií brehového porastu mechanizmom alebo odstraňovaním drevín s cieľom prístupu ku korytu bystriny.

5.7 Revitalizácia bystrín

Revitalizáciou rozumieme obnovenie ekologickej funkcie vodného toku a kvality vody pri súčasnom dodržaní jeho ostatných funkcií s prípadným prehodnotením stupňa ochrany. Návrh revitalizačných opatrení v koryte na koridore bystriny má v čo najvyššej miere spĺňať požiadavky prirodzených biotopov a charakteru krajiny. V intravilánoch sa kladie dôraz aj na estetickú a hygienickú funkciu a na zladenie revitalizačných návrhov s architektonickým riešením zástavby a technickej infraštruktúry.

Návrh revitalizácie bystriny má vyplývať z (podľa STN 48 2506):

- celkových požiadaviek na revitalizáciu,

- analýzy regionálnych rovníc hydraulického geometrie ustálených úsekov bystrín vo vzťahu k návrhu geometrických a hydraulických charakteristík prietokového profilu,
- prieskumu revitalizovanej bystriny a jej koridoru,
- funkcie upravenej bystriny a jej vplyvu na okolie,
- požiadaviek na revitalizáciu,
- majetkovoprávných pomerov,
- technicko-ekonomického rozboru.

Cieľom revitalizácie bystrín je (podľa STN 48 2506):

- obnovovať prirodzené funkcie bystriny a jej biokoridoru v krajine,
- vytvárať vhodné životné prostredie pre vodné živočíchy,
- zvyšovať prírode blízkymi spôsobmi odolnosť brehov a dna proti erózii,
- zlepšovať kvalitu vody v bystrine najmä odstránením zdroja znečistenia,
- podporovať akumuláciu vody v koryte, oživovať mŕtve ramená a pod.,
- podporovať a zvyšovať retenčnú schopnosť povodia ako celku, spomaľovať povrchový odtok, zvyšovať infiltračnú a retenčnú schopnosť brehových porastov,
- odstraňovať negatívne dôsledky nevhodne vykonaných úprav bystrín, pozemkových úprav a spôsobov obhospodarovania pôdy v povodí.

Pri návrhu revitalizácie bystrín je potrebné mať na mysli nasledujúce zásady:

- žiadny prvok neexistuje na tokoch samostatne, vždy je viazaný na prostredie,
- potláčanie pestrosti druhov rastlín a živočíchov civilizačnými procesmi obmedzuje stabilitu prírodných spoločenstiev,
- v povodiach a tokoch neustále prebiehajú dynamické procesy a tieto nemajú byť porušené úpravami,
- vzťahy medzi prírodnými a pozmenenými prvkami nemajú byť regulované normami, ale prírodnými zásadami,
- nesmú vznikáť prekážky prenikania prírodných druhov,
- prírodný vývoj biotopu je dlhodobý - dá sa rýchlo zničiť, ale jeho rýchla obnova je vylúčená,
- zásahy do biotopov majú rušivú povahu,
- obnova ekosystémov je prioritná, a preto je nutné sa vyhýbať prírode vzdialeným technickým zásahom,
- optimálne riešenie môže ťažko navrhnúť jediný odborník.

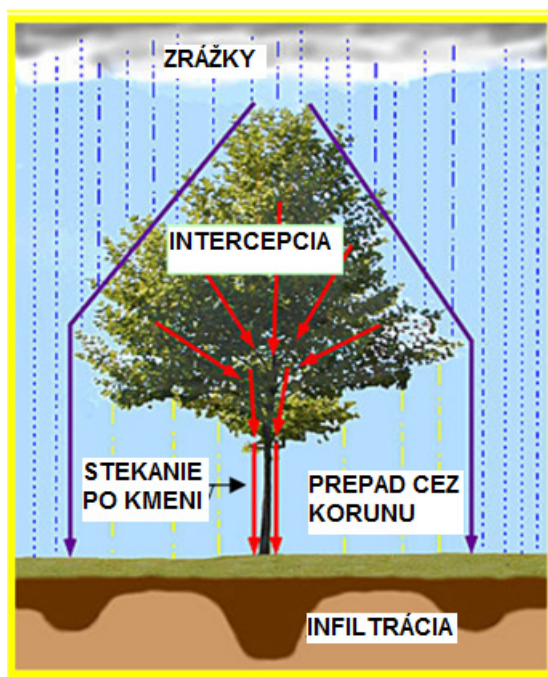
6 Vplyv vegetácie na vodný režim povodia

Pri skúmaní vplyvu vegetácie na odtokový režim si musíme najprv ujasniť o akú vegetáciu (vegetačný kryt) ide. Takmer každý porast sa môže v zmysle vodohospodárskom kladne uplatniť, ak je správne obhospodarovaný a je upravený pre plnenie hydrologickej funkcie.

Rastlinný kryt povodia určuje jeho hydrologické vlastnosti a odolnosť proti eróznym vplyvom. Rastlinný kryt má značný vplyv na mikroklimatické pomery v povodí. Ovplyvňuje veľkosť zrážok, ich intenzitu a rozloženie, prispieva k zvýšeniu úhrnu zrážok vo forme tzv. horizontálnych zrážok, infiltráciu do pôdy, štruktúru pôdy, vlhkosť pôdy a ovzdušia. V súhrne môžeme povedať, že rastlinný kryt spomaľuje odtok vody z povodia, prípadne odvádza vodu z povodia vo forme vodných pár, a tak znižuje celkový úhrn odtečenej vody z povodia.

Porasty majú výrazný vplyv na veľkosť zrážok, ktoré dopadnú na povrch Zeme. Z tohto hľadiska môžeme hovoriť o vplyve porastu na zrážky, a to:

- množstvo spadnutých zrážok - môže ovplyvňovať vznik tzv. horizontálnych zrážok, ktoré sú vo forme hmly, inovati a pod.,
- množstvo zrážok spadnutých na povrch pôdy - závisí od priepustnosti rastlinného krytu pre zrážky (intercepcia - zachytenie zrážok na povrchu predmetov, napr. poraste) (Obr. 6.1).



Obr. 6.1 Vplyv porastu na množstvo spadnutých zrážok na povrch pôdy
(<http://web.iitd.ac.in/~chahar/Courses/CEL251/Evaporation.pdf>)

Ochranný vplyv rastlín závisí od vývojového štádia porastu, a teda od pokryvnosti pôdy vegetáciou, hustoty porastu a mocnosti koreňovej sústavy.

Vzhľadom k tomu, že stabilita pôdy a dobrý stav vegetácie majú nesporne rozhodujúci vplyv na odtokový režim, ktorý práve vo vysokých polohách, t.j. v pramennej oblasti tokov, vyžaduje zvláštnu ochranu, je potrebné venovať pôdnym a vegetačným pomerom v tejto oblasti najvyššiu pozornosť.

6.1 Trávne a bylinné porasty

Trávnaté porasty tvoria najmä rastliny čeľade *Poaceae*. Vzhľadom na požadovanú druhovú pestrosť porastu tu nachádzajú uplatnenie predovšetkým extenzívnejšie druhy tráv, ktoré sú menej náročné na stanovištné podmienky.

Spustnutá plocha s malými jarkami sa splaníruje, príp. hlbšie jarky sa ustália prútenými plôtkami. Keďže povrch pôdy býva viac-menej sterilný, treba na plochu rozprestierať slabú vrstvu humóznej pôdy nielen na zabezpečenie živín pre vysievanie tráv, ale predovšetkým pre naočkovanie pôdy mikroorganizmami.

Štandardný trávnik môže byť bez bylín alebo s bylinami. Môžeme ho použiť do všetkých polôh okrem extrémne suchých, mokrých a tienistých. Uplatňujú sa vo voľnej krajine, pri rekultiváciách, používajú sa pri ozelenení okrajov komunikácií a na extenzívne využívané plochy.

Trávniky používané v krajine sa vyznačujú extenzívnym spôsobom ošetrovania a predstavujú pomerne nesúrodú skupinu rozmanitých porastov. Funkcia trávnik je predovšetkým ekologická, pretože zatrávený porast obmedzuje vodnú a veternú eróziu, a samozrejme tiež estetická. Z dôvodu dosiahnutia väčšej plasticity býva zloženie zmesi veľmi pestré. Rozdielne vlastnosti jednotlivých zmesí dosahujeme predovšetkým rôznym zastúpením hlavných trávnych druhov - kostravy červenej (*Festuca rubra*), lipnice lúčnej (*Poa pratensis*) a mätonohu trváceho (*Lolium perenne*). V praxi je možné zakúpiť trávne zmesi určené pre konkrétny účel - protieróziu, na plochy pozdĺž ciest a diaľnic, na rekultiváciu a pod.

Obnovu biotopu je možné realizovať prirodzenou cestou, t.j. založením pôvodného extenzívneho manažmentu na nenarušených častiach plôch (napr. neodvodnených), kedy dôjde pomerne rýchlo samovoľne k obnove pôvodného lúčneho porastu z tzv. pôdnej banky generatívnych a vegetatívnych častí rastlín (semeno, cibuľa, výhonok). Druhou možnosťou je umelé založenie biotopu. V tomto prípade je potrebné veľmi citlivo voliť skladbu vhodných druhov pre dané ekologické podmienky. Zmesi pre biotopy sa vyznačujú širokou druhovou diverzitou a farebnosťou. Mali by znášať extrémne podmienky a plniť krajínovú funkciu. Používajú sa pre prírodné biotopy, biokoridory a extenzívnu zeleň. Pôdy by mali byť málo až stredne zásobené živinami, stanovište mezofylné. Kosia sa raz až trikrát ročne. Prvá kosba je oneskorená (polovica júna).

6.2 Lesný porast

Vplyv lesa na odtok zrážkových vôd je predovšetkým závislý na hospodárskom stave lesnej vegetácie, t.j. na druhovej skladbe, zakmenení, zápoji, veku, hospodárskom spôsobe a na iných podmienkach rastu, ktoré sú rôzne podľa zemepisných geopedologických, ekologických a hydrologických pomerov, nadmorskej výšky a pod. Dôležitou zložkou vodohospodárskeho účinku lesa je lesná pôda, hlavne jej humusová vrstva.

Lesný porast ako každý vegetačný kryt, úmerne svojmu vzrastu modifikuje pôsobenie rozhodujúcich síl obehu vody, a to slnečného žiarenia, zemskej tiaže a pohyb vzdušných mäs v prízemnej vrstve atmosféry. Toto pôsobenie lesných porastov je určované niekoľkými ich charakteristickými vlastnosťami:

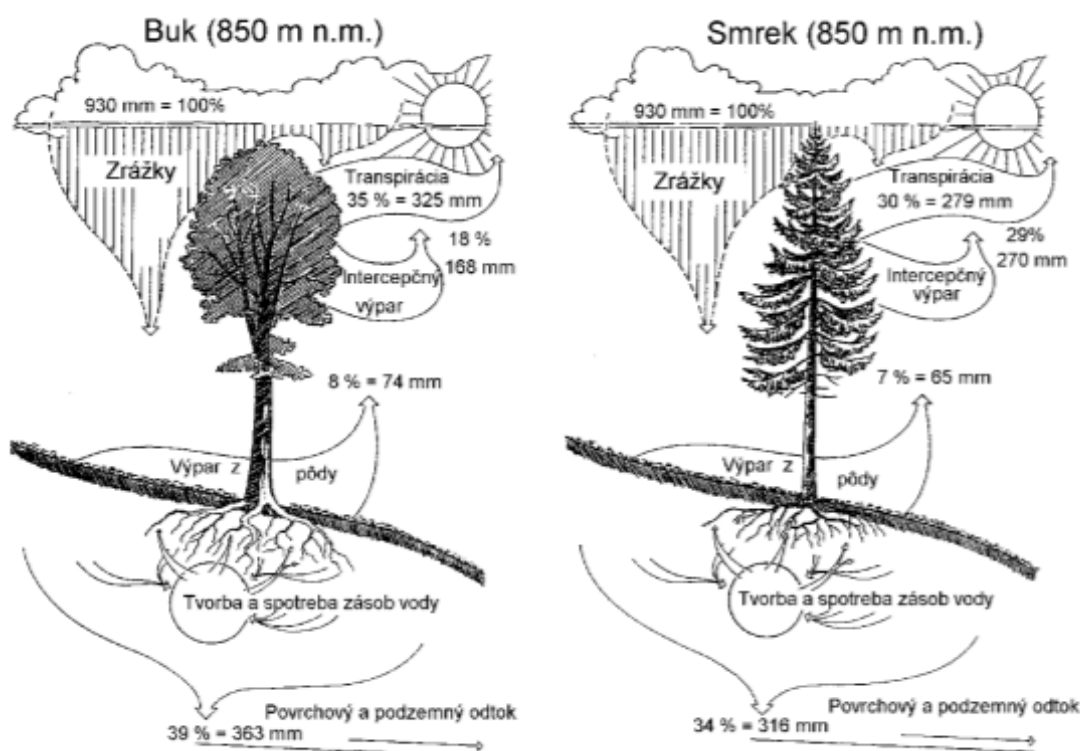
- veľkosťou a kvalitou ich povrchu bezprostredne vystaveného pôsobeniu slnečného žiarenia a pohybu vzduchu, čím pôsobí mechanicky na pohyb vzduchu, zníženým albedom povrchu výrazne ovplyvňuje tepelnú bilanciu korún a tým, že prepúšťa len malú časť žiarenia do nižších vrstiev i tepelnú bilanciu pôdy,
- vzrastom vytvára vertikálne bohato členený aktívny povrch do výšky 20 - 30 m tak, že vzniká v priestore medzi korunami a pôdou špecifická mikroklima so zníženou teplotou vzduchu, vyššou relatívnou vlhkosťou a so zníženou výmenou vzduchu s okolím,
- opadom zo stromov sa tvorí špecifický povrch pôdy a izolačná vrstva, ktorá má relatívne väčšiu povrchovú akumuláciu vody, zvyšuje však zrážkovej vody do pôdy a spomaľuje jej povrchový svahový odtok; zároveň zabráňuje prehrievaniu pôdy, a tým intenzívnejšiemu pohybu vody z hlbších

vrstiev pôdy k povrchu, zvýšenou pórovitosťou povrchovej humusovej vrstvy prerušuje kapilárne vztlínanie, a tak prispieva k zníženiu výparu vody z pôdy,

- relatívne mohutným prekorenením vzniká kvalitatívne odlišná povrchová vrstva pôdy s vyššou pórovitosťou,
- intenzívnejšie odčerpávanie vody z povrchovej vrstvy pôdy, časť jej spotrebuje k tvorbe dendromasy, väčšiu časť vydáva do ovzdušia transpiráciou.

Lesný porast teda svojou existenciou usmerňuje obeh vody tak, že v porovnaní s holým povrchom:

- zvyšuje absolútne množstvo zrážok tvorbou horizontálneho dažďa, celkový výpar intercepciou a transpiráciou, napriek tomu, že výrazne znižuje výpar z pôdy,
- prevádza väčšie množstvo zrážkovej vody do pôdy zvýšeným vsakom a vytvára predpoklady pre jej väčšiu akumuláciu v pôde,
- znižuje veľkosť povrchového svahového odtoku, a tým znižuje predpoklady pre vznik erózie a zároveň spomalením odtoku významne prispieva k zníženiu kulminačných prietokov (Obr. 6.2).



Obr. 6.2 Kolobeh vody a vodná bilancia dospelého bukového a smrekového porastu na príklade stredohorskej lokality Poľana - Hukavský grúň (Mindáš, Škvarenina, Střelcová, 2001)

Voda hrá dôležitú úlohu v lesnom hospodárstve, nielen pre jej nevyhnutnosť pre rast lesného porastu a produkciu dreva, ale aj pre jej škodlivý vplyv na lesnú produkciu.

Účinok lesa na odtokové pomery môžeme sledovať z 3 čiastkových hľadísk:

- vplyv lesa na maximálne prietoky,
- minimálne prietoky,
- rozdelenie prietokov počas roka.

V prípade maximálnych prietokov les spôsobuje zníženie a posunutie vrcholu povodne, znižuje celkový objem povodne, nakoľko značnú časť povrchového odtoku mení na podzemný vplyvom dobrej priepustnosti

pôdy. Tento efekt sa prejavuje najviac v malých povodiach, kde infiltrované zrážky odtekajú mimo povrchového merného profilu.

Z hľadiska minimálnych prietokov je zistená priama závislosť na rovnomernosti odtoku, tlmenia maximálnych prietokov a zvyšovania letných minim vplyvom lesných porastov.

Škodlivý účinok dažďa v krajine je spôsobený rozrušením najvrchnejšej časti pôdy a tvorbou sústredeného odtoku. Na základe toho les formou pôdoochranného účinku:

- chráni pôdu pred deštrukciou dopadajúcimi kvapkami,
- znižuje výpar vody z pôdy,
- zabraňuje tvorbe spečeného pôdneho povrchu,
- vytvára a uchováva lepšiu štruktúru pôdy.

Plošné ochranné zalesňovanie v našich podmienkach pripadá do úvahy pri zalesňovaní:

- spustnutých pôd,
- kamenných sutín,
- plošných zosuvov,
- strmých svahov s nízkou stabilitou pôdy,
- oblastí nad hornou hranicou lesa,
- niektorých druhov starých holín,
- oblastí so zvláštnym vodohospodárskym významom a
- zberných území vodných nádrží.

Z hľadiska pestovateľsko-ochranárskeho Zachar (1970) rozdeľuje pôdoochranné lesy do 6 skupín, a to:

- sutinové a protilavínové lesy - majú zabrániť pohybu a rozširovaniu kamenných a zemných sutín, svahových zosuvov a sklzov, zabraňujú vzniku snehových a zemných lavín, príp. znižujú ich škodlivý účinok,
- stržové a roklinové lesy - zabraňujú tvoreniu a rozširovaniu výmoľovej a deštrukčnej činnosti vody, chránia okolité pozemky a objekty pred výmoľovou eróziou, upevňujú strže a rokliny, odvodňujú a meliorujú pôdu,
- protierózne lesy - majú za úlohu chrániť poľnohospodársku pôdu na dlhých svahoch, na hrebeňoch hôr, strmých svahoch, v miestach sústredeného povrchového odtoku, plnia zároveň zasakovaciu funkciu,
- brehové lesy - chránia koryto a brehy vodných tokov pred podmieňaním, vymieňaním a zabraňujú vybrežovaniu splaveninového materiálu, ľadových krýh v chránených úsekoch, zabraňujú pohybu štrkovísk a pomáhajú ich ustáľovať a kultivovať,
- melioračné lesy - zlepšujú fyzikálne, chemické a biotické vlastnosti pôd na extrémnych lokalitách ako sú veľké sklony, južná expozícia svahov, skalnatý podklad s plytkou pôdnou vrstvou, štrkové pôdy, sterilné piesky, štrkové polia, porasty na haldách, povrchových baniach a pieskoviskách,
- proti deflačné lesy - zabraňujú odvievaniu pôdy, vytváraniu pieskových presypov, chránia pozemky, sídliská a dôležité objekty pred prachovými búrkami,

6.3 Ochranné lesné pásy

Väčšie množstvo vody možno v povrchovom odtoku zdržať a na podzemný odtok previesť **zasakovacími lesnými pásmi**. Zasakovacia účinnosť pásov závisí od sklonitosti terénu, štruktúrnosti pôdy, od pôdnej pokrývky, od porastových pomerov a od šírky zasakovacieho pásu. Na zvýšenie účinnosti pásov môžeme vybudovať po ich dĺžke hrádzky a priekopy.

Zasakovacie pásy prebiehajú vo svahu zásadne horizontálne, príp. odchýlka od horizontálneho smeru nemá byť väčšia ako 5 - 10 %. Šírka pásov sa pohybuje v rozpätí 40 - 60 m, ich odstup je 100 - 200 m. Na svahoch so sklonom viac ako 30 % treba určiť vzdialenosť minimálnu (do 100 m), na miernych sklonoch možno odstup zväčšiť až na 300 m.

Najlepšie sa osvedčujú zmiešané porasty listnatých a ihličnatých drevín. Ako hlavné dreviny treba použiť dreviny hlboko koreniace - dub, jaseň, brest, smrekovec, borovicu a jedľu. Pridružené dreviny môžu byť buk, hrab, lipa a pod. Vytváranie pre vsak dôležitej pôdnej humusovitej pokrývky sa urýchli krovinatým, tieň znášajúcim podrastom, ako lieska, hloh, bršlen, krušina, baza čierna, kalina, drienka, svíb a pod.

Navrhnutím siete ochranných pásov - **vetrolamov** je potrebné vytvoriť vhodnejšie podmienky ako na nechránenom území. Celá sústava ochranného porastu sa skladá z pásov hlavných (umiestnených spravidla kolmo na smer prevládajúceho vetra) a z pásov bočných (vedených kolmo k pásom hlavným a majúcim za účel zachytávať menej často sa vyskytujúci vietor. Hlavné ochranné pásy sú 10 - 15 m široké a bočné pásy 7 - 15 m.

Účelom vetrolamov je ochrániť poľnohospodársku pôdy pred škodlivými účinkami vysušujúcich a mrazivých vetrov, pred stratou pôdy výparom, zaburinením a defláciou. Ich ďalšou úlohou je zvýšiť vzdušnú vlhkosť, podporiť tvorbu rosy a celkovo hospodáriť s vlhkosťou. Vetrolamy zachytávajú sneh a zimnú vlhkosť, priaznivo ovplyvňujú mikroklimu, poskytujú úkryt a možnosť hniezdenia vtáctva a pod. Vetrolamy sa vysádzajú ako ochranné pásy aj okolo vodných tokov, ciest a železníc.

Vzdialenosť ochranných lesných pásov sa určuje podľa miestnych pomerov a podľa výšky porastu. Dosah účinnosti vetrolamu je 15 až 25-násobok výšky porastu. Vzdialenosť hlavných pásov na suchých a piesočnatých pôdach je 300 - 400 m, na hlinitých 500 - 600 m. Vzdialenosť bočných pásov je 700 - 800 m.

7 Lesné hospodárstvo

Lesný porast je biocenózou tvorenou rastlinami, živočíchmi a podmienkami prostredia s tesnými vzájomnými vzťahmi. Biotické a abiotické zložky spoločenstva sa pritom navzájom významne ovplyvňujú. Dreviny v poraste majú preto iné životné podmienky ako stromy voľne rastúce. Lesný porast tvoria dreviny rastúce v takom zakmenení a zápoji korún, že k vzájomnému ovplyvňovaniu podmienok stanovišťa a porastu skutočne dochádza.

Stanovište porastu drevín je tvorené súborom činiteľov vyskytujúcich sa na určitej ploche, z ktorých najdôležitejšími sú pôda a ovzdušie a ovplyvňuje skladbu lesného porastu, predovšetkým počet druhov drevín, počet vegetačných poschodí, zakmenenie a zápoj porastu. Podľa kvality stanovišťa je rast drevín urýchľovaný alebo brzdený. Kvalita stanovišťa má tiež vplyv na zdravotný stav drevín. V nepriaznivých stanovištných podmienkach sa vyskytujú málo druhové porasty, na dobrých vznikajú druhovo bohaté a dynamicky sa rozvíjajúce lesné porasty.

Z hľadiska využívania funkcií rozoznávame ochranné lesy, lesy osobitného určenia a hospodárske lesy – účelom je produkcia dreva a ostatných lesných produktov.

Ochranné lesy sú lesy na mimoriadne nepriaznivých stanovištiach – sutiny, strže, strmé svahy so súvislo vystupujúcou materskou horninou, nespevnené štrkové nánosy, rašeliniská, mokrade, inundačné územia, vysokohorské lesy pod hornou hranicou stromovej vegetácie, lesy na exponovaných horských svahoch, lesy znižujúce nebezpečenstvo lavín, lesy nad hornou hranicou stromovej vegetácie a ostatné lesy s prevažujúcou funkciou ochrany pôdy.

Lesy osobitného určenia sú lesy v ochranných pásmach vodárenských zdrojov I. stupňa a II. stupňa, v ochranných pásmach prírodných liečivých zdrojov a zdrojov prírodných minerálnych vôd a vo vnútornom kúpeľnom území kúpeľného miesta, prímestské a ďalšie lesy s významnou zdravotnou, kultúrnou alebo rekreačnou funkciou, lesy v chránených územiach a na lesných pozemkoch s výskytom biotopov európskeho významu alebo chránených druhov, lesy v zriadených génových základniach lesných drevín, lesy určené na lesnícky výskum a lesnícku výučbu, lesy vo zverniciach a bažantniciach a lesy, ktoré sú nevyhnutné pre potreby obrany štátu.

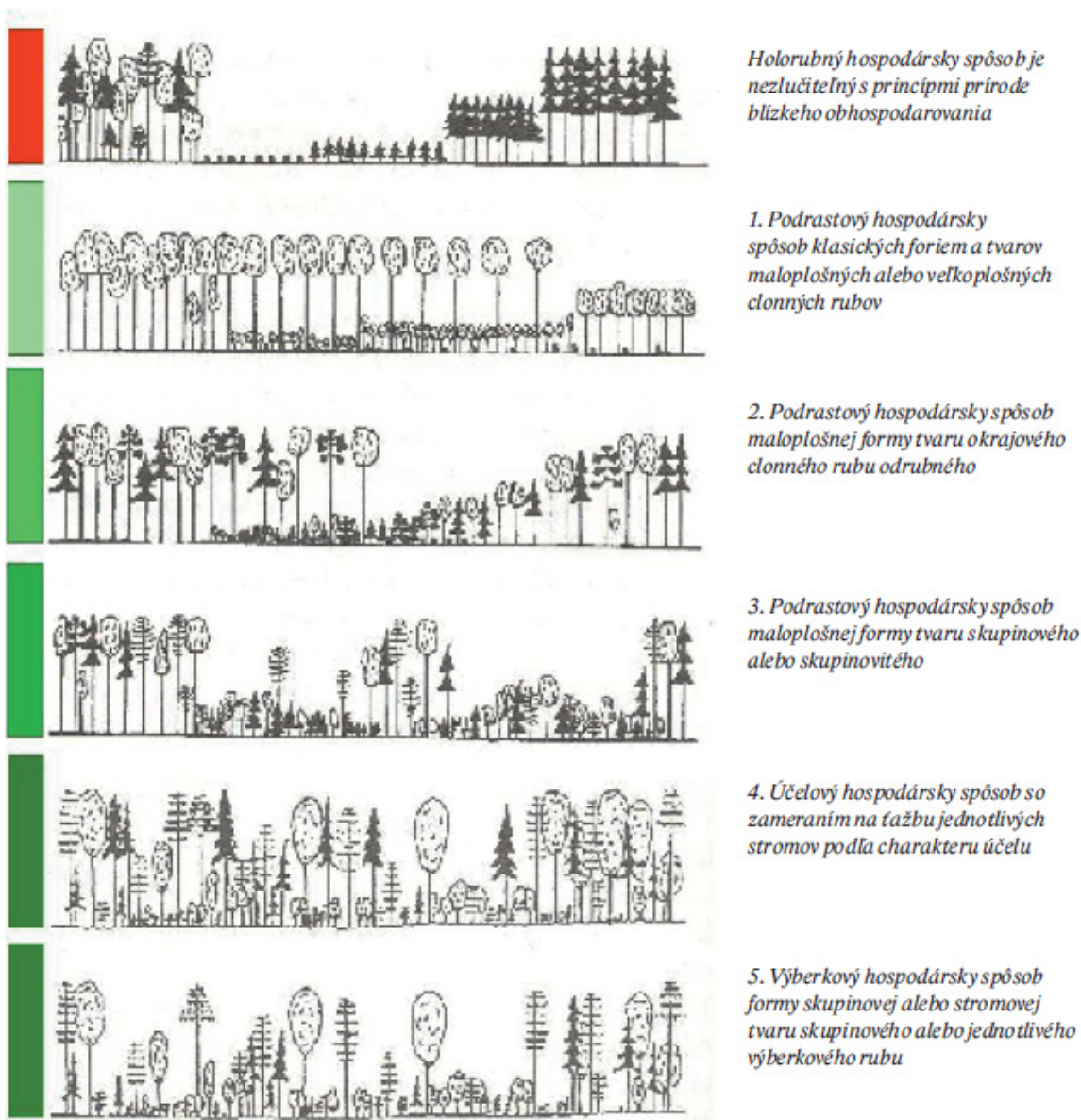
Obnova lesa sa vykonáva ako prirodzená (vzniká zo semena alebo výmladkov), umelá (vzniká sadbou semenáčikov a sadeníc alebo sejbou semien) a kombinovaná. Z ekologického hľadiska v závislosti od postavenia následného porastu voči materskému rozoznávame clonnú obnovu, obnovu holorubom a okrajovú obnovu, ktorá je v súčasnosti formou clonnej obnovy.

Clonná obnova je najtypickejší spôsob prirodzenej obnovy lesa. Ťazia sa zrelé alebo nežiaduce stromy materského porastu a nový porast vzniká pod materským porastom. Môže byť maloplošný clonný rub so šírkou max. dvojnásobku výšky obnovovaného porastu a plochou do 3 ha alebo veľkoplošný s plochou do 5 ha, príp. 7,5 ha (1 dielec). Z ekologického hľadiska je výhodný výrub do 1-1,5-násobku výšky a plochou 0,2 ha (skupinovo clonný rub).

Hospodársky spôsob lesa rozoznávame (Obr. 7.1):

- **podrastový** - uskutočňuje sa postupným rubom zameraným na dosiahnutie prirodzeného zmladenia pod clonou obnovovaného lesného porastu alebo vedľa neho do vzdialenosti jeho priemernej výšky;
- **výberkový** - uskutočňuje sa ťažbou jednotlivých stromov alebo skupín stromov s cieľom zabezpečenia trvalo existujúcej zásoby dreva a nepretržitej prirodzenej obnovy lesného porastu;
- **účelový** - uskutočňuje sa ťažbou jednotlivých stromov alebo skupín stromov spravidla v ochranných lesoch a v lesoch osobitného určenia tak, aby sa dosiahla štruktúra lesných porastov vhodná na zabezpečenie cieľa a účelu, na ktorý boli vyhlásené;

- **holorubný** - uskutočňuje sa ťažbou s jednorazovým vyťažením obnovovaného lesného porastu alebo jeho časti tam, kde sa prirodzená obnova porastu ukázala ako nevhodná alebo ju nemožno dosiahnuť efektívne predchádzajúcimi spôsobmi.



Obr. 7.1 Hospodárske spôsoby v lese (Štefančík, Kamenský, Bruchánik, 2007)

Funkciami lesov sú úžitky, účinky a vplyvy, ktoré poskytujú lesy ako zložka prírodného prostredia a objekt hospodárskeho využívania. Členia sa na mimo produkčné funkcie (ekologické funkcie) a na produkčné funkcie (produkcia materiálnych hodnôt). Z veľkého množstva funkcií vyberáme:

- ekologickú (ochrannú) - spočíva vo využívaní vplyvu lesa na okolité prostredie (pôdu, vodu, vzduch),
- environmentálnu (spoločenskú, sociálnu) - spočíva vo využívaní lesa ako životného prostredia človeka,
- pôdoochrannú - ochrana pôdy pred vonkajšími deštruktívnymi procesmi
 - erózia, lavíny, zosuvy, kryogénne javy

- proti transportná, resp. akumulačná - prejavuje sa v poľnohospodársky využívanej krajine pri zabraňovaní prenosu pôdných častíc z pôd rozrušených vodnou alebo veternou eróziou; znižovanie rýchlosti vetra, resp. vody, zasakovanie vody do pôdy,
 - brehoochranná - ochrana brehov a vodných nádrží pred ich deštrukciou vymieľaním, resp. rozplavovaním a podomieľaním,
 - protizosuvná - využívanie lesných porastov na mechanické spevňovanie pôdy i pohyblivých sutín, príp. aj na uplatnenie fyziologických účinkov lesných porastov pri vysušaní zosuvných území,
 - protideflačná - lesný porast chráni pôdu pred veternou eróziou,
 - protierózna ...
- atmosférickú - komplex účinkov lesných porastov na atmosféru, jej jednotlivé zložky a dej, ktoré v nej prebiehajú; vplyv drevín na zloženie vzduchu, na čistotu ovzdušia, vlhkosť vzduchu, ionizáciu vzduchu, svetelné pomery, tepelný režim, pohyb vzduchu,
 - hydrickú - vplyv lesa na vodu a vodný režim v krajine; retenčná (intercepcia, infiltrácia, evapotranspirácia), akumulačná, retardačná (spomalenie odtoku), regulačná (vyrovnanosť odtoku vody), vodoochranná (zabránenie abrázie brehov, a tým znečisteniu a zanášaniam tokov a nádrží)...
 - litickú - vplyv drevín na litosféru – urýchlenie rozkladu povrchovej časti litosféry mechanickým a biochemickým účinkom,
 - biologické funkcie - vplyv na fyto diverzitu, fytoprodukciiu, tvorba prostredia pre rastliny, vplyv lesa na zoo diverzitu, zoo produkciu, tvorba prostredia pre živočíchy... (Obr. 7.2).

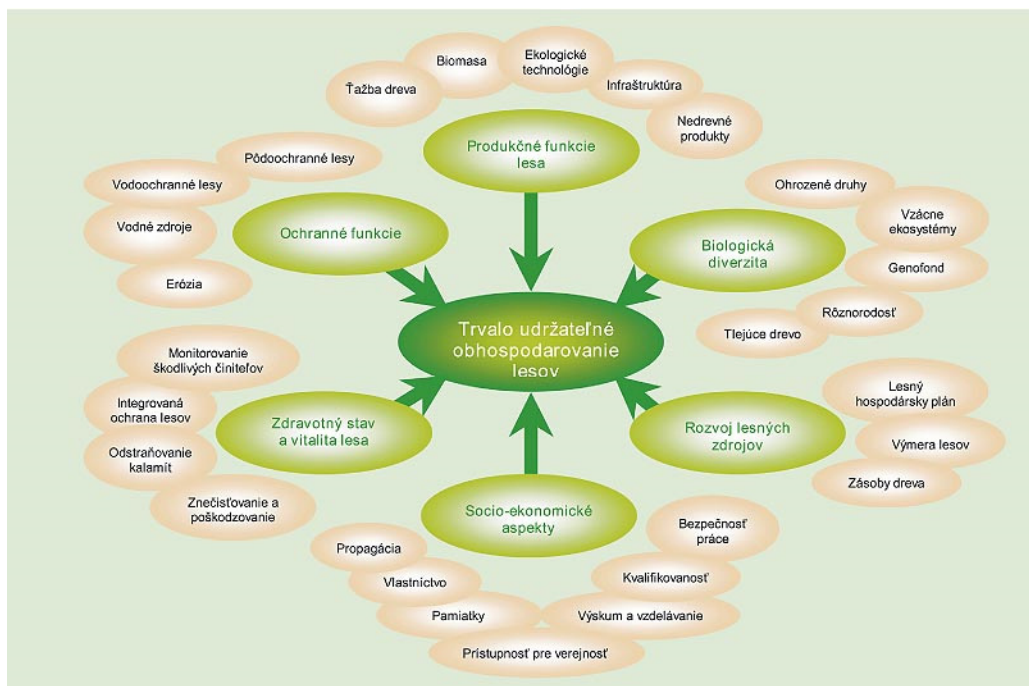
Prehľad lesov podľa prevládajúcej funkcie v jednotlivých kategóriách lesov na Slovensku v roku 2015 sa nachádza v Tab. 7.1.

Tab. 7.1 Prehľad lesov podľa prevládajúcej funkcie v jednotlivých kategóriách lesov k 31. 12. 2015 (MPaRR SR, NLC, 2016)

Kategória lesov	Prevládajúca funkcia	Výmera porastovej pôdy	
		ha	%*
Hospodársky	Produkčná	1 397 361	71,93
	Spolu	1 397 361	71,93
Ochranný	Protierózna	259 947	13,39
	Vodohospodárska	70 894	3,66
	Protilavínová	1 440	0,07
	Brehoochranná	454	0,02
	Protideflačná	1 806	0,09
	Spolu	334 541	17,23
	Osobitného určenia	Vodoochranná	14 792
Rekreačná		28 021	1,44
Kupeľno-liečebná		2 208	0,11
Ochrana prírody		41 890	2,17
Protiimisná		11 335	0,58
Poľovná		23 597	1,21
Výchovno-výskumná		21 730	1,12
Ochrana gen. zdrojov		19 112	0,98
Obrana štátu		47 980	2,47
Spolu		210 665	10,84

Prameň: NLC, Súhrnné informácie o stave lesov SR

Poznámka: *percentuálny podiel prevládajúcej funkcie vypočítaný z celkovej výmery lesov



Obr. 7.2 Funkcie lesa (<http://www.lesy.sk/files/lesnik/2005/Lesnik10/neostanme.htm>)

7.1 Ťažbové metódy

Ťažbová metóda je spôsob vykonania ťažby dreva diferencovane podľa miery opracovania stromu a lokality vykonávania operácií.

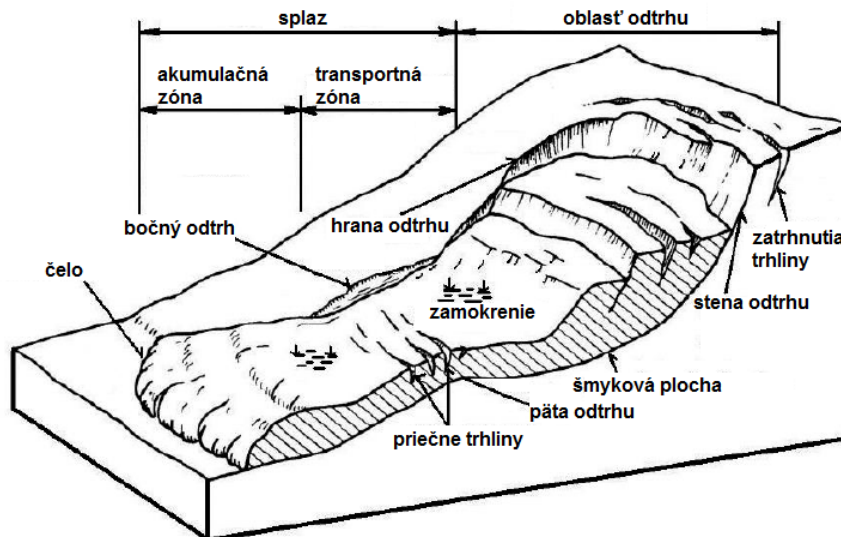
Poznáme:

- **kmeňovú** - ťažbová metóda, pri ktorej sa v poraste vykonávajú operácie spíľovanie a odvetvovanie, vrátane oddelenia vrcholca, ostatné operácie sa vykonávajú na iných lokalitách:
 - na vývoznom mieste,
 - kmeňová metóda po vývozné miesto,
 - na odvoznom mieste (lesný sklad),
 - kmeňová metóda po odvozné miesto alebo na hlavnom sklade (manipulačno-expedičný sklad),
 - kmeňová metóda po manipulačno-expedičný sklad,
- **sortimentovú** - ťažbová metóda, pri ktorej sa priamo v poraste (pri pni) vyrábajú sortimenty dreva, modifikáciou sortimentovej metódy je metóda výrezov štandardných dĺžok, pri ktorej sa v poraste (pri pni) skrátia kmene na výrezy štandardných (vopred určených) dĺžok, zodpovedajúce technickým parametrom dopravných prostriedkov a potrebám odberateľov,
- **stromovú** - ťažbová metóda, pri ktorej sa v poraste vykonáva len operácia spíľovanie, ostatné operácie sa vykonávajú na iných lokalitách:
 - na vývoznom mieste,
 - stromová metóda po vývozné miesto,
 - na odvoznom mieste (lesný sklad)
 - stromová metóda po odvozné miesto alebo na hlavnom sklade (manipulačno-expedičný sklad)
 - stromová metóda po manipulačno-expedičný sklad,
- **kombinovanú** (vzájomné kombinácie metód, resp. kombinácie so štiepkovaním, prípadne kombinovanie časovo priestorové).

8 Zosuvy pôdy a skál

Výdatným zdrojom splavenín v tokoch sú pôdne zosuvy, ktoré sa vyskytujú v takmer každom povodí.

Zosuv svahu alebo **zosun svahu** (Obr. 8.1) je relatívne rýchla svahová deformácia spôsobená gravitáciou, pri ktorej dochádza k pohybu horninového pokryvu po šmykových plochách. Pod termínom zosuv sa tiež rozumie geomorfologický tvar vytvorený týmto procesom. **Svahové pohyby** sa spravidla definujú ako gravitačný pohyb horninových mas z vyšších polôh do nižších. Pojem svahové pohyby združuje všetky gravitačné pohyby mas horninových masívov vo svahoch okrem tých, kde materiál odnášajú transportné média - voda, sneh, vietor.



Obr. 8.1 Časti zosuvu (upravené podľa

<http://reader20.docslide.net/store20/html5/162016/568c54d81a28ab4916c068e0/bg22.png>)

Zosuvy samotné sú spôsobované zemskou príťažlivosťou v spolupráci s rôznymi vplyvmi, ako je:

- porušenie súdržnosti zemných vrstiev následkom chemického zvetrávania určitej horniny alebo premočenie,
- nadmerné zaťaženie svahov rôznymi stavbami, nánosmi a depóniami, ako aj nevhodným lesným porastom,
- znižovanie trenia medzi rôznorodými pôdnymi vrstvami spôsobené presakovaním zrážok až na nepriepustnú naklonenú vrstvu, po ktorej sa zosuv deje - najviac sú na zosuv náchylné vrstevnaté útvary, suty a usadeniny glaciálneho pôvodu,
- nedostatok vhodného stromového krytu, ktorý spôsobuje, že môžu zrážky presakovať do hĺbky a rozrývať pôdne vrstvy, príp. prispievať k ich zosúvaniu.

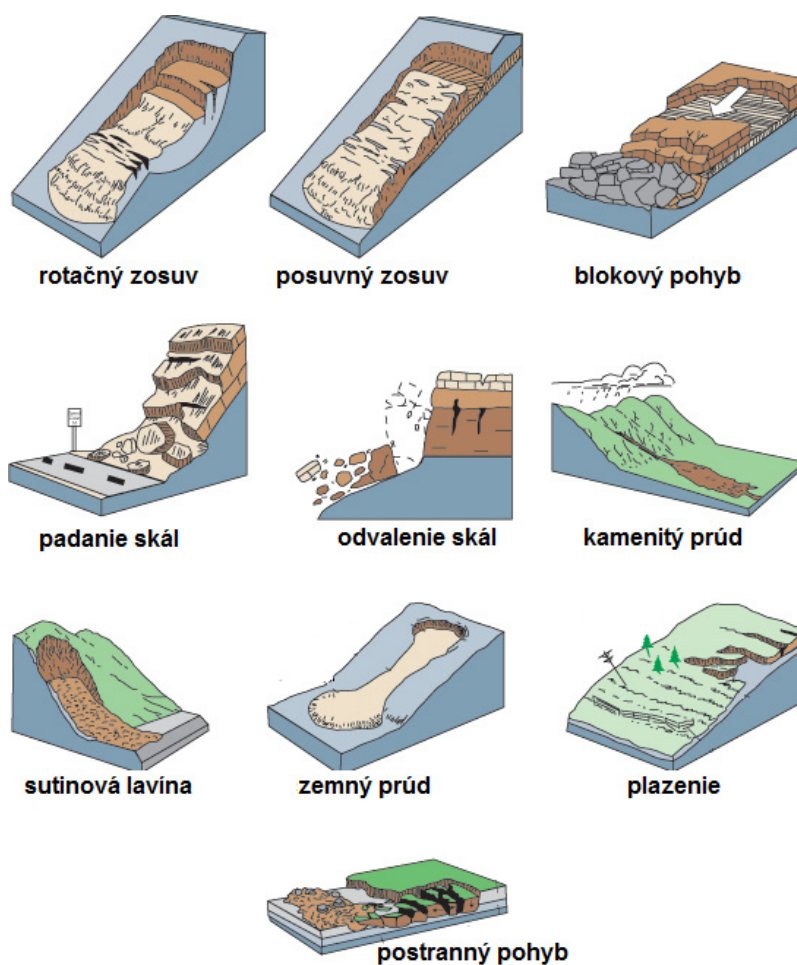
Časté plošné zosuvy horských strání vážne ohrozujú lesné a vodné hospodárstvo vo vysokých polohách. Počas intenzívnych, príp. počas dlhotrvajúcich zrážok sa pôdna vrstva premáča a súdržnosť pôdných vrstiev sa uvoľňuje v takom rozsahu, že krycia vrstva s porastom sa zosúva v smere najväčšieho spádu dole do údolia (Obr. 8.2).

Do súboru opatrení patrí zabezpečenie svahov proti zosúvaniu a zneškodnenie zosuvov skál a lavín. V oboch prípadoch ide o to, aby boli odstránené príčiny zosuvu, ustálené svahy boli zaistené proti ďalším účinkom erózie a podľa možnosti účelne využité. Polohy zasiahnuté zosuvom (svahové územia) sa vyznačujú nepravidelne zvlhnutým povrchom, trhlinami, stržami aj nepravidelne rozmiestnenými vyvýšeninami, ktoré postupne menia polohu aj tvar. Charakteristickým znakom tu býva tiež šikmý vzrast alebo vývraty stromov.



Obr. 8.2 Miesto odtrhu zosuvu

Svahové pohyby môžeme rozdeliť podľa rôznych hľadísk, napríklad podľa priebehu šmykových plôch, podľa druhu zosúvajúcich sa hmôt, podľa rýchlosti pohybu alebo štádia vývoja. Podľa šmykovej plochy zosuvy môžeme deliť na rotačné, planárne, rotačno-planárne a translačné a podľa pôdorysu na plošné, prúdové a frontálne. Svahové pohyby sa delia na štyri veľké skupiny, a to na plazenie, zosúvanie, stekanie, rútenie. Ďalšie druhy zosuvov sú uvedené a znázornené na Obr. 8.3.



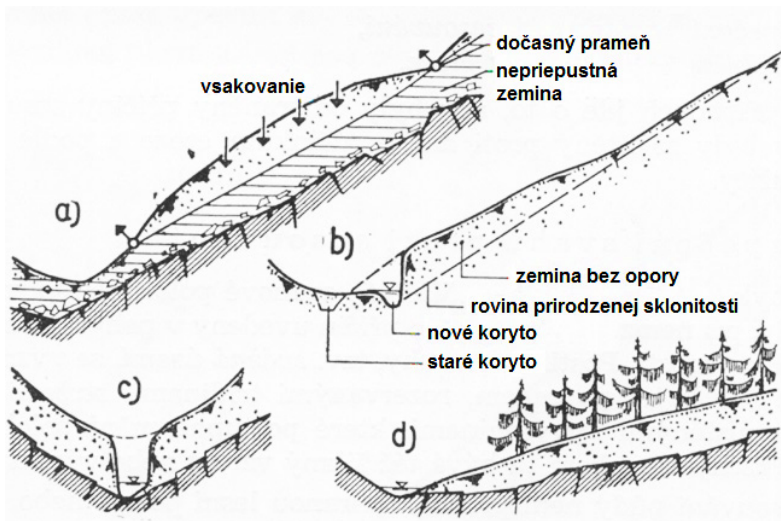
Obr. 8.3 Rôzne druhy zosuvov (upravené podľa <https://pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/images/fig3grouping-2LG.jpg>)

Priamou príčinou zosuvov je vo väčšine prípadov podzemná alebo povrchová voda. Všeobecne môžeme rozdeliť vplyvy nasledovne:

- zmeny v obsahu vody v pôde - infiltrovaná voda spôsobuje zmenu hydrostatického tlaku,
- vplyv podzemnej vody - jej pohyb spôsobuje vznik hydrodynamického tlaku,
- vplyv mrazu - vplyvom zamrznutia dochádza k praskaniu pôdy, resp. horniny, čím klesá jej súdržnosť,
- vplyv zvetrávania hornín - mechanické a chemické zvetrávanie,
- vplyv zmien vegetačného krytu na svahoch - najmä koreňový systém stromov má priaznivý vplyv na stabilitu svahov.

Príčiny zosuvov môžu byť prirodzeného alebo antropogénneho pôvodu (Obr. 8.4):

- vodou nasiaknuté nepriepustné vrstvy, napr. íl,
- svah podomletý riečnou eróziou alebo celkové prehĺbenie koryta, čo spôsobuje stratu opory svahu pri päte údolia,
- lesom preťažená horná pôdna vrstva s plytko uloženým skalným podložíom - najmä svahy porastené smrekom,
- preťaženie svahu suťou z vyšších polôh a zväčšením ich váhy po nasýtení vodou,
- zemetrasenie, odstrel hornín,
- vznikajú pri dlhotrvajúcich dažďoch, prívalových dažďoch, po účinku víchríc.



Obr. 8.4 Príčiny zosuvov; a) rozmočená ílovitá vrstva, b) podomleté úpätie svahu, c) prehĺbenie koryta, d) rozmočená pôda preťažená lesným porastom (upravené podľa Cablík, Júva, 1963)

Tieto príčiny sa spravidla rôzne kombinujú, pričom najvýraznejším činiteľom je voda, lebo začiatok zosuvu pôdy je podmieňaný úpäťom svahu a tvorba trhlín a strží. Ak vnikne zrážková voda rozrušenými miestami do priepustných vrstiev svahu, rozmočí zeminy, znižuje jej súdržnosť a vytvorí na nepriepustnom podloží sklzovú plochu, po ktorej potom krycia vrstva vlastnou váhou schádza. Zosuv sa samočinne ustáli až potom, keď povrch zosúvajúcej sa zeminy zaujme uhol prirodzeného sklonu.

Svahové zosuvy sú spôsobované pohybom vrstiev pôdy v svahových územiach. Príčinou je porušenie rovnováhy medzi stabilizačnými silami (súdržnosťou) a gravitáciou.

Teoreticky nastáva zosuv pri porušení rovnovážneho stavu zeminy. Rovnovážny stav nadložnej vrstvy je možné určiť:

$$G \cdot \sin \alpha = G \cdot \cos \alpha \cdot f \quad (8.1)$$

kde: α - uhol prirodzeného sklonu zeminy alebo sklonu nepriepustného podložia ($^{\circ}$),

G - tiaž nadložnej zeminy (N),

f - súčiniteľ trenia zeminy (-).

Zložka $G \cdot \sin \alpha$ spôsobuje pohyb zeminy a zložka $G \cdot \cos \alpha \cdot f$ znamená trenie, resp. odpor proti zosuvu.

Na základe tejto rovnosti môžeme určiť veľkosť výslednej sily pôsobiacej na zeminu zo vzťahu:

$$F = G \cdot (\sin \alpha - f \cdot \cos \alpha) \quad (\text{N}) \quad (8.2)$$

Ak je výsledná sila F menšia ako nula, je svah stabilný, v opačnom prípade dôjde k vzniku zosuvu.

Po vzniku zosuvu býva obnažená pôda vystavená deštručným poveternostným vplyvom. Predovšetkým dochádza k splachovaniu jemných zemných častíc, neskôr pribúdajú rušivé vplyvy a začína odos hrubých kusov, ako i druhotné zosúvanie pôdy. Stabilizovanie zosuvných plôch biotechnickými opatreniami je veľmi náročné pre neustály pohyb pôdných vrstiev a pre nedostatok úrodnej pôdy, nakoľko na zosuvnom svahu ostáva len neplodná suť.

Skalné zosuvy vznikajú, keď sa poruší rovnováha horninovej masy, takže sa ich časť zrúti alebo sa zosunú. Príčinou môžu byť geologické pomery, zvetrávanie a erózia, tektonické poruchy, zemetrasenie, ľudské zásahy, najmä však silné dažde, snehové lavíny a jarné topenie snehu.

8.1 Stabilizácia zosuvov

Zmiernenie alebo zastavenie zosuvu sa môže uskutočniť:

- zväčšením trenia tým, že odvodníme zosúvajúcu vrstvu pôdy a jej podložie,
- zmenšením váhy nadložných vrstiev buď odkopom povrchu svahu do miernejšieho sklonu alebo zmenšením umelého zaťaženia,
- podchytením svahu oporným múrom alebo inou oporou.

Ktorý spôsob sa má v konkrétnom prípade použiť je potrebné rozhodnúť posúdením príčiny zosúvania, jeho vzniku, priebehu a súčasného stavu, povahy zeminy a pod. Ak bola podomletá päta svahu, a tým sa začal jeho povrch zosúvať, ustáli sa zosuv primeranou oporou. Zosúvanie vyvolané rozmočením povrchových vrstiev alebo vytvorením sklzovej plochy na nepriepustnom podloží sa odstráni riadnym odvodnením. Ak je príčina zosuvu kombinovaná, majú stabilizačné práce jednak odvodniť svahové územie, jednak ho po ustálení zaistiť.

Keďže je zamokrenie pôdy jednou z hlavných príčin svahových zosuvov, býva odvodnenie základom stabilizačných prác. O jeho technickom usporiadaní rozhodujú miestne pomery, najmä príčina a spôsob zamokrenia.

Základným opatrením na eliminovanie svahových zosuvov je povrchové a podpovrchové odvodnenie. Jeho spôsob závisí od charakteru zosuvu. Používajú sa najmä záchytné otvorené odvodňovacie priekopy nad zosuvným územím, zberné a zvodné priekopy, trativody, drenážovanie, studne, štôlne a pod.

Pri asanácii svahových zosuvov sa vyžaduje zlepšenie a obnova vegetačného krytu. Ide o výsadbu ekologicky vhodných melioračných drevín s vysokým vysušujúcim účinkom, intenzívnou transpiráciou, hlbokou koreňovou sústavou. Na výsadbu sa používajú odrastené, aspoň trojročné sadenice. Výsadbu drevín je vhodné kombinovať s aplikáciou bylín s podobnými vlastnosťami.

Jednou z príčin vzniku svahového zosuvu môže byť preťaženie svahu staršími drevinami s veľkou hmotnosťou. V takom prípade je potrebné tieto dreviny odstrániť.

V prípade nevyhnutnosti sa na zabezpečenie zosuvných území väčšieho rozsahu môžu budovať oporné múry z drôtokamenných konštrukčných prvkov, z kameňa na cementovú maltu, kamenné rebrá a iné technické opatrenia.

V prípade hrozby zosuvu svahu vplyvom eróznej činnosti vody prúdiacej v koryte bystriny je potrebné vykonať potrebné opatrenia (pozdĺžne spevnenie) na ohrozenom svahu bystrinného koryta s prednostným zabezpečením päty svahu.

Ochrana proti skalným zosuvom je úlohou veľmi obtiažnou, nakoľko ich výskyt je často nečakaný s neskoro viditeľnými príznakmi. To platí najmä vtedy, keď sú príčinou zosuvov podzemné pohyby. Ak ide o účinok vodnej erózie a zvetrávania, je možné čeliť skalným zosuvom:

- odstránením zvetraných skalných útesov a podomletých balvanov hroziacich zrútením,
- podmurovaním vratkých útesov alebo balvanov, najlepšie kamennými múrmi na sucho, aby nebol porušený odtok vody,
- upevnením pôdy medzi skalnými blokmi mačinkovaním a zalesnením, ak to nie je možné, dláždením alebo priečnymi objektmi,
- odvodnením zosuvných úbočí, ktorých pohyby porušujú stabilitu skalných trosiek.

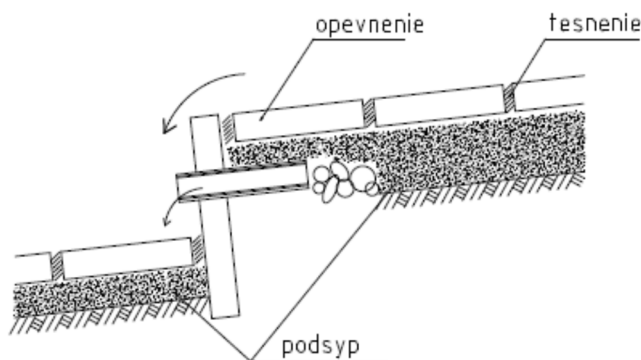
8.1.1 Odvodňovacie práce

Predovšetkým je potrebné usmerniť a upraviť povrchový odtok. Na svahovom území sa spravidla objavujú viaceré pramene, ktorými vystupuje na povrch podzemná voda. Tá spolu so zrážkovou vodou ničí všetky pokusy o opätovné zalesnenie zosuvných plôch.

Odvodnenie povrchové sa realizuje vtedy, keď je zosuv spôsobený tečúcou vodou alebo povrchovo vyvierajúcou vodou. Používame otvorené priekopy, ktoré treba v prípade nestabilných pôd zaistiť zápleťmi, fošňami alebo dlažbou. Zamokrené svahy je tiež možné odvodniť plytkými zárezmi, ktoré vyplníme priepustným materiálom.

Po čiastočnej stabilizácii zosuvného územia sa budujú **otvorené priekopy** v požadovanom sklone a prietochnom profile. Ich úlohou je odvádzať zrážkovú vodu. Zároveň sa upravuje povrch terénu, urovnávajú sa valy, zahŕňajú depresie a zasypávajú praskliny, aby povrchová voda mohla voľne odtekať do záchytných priekop. Pri terénnych úpravách treba klásť dôraz na nepoškodzovanie mačinkového povrchu terénu, nakoľko obnažený pôdny povrch menej odoláva erózii vody a zároveň vytvára lepšie podmienky pre vsak vody k nepriepustnému podložiu. Záchytné priekopy je potrebné usporiadať tak, aby voda z nich nemohla presakovať do podložia. Svahy a dno sa musia opevniť tak, aby odolávali účinkom prúdiacej vody a zároveň boli nepriepustné. V stredne ťažkých a ťažkých pôdach sa opevnenie ukladá do pieskového lôžka. Voda z pôdy presakuje do lôžka a po podloží infiltruje cez lôžko v smere trasovania priekopy. Dno priekopy sa stupňuje pomocou nízkych stupňov, v ktorých je voda presakujúca cez lôžko vyústená pomocou drenážnej rúrky do priekopy (Obr. 8.5).

Vyvierajúca podzemná voda musí byť zachytená a bezpečne odvedená. Po úprave odtokových pomerov je potrebné stabilizovať povrch pôdy, ktorý je často pokrytý stále sa pohybujúcou kamennou suťou. Na zastavenie pohybu sa používa kolíkovanie, záplety, palisádové ploty, laťové steny a pod.



Obr. 8.5 Vyústenie vody z podsypu záchytnej priekopy (Húska, 1984)

Podpovrchové odvodnenie je potrebné urobiť tam, kde rozmáčaná vrstva pôdy je príliš silná alebo kde klzká vrstva je vo veľkej hĺbke, takže ju nie je možné povrchovým odvodnením vysušiť.

Dobré odvodnenie má spravidla veľmi priaznivý účinok, pretože upevní a ustáli zosuvné územie, zamedzí vzniku nových zosuvov a upraví pôdu na vhodné stanovište pre vegetáciu. Odvodnené a stabilizované územie je potrebné tiež zaistiť proti ďalšiemu pohybu zeminy a devastácii eróziou. K týmto prácam patria najmä:

- zaistenie podomletých úpäti, aby ustálené svahy mali bezpečnú oporu,
- zabezpečenie odvodňovacích zariadení (kanálov, priekop, drénov) proti poškodeniu prípadnými dodatočnými posunmi pôdy alebo mimoriadnym zaťažením,
- urovnanie a upevnenie povrchu svahu spôsobom, ktorý umožňuje poľnohospodárske využitie,
- upevnenie konsolidačnými lesnými pásmi alebo súvislým zalesnením.

Akejkol'vek úprave svahu musí predchádzať zaistenie úpätia, nakoľko to tvorí oporu svahovej zeminy. Ak nie je úpätie dostatočne zabezpečené, svah sa môže ľahko dostať znovu do pohybu, nakoľko povrchové upevnenie ho pred týmto nebezpečenstvom neubráni.

Spôsob zaistenie úpätia svahu sa riadi rozsahom jeho deformácie i veľkosťou zosuvu a jeho aktívneho tlaku. V jednoduchších prípadoch menších zosuvov postačí, ak vybudujeme v úpäti záchytnú hrádzku, o ktorú sa zosúvajúci svah môže oprieť.

Po zaistení úpätia svahu je potrebné zabezpečiť odvodňovacie zariadenie, aby nebolo poškodené dodatočnými posunmi pôdy alebo tlakom, vyvolaným mimoriadnym zaťažením pôdy a pod. Všetky hmoty nebezpečne zaťažujúce svah sa musia z jeho povrchu odstrániť, príkre časti svahu odkopávkou zmierniť na prirodzený sklon zeminy, plochy medzi odvodňovacími kanálmi a priekopami urovnať a pod.

Sycons Kft. ďalším vývojom drenážnych systémov vyvinula vlastnú, patentovanú technológiu pod názvom vejárový gravitačný drenážny systém. Táto technológia je účinnejším bratom klasického odvodnenia. Nosným prvkom systému je gravitačná studňa, inými slovami vertikálny štrkový pilier. Poslaním týchto telies je pozbierať vodu zo všetkých vrstiev a gravitačne odvieť do drenážnych rúr na spodku štrkových pilierov. Jeden systém môže mať viac štrkových pilierov, v závislosti od miestnych pomerov. Ide o vertikálne drenážne telesá priemeru 0,2 - 0,6 m. Pri zhotovení vejárového systému sa najprv vybudujú štrkové piliere, a následne sa inštalujú drenážne rúry, ktoré ich spoja.

8.1.2 Odvodňovacie galérie a štôlne

Účelom je zachytiť vodu presakujúcu cez horniny, a tak riešiť súvisiace hydrogeologické problémy. Pri odvodňovaní svahových území sa používajú bežné konštrukcie galérií. V princípe sú to štôlne razené v sklone stúpajúcom v smere razenia. Zvýšenie odvodňovacej účinnosti sa dá dosiahnuť ďalšími odvodňovacími vrtmi v dne, svahoch a strope štôlne.

Ak voda presakuje v priebehu výstavby do galérie, je potrebné vybudovať v dne priekopu na jej odvedenie. Galéria môže byť umiestnená pod šmykovou plochou a prítok vody do nej je možné zaistiť vertikálnymi vrtanými otvormi. Priečny profil sa navrhuje taký veľký, aby aj pri čiastočnom porušení stien nebola odvodňovacia funkcia zamedzená.

Okrem značných funkčných výhod výstavba galérií predstavuje aj značné problémy. V prvom rade sú to vysoké investičné náklady, veľká prácnosť výstavby a malá možnosť využívania mechanizácie. Pri výstavbe je veľké nebezpečenstvo vzniku závalov. Odtokové množstvo vody z galérie býva len niekoľko litrov a budovaný profil presahuje o niekoľko rádov potrebný profil pre odvedenie vody. Odvodňovacie galérie nesmú ostať po vyrazení prázdne, ale sa musia zaplniť priepustným materiálom (kameňom, štrkom). V súčasnej dobe je reálne raziť galérie v dĺžke aj nad 200 m.

8.1.3 Odvodňovacie horizontálne vrty

Náklady na výstavbu odvodňovacích vrtov sú približne päťkrát nižšie a čas potrebný na zriadenie jedného vrtu je podstatne kratší ako pri výstavbe galérií. Na druhej strane je však ťažko zabezpečiť, že vrtaný otvor narazí na nepriepustné podložie, ktoré zachytáva presakujúcu vodu a spôsobuje porušenie stability svahu. Zároveň dĺžka vrtaných otvorov nepresahuje 200 m. Krátke odvodňovacie vrty pri malých sklonoch sa robia zarážaním perforovanej rúry do svahu. Toto riešenie je vhodné tam, kde zvodnená vrstva štrku alebo piesku je pomerne nízka.

Dlhé odvodňovacie vrty sa robia dvomi metódami. V prvom rade pomocou špirálových vrtákov. Perforované výpažnice (rúry) sa zarážajú do vyvrtaných otvorov. Tento spôsob je vhodný pri menej súdržných horninách. Pri tvrdých horninách sa na vrtanie používajú rôzne tvarované dláta. Súčasne so zavrtaním vrtáku sa zasúva do otvoru perforovaná rúra, ktorá má zároveň funkciu výpažnice. Pri tejto technológii dláto zostane v zriadenom vypaženom vrte. Aby nedošlo k poškodeniu výpažníc pri ich zasúvaní do otvoru, je potrebné, aby hrúbka ich stien bola aspoň 6 mm a vnútorný priemer viac ako 83 mm. Pri použití tenších stien rúr dochádza k ich deformácii. Pri vrtaní je výhodné začať vrt s miernym sklonom hore v smere vrtania. Toto opatrenie zamedzí vtekaniu studeného vzduchu v zime do vrtu a nenastane nebezpečenstvo zamrznutia vody v ústí, príp. v samotnom otvore. Ďalej je treba pamätať na to, že pri vrtaní vplyvom tiaže zasúvaného potrubia a vrtáku vyvrtaný otvor, napriek počítačovému stúpajúcemu úseku, bude mať klesajúci smer.

Odvodňovacie horizontálne vrty umiestnené v päte svahu, príp. na dolnej úrovni šmykovej plochy nezaručujú stabilizáciu zosuvného územia. V prípade, že v svahu sa nachádza niekoľko zvodnených vrstiev je potrebné urobiť horizontálne vrty aj vo vyšších polohách.

Spoločnosť Sycons Kft. (<http://sk.sycons.eu/...>) uvádza, že výberu technológie budovania drenážnych systémov predchádza zhotovenie detailného podrobného geologického prieskumu, ktorým sa mimo iné presne lokalizuje umiestnenie a charakter odvodňovaných vrstiev. Na základe vyhodnotení výsledkov sa určí smer, sklon a umiestnenie drenáže.

Spoločnosť v prvom bode realizácie zhotoví prieskumné vrty, pomocou ktorých overí hĺbku a mocnosť nasýtených priepustných vrstiev a hĺbku voľnej alebo napätej hladiny podzemnej vody. Následne zabuduje do týchto vrstiev veľmi únosné drenážne rúry so samočistiacou schopnosťou. Inštaláciu rúr realizuje technológiou orientovaného vrtania, vďaka čomu je schopná zabudovať 150 – 200 m dlhé drenážne rúry. Ako drenážne rúry používa plastové rúry s počítačovým, dovnútra sa rozširujúcim priemerom perforácie 0,3 mm, vďaka čomu sa po zabudovaní do priepustných zemín prakticky nikdy neupchajú. Pri správnom pozdĺžnom sklone je ich samočistiaca schopnosť mimoriadne vysoká. Pri správnej údržbe sa deklaruje ich životnosť až 50 rokov. Inštalácia sa aj pri veľkých hĺbkach realizuje s minimálnymi zemnými prácami. Tieto drenážne rúry odvádzajú podzemnú vodu do vybudovanej zbernej šachty, odkiaľ je ďalej odvádzaná potrubím alebo odvedená do ďalšieho zberného systému (kanalizačná sieť, povrchový tok).

8.1.4 Odvodňovacie štrbiny a ryhy

Patria k najstarším odvodňovacím zásahom na zosuvných územiach. Aby ich odvodňovací účinok bol dostatočný, musia byť vyhlbené do značných hĺbok. Pokiaľ nie sú zahĺbené až na nepriepustné podložie, ich účinok nie je dostatočný a zosuv môže pokračovať. Štrbiny alebo ryhy bývajú vyplnené rôznym priepustným materiálom, ako prútie, iný organický materiál, štrk, kameň a pod. Výstavba je dosť nákladná, potrebné je ich pažiť. V podmienkach nesúdržných pôd hrozí často ich zavalenie. Vzhľadom na dlhú dobu výstavby v mnohých prípadoch dôjde k ich zavaleniu pred dokončením všetkých prác.

Pri výstavbe sa postupuje v smere proti sklonu územia, aby vnikajúca voda mohla voľne odtekať. Vzhľadom na existujúci transport zemných častíc odtekajúcou vodou, nie je možné robiť výplň vykopanej ryhy priebežne, nakoľko plaveniny by sa usadzovali vo filtračnej vrstve, čím by sa znížila jej priepustnosť. Z tohto

dôvodu vyplnenie rýh priepustným materiálom sa môže robiť až po vykopaní ich celej trasy. V prípade hlbokého uloženia nepriepustnej vrstvy sú výhodnejšie galérie alebo horizontálne vrty.

Ryha sa trasuje naprieč sklonu svahu a zareže sa až do nepriepustného podlažia. Takto sa v nej zachytáva voda a koncentrovane odvádza z nožnej šmykovej plochy. Pre zabezpečenie účinnosti tohto zásahu je potrebné, aby ryhy dosahovali pod zamrzajúcu hĺbku pôdy. Od povrchu je výplň rýh chránená humusovou vrstvou uloženou na nepriepustnej, príp. filtračnej vrstve (fólia PE, obrátené štrkové filtre, vrstvy prútia a pod.), ktorá bráni zaneseniu filtračnej výplne štrbiny.

Pre správny návrh výstavby štrbín a rýh je potrebná dokonalá znalosť geologického zloženia zemského povrchu v oblasti zosuvu.

8.1.5 Stabilizácia pomocou vegetácie

Po zosuvoch býva obyčajne vegetačný kryt územia značne narušený. K jeho obnove sa prikróčí po stabilizácii územia pomocou technických zásahov. Vegetácia dosahuje len do menšej hĺbky, a preto účinok pri stabilizácii zosuvov je pomerne malý. Väčší význam má zníženie infiltrovaného množstva vody do spodných vrstiev zosuvu. Je výhodné používať lesné porasty, ktorých korene siahajú do väčšej hĺbky. Na druhej strane značné nevýhody majú také porasty, ktoré pri ich rýchlym raste vytvárajú značné povrchové zaťaženie svahov.

Na konsolidáciu zosuvného územia sa nehodia ihličnaté stromy, nakoľko majú nízku transpiračnú schopnosť a berú si len toľko vody, koľko potrebujú, zatiaľ čo listnaté stromy nielenže čerpajú z pôdy omnoho viac vody ako ihličnany, ale ak je pôda premokrená, odsávajú omnoho viac ako potrebujú. Z ihličnanov je najmenej účinný smrek, ktorého tanierový plytký koreň nepreniká do hĺbky a v premočenej plytkej pôde stráca stabilitu a ľahko sa vyvracia. Ojedinele rastúce dospelé listnaté stromy dokážu obstáť, aj keď okolie zosuvného územia s plytkou sklznou plochou sa pohybuje len pomaly. Povrch pohyblivého územia sa zníži, takže osamele rastúce stromy stoja na vyvýšeninách a na strmších svahoch sa pri každom kmene dokonca nakopí z hornej strany zemný val.

Ak sú stromy vysadené v niekoľko radovom súvislom páse vedenom po vrstevnici, potom zosuvné územie so sklznou plochou do 5 m hĺbky je dospelým stromovým pásom bezpečne ustálené. Porast však musí byť starší ako 20 rokov a skladať sa z hlboko koreniacich listnatých stromov. Takéto pásy nazývame ustaľovacie alebo konsolidačné; šírku pásu zväčšujeme so spádom svahu až do 10 m. Medzi pásmi sú voľné územia šírky 50 - 150 m. Pred pásy sa časom nakopí aj 3 m vysoká vlna zeminy, čo spravidla úplne stačí na obnovenie statickej rovnováhy a svah sa upokojí.

8.1.6 Oporné konštrukcie

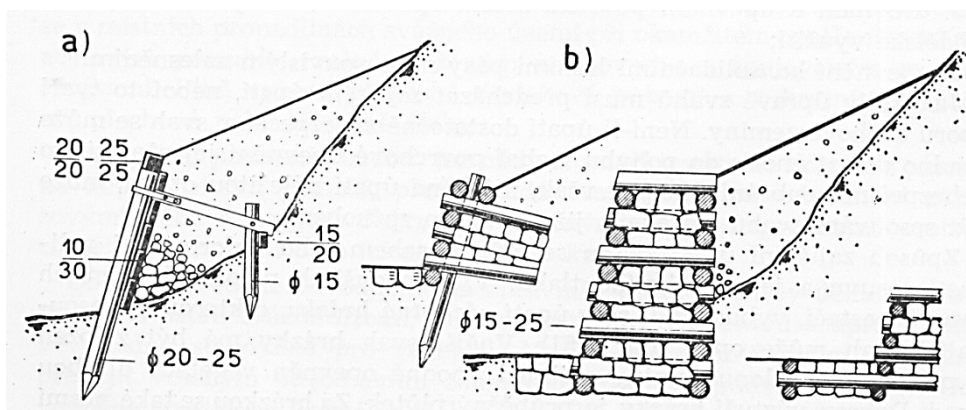
Opornú konštrukciu je možné definovať ako ľubovoľnú konštrukciu, ktorá je schopná odolávať aplikovanému zemnému tlaku. Oporné múry sú trvalé konštrukcie, ktoré sú budované buď v päte svahu ako zrubové múry alebo v násype ako oporné konštrukcie spätného zásypu. Pri ich návrhu sa musí prihliadať na konštrukčné a funkčné požiadavky:

- geomorfologické podmienky,
- posúdenie statického a dynamického (seizmického) pôsobenia síl,
- prítomnosť hladiny podzemnej vody,
- celkovú konečnú cenu konštrukcie.

Výraz **oporný múr** sa používa pre celý rad stavebných konštrukcií rôzneho konštrukčného usporiadania. S ohľadom na predtým dostupné technológie boli oporné múry najčastejšie tvorené z betónu, prefabrikátov alebo muriva. Pokrok v stavebných postupoch a nové geosyntetické výrobky umožnili vznik nových technológií a typov oporných múrov.

Oporný múr zväčša nemôže slúžiť ako jediný stabilizačný prvok voči pohybu zosuvu pre malú statickú účinnosť, ale ako doplnok na zabránenie, aby na čele zosuvu nevznikla kašovitá zemina na zvýšenie normálových napätí v pasívnej časti zosuvu.

Oporné konštrukcie z vystuženej zeminy sú tvorené niekoľkými základnými elementmi. Horizontálne vrstvy vystužené geomrežou zaisťujú stabilitu a funkčnosť celej konštrukcie, lícové prvky zadržujú zeminu zásypu v čele konštrukcie a dávajú jej vhodný estetický vzhľad. Spolupôsobenie lícových prvkov a geomreží je zabezpečené pomocou funkčných spojovacích prvkov. Súčasťou vystuženej konštrukcie je aj zemina zásypu, ktorej parametre významne ovplyvňujú vlastnosti konštrukcie.



Obr. 8.6 Drevené opory svahových úpäti; a) drevený zrub, b) zruba plnené kameňom (Cáblik, Júva, 1963)

Jednou z možností sú **drevené zruba** (Obr. 8.6, Obr. 8.7). Skladajú sa z pilót s priemerom 200 - 250 mm zabaranených vo vzdialenosti po 1 - 1,5 m zvislo alebo šikmo do zeme, za ktoré sa vodorovne kladie drevená guľatina alebo fošne hrubé 80 - 100 mm. Pri veľkom zemnom tlaku sú pilóty spojené trámovou haluzinou a zachytené do svahu zemnými kotvami. Tiež sa barania vedľa seba koly s priemerom 200 - 250 mm, zachytené v zhlaví haluzinou a zemnými kotvami, alebo sa zrub vybuduje ako štetová stena, pri ktorej sú vedúce pilóty vzdialené 1 - 1,5 m.



Obr. 8.7 Zrubový múr stabilizujúci svah

Inou úpravou sú **zruby plnené kameňom** (Obr. 8.6 b). Skladajú sa z jednej, dvoch alebo viacerých stien z drevenej guľatiny, ktoré sú priečne spojené a vo vzniknutých priestoroch vyplnené kameňom, urovnaným v dobre viazané hutné teleso. Pri povrchu sa kamene urovnávajú dlažbovito. Ich prednosťou je určitá poddajnosť, čo sa zvlášť osvedčuje vo svahových polohách s pohyblivou pôdou.

Dlhšie vydržia stavby z kameňa, najmä budované ako **kamenné rovnaniny** (Obr. 8.8). Kameň sa ukladá do telesa lichobežníkového tvaru, ktorého predná strana má sklon 2 : 1 až 3 : 1 a zadná strana je buď zvislá alebo v sklone 4 : 1. Šírka rovnaniny v korune je asi 1 m. Veľmi výhodná je tzv. rovnanina oživená, zložená z medzivrstiev zväzkov prútia a kameňa, ktoré neskôr vyrastú a ako prirodzená stavba podchytiť zosuvný svah.

Ak budujeme **oporné múry**, v jednoduchších prípadoch ich budujeme z kameňa na sucho, inak z kameňa na cementovú maltu alebo z betónu, v priečnom reze lichobežníkového tvaru so sklonom prednej strany 3 : 1 až 5 : 1 a so zadnou stranou zvislou alebo v dolnej časti zošikmenou. Rozmery múru musia byť posúdené na tlak zeminu nasýtenej vodou.

Na odvedenie vody, ktorá vyviera na úpätí svahu za múrom je potrebné vybudovať otvory (priepusty) s rozmermi 20/30 cm a viac, ktorými môže voda voľne vytekať. Násyp za múrom musí byť štrkopieskový, aby voda ľahko pritekala k odvodňovacím otvorom. Silnejšie pramene zachycujeme ojedinelými kamennými drénmi. Ak nie je základová pôda dost' únosná, je potrebné založiť múr na základovú dosku, podľa potreby vystuženú ešte pilotážou alebo na ležatý drevený rošt.

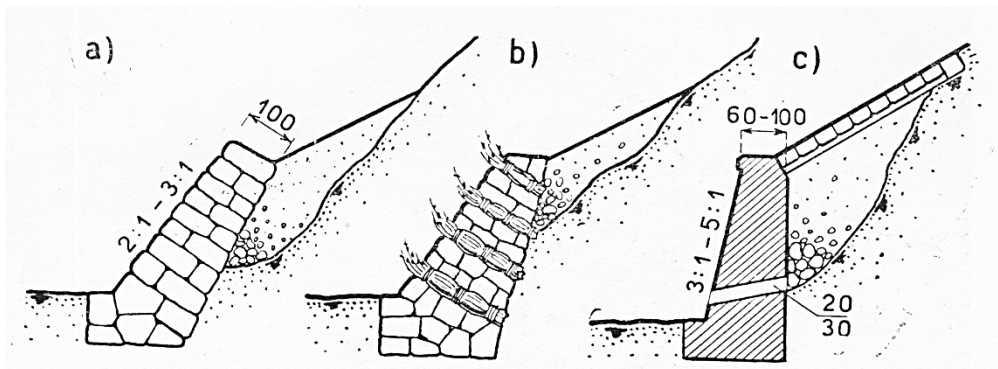
Pokiaľ to priestorové pomery umožňujú, je vhodné oporný múr umiestniť v určitej vzdialenosti od päty svahu (od miesta dolnej časti vyústenia šmykovej plochy) a priestor medzi oporným múrom a svahom vyplniť zeminou, čím sa zvýši stabilita svahu.

V intraviláne sa čoraz častejšie používa oporný múr z prírodného kameňa. Prírodný kameň však netvorí nosnú časť opornej konštrukcie, ale je len pohľadovou časťou tzv. vystuženého zemitého bloku. Tento typ múrov sa pre „nezasväteného“ javí ako drôtokamenný kôš, ktorý je pre svoj prírodný charakter stále obľúbenejší. Použitie lícového drôtokamenného koša v kombinácii s geosyntetickými výrobkami však prináša tomuto typu konštrukcií značné technologické, bezpečnostné a ekonomické výhody.

Oporné múry z vystuženej zeminu sa používajú všade tam, kde je výstavba tradičných konštrukcií obtiažna, nákladná alebo neestetická. Najčastejšie sa jedná o rozširovanie ciest, železníc, budovanie nájazdových rámp a pod. Pre tieto účely sa ako najvhodnejší osvedčil oporný múr z betónových panelov. Výstavba takéhoto typu múru je rýchla, lacná a samotná konštrukcia je dostatočne tuhá, aby odolala dopravnému zaťaženiu.

Pokiaľ nie sú na konštrukciu kladené také vysoké nároky alebo sa konštrukcia nachádza v zle prístupnom teréne, je vhodný oporný múr z betónových tvaroviek. Vďaka lícu z malých betónových tvaroviek možno takú stenu vyhotoviť značne členitú a prispôbiť sa takmer akýmkoľvek potrebám projektu.

Najčastejšie používaným konštrukčným riešením sú panelové systémy používajúce delené (segmentové) panely. Z hľadiska tvaru sa najčastejšie používajú obdĺžnikové panely, panely tvaru T alebo tvaru kríža. Skôr používané hexagonálne tvary sa dnes takmer nepoužívajú. Pri montáži panelov je dôležité udržanie hrúbky škár. Panely na plnú výšku sa používajú najmä pre konštrukcie s výškou do 6 m s ohľadom na transport a manipuláciu dlhých panelov. Montáž líca oporných múrov z panelov na plnú výšku je jednoduchšia ako montáž segmentových panelov, ale vyžaduje väčšie skúsenosti s počiatočným nastavením geometrie líca, ktorá sa vzhľadom na spôsob výstavby nedá v priebehu výstavby korigovať.



Obr. 8.8 Kamenné oporné múry; a) kamenná rovnanina, b) oživená rovnanina, c) oporný múr (Cáblik, Júva, 1963)

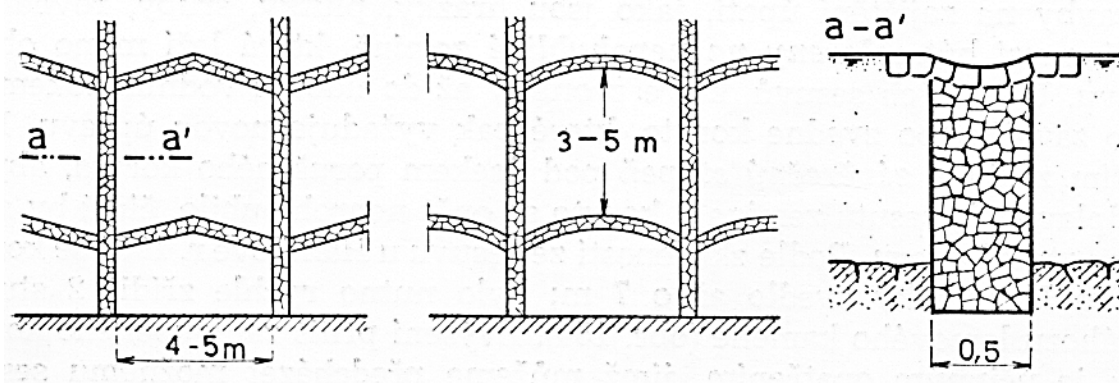
Jedným z mnohých variantov použitia kameňa je **drôtokamenný kôš**, teda prírodný kameň skladaný nasucho do zváraného oceľového koša. Tieto konštrukcie sú obľúbené predovšetkým v možnosti využitia miestneho kameniva a každý kôš je jedinečný svojím vzhľadom a dobre korešponduje s prirodzenými miestnymi podmienkami.

Pri skalných zosuvoch sa využívajú **záplety** zakladané šachovnicovito v radoch vzdialených po 3 - 5 m zo silných kolov, ktoré sú prepletené prútím do výšky najmenej 0,15 m nad zemou. Inou úpravou sú kolové rady z pilót s priemerom asi 0,15 m a nadzemnou dĺžkou 1 m zarábané do zeme v trojuholníkovej sústave, spravidla vždy v troch radoch. Vzdialenosť kolov v jednotlivých radoch je 0,6 - 1 m, vzdialenosť radov 1 a viac metrov.

8.1.7 Vystuženie rebrami

Pohyblivý svah je možné spevniť tým, že sa odvodňovacie zárezy založia ako kamenné rebrá zarezané až do pevného podložja, takže bránia pôde v zosuve. Zvlášť pevnú sústavu tvorí kombinácia, pri ktorej sú hlavné rebrá vedené v najväčšom sklone spojené vedľajšími rebrami založenými v tvare vzpier alebo plochých oblúkov vypätých proti sklonu svahu (Obr. 8.9).

Stabilizačné rebrá sú do svahu vyhlbené ryhy široké 1 - 2 m, vyplnené materiálom s vysokým uhlom vnútorného trenia (štrkopiesok, drvený kameň, štrk), vzdialené od seba na 4 až 8 m. Rebrá sú účinné vtedy, ak zasahujú pod šmykovú plochu. Rebro pôsobí aj ako drén, preto musí byť vybavené filtrom proti možnosti sufózie. V pozdĺžnom smere sú odvodnené trativodom (Obr. 8.9).



Obr. 8.9 Vystuženie svahu rebrami - pôdorys a rez (Cáblik, Júva, 1963)

8.1.8 Zvláštne stabilizačné konštrukcie

Pri budovaní komunikačných stavieb v mnohých prípadoch sa musí vytážiť zemina aj hornina z trasy stavby. Následkom takéhoto porušenia zemskeho povrchu môže dochádzať zvetrávaním k uvoľňovaniu a padaniu

kameňa, príp. môže hroziť zosuv celých kamenných vrstiev. V takýchto prípadoch je potrebné zviazať uvoľnené vrstvy hornín, príp. na zvetrané svahy natiahnuť **kovové siete**. Siete môžu byť riešené ako systém opláštenia svahu alebo ako dynamická bariéra na ochranu pred padaním skál (Obr. 8.10).

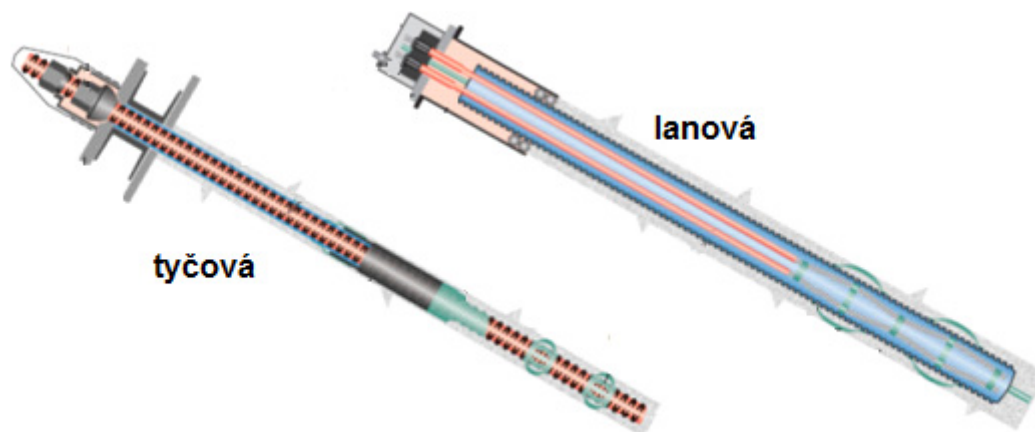
V prípade opláštenia svahu sieťou alebo potrebe zviazania uvoľnených vrstiev hornín sa používajú kotvy, ktoré môžu byť:

- tyčové (Obr. 8.11) - ťažko je tvorené oceľovou alebo laminátovou tyčou, alebo tyčou z karbónových vlákien schopnou prenášať silu do približne 500 kN (v závislosti od priemeru a materiálu tyče),
- lanové (Obr. 8.11) - v praxi často používané, sú zložené z 1 - 12 lán, únosnosť sa pohybuje medzi 240 - 1800 kN v závislosti od počtu lán, spôsobu prevedenia, dĺžky koreňovej časti, dosiahnutého injekčného tlaku pri injektáži koreňa kotvy a geotechnických vlastností prostredia,
- zemné (zemné klince) - na miestach, kde je potrebné zaistiť zlepšenie a spolupôsobenie zeminy so stavebnou konštrukciou (napr. pri opornom múre),
- horninové - používajú sa v skalných masívoch, ktoré sú porušené a je potrebné zaistiť ich stabilitu; slúžia k prenosu ťažových síl z konštrukcie do horninového prostredia.



Obr. 8.10 Opláštenie svahu (vľavo) a dynamická bariéra proti padaniu skál (vpravo)

Kotvy môžu byť dočasné (so životnosťou približne 2 roky) alebo trvalé. Oba typy sa líšia prevedením antikorošnej úpravy ochrany kotevného zväzku a kotevnej hlavy.



Obr. 8.11 Kotva tyčová a lanová (upravené podľa DYWIDAG)

Kotvy sa skladajú z 3 častí - hlavy, tiahla a koreňa. Sila vyvolaná na hlave kotvy sa prenáša tiahlom do koreňa, ktorý je injektážou zachytený v horninovom alebo zemnom prostredí. Veľkosť sily a smer kotiev má vplyv na rozloženie kotevných síl v hornine a volí sa podľa konkrétnych geotechnických podmienok na základe poznania statickej schémy kotvovej konštrukcie a konštrukčnej skladby kotevného zväzku.

Vrty pre horninové kotvy sa robia rotačným alebo rotačne-príklepovým spôsobom výkonnými strednoprofilovými vrtnými súpravami. Po osadení kotvy do vrtu vyplneného zálievkou sa urobí injektáž koreňa kotvy cementovou alebo živicovou zmesou, v prípade potreby aj viackrát. Potom sa z jednotlivých častí zostaví hlava kotvy a v určenom časovom intervale po injektáži je možné kotvu napnúť. Napínanie sa robí napínacím zariadením na hodnoty určené projektantom. Do funkcie sa kotva uvedie zakotvením v hlave.

Ďalšou možnosťou stabilizácie svahu je **zemné klincovanie**. Ide o ekonomicky výhodný postup, keďže je metóda spevňovania používaná na prirodzenom svahu alebo v záreze, kde je zemina vystužená klincami. Klince zaisťujú celkovú stabilitu svahu a sú prepojené s opláštením, ktoré zabezpečuje stabilitu pokrývnej vrstvy svahu. Opláštenie môže byť tuhé, flexibilné alebo dokonca také, že zabezpečí následné zazelenanie svahu. Opláštenie sieťou zabraňuje posunu povrchovej vrstvy svahu, ktorá sa môže zmobilizovať medzi klincami a potenciálne narušiť celkovú stabilitu svahu.

Podstata metódy zemného klincovania spočíva vo vytvorení pomerne hustej siete krátkych ťahových prvkov v prírodnej zemine tvorenej oceleovou výstužou (klincami) s cementovou zálievkou a zaústených do krycej vrstvy zo striekaného betónu vystuženého sieťovinou hrúbky 0,1 - 0,25 m. Prepojenie klincov s krycou vrstvou je zaistené jeho hlavou tvorenou väčšinou ohybom tiahla klinca. Vznikne tak teleso z vystuženej zeminy, ktoré môže vzdorovať pôsobeniu zemného tlaku, príp. aj povrchovému zaťaženiu. Hlavný rozdiel popísanej konštrukcie oproti konštrukcii so zemnými kotvami spočíva v absencii zvislých nosných prvkov, v odlišnom prenose zaťaženia do zeminy (klince prenášajú zaťaženie po celej svojej dĺžke) a v celkovej hustote siete. Klince sa nepredpínajú. Priemer vrtov pre klince sa pohybuje v závislosti na geologických pomeroch, väčšinou 50 - 150 mm. Vystuž môže byť osadená vodorovne alebo pod určitým uhlom. Dôležitú súčasť takto zaistených svahov alebo stien predstavuje spôsob ich odvodnenia.

Pri spevňovaní strmých svahov so sklonom od 20 do 70° je potrebné rozlíšiť dva rozdielne problémy, ktorých riešenie na seba nadväzuje. Prvým je vnútorná stabilita svahu a druhým je stabilita povrchu svahu. Vnútorná stabilita strmého svahu sa rieši vystužením zemnej konštrukcie, a to pomocou horizontálne položených výstužných geomreží, ktoré zaisťujú v kombinácii so zemnou stabilitu a funkčnosť celej konštrukcie. Aby nebola zemina zo strmého líca splavovaná alebo nevypadávala, zadržujú ju buď lícové oceľové prvky, geomreže alebo georochože.

Vystužené strmé svahy umožňujú zväčšenie využiteľnej plochy nad svahom (zostrmenie svahu), a tým lepšie využitie dostupného priestoru pri rozšírení ciest a železníc pre zvýšenie ich kapacity a alebo zníženie zaberania okolitých pozemkov súvisiacich s ich výkupom.

Účel použitia a veľkosť konštrukcie sa prispôbuje voľbe líca a sklonu tak, aby čo najlepšie vyjadroval charakter stavby. U svahov so sklonom do 50° nie je nutné vo väčšine prípadov zlepšovať líce svahu. Pre zvýšenie povrchovej stability sa používajú protierózne georochože, ktoré sa aplikujú na dostavané teleso svahu. Pri sklonoch nad 50° sa čelo obalí výstužnou geomrežou alebo sa použijú oceľové panely napojené na výstužné geomreže. Kotvenie rohoží a sietí sa robí pomocou kotviacich skôb. Ich rozpätie a počet sa na jednotlivých svahoch líši v závislosti od jeho sklonu (Tab. 8.1).

Pre zvýšenie stability plytkých vrstiev na zosuvných územiach je možné využiť účinok **pilót**. V tomto prípade pilóty zvyšujú trenie, a tak aj stabilitu svahu. Tento zásah nie je účinný v plastických pôdach, nakoľko pri zosuve zemina pilóty „obteká“. Účinok pilót pri väčších zosuvných vrstvách je problematický. Je možné ich využívať na dočasné zachytenie tlaku pri budovaní komunikačných objektov, pričom vzdialenosť medzi pilótami sa pohybuje v rozmedzí 1 až 1,5 m. Pilóty sa obyčajne zarážajú do predvrtaných otvorov. Nevýhodou pilótových stien je určité vytváranie bariéry pre podzemnú vodu.

Tab. 8.1 Počet kotviacich skôb pre kotvenie protieróznych sietí a rohoží na svahoch (spracované podľa <http://www.geomat.sk>)

Sklon svahu	4:1 (14°)	3:1 (cca 18°)	2:1 (cca 27°)	1:1 a viac (nad cca 45°) a pomaly tečúca voda	rýchlo tečúca voda alebo brehy trvalých tokov
Približný počet skôb na 1 m ² plochy svahu	1	1,5	2	4	6
Schéma kotvenia					

Ďalšou možnosťou je **injektáž**. Injektáž je technológia pre úpravu vlastností skalných hornín, nesúdržných hornín a zemín a pre sanáciu rôznych stavebných konštrukcií a je možné ju využiť pre vyplnenie dutín ako výplňovú injektáž. Pri realizácii sa vyplňujú cementovou, mikrocementovou alebo ílovo cementovou zmesou pukliny, poruchy a škáry v horninách a zvyšuje sa tým ich nepriepustnosť a pevnosť. Injektáž prebieha po etapách priamo do nezabudovaných vrstiev. Pri injektáži sa tlakovo vyplnia cementovou, ílovo cementovou alebo chemickou zmesou póry nesúdržnej horniny, a tým sa umelo zvyšuje jej pevnosť a vodotesnosť. Vykonáva sa cez plastové alebo oceľové rúrky osadené do vrstiev (<http://www.injekta.sk/injektaze.html>).

Odvodňovanie **elektroosmózou** je blízke svojim účinkom hĺbkovému odvodňovaniu, líši sa však tým, že voda neprúdi k drenážnemu systému len gravitáciou, ale účinkom elektrického poľa. Ak sa vsadí do zeminy anóda a katóda, putujú častice vody vplyvom jednosmerného prúdu od anódy ku katóde, kde sa čerpá voda zo svahu. Výhodou tejto metódy je trvanlivosť dosiahnutého spevnenia. Nevýhodou je zložitý a časovo náročný technologický postup a nemožnosť použitia u jemných pieskov. Tento spôsob sa v súčasnosti veľmi nevyužíva.

Tepelné spevňovanie zemín, ako metóda spevňovania spraší, je založená na pôsobení vysokej teploty na zemínu, z ktorej sa odstraňuje voda z pórov. Zemina sa takto vysušuje a neskôr dochádza k chemickým zmenám vo vnútri častíc, až k ich nataveniu a spojeniu. Výsledkom tepelného upevňovania zeminy je vznik keramickej hmoty s podstatne priaznivejšími vlastnosťami. Spevňovanie vypaľovaním sa robí tak, že sa zohriaty vzduch vháňa do vrtu, alebo sa palivo spaľuje priamo vo vrte. V okolí vrtu sa vytvorí valec spevnenej zeminy s priemerom cca 2 - 3 m. Teplota pre tepelné spevňovanie spraší je okolo 800 °C.

9 Strže

Strže sú terénne ryhy, vzniknuté vymieľaním tečúcou vodou, s veľmi malým povodím, veľkým sklonom a výraznou eróziou dna a svahov. Na vytvorenie strže je potrebná unášacia sila tečúcej vody, ktorá sústredená v terénnej priehlbine, narušuje súdržnosť pôdných vrstiev. Ide o priehlbiny, ktoré obvykle sledujú sklon terénu, vznikajúce eróznou činnosťou sústredeného povrchového odtoku vody.

Strže sú prevažne suché zemné zárezy, ktoré sa však za dažďových prívalov nebezpečne rozvodňujú. Pritom dochádza k vymieľaniu dna, zosúvaniu svahov a k mohutnej výrobe splavenín, ktoré sa usadzujú pri ústí strže v tvare kužeľovitého nánosu.

Väčšiu časť roka sú obvykle suché, príp. s minimálnym prietokom vody a len v čase dlhotrvajúcich, príp. lejakových dažďov a za náhleho topenia hrubších vrstiev snehu sa prietoky v nich zväčšujú. Pri prietoku vody cez strž dochádza k prehĺbovaniu dna, čím sa podomieľajú svahy, ktoré sa neskôr zosúvajú.

Na južných svahoch je výskyt strží častejší ako na severných, kde má vegetácia lepšie podmienky pre rast a vývoj.

V závislosti od geologickej skladby územia môžeme rozdeliť strže na:

- **zemné**, ktoré vznikajú v hlinitopiesočnatom území,
- **sprašové** sa vyskytujú v jemných sedimentárnych útvaroch so strmými nestabilnými stenami a obvykle bývajú suché,
- **suťové**, ktoré vznikajú v hlinito-kamenitom území,
- **skalné** vznikajú účinkom vodnej erózie v skalnatom teréne, kde vplyvom zvetrávania málo odolných hornín vzniká jemný suťový materiál.

Strže v sprašových útvaroch by bolo možné zaradiť medzi zemné strže, kam z geologického hľadiska aj patria. Pokiaľ však ide o spôsob hradenia strží, prejavujú sprašové zeminy tak odlišné vlastnosti od iných hlinitých zemín, že je potrebné sprašové strže zaradiť do samostatnej skupiny.

Podľa toho, či v nich prúdi alebo neprúdi voda, ide o:

- strže suché,
- prevažne suché,
- strže, ktorými stále preteká voda.

Začiatkom vzniku strže je ryha, ktorá sa zväčšovaním mení na výmoľ a ten potom na strž. Každá strž sa skladá z 3 častí, a to:

- hlava strže,
- koryto,
- sutinový (nánosový) kužeľ.

Voda vtekajúca do hlavy strže spôsobuje jej zarezávanie do terénu. Takto vzniká tzv. spätná erózia, pri ktorej sa strž predlžuje v smere proti sklonu územia, pričom môže dochádzať aj k jej rozvetvovaniu. Prehĺbovaním dna strže sa začína podomieľat' úpätie bočných svahov, ktoré sa zosúvajú a strž sa rozširuje. Materiál vyerodovaný z dna a zo svahov sa dopravuje korytom do dolnej časti toku, kde pri poklese pozdĺžneho sklonu sa ukladá v sutinovom kuželi.

Strže sa vyskytujú nielen v horských oblastiach, ale aj v pahorkatinách a mierne zvlnených rovinách.

9.1 Škodlivosť strže

Škodlivosť strže môžeme posudzovať na základe straty produktívnej pôdy, ktorá vzniká odnášaním zeminy a porastov z oblasti poľnohospodárskej výroby. Škodlivosť je tým väčšia, čím produktívnejšia je oblasť, v ktorej vznikla.

Strž, prípadne výmol' pôsobí ako odvodňovacia ryha, ktorá znižuje hladinu podzemnej vody, čím dochádza k presychaniu pôdy a k znižovaniu úrovne dosahu kapilárnej vody do účinných vrstiev pôdy poľnohospodárskej, príp. lesných porastov. Odvodňovací účinok stržových útvarov pôsobí mimoriadne nepriaznivo na vodné zásoby v pramenných oblastiach, kde zdroje podzemnej vody sú mimoriadne dôležité pre hospodárenie s vodou.

Najlepším prostriedkom proti tvorbe strží je dobrý stromový a porastový kryt na miestach, ktoré sú ohrozované vodnou eróziou sústredeného povrchového odtoku.

9.2 Stabilizácia strže

Pred návrhom zahrádzania strže je potrebné poznať príčinu jej vzniku a posúdiť, či na eliminovanie škodlivosti strže nestačí odstránenie tejto príčiny. Najčastejšou príčinou vzniku a zväčšovania sa strže je občasne (po intenzívnych alebo dlhodobých zrážkach) povrchovo odtekajúca voda.

Pri zahrádzaní strží sa kombinujú biologické, biotechnické a technické opatrenia na jej dne a svahoch. Nad stržou je nevyhnutné odviezť alebo rozptýliť sústredený odtok povrchovej vody. Na tento účel sa používajú otvorené odvodňovacie záchytné priekopy a zemné hrádzky, ktoré sú umiestnené nad hornou časťou strže.

Hlavné kritéria určenia stability (kontroly) strže sú veľkosť a sklon strže, materiál, v ktorom strž vzniká, vegetácia v dne a okolitých svahoch strže, špičkový prietok vytváraný návrhovým dažďom a dostupnosťou finančných prostriedkov.

Stabilizácia strže je spojená s komplexnou premenou tvaru strže s väčším presunom zemných hmôt, získaných úpravou svahov do odpovedajúceho sklonu.

Pri stabilizácii je potrebné:

- zaistiť dno strže proti ďalšiemu prehlbovaniu a tvorbe splavenín,
- stabilizovať svahy a zabrániť ich zosuvu,
- zabezpečiť odolnosť územia proti vzniku strží.

9.2.1 Zabezpečenie dna a zhlavia strže

Dno zabezpečujeme podobným spôsobom ako pri bystrinách. Týmto sledujeme hlavne zastavenie hlbkej erózie. Využívame dláždenie alebo stupňovanie dna.

Hlbšie strže so stálou vodou stupňujeme drevenými, kamennými alebo betónovými stupňami, a tým zabráňujeme ďalšiemu prehlbovaniu dna. Výška stupňov je menšia ako pri bystrinách a riadi sa sklonom dna.

Výmole a strže s nevyvinutým dnom stabilizujeme tak, že ich v určitých vzdialenostiach priečne prehradíme. Tým ich odstupňujeme a zmiernime sklon a eróznny účinok vody sa obmedzí len na miesta prehrádzok patrične upravených pre prepad vody.

Pri veľkých sklonoch dna strže je výhodnejšie spevniť dno kamennou dlažbou na sucho alebo na cementovú maltu. Zároveň môžeme spevniť aj päť svahu.

V suchých stržiach, ktoré sa len občas rozvodňujú môžeme použiť drevené zruby, príp. drôtokamenné objekty.

Pri súčasnom zachytení väčšieho množstva splavenín alebo zdvihnutí dna používame prehrádzky, ktoré majú podchytiť a zaistiť svahy strže proti eventuálnemu zosuvu. V tomto prípade sa dno strže zvlášť nespevňuje. Vzďialenosť prehrádzok volíme tak, aby sklon nivelety nánosov zodpovedal rovnovážnemu sklonu, ktorý charakterizuje odtok čistej vody. Tento sklon je len asi 0,5 - 1 % a vyžadoval by preto pri stržiach s vysokým sklonom veľký počet nízkych prehrádzok. V tomto prípade tiež postupujeme etapovo tak, že sa dno najprv odstupňuje prehrádzkami aspoň na vyrovnaný sklon hodnoty 5 - 10 %, a potom rovnovážny sklon zabezpečíme radom druhotných (sekundárnych) prehrádzok. Tento spôsob je obvyklý najmä pri hradení bystrín (Obr. 11.3, str. 115).

V nehlbokých výmoľoch s malým pozdĺžnym sklonom a malým prietokom môžeme budovať **zemné hrádzky** vysoké 0,2 - 0,6 m z dobre zhutnenej zeminy, so sklonom návodného svahu 1 : 3, na vzdušnej strane 1 : 4. Svahy aj koruna je zatrávnená. Hrádzky sú zviazané do bokov výmoľa vo výške 0,15 - 0,3 m nad hladinou najvyšších vodných stavov.

Pevnejšie sú **kamenné prehrádzky** stavané ako kamenná rovnanina vystužená v päte pilótami. Pri veľkej rýchlosti vody sa koruna prehrádzky pokryje kamennými doskami spojenými železnými skobami. Pri malej šírke výmoľa sa osvedčili aj drevené prehrádzky skladajúce sa z fošien alebo guľatiny zachytených pilótami. Návodnú stranu môžeme zosilniť násypom štrkovej drte.

Veľmi vhodným spôsobom sú **zápletové prehrádzky** (príp. plôtikové prehrádzky) budované ako plôtiky z vrbového prútia. Nízke plôtiky s výškou 0,3 - 0,6 m sa skladajú z kolov s priemerom 80 - 100 mm z čerstvých zelených vetví zarazených do zeme 30 - 40 mm, ktoré sa potom vypletú vrbovým prútiom tak, aby prútená stena siahala 0,2 - 0,3 m do zeme.

Pri vyšších zápletových prehrádzkach vysokých 1 - 1,5 m tvoria kostru plôtiku vedúce pilóty s priemerom 150 mm a dĺžkou 2 - 3 m. Tie sú vo vzdialenostiach po 1 m zabaranené najmenej 1 m do zeme, v skalnatom podloží osadené a zaklinované štrkom do vyvrtaných otvorov a na vrchole spojené trámovou haluzinou. Pri očakávaní väčšieho tlaku sa haluzina ešte zachytí zemnými kotvami. Pozornosť treba venovať spojeniu plôtika s úbočím. Spádisko opevníme haťovým krytom alebo kamennou dlažbou, zakončenou záhodzom alebo rovnaninou z kameňa.

Pri zvlášť exponovaných miestach ale i pri dostatku kameňa budujeme murované prehrádzky. Kombináciou kameňa a dreva sú prehrádzky zrubové, ktoré sa používajú aj pri stabilizácii zosuvov (kap. 8.1.6).

Pri hradení stržových území alebo pri menších stržiach používame **garnisáž** - strž sa v smere toku vyplní haluzinou, silnejším koncom zapusteným do dna, tenší koniec sa ohne proti smeru prúdu - znižuje rýchlosť prúdiacej vody, dochádza k ukladaniu splavenín, spevňuje a rozširuje sa koryto, vytvára sa priestor pre náletové dreviny a oživenie strže drevinami.

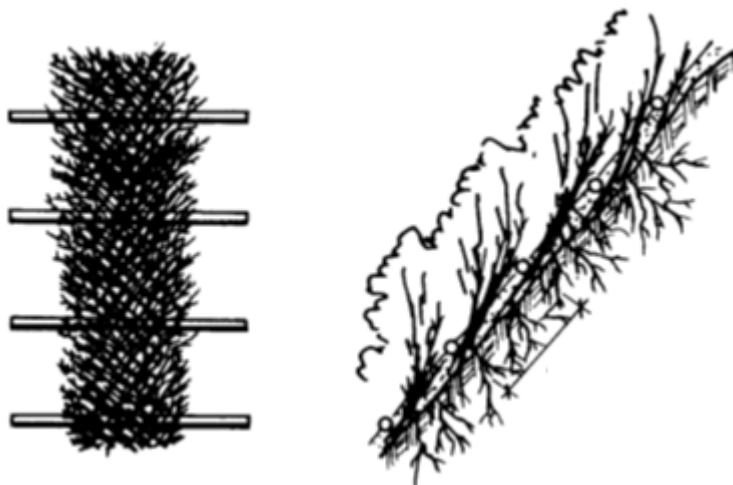
Súčasne s úpravou dna strže je potrebné upraviť zhlavie strže, aby zrážkové vody nevtekali sústredeným prepadom priamo do strže a jej zhlavie sa ďalej nezarezávalo do svahu. Zhlavie strže je možné chrániť tiež záchytnou priekopou vedenou po obvode, ktorá sa vyústi do strže bočným sklzom.

9.2.2 Zabezpečenie svahov

Konečnou prácou pri zaistovaní výmoľov a strží je upevňovanie porušených svahov, prevedené tak, aby sa zabránilo ich ďalšiemu podomieľaniu a zosúvaniu. Dobré sa tu osvedčili tzv. oživené stavby, ako sú jednoduché alebo dvojité plôtiky, haťové ploty alebo oživené kamenné rovnaniny, ktoré popisujeme v predchádzajúcich kapitolách.

Pri voľbe spôsobu svahového upevnenia, je potrebné dbať na miestne podmienky, hlavne na zloženie pôdy svahu, povahu horninového podkladu a stupeň jeho zvetrávania, sklon svahu, expozíciu, nadmorskú výšku a pod. Veľmi účinné a trvalé upevnenie poskytuje zatrávenie svahov, ktoré je možné pokiaľ svah nie je zložený z pôdy príliš pohyblivej alebo silne premiešanej hrubým kamením. Podľa potreby sa zatrávenie kombinuje s inými upevňovacími spôsobmi, hlavne zápletmi.

Obdobne ako sa zaisťuje dno strže sa zaisťujú aj svahy územia, ktoré síce nie sú stržovito rozdelené, ale boli zbavené ochrannej pokrývky, takže obnažená zemina sa rozpadáva a je odnášaná do dolín. Po podchytení päty svahu jednoduchým spevnením sa pokryje celá plocha raždím (haluzinou), ktorá sa pritlačí k zemi vodorovne položenými tyčami, pripevnenými na kolíky zarazené do zeme. Namiesto tyčí môžeme použiť 2 - 3 mm drôt, ktorý sa pripevní na hlavy kolíkov. Týmto opatrením je obnažená pôda proti ďalším deštrukčným poveternostným vplyvom dostatočne zaistená, viac sa nedrví a môže sa pristúpiť k jamkovej sadbe drevín. Raždie dobre tieni a udržuje vlahu, takže sa postupom času dostaví tiež trávnatá pokrývka a celá plocha oživne. Toto opatrenie sa nazýva **klejonáž** (Obr. 9.1). Klejonáž sa používa na zalesňovanie strmých svahov, zosuvných svahov a na plochách, ktorých sklon ešte nezodpovedá uhlu prirodzenej sklonitosti príslušnej pôdy. Hodí sa pre všetky pôdy, ktoré nie je možné priamo zalesňovať.



Obr. 9.1 Klejonáž (Donat, 1995)

Protí zosúvaniu svahov hlbokých strží sa najlepšie osvedčili prehrádzky murované, zrubové alebo drôtokamenné. Ich výška sa riadi podľa toho, ako vysoko chceme zdvihnúť dno. Pri menej hlbokých stržiach postačujú stupne.

Prehrádzky sa zakladajú buď ojedinele alebo v súvislých systémoch. Ojedinelé prehrádzky budujeme v miestach, kde je produkcia horninového materiálu rozdelená len na menšie, nesúvislé úseky. V miestach, kde pozdĺžna a priečna erózia zaberá rozsiahlejšie súvislé plochy, budujeme prehrádzky systematicky.

Vysoké prehrádzky sú na miestach, kde vývoj erózie je mohutný a prínos materiálu zhora aj zo strany je významný a nízke prehrádzky by nepôsobili dostatočne, ani keby boli založené viaceré za sebou. V porovnaní s nízkymi prehrádzkami sú výhodnejšie značným nádržným priestorom a znížením odtoku vody, ale nevýhodné pre vyššie stavebné a udržiavacie náklady.

Nízkymi, ale častejšími prehrádzkami, dosiahneme menší nádržný priestor, ale chráni sa rovnomernejšie dno pred pozdĺžnou eróziou, aj svahy pred eróziou priečnou, nakoľko sa nimi lepšie vedie prúd vody určitým smerom. Do tejto skupiny patrí aj systém umelo zasypaných pletív alebo iných vegetačných prehrádzok (v suchých stržiach).

Niekedy sa kombinujú nízke prehrádzky s vysokými. Zvyčajne sa začne s prehrádzkami vyššími a tie sú nasledované prehrádzkami nižšími. Vyššie prehrádzky slúžia na zachytenie primárnych splavenín vo vyšších polohách, kedy je ich množstvo značné.

Samotné prehrádzky nepostačujú k úplnému spomaleniu až zastaveniu tvorby strže. Je potrebné doplniť ich vhodnou vegetáciou, pre ktorú je potrebné upraviť svahy do uhlu prirodzenej sklonitosti. Pokiaľ ide o svahy s menej súdržnou zeminou, pred osadením ich stabilizujeme nízkymi pozdĺžnymi plôtikmi zo živého materiálu v priebežných radoch alebo v radoch striedavo prerušovaných.

Ustálením dna strže a podchytením jej úbočia môžeme dosiahnuť upokojenie svahov a ich povrch sa upevňuje vhodným spôsobom, ako je terasovanie, mačkovanie, osiatie, zalesnenie a pod.

9.3 Postup pri hradení strží

Pre hradenie strží je potrebné rozoznávať najmä 2 druhy strží, a to strže, v ktorých je stály prietok vody a strže počas celého roku suché a len počas veľkých dažďových prívalov sa rozvodňujú.

Strže so stálou vodou sa upravujú podľa zásad platných pre hradenie bystrín. Úprava suchých alebo prevažne suchých strží sa riadi podľa materiálu, v ktorom boli vytvorené.

Pri návrhu počtu prehrádzok v riešenom území môžeme vychádzať z viacerých výpočtov. Najjednoduchší z nich uvádza, že pri danom sklone dna (I , -) je ideálna vzdialenosť medzi prehrádzkami funkciou jej výšky (H_p), teda vzdialenosť (L) vypočítame:

$$L = \frac{H_p}{I} \quad (\text{m}) \quad (9.1)$$

To znamená, že čím strmší je sklon dna, tým bližšie budú prehrádzky pri sebe. Daná rovnica je založená na pravidle, že vzdialenosť medzi prehrádzkami je rovná vzdialenosti päty vyššie položenej prehrádzky a koruny nižšie položenej prehrádzky (Obr. 11.1).

Ďalší možný výpočet je založený na pôvodnom sklone dna a výške prehrádzky:

$$L = \frac{H_p}{K \cdot I \cdot \cos \beta} \quad (\text{m}) \quad (9.2)$$

kde: K - empirický koeficient pre lokálne podmienky (-),

β - uhol odpovedajúci sklonu dna ($^\circ$),

I - pôvodný sklon dna (-) uvádzaný ako $\tan \beta$.

Táto rovnica je založená na predpoklade, že sklon ukladania sedimentov nad prehrádzkou je $[(1 - K) \cdot I]$, pričom K môže mať 2 hodnoty, a to:

- $K = 0,3$ pre $I \leq 0,2$,
- $K = 0,5$ pre $I > 0,2$.

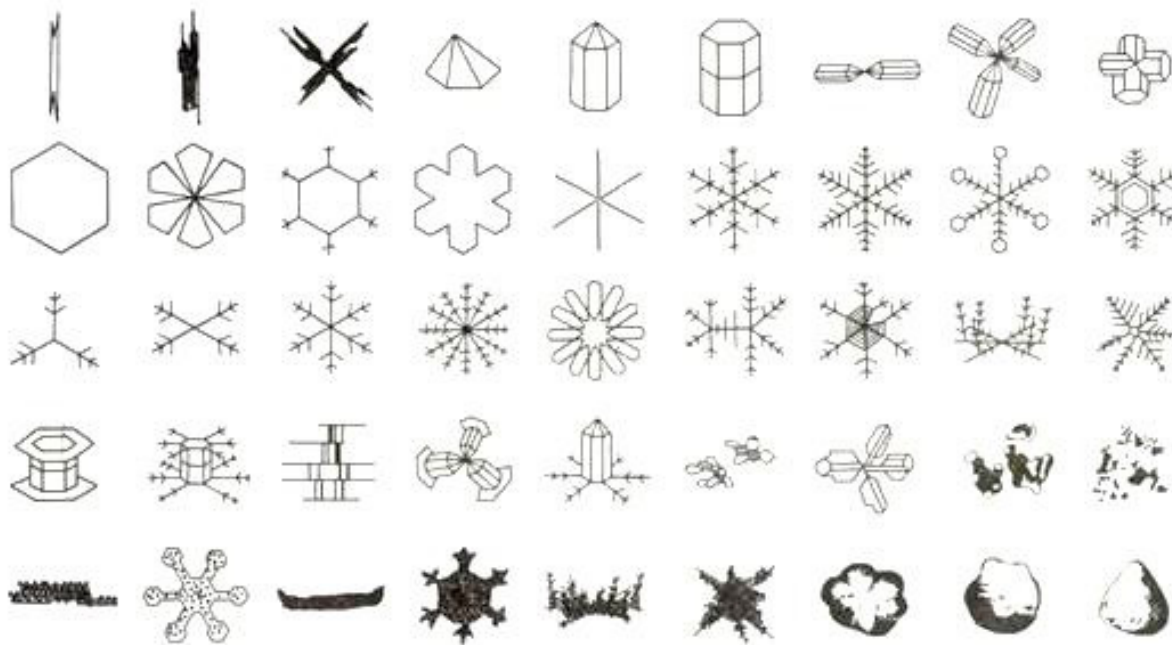
V tomto prípade je každá prehrádzka postavená na predpokladanom konci ukladania sedimentov zachytených nižšie postavenou prehrádzkou. Vzdialenosti klesajú s nárastom sklonu dna a narastajú s výškou prehrádzky. Nie je ekonomické budovať vyššie postavenú prehrádzku s päťou v tej istej výške ako je koruna nižšie postavenej prehrádzky.

10 Snehové pomery a protilavínová ochrana

Ochladením na teplotu rosného bodu zrážajú sa v nasýtenom ovzduší vodné pary v kvapôčky a pri teplote pod bod mrazu v šesťhranné snehové kryštáliky. Sneženie prebieha pri teplotách +4 až -11 °C.

Sneh sa cez zimu na zemskom povrchu ukladá postupne v rozlične hrubých vrstvách. Jeho pôvodné vlastnosti sa menia, a to topením za odmäku, odparovaním a znovu kryštalizovaním, pôsobením vetra a pod tlakom vlastnej váhy.

Pri snežení sa sneh ukladá so značným obsahom vzduchu, preto má malú mernú váhu. Postupom času vrstva snehu sadá pod vlastnou váhou a váhou pripadnutého snehu. Zhusťovaniu výdatne napomáhajú aj iné rozličné fyzikálne zmeny, takže objemová váha snehu značne stúpa.

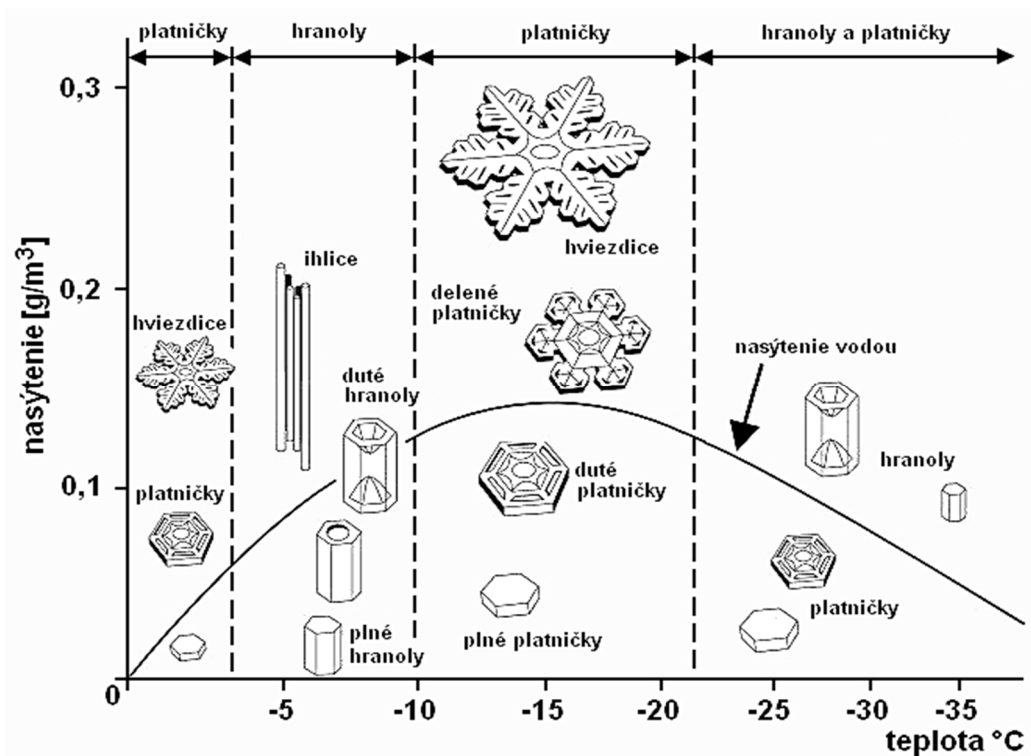


Obr. 10.1 Rôzne formy a tvary snehových kryštálikov (www.laviny.sk)

Vplyvom poveternostných podmienok na zemský povrch dopadá sneh v rôznej forme a tvaroch (Obr. 10.1 a Obr. 10.2). Taktiež v priebehu času dochádza k zmene napadnutého snehu na iný druh snehu. V praxi rozoznávame nasledujúce druhy snehu:

- nový sneh - sneh, ktorý padá alebo je čerstvo napadaný; je veľmi pórovitý a veľmi ľahký; tvorí základ prachových lavín,
- páperový sneh - skladá sa z veľkých šesťuholníkových vločiek; je suchý a veľmi ľahký, súdržnosť medzi vločkami je malá; vyskytuje sa pri nízkych teplotách,
- prachový sneh - vzniká pri teplotách -3 až -10 °C; je suchý a kyprý, skladá sa z menších kryštálikov ako páperový,
- ubitý sneh - vzniká účinkom mechanického tlaku vetra, príp. sadnutím snehových vrstiev,
- starý sneh - časť snehovej pokrývky, ktorá v protiklade k novému snehu bola uložená v prechádzajúcich zrážkových periódach, nemá pôvodnú štruktúru,
- plstnatý sneh - k zmene snehových zrn dochádza vplyvom silových účinkov vetra; je základom doskových lavín,
- okrúhle zrná - zaokrúhlené zrná, ktoré sú osamotené; prejavuje sa aj vplyv teploty; najmenšie snehové zrná; pre svoju schopnosť spájať sa prispieva k väčšej stabilite profilu,

- hranaté zrná - ešte plné zrná, ale väčšinou s rovnými plochami; vzniká pri vysokom teplotnom gradiente pri veľkých mrazoch, hlavne na severných svahoch; nazýva sa pohyblivý sneh,
- dutinová inovať - tvorí sa vo vnútri snehovej pokrývky; duté tvary snehových zrn s rovnými plochami a ostrými hranami; je to veľmi nestabilná snehová vrstva,
- povrchová inovať - tvoria je transparentné ploché ľadové kryštály; vzniká za chladných nocí na povrchu snehovej pokrývky kondenzáciou vodných pár na chladnom povrchu snehovej pokrývky; pri jej zasnežení, sa môže nachádzať aj vo vnútri snehovej pokrývky a tvoriť nestabilnú vrstvu,
- firn - veľké okrúhle zrná, vzniknuté pri procese firnovatenia snehu (striedanie kladných a záporných teplôt); silne premenený a zhustený sneh topením a opätovným zamrznutím, a tiež tlakom nadložných snehových mäs,
- ľadová vrstva - vzniká na povrchu snehovej pokrývky, ak slnko roztopí jej povrch a v noci zamrzne; hrúbka závisí na dĺžke a intenzite slnečného žiarenia,
- krúпка - zvláštna forma nového snehu; okrúhle snehové zrná, vzniknuté v atmosfére namázaním vodných kvapiek,
- premočený sneh - má teplotu 0 °C; voda je viditeľná a dá sa vytlačiť,
- prevlhnutý sneh - má teplotu okolo 0 °C, voda sa nedá vytlačiť.



Obr. 10.2 Rôzne formy a tvary snehových kryštálikov v závislosti od teploty a nasýtenia (www.laviny.sk)

10.1 Lavíny

Napadaný kyprý nový sneh sa pod vlastnou váhou postupne usadzuje, zmenšovaním objemu nadobúda väčšiu hustotu. Okrem tejto zmeny stavu snehu sa neustále po svahu zosúva snehová pokrývka plazivým pohybom niekoľko mm až dm za deň. Zmiernením trenia medzi povrchom pôdy a snehovou vrstvou alebo na strmších úsekoch svahu sa môže pomalý plazivý pohyb zrýchliť na pohyb kĺzavý.

Na svahoch nahromadený sneh sa udrží v pokoji podľa známej rovnice rovnováhy telesa na naklonenej rovine $Q \cdot \sin \alpha = Q \cdot f \cdot \cos \alpha$. Akonáhle zložka sily nadobudne prevahu nad zložkou odporu, sneh sa začne pohybovať. Snehové vrstvy, spočiatku často iba malých rozmerov, strhávajú do pohybu nižšie uložený sneh

v stále väčšom rozsahu, čím sa pohyb pribúdajúceho snehového množstva očividne zrýchľuje, aby sa napokon vytvorila lavína.

Lavína je rýchly pohyb snehových más s objemom viac ako 100 m³ a dĺžke viac ako 50 m. Pri kratšej dĺžke hovoríme o lavínovom splaze. Plazenie snehu sú pomalé pohyby snehovej pokrývky dole svahom (niekoľko milimetrov až metrov za deň), podporené hladkým (dlhá tráva, skalné platne) a mokrým podkladom. Môžu vzniknúť pukliny plaziaceho sa snehu alebo rybie papule (papule plaziaceho snehu, Obr. 10.3).

Lavínovú dráhu popisuje tvar dráhy, jej rozmerové parametre a typ pohybu snehových más. Podľa dosahu, škôd a objemu rozoznávame lavínový splaz, malú, strednú a veľkú lavínu (Tab. 10.1).

Tab. 10.1 Druhy lavín podľa veľkosti (Kořízek, 2004)

Veľkosť	Dosah	Škody	Objem a dráha
Splaz	zosuv snehu bez nebezpečenstva zasypania	pre osoby relatívne bezpečné	dĺžka dráhy < 50 m objem < 100 m ³
Malá lavína	zastaví sa aj na strmom svahu	môže zasypať osoby, zraniť ich alebo usmrtiť	dĺžka dráhy < 100 m objem < 1 000 m ³
Stredná lavína	dosiahne úpätie strmého svahu	môže zasypať a zničiť osobné autá, poškodiť nákladné autá, zničiť malé budovy, lámať jednotlivé stromy	dĺžka dráhy < 1 000 m objem < 10 000 m ³
Veľká lavína	zastaví sa ďalej ako 50 m od úpätia svahu, môže zasiahnuť údolie	môže zasypať a zničiť nákladné autá a koľajové vozidlá, zničiť veľké budovy a les	dĺžka dráhy > 1 000 m objem > 10 000 m ³

Príčinou uvoľnenia lavíny môže byť:

- zvýšenie napätia - prírastkom nového snehu, zaťažením človekom, zverou, výbuchom atď.,
- zníženie pevnosti snehovej pokrývky - premenou snehových zrn, zvlášť tvorbou pohyblivého snehu a premenou topením pri silnom oteplení alebo daždi.



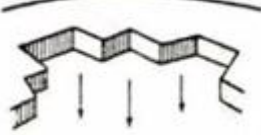




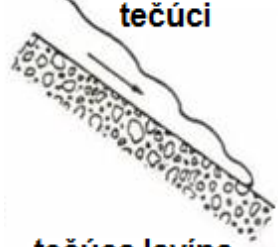
Obr. 10.3 Trhliny v snehu (rybie papule)

Dráha lavín sa člení na 3 úseky, a to:

- pásmo odtrhu - miesto, v ktorom sa pohyb lavíny začína - kritické miesto najväčšieho ťahového napätia v snehovej pokrývke, pričom rozoznávame:
 - bodový odtrh - vznik pohybu na veľmi malom mieste (bode), ktorý sa smerom nadol kužeľovito rozširuje,

- čiarový odtrh - predstavuje kl'ukatú, ostrohrannú čiaru, pričom rovina zlomu je kolmá na spádnicu svahu;
- transportné pásmo (trať lavíniska) - priestor medzi odtrhom až po miesto spomalenia a zastavenia pohybu snehu, tvorí sa zreteľná lavínová dráha;
- pásmo odnosu (čelo lavíny) - úsek, v ktorom sa snehové masy zastavia a vytvoria čelo lavíny; hlavné charakteristiky tohto pásma sú výška čela lavíny a objem lavíny.

Tab. 10.2 Rozdelenie lavín podľa rôznych ukazovateľov (upravené podľa www.laviny.sk)

Ukazovateľ	Druh lavíny	
tvár odtrhu	<p>čiarový odtrh</p>  <p>dosková lavína</p>	<p>bodový odtrh</p>  <p>lavína z voľného snehu</p>
poloha klznej plochy	 <p>povrchová lavína</p>	 <p>základová lavína</p>
forma pohybu	<p>turbulentný</p>  <p>prachová lavína</p>	<p>kízavý, tečúci</p>  <p>tečúca lavína</p>
tvár dráhy (priečný profil)	plošná lavína	žľabová lavína

V závislosti od rôznych ukazovateľov (Tab. 10.2) rozoznávame nasledujúce druhy lavín:

- lavína z voľného snehu - lavína (suchá alebo mokrá), ktorá začína v jednom bode a rozširuje sa v typickom hruškovitom tvare,
- mokrá lavína - lavína z mokrého snehu; tečie väčšinou pomalšie ako suchá lavína, a preto má kratšiu výbehovú dráhu; vzhľadom na svoju väčšiu hustotu pôsobí na prekážky veľkou silou,
- povrchová lavína - lavína, ktorá sa v pásme odtrhu pohybuje po snehovej vrstve,
- základná lavína - lavína, ktorá sa v odtrhovom území pohybuje po povrchu (pôda, skala, vegetácia a pod.),
- podľa tvaru - údolné (veľká lavína, ktorá dosiahne dno doliny) a plošné (postupuje po rovnej sklonitej ploche),

- prachová lavína - lavína z jemne zrnitého suchého snehu, ktorú tvorí zmes ľadu a vzduchu, čiastočne alebo úplne sa oddelí od pôdy a vyvinie veľký oblak snehového prachu; dosahuje rýchlosti 100 - 300 km.h⁻¹,
- dosková lavína - lavína, ktorá vznikla odtrhnutím snehovej dosky; je charakteristická čiarovým, priečne ku svahu prebiehajúcim odtrhom; dosahuje rýchlosti 25 - 36 km.h⁻¹,
- tečúca lavína - lavína, ktorej pohyb na podklade je oproti prachovej lavíne prevažne tečúci a kĺzavý,
- zemitá lavína - ťažká, mokrá jarná lavína, ktorá na svojej dráhe miestami strháva pôdny povrch, a preto je často zmiešaná so zemou a sutinou.

10.1.1 Faktory vzniku lavín

Na vznik lavíny vplýva niekoľko faktorov. Môžeme ich rozdeliť do 4 skupín, a to:

- topografické faktory - reliéf, sklon, expozícia, členitosť,
- meteorologické faktory - teplota, vietor, slnečný svit, zrážky,
- snehové podmienky - zloženie snehovej pokrývky, množstvo snehu, druh snehu,
- pôdny kryt.

Na svahoch so sklonom do 17° vznikajú lavíny len výnimočne. Lavínové svahy v našich podmienkach majú najčastejšie sklon odtrhového územia 28° až 45°, najkritickejšia oblasť je 35° až 45°. Sklony nad 45° nedovoľujú akumuláciu, pretože sneh sa zosúva v priebehu sneženia pod steny. Na svahoch strmších ako 45° sú časté zosuvy kyprého snehu, ktoré samy osebe nebývajú nebezpečné, ale ich hmotou sa preťažuje snehová pokrývka v nižších, miernejších polohách, čo má za následok vznik plošných lavín z doskovitého, tam uloženého snehu.

Žľaby, muldy a kotly sú najčastejšie miesta lavínových dráh. Terénne nerovnosti ako hrebene, plecia, hlavy, terasy pôsobia stabilizujúco na snehovú pokrývku.

S povrchom terénu aktuálnych lavínových svahov by sme sa mali zoznámiť ešte v období bez snehovej pokrývky. Hladké skalné platne a svahy, pokryté dlhou uľahnutou trávou sú ideálne sklzné plochy pre lavíny. Na kosených a spásaných lúkach padajú základové lavíny menej často, ako na neobhospodarovaných pasienkoch. Hrubé skalné sute, zlomiská, svahy s vyčnievajúcimi balvanmi a zarastené ostrovčekmi kosodreviny sú menej náchylné na vznik lavín, pokiaľ nie sú úplne zaviate snehom. Malé skupiny stromov nad hornou hranicou lesa pôsobia ako opora snehovej pokrývky. Najlepšou ochranou pred lavínami je hustý, zapojený ihličnatý les s dobre vyvinutým podrastom.

Orientácia svahu (expozícia) má význam v polohe svahu voči slnečnému žiareniu a smeru vetra. Na tienistých svahoch sa snehová pokrývka pomalšie stabilizuje, sú na nich lepšie podmienky pre vznik povrchovej a dutinovej inovati.

Vplyv vetra na ukladanie snehu je potrebné posudzovať v súvislosti s terénnou konfiguráciou a expozíciou. Vyvýšené miesta (chrby, útesy) sú v období bohatom na sneh takmer bez snehovej pokrývky, zatiaľ preliačiny, žľaby a plošiny sú snehom pokryté už na začiatku zimných mesiacov.

Vzdušné prúdy strhávajú suchý sypký sneh do pohybu a unášajú ho, za podobných zákonitostí ako tečúca voda splaveniny, často aj na veľké vzdialenosti. V horách suchý sneh z náveterných svahov odnáša vietor, aby ho na záveternej strane uložil ako náveje, záveje alebo pod ostrým hrebeňom ako preveje, previsy. Všeobecne sa vetrom unášaný sneh ukladá ako snehové podušky. Vietor a tvar terénu sú preto rozhodujúcim činiteľom pre odnášanie a hromadenie snehu a majú smerodajný vplyv na tvorenie lavín.

Pôsobením slnka, vyššej teploty alebo dažďa sa roztopí vrchná vrstva snehu a neskôr vplyvom ochladenia zamrzne, a tak vznikne ľadová vrstva, po ktorej sa môže zosúvať čerstvo napadnutý sneh.

Počas chladných, bezveterných a jasných nocí vzniká povrchová inovat'. Vodné pary obsiahnuté vo vzduchu pri styku so studeným snehom sublimujú (kryštalizujú) formou povrchovej inovati a pri ďalšom snežení

nový sneh zakryje tieto vrstvy, ale sa s nimi nespojí a zosúva sa po nich. Najnebezpečnejšie a najmenej súdržné vrstvy tvorí pohyblivý sneh a dutinová inovat'. Tieto vznikajú konštruktívnou metamorfózou a môžu ostať v snehovej pokrývke celú zimu, lebo hranatozrné kryštály majú dlhú životnosť a len pomaly z nich vznikajú okrúhlozrné kryštály. Pri dostatočnom zaťažení sa kryštáliky porušia a vytvoria šmykovú plochu.

10.2 Opatrenia proti lavínam

Vo vysokohorských územiach sa zabezpečuje ochrana proti lavínam. Je nevyhnutná evidencia lavínových dráh, výskytu a opakovania lavín a zabezpečovanie praktických protilavínových opatrení. Môže ísť o biologické opatrenia (zalesňovanie miest odtrhu lavín, zvyšovanie hornej hranice lesa, pestovateľské zásahy v lesných porastoch a pod.) alebo sa môžu používať aj technické opatrenia (závejové, podperové, brzdiace, zádržné a usmerňovacie) podľa konkrétnych podmienok povodia. Mimoriadne výhodné sú kombinácie biologických a technických opatrení.

V odôvodnených prípadoch ako preventívnu ochranu zdravia a životov ľudí a prevenciu pred predpokladaným vznikom lavín s väčšími devastáčnymi účinkami je potrebné zabezpečiť a vykonať umelé uvoľňovanie lavín. Na umelé uvoľňovanie lavín sa používajú rôzne technické systémy a výbušniny. Umelé uvoľňovanie lavín pomocou výbušnín môžu vykonávať len špeciálne vyškolené osoby s odbornou spôsobilosťou. Počas procesu umelého uvoľňovania lavín sa musia dodržať všetky bezpečnostné opatrenia.

Výber druhu protilavínových opatrení určuje najmä predpokladaná výška snehu, miesto vzniku a druh lavín, terénny reliéf, ktorý je charakterizovaný sklonom, dĺžkou, drsnosťou, tvarom svahu, expozíciou a nadmorskou výškou.

Vzhľadom na to, že energia lavín je obrovská, nie je možné bežnými spôsobmi zamedziť ich účinkom v priebehu ich spadnutia, z toho dôvodu je potrebné sa zamerať na preventívne zásahy. Patria k nim:

- zákaz výstavby objektov v ohrozených oblastiach,
- čiastočná alebo úplná evakuácia ohrozených oblastí,
- umelé spúšťanie lavín,
- zalesňovanie a správne obhospodarovanie ohrozených oblastí,
- umelé technické zásahy v oblasti odtrhu lavín nad hornou hranicou lesa.

10.2.1 Biologické opatrenia

Najistejšiu ochranu proti lavínam poskytuje starší, racionálne obhospodarovaný, nerovnoveký, zmiešaný les primeraného zakmenenia, v ktorom sa snehová pokrývka neukladá rovnomerne, bráni prenášanému napadnutého snehu vetrom a súčasne aj vzniku lavín. K stabilite snehovej pokrývky v nemalej miere prispievajú aj nad hranicou súvislého lesa sa nachádzajúce hlúčky, skupinky a ojedinele, čo aj zakrpatené stromy tým, že zvyšujú drsnosť povrchu pôdy odtrhových území.

Kosodrevinový porast nad stromovou vegetačnou hranicou zamedzuje odtrhu základových lavín. Ak ich snehová pokrývka nahrubo prevýši, povrchovým lavínam zabrániť nemôžu. Napriek tomu sú vítané a potrebné, nakoľko okrem iného chránia novo rastúci les.

Aby ochranný les dobre spĺňal požiadavky na zamedzenie tvorby lavín je potrebné v kritických oblastiach riešiť nasledovné úlohy:

- udržiavať požadovaný zápoj a zakmenenie lesa s dobrým podrastom,
- zväčšovať a vytvárať členitosť povrchu lesnej pôdy, čím sa zvýši drsnosť podložja, a tým trecí odpor pre snehová pokrývku,
- ochranný les zakladať tak vysoko, ako je to možné z hľadiska terénneho, poveternostného a z hľadiska vhodnosti stanovištných pomerov,

- miesta odtrhu lavín nad hornou hranicou lesa je potrebné upravovať technickými zásahmi, ktoré vo vegetačnom pásme treba dopĺňovať vhodným zalesnením.

Na zalesňovanie lavínových území v našich podmienkach prichádzajú do úvahy najmä kosodrevina, limba, smrek, červený smrek, javor horský, buk, jarabina vtáčia, mukyňa obyčajná, borovica sosna, rôznych druhov vrúb, breza bradavičnatá a breza karpatská, borievka obyčajná a borievka nízka a ostatné kríkovité porasty.

Lesné porasty s protilavínovým účinkom majú mať dobrý zdravotný stav, vyhovujúcu štruktúru a optimálny počet stromov. Tento účinok dokážu lesné porasty plniť až vo veku 15 - 60 rokov.

Na založenie lesa sa používajú semená alebo sadenice pôvodných alebo zdomácnených porastov. Zalesňovanie holín na hornej hranici lesa treba zásadne vykonávať sadbou. Lepšie sa osvedčila sadba jamková ako štrbinová, pri ktorej sa uľahnutá pôda skyprením prevzdušni a prípravou jamky konkurencia buriny zmierni. Na strmších svahoch sa uplatňuje výsadba vo vodorovných, 0,3 - 1 m širokých, v odstupe 1 - 2 m zakladaných, do svahu mierne sklonených brázdach. Tam, kde ohrozuje sadenice plaziaci sneh poľahnutím, zabraňuje sa tomu výsadbou sadeníc pod ochranou na 0,4 - 0,5 m zo zeme vyčnievajúcich kolov. Na miestach možných odtrhov sa vrch kolov zakotví latkou (žrdkou) a povyšuje sa do zeme zahĺbený kratší kolík.

10.2.2 Technické zásahy

Podľa miestnych terénnych, snehových a veterných pomerov sa uplatňujú rozličné opatrenia, ktoré majú za cieľ:

- usmerniť uloženie snehu, aby nevznikli k zosuvu náchylné záveje, preveje a previsy,
- zabrániť začiatku pohybu lavín na úseku odtrhu zvýšením drsnosti a povrchového trenia plochy odtrhu,
- zamedziť vzniku lavín opornými úpravami, ktorými sa podchytiť váha snehovej pokrývky.

Technické opatrenia môžeme rozdeliť na:

- **závejové** - ovplyvňujú ukladanie vetrom unášaného snehu:
 - snehové ploty, snehové ohrady, vetrové terče a dýzy,
- **podperové** - úlohou je podoprieť (zachytiť) snehovú pokrývku v horných častiach lavínových území:
 - roštové (drevené snehové hrable a mosty, mostíky z kovu a predpätého betónu),
 - sieťové zábrany,
- **brzdíacie** - úlohou je zvýšiť drsnosť povrchu terénu, a tým obmedziť kĺzavý a plazivý pohyb snehu na svahu:
 - terasové (zemné a kamenné terasy),
 - výčnelkové (drevené a kovové koly, kozlíky z dreva a železobetónu, drevené kotvy, brzdíacie kužele a betónové bloky),
- **zadrživacie** - účelom je zadržať, rozraziť, zmierniť silu lavíny na prijateľnú mieru:
 - zadrživacie siete (Obr. 10.4), rošty a lavínové prehrádzky,
- **usmerňovacie** - úlohou je zmeniť smer padajúcej lavíny:
 - rozrážacie klíny,
 - odrazové múry a galérie,
- **uvoľňovacie** - majú za úlohu v požadovanom čase a rozsahu na konkrétnej lokalite umelo uvoľniť (spustiť) lavínu.

Dôležitou otázkou pri použití technických zásahov je ich umiestnenie, pokiaľ ide o polohu a vzájomnú vzdialenosť. Polohovo majú byť zakladané predovšetkým na záveternej strane horských hrebeňov, kde sa tvoria previsnuté snehové záveje, ich úlomky dávajú popud ku vzniku lavíny. Je potrebné vybrať polohy na

svahoch, v ktorých prechádza miernejší sklon v prudší alebo drsnejších skalnatý povrch do hladšieho zatravneneho a pod. Vzájomná vzdialenosť jednotlivých priečnych stavieb meraná výškovým rozdielom H medzi dvomi susednými stavbami závisí na tzv. užitočnej šírke stavby b, ktorou sa rozumie vodorovná vzdialenosť vnútornej hrany stavby od svahu. Tento pomer má byť pri múroch na sucho 2 - 5,1, pri kolových radoch 3,3 - 3,6, pri zemných terasách 2,7 - 7,1. Pokiaľ chránime väčšie údolie, ktorým preteká rieka, pred zasypaním lavínou z bočnej stráne, budujeme na mierne sklonenom úpätí zemnú hrádzu, za ktorou sa zadrží celý objem lavíny; do hrádzu sa musí umiestniť priepust pre vodu.



Obr. 10.4 Zadržiacie siete

Zásnežky (snehové ploty, Obr. 10.5) postavené kolmo na smer prevládajúcich vetrov tlmia unášaciu silu vetra, takže časť vetrom unášaného snehu sa uloží v náveji pred zábranou, časť za ňou v záveji. Záchytnú plochu zásnežík môže tvoriť súvislá, neprepúšťajúca tabuľa z dosák, príp. plot s vodorovnými alebo zvislými drevenými doskami alebo kovovými lamelami, ktoré vietor predúva. Jednoduchá ohrada sa skladá z radu silných drôtov vypnutých medzi stĺpmi a prepletených borievkovou alebo kosodrevinovou haluzinou. Zábranu možno zriadiť aj z drôteného pletiva o šírke oka max. 2 cm. V súčasnosti sú k dispozícii aj zásnežky z plastových materiálov.

V závetří za nepriepustnou tabuľou sa ukladá sneh v krátkom záveji, ktorý sa predĺži v smere vetra len po zanesení zábrany v celej výške. Za predúvavými plotmi zmiernený vietor unáša sneh na určitú vzdialenosť, kde vytvára pretiahly závej s väčšinou zadržanej hmoty snehu nielen v záveji, ale aj v náveji.

Optimálna priepustnosť zásnežík býva 30 - 50 %, podľa sily vetra. Pritom sa rovnomernejšie vytvára závej za zvislým usporiadaním záchytného roštu. Výška zásnežík - 1,6 až 2 m - sa riadi podľa v mieste obvyklých hrúbok snehovej pokrývky. Na výpočet vzdialenosti pôsobenia zásnežky odvodil Croce (Binder, 1969) vzťah

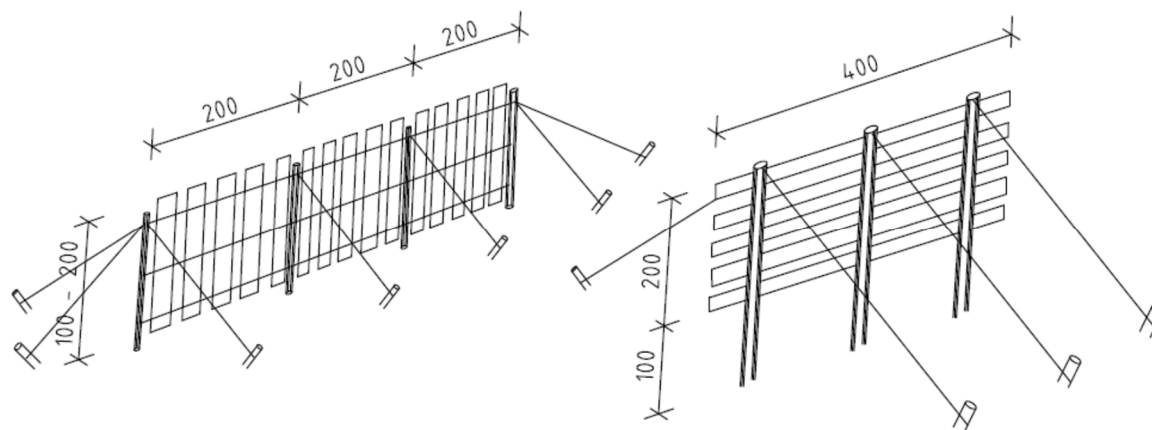
$$L = \frac{11 + 5 \cdot h}{k} + 5 \quad (\text{m}) \quad (10.1)$$

kde: L - odstup zásnežík alebo vzdialenosť miesta, ktoré treba chrániť (m),

h - výška zásnežík (m),

k - súčiniteľ závislý od stupňa účinnosti zásnežky, na zadržaní snehu pred a za prekážkou (-).

Hodnota súčiniteľa sa mení podľa priepustnosti záchytnej plochy, od 1,35 pri nepriepustnej alebo málo priepustnej ploche, do 0,8 pri ploche priepustnej, ktorá kladie predúvaniu malý odpor.



Obr. 10.5 Zásnežky (Binder, 1969)

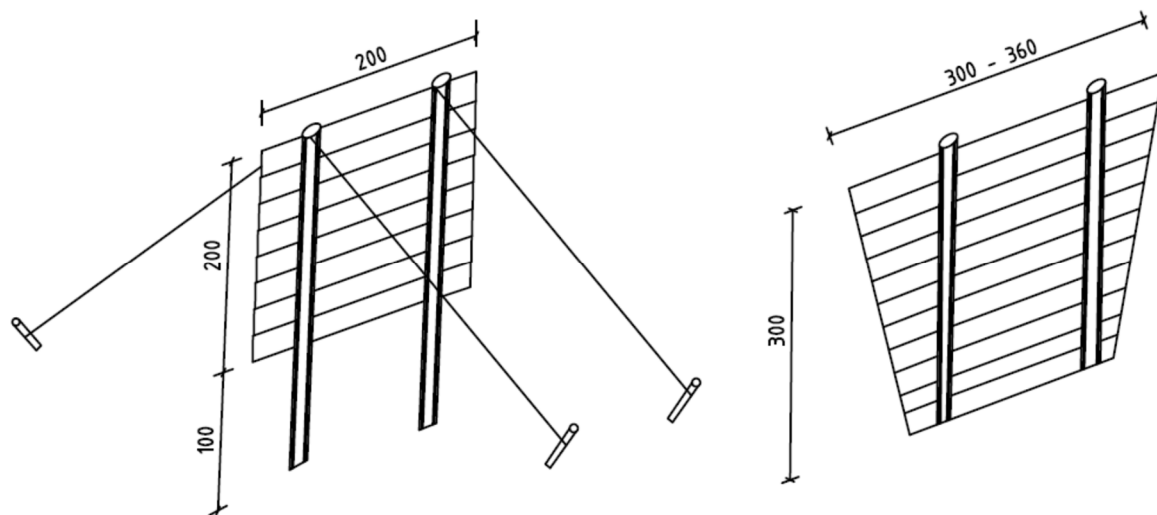
Obzvlášť účinne sa uplatňujú zásnežky v prípadoch, kde sa lavíny uvoľňujú na strmých svahoch a zrázoch v závetří pod hrebeňom, a to z prevejov naviatych vetrom z náveternej strany hrebeňa. Účelne rozostavenými zásnežkami na náveternej strane pred hrebeňom sa zabráni prenášanému snehu cez hrebeň do závetria, takže lavíny, ktoré tu vznikajú iba z miestneho snehu, nenadobudnú povážlivé rozmery (Obr. 10.6).



Obr. 10.6 Zásnežky umiestnené na hrebeni

Veterné terče (Obr. 10.7) sú pevné nepredúvané, ale aj z pohyblivých menších kovových lamiel (na kostre z lán), vypnuté tabule, ktoré zvrátením veterných prúdov za terčmi vyvolávajú nepravidelné ukladanie snehovej pokrývky, ktorá má väčšiu stabilitu ako pokrývka zo snehu naviateho v rovnomerných vrstvách. V praxi nie sú veľmi rozšírené.

Na zdrsnenie povrchu sa používajú kolové zábrany a vypletené ploty. **Kolové zábrany** chránia novo zalesnené plochy pred účinkom plazivého a kĺzavého snehu. Používa sa guľatina s priemerom 10 - 15 cm a dĺžkou 2 - 2,5 m, ktorá sa tenším koncom zatlčie do zeme tak, aby 1/3 až 1/2 bola v zemi. Zatlčujú sa vo vzájomnej vzdialenosti približne 0,6 - 1 m v radoch odstupňovaných na niekoľko metrov alebo v skupinách na exponovaných miestach. Stabilitu kolových radov môžeme zväčšiť spojením kolov lanom alebo žrdami. Obzvlášť starostlivo je potrebné zakotviť krajné koly. Kolami možno zabrániť len lavínam základovým. Proti lavínam povrchovým snehom zaviate koly zostávajú neúčinné.



Obr. 10.7 Veterné terče - schéma (Binder, 1969)

Vypletené ploty umiestňujeme na strmých svahoch a plytkých pôdach. Koly dlhé 1 - 1,5 m sú zatlčené do zeme 0,3 až 0,6 m v osovej vzdialenosti 0,6 m, medzi ktoré sa vypletá raždie, čečina a prútie. Celková dĺžka plota je medzi 5 a 10 m.

Proti väčšiemu snehovému tlaku sa používajú **záchytné steny** (Obr. 10.8) z dvoch radov stĺpov, medzi ktoré sa umiestni stena z guľatiny. Výška steny je asi 2,5 m. Stĺpy sú od seba vzdialené 3 - 4 m a podľa potreby zakotvené do svahu drôtom alebo lanom, príp. sú opreté o vzpery.



Obr. 10.8 Záchytná drevená stena

V Alpách sa na ochranu pred lavínami používajú **priekopy**, ktoré sú 6 až 8 m dlhé. Pre ich malú účinnosť sa uplatňujú aj prerušované 0,5 až 1 m široké vodorovné alebo mierne do svahu naklonené bermy. Vzhľadom na malú šírku bermy nie je zabezpečená dostatočná stabilita snehovej pokrývky, a preto sa viac využívajú terasy. Nevýhodou priekop je ich ľahké zanášanie zeminou a poškodzujú sa odtekajúcou vodou, takže vyžadujú stále udržiavanie a opravy.

Terasy sú 2 až 4 m široké podchytené z násypovej strany zemným násypom spevneným vrstvami mačiny alebo plochého kameňa, príp. vrstvami kameňa poprekladaného vrstvami mačiny, alebo suchým kamenným murivom. Na zmiernenie tlaku snehu na terasu sa vyplní priestor za múrom zeminou založenou na zazubenom svahu. Náležite zhutnený zásyp sa odvodní sklonením povrchu do svahu a priekopou pod zárezovým svahom. Najväčšiemu namáhaniu sú vystavené okraje múru, ktoré treba obzvlášť starostlivo upraviť, napr. vymurovaním koncov múru na cementovú maltu alebo zakotvením koncov kolmým múrikom do svahu. Účinná šírka múrov sa zvýši a súčasne povrch terasy proti poveternostným vplyvom a proti padajúcim skalám sa zabezpečí narovnaním niekoľkých vrstiev mačiny na plochu terasy.

Miera účinnosti zádržných terás závisí od pomeru súčtu vodorovných plôch terás k celkovej zahrádzanej ploche odtrhu. Zemné i murované terasy na úžľabinách ohrozuje mimo zimy stekajúca zrážková voda. Preto sa tu terasy nahradzujú vodorovnými alebo proti svahu mierne naklonenými roštmi z dreva alebo ocele opretými z údolnej strany o vzperový systém.

Za najúčinnnejšiu obranu proti odtrhu lavín sú považované **oporné múry**. Tie sú stavané prerušovane šachovnicovito vo svahu, vysoké 2 - 3 m s korunou širokou 0,8 - 1 m a vo svahových jarkoch šírkou 1 - 1,5 m. Múry sú zvyčajne stavané z kameňa na sucho, aby odtekajúca zrážková voda nebola zdržovaná v odtoku. Múry musia byť dobre založené, v základoch odvodnené a veľmi starostlivo vybudované, vo zvlášť ohrozených častiach (koruna, boky) často ako kamenné murivo na maltu. Priestor za múrmi sa zasype a povrch násypu upraví v miernom sklone proti svahu.

Na svahoch so sklonom viac ako 70 - 80 % z technického i ekonomického hľadiska sa ukazuje, že účelnejšie zabránime odtrhu lavín opornými stavbami so záchytnou plochou približne kolmou na smer tlaku snehovej pokrývky. Konštrukcie zakladané v odtrhovom území môžu byť súvislé, prerušované s prispôbením sa k reliéfu terénu alebo prerušované v radoch so šachovnicovitým usporiadaním. Najvyšší rad úprav má prebiehať pod očakávanou čiarou odtrhu lavín vo vzdialenosti 2 až 3 výšok maximálneho snehu. Po spádnici treba terén zahradiť až po zónu, kde sklon svahu je menší ako 32° alebo odkiaľ odtrhávajúce lavíny nie sú už nebezpečné. V tomto prípade používame snehové mosty, snehové hrable alebo snehovú sieť.



Obr. 10.9 Snehové mosty

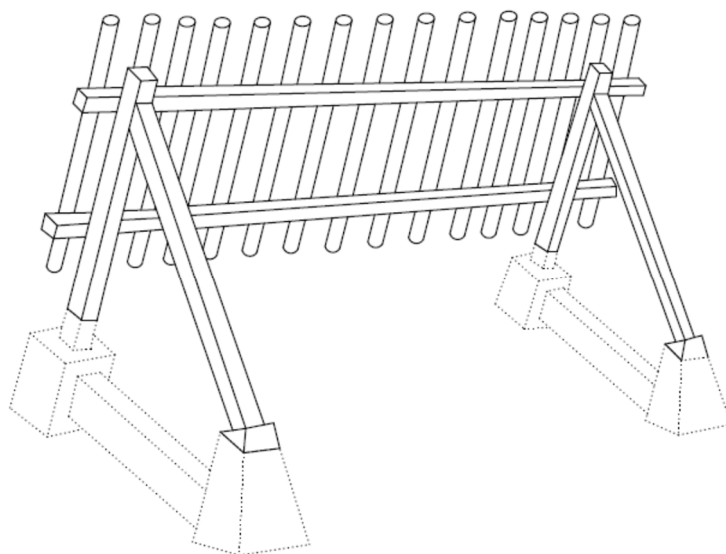
Snehové mosty a hrable sú budované z oblého alebo hraneného dreva, z ocele, z hliníka alebo z kombinácie týchto stavebnín, podľa namáhania jednotlivých častí konštrukcie. Snehový most má vodorovný záchytný rošt, snehové hrable majú zvislý rošt.

Snehový (protilavínový) most (Obr. 10.9) je vodorovná alebo mierne k svahu naklonená lavička, ktorá je uložená na 2 trámy, z ktorých je 1 zakotvený do zeme a druhý uchytený v požadovanej výške na koloch. Vzdialenosť medzi žrdami je 20 - 30 cm.

Hrabľové zábrany (snehové hrable, Obr. 10.10) sa skladajú z 3 alebo 4 kolmo zakopaných stĺpov v osovej vzdialenosti 3 až 4 m, na ktoré sú upevnené trámy, na ktoré sú pripevnené žrde dlhé 2,5 - 3 m v osovej vzdialenosti 10 - 15 cm.

Pre výpočet namáhania snehového mostu a hrabľí uvádzame zo švajčiarskych smerníc stručný postup:

1. výšku konštrukcie treba určiť tak veľkú, aby bola účinná pre maximálnu zvislú hrúbku snehovej pokrývky (H) zistenú za dlhší rad rokov (aspoň 30). Počítame s objemovou váhou snehovej pokrývky $\gamma = 270 \text{ kg.m}^{-3}$;
2. snehová pokrývka časom usadne na zvislú výšku ($0,77 \cdot H$). Zhustením snehu sa pre výpočet objemová váha snehu zväčší na $\gamma = 400 \text{ kg.m}^{-3}$. Zmenou objemovej váhy a polohy výslednice síl sa zväčší namáhanie dolnej časti roštu snehového mostu a spodného nosníka snehových hrabľí. Výslednica síl pôsobí v oboch prípadoch v polovici zvislej výšky, v tom ktorom prípade uvažovanej snehovej pokrývky. Pri statickom riešení treba spodnú časť konštrukcie dimenzovať so zreteľom na jej zvýšené zaťaženie.



Obr. 10.10 Snehové hrable (Binder, 1969)

Tlak snehovej pokrývky, ktorý pôsobí vo zvislom smere v spádnicí svahu sa skladá:

- z tlaku vyvolaného zabrzdzením plaziaceho, príp. aj kĺzajúceho sa už snehu,
- z tlaku vznikajúceho zábranou priečného rozpínania sa snehu pod účinkom zvislej zložky váhy na svahu uloženej snehovej pokrývky.

Váha snehovej pokrývky, ktorá pôsobí na 1 m dĺžky opornej konštrukcie sa rozkladá, podľa rovnováhy telesa na naklonenej rovine, na zložku súbežnú s rovinou svahu a na zložku, ktorá pôsobí kolmo na svah.

Uvažované rozloženie váhy snehovej pokrývky platí pre prípad, že záchytná plocha opory je kolmá na svah. Ak konštrukcia opory nie je kolmá na svah, treba, okrem uvedených už zložiek snehového tlaku, počítať aj s tlakom vrstvy snehu medzi záchytnou rovinou konštrukcie a kolmicou na svah. Okrem uvedených namáhání sú okraje prerušovaných opôr vystavené účinkom tlaku medzi konštrukciami uloženého snehu. Okrem toho, je potrebné pri snehových mostoch do výpočtov vziať aj vlastnú váhu konštrukcie v t.m^{-3} . Podrobný spôsob výpočtu uvádza Binder (1969).

V niektorých prípadoch je potrebné budovať zvláštne objekty, ktorých úlohou je trvale chrániť objekty proti účinku lavín. Bývajú budované nad hornou hranicou lesa. Podľa účinku to môžu byť:

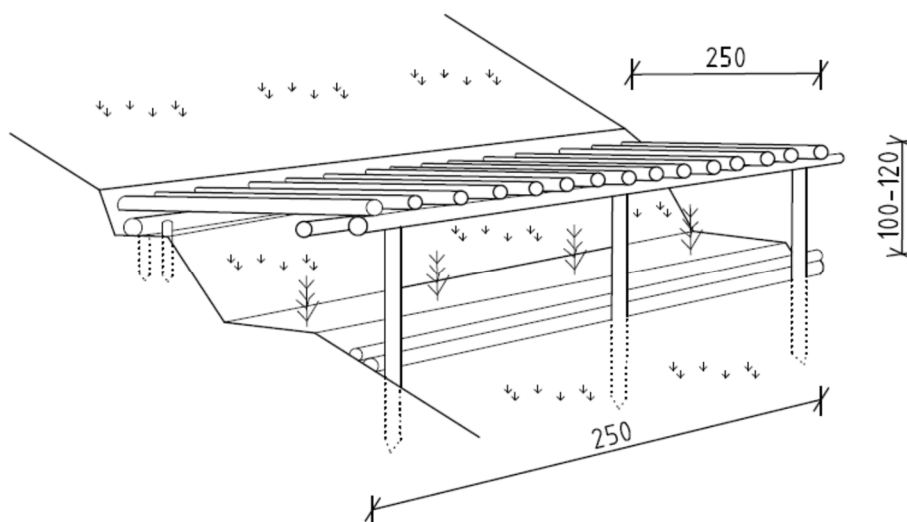
- oporné alebo záchytné zábrany (siete a konštrukcie z ľahkého kovu, Obr. 10.11),

- brzdiace zábrany, ktoré spomaľujú klzavý pohyb snehovej pokrývky a znižujú veľkosť napätia v snehu,
- odvratné zábrany, ktoré odchyľujú smer padajúcich lavín a usmerňujú ich mimo chráneného objektu.



Obr. 10.11 Protilavínové opatrenia - ochranná hrádza (vľavo), kombinácia siete a drevených snehových hradlí (vpravo)

Protilavínový most RAX (Obr. 10.12) bol vytvorený v Rakúsku a sa používa na ochranu novovysadených stromčekov pred zosuvom snehu. V letných mesiacoch sa odkladá mimo plochu a na jeseň je opäť osadený do terénu.



Obr. 10.12 Protilavínový most RAX (Binder, 1969)

Záchytné múry, terasy a steny prerušujú snehovú pokrývku len na určitú vzdialenosť, zatiaľ čo medzi týmito objektami zostáva snehová vrstva nedotknutá, takže v týchto miestach môže dôjsť k jej pretrhnutiu. Preto bolo navrhnuté, aby sa namiesto prerušovaných hradziok používali krátke **kozlíkové opory** (Obr. 10.13), ktoré je možné lepšie prispôsobiť terénu a ktoré môžu pri stabilizovaní snehovej pokrývky pôsobiť podobne ako stromy. Opory sa skladajú z 2 stĺpov alebo nosníkov osadených do betónových pätičiek. Ich horné konce sa zbiehajú a sú spojené s horným koncom vzpery, ktorá je rovnako zapustená do betónu. O nosníky sa opierajú polená, ktoré tvoria špárovanú dosku so šírkou 2 m a výškou 3 m (polená môžu aj chýbať). Doska zvisla s terénom uhol 90° . Na veľmi strmých svahoch, kde nie je možné dosku vzoprieť, používame kotevné lano. Namiesto drevených vzpier je možné použiť železné tyče. Tieto objekty zachytávajú veľké množstvo snehu, sú však asi štyrikrát viac namáhané ako iné konštrukcie, pri ktorých je záchytná stena postavená zvislo k terénu. Oporné telesá staviame striedavo v niekoľkých radoch, prispôbujú sa terénu a rozdeľujú snehovú pokrývku na úzke pruhy.

Pokiaľ sa požaduje odchylenie lavíny od určitej polohy a jej prevedenie do iného, neškodného smeru, budujú sa stavby usmerňovacie. Sú to obyčajné kamenné hrádze alebo múry, príp. tiež drevené steny z kmeňov, ktoré sú vedené v miernom oblúku pozdĺž lavínovej dráhy a prechádzajú do smeru, do ktorého sa má lavína odchyliť. Na ochranu dôležitých stavieb slúžia **snehové rozrážče**, budované ako kamenné piliere s ostrou hranou proti lavíne.

V zahraničí v oblastiach s vysokým výskytom lavín a pohybom obyvateľstva sa budujú na ochranu infraštruktúry lavínové tunely alebo galérie (Obr. 10.14), aby nimi zbehli lavíny bez ohrozenia stavby a premávky.



Obr. 10.13 Kozlíky - zjednodušený variant

Pri hradení lavínových úbočí sa zásadne postupuje zhora dole, pretože pri opačnom postupe môžu byť spodné stavby ľahko zničené, ak nie je celé dielo vybudované v jednej stavebnej etape.

Aby rozličné lavínové zábrany pri značne meniacom sa ich namáhaní aj v extrémnych podmienkach svojmu účelu bezpečne slúžili, treba ich údržbe venovať zvýšenú až úskostlivú starostlivosť. V rámci tejto starostlivosti je potrebné každú jar pozorovane preskúmať jednotlivé časti úprav, aby sa zistilo ako obstáli, v čom a prečo sa poškodili.

Zásnežky a veterné terče prudké nárazové zimné výchrice uvoľňujú v ich zakotvení, vychýlia ich z pôvodnej polohy a odtrhávajú časti konštrukcie. Údržba týchto úprav spočíva v spevnení zakotvenia doklinovaním stĺpov kameňmi v pôde, napnutím uvoľnených kotviacich lán s prípadným doplnením zakotvenia vzperami. Všetky poškodené časti ktorejkoľvek úpravy je potrebné vymeniť, prípadne doplniť opatrenia ďalšími.



Obr. 10.14 Galéria a ochranné protilavínové siete

11 Prehrádzky

Prehrádzky v koryte bystriny majú dve hlavné funkcie, podľa ktorých ich môžeme deliť na:

- prehrádzky **konsolidačné** - ustávajú koryto bystriny, zabraňujú vymieľacej činnosti vody, zachytávajú splaveniny, zaisťujú svahy úbočí a bočných sutinových kužeľov pred podmieľaním,
- prehrádzky **retenčné** - zachytávajú splaveniny v horných úsekoch toku, zabraňujú transportu splavenín do dolných úsekov, a tak aj zaštrkovaniu toku, príp. okolitého územia, prípadne znižujú povodňovú vlnu.

Retenčné prehrádzky pri značne veľkej plošnej rozlohe zátopového územia môžu pôsobiť na zníženie povodňovej vlny. Budujú sa s výpustným objektom, príp. ako priepustné. Je vhodné umiestniť teleso prehrádzky do zúženého profilu údolia, za ktorým sa v smere proti toku jeho šírka zväčšuje. Pri účelnosti navrhnutého objektu vychádzame z pomeru kubatúry prehrádzkového telesa a akumuláčného objemu. Tieto typy prehrádzok sa umiestňujú obyčajne na záver úpravy bystriny, aby sa zamedzilo vnikaniu splavenín do upraveného úseku alebo sú umiestnené pred vyústením z úzkeho údolia so štrkonosným tokom do údolia s menším sklonom, pred zaústením bočných prítokov do hlavného toku, pred vyústením strží, nad sídliskami a dopravnými objektmi a nad miestami náhleho poklesu pozdĺžneho sklonu údolia.

Retenčné prehrádzky sú väčšie ako konsolidačné. Ich celková veľkosť závisí na predpokladanom množstve zachytených sedimentov pred ostatnými opatreniami vybudovanými v bystrine. Akonáhle sa raz zanesú, je ich použitie obmedzené. Na predĺženie ich životnosti sa v telese prehrádzky budujú otvory. Tieto otvory zmiernujú účinok prietokovej rýchlosti a retenciu povodňovej vlny, kým nie sú ostatné opatrenia plne účinné. Takýto návrh umožňuje jemným časticiam prejsť skrz prehrádzku, ako aj sedimenty v prietoku s limitnou transportnou schopnosťou, ak to nespôsobuje, príp. len malé škody nižšie v koryte, a tak sa vyhýbame nepotrebnému ukladaniu sedimentov a predlžujeme retenčnú kapacitu nádržného priestoru. Nádržný priestor bude potom zaplnený len počas vysokých povodňových prietokov s výrazným splaveninovým režimom.

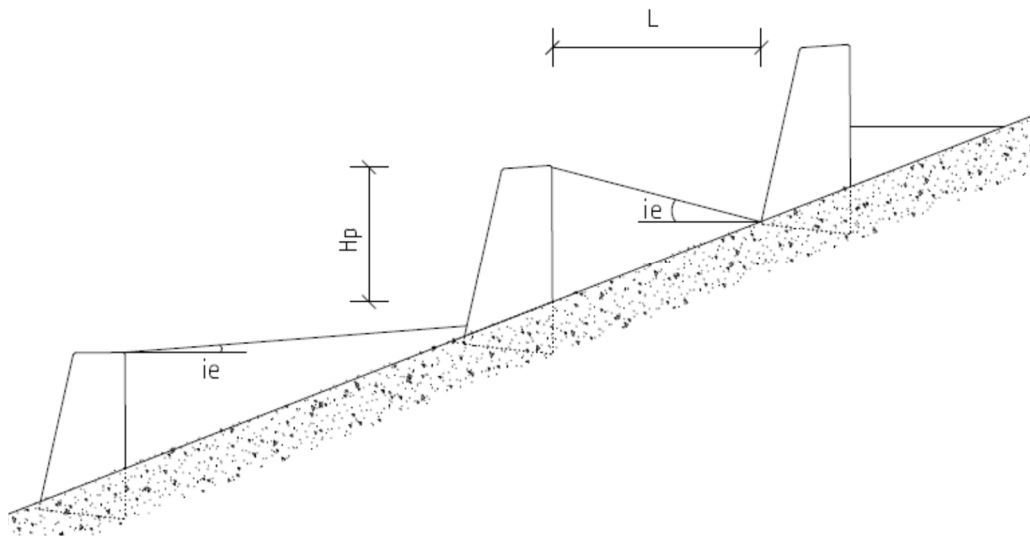
Retenčné prehrádzky budujeme pred poškodené oblasti a zvyčajne sú umiestnené priečne na koryto bystriny na využitie okolitej horniny a pre získanie väčšej šírky koryta, čo umožňuje zachytiť veľké množstvo sedimentov.

Priepustné prehrádzky majú zachytávať len splaveniny veľkých rozmerov, voda môže cez ne voľne presakovať. Hrubozrnný materiál sa zachytáva v nádržnom priestore a jemnejšie splaveniny sa môžu preplavovať cez hrádzové teleso. Postupom času sa teleso aj nádržný priestor zaplňa aj jemnejšími splaveninami, čím priepustnosť klesá až nakoniec môže dôjsť k úplnému utiesneniu telesa prehrádzky.

Úlohou konsolidačných prehrádzok je vytvoriť dno upravovaného toku v sklone, pri ktorom nedochádza k erózii dna (Obr. 11.1). Môžu byť budované ojedinele alebo v sérii za sebou (Obr. 11.2). Pozícia a výška týchto prehrádzok môže byť rôzna, dôležité je však, že zabezpečujú kontinuálne budovanie alebo stupňovanie dna pomocou sedimentov (neseného materiálu), výnimkou sú miesta, kde sa dno prirodzene neprehlbuje (napr. skalné podložie).

Kompenzačný sklon v zóne ukladania materiálu je potrebné vypočítať na základe priemerného opakujúceho sa povodňového prietoku, ktorý je zodpovedný za nánosy a degradáciu ako aj celkový tvar dna.

Sú prípady, kedy charakteristiky územia stanovujú horné a dolné limity výšky prehrádzky - maximum v prípadoch, kde trasa alebo breh môže byť pokrytý sedimentmi alebo obmedzenie pre mostové haťové teleso a minimum, ak sklon je dostatočne chránený pred rozrušovaním nánosmi na dne.



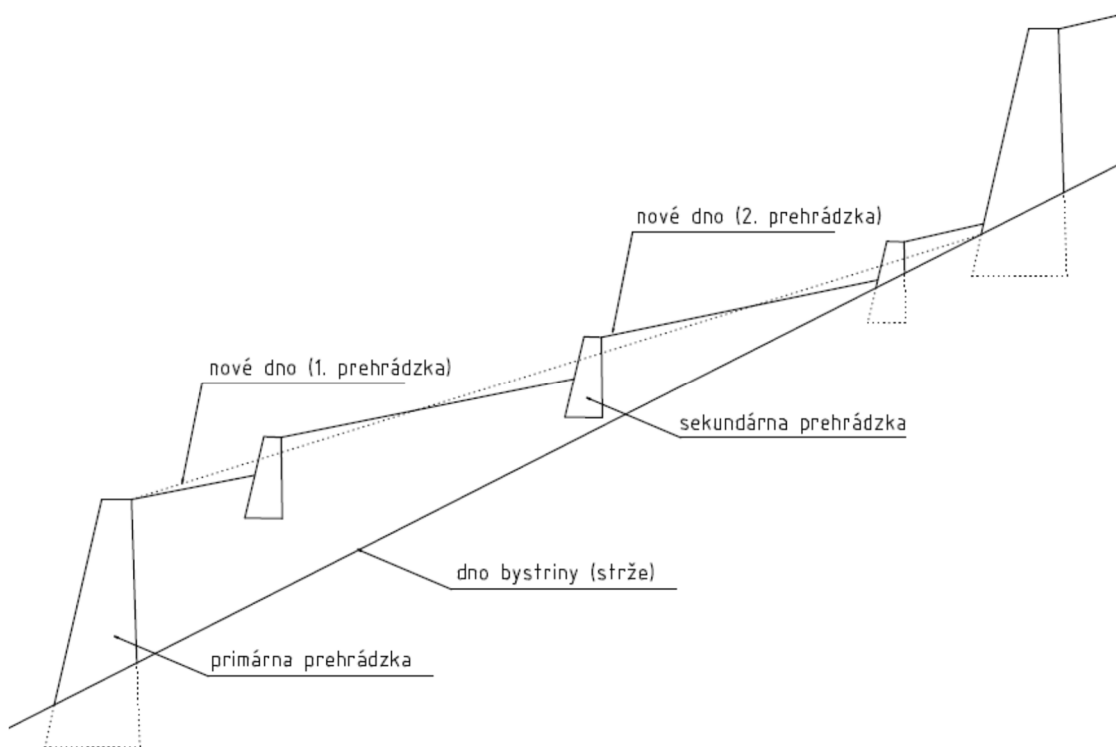
Obr. 11.1 Typická konfigurácia záchytných prehrádzok; L - horizontálna vzdialenosť, H_p - výška prehrádzky, i_e - sklon čiar spájajúcej prepad a päť vyššie postavenej prehrádzky (upravené podľa Hassanli, Beecham, 2010)

Predpokladajme, že primárna prehrádzka je vybudovaná na pôvodnom sklone dna a po jej naplnení je zabezpečený kompenzačný sklon. Ak ochrana bystriny a zalesňovanie územia narastá, odnos častíc a sedimentov sa znižuje. Pre zabezpečenie miernejšieho kompenzačného sklonu je možné vybudovať sústavu sekundárnych prehrádzok na vhodnom mieste naneseného materiálu (Obr. 11.3).

Pri použití konsolidačných prehrádzok na zníženie erózie dna, mali by byť umiestnené tak, aby sa umožnilo ukladanie erodovaného materiálu. Pri použití na stabilizáciu svahov koryta, by mali byť prehrádzky umiestnené takým spôsobom, že umiestnenie sedimentu v strede profilu zanášanej plochy je dostatočne vysoké, aby bola zaistená stabilita prehrádzky.



Obr. 11.2 Sústava nízkych konsolidačných prehrádzok



Obr. 11.3 Umiestnenie sekundárnej prehrádzky v upravenom koryte bystriny (upravené podľa Lopez Cadenas de Llano, 1993)

Vysoké prehrádzky predstavujú vysoké investičné aj prevádzkové náklady a sú značným zásahom do krajinného prostredia. Nízke prehrádzky sú menej náročné investične, lepšie zapadajú do krajinného prostredia a ľahko sa udržujú.

Akýkoľvek návrh alebo materiál môže byť použitý na stavbu priečných stavieb, vrátane prehrádzok. Žiadne fixné pravidlá nie sú uplatňované - je to na individuálnom rozhodnutí inžiniera vybrať najlepší a najekonomickejší materiál pri každom návrhu. Je však dôležité si pamätať, že ide o malé stavby (výnimočne presahujú výšku 15 m) a sú budované v strmých úsekoch, v relatívne neprístupnom teréne, čo robí použitie ťažkých mechanizmov nepraktickým.

Drôtokamenné prehrádzky sa rozdeľujú na 3 typy v závislosti na tvare ich vzdušného svahu v strede toku, a to:

- stupne a prehrádzky,
- stupňovité prehrádzky,
- prehrádzky typu sklz.

Stupňovitá prehrádzka (Obr. 11.4) sa účinkom nelíši od vertikálnych stupňov alebo prehrádzok. Energia toku je kompenzovaná na sústave prepádov (schodovitého tvaru). Preto je možné navrhnuť menšie rozmery vývaru, resp. aj pri vyšších výškach je možné ponechať tvorbu prirodzeného výmoľa, ktorý bude plniť funkciu vývaru. Mala by byť použitá len v prípade malých prietokov, to znamená na tokoch bez ichtyofauny. V každom prípade je potrebné vyhnúť sa veľkému zaťaženiu splaveninami, ktoré môžu spôsobiť poškodenie siete na jednotlivých stupňoch.



Obr. 11.4 Stupňovitá drôtokamenná prehrádzka (Foto: Jurik)

Klasifikácia hrádzí (prehrádzok) používaných pri hradení bystrín rozdelená podľa tvaru, štruktúry a kompozície je uvedená v Tab. 11.1.

Tab. 11.1 Synoptická klasifikácia hrádzí podľa návrhu, materiálu a účelu (upravené podľa Lopez Cadenas de Llano, 1993)

Materiál / Návrh	gravitačná	gravitačná klenbová	oblá			oporná, pilierová	sypké materiály		prefabrikované komponenty
			pevná kruhová	pružná klenbová	rovná doska	oblá doska	zemná	kamenná	
Sypaná hornina	R*								
Drôtokamenný kôš	R								
Murované obloženie	R & K*	R & K							
Prekladaný betón, monolitický betón	R & K	R & K	R & K						
Železobetón, vystužený betón	R & K	R & K	R & K	R & K	R & K	R & K			
Sypký materiál							R	R	
Iný materiál									R

* R - retenčná prehrádzka; K - konsolidačná prehrádzka

Drevené prehrádzky zrubovej konštrukcie sa používajú ako dočasné, prevažne konsolidačné, napr. pri hradení strží. Vzhľadom na čiastočnú pružnosť sa používajú do nestabilných profilov. Konštrukcia sa skladá z pozdĺžnej guľatiny a z priečnej guľatiny navzájom uložených v sedlách a spojených klincami. Zrub sa vyplňa rovnatinou z kameňa. Priepadová hrana sa obkladá kameňom.

V praxi boli tiež pokusy s použitím oceľových prehrádzok. V súčasnej dobe sa oceľ používa len ako mrežová konštrukcia niektorých prehrádzok s jedným veľkým stredovým prepúšťacím otvorom. Takéto prehrádzky sa používajú ako lapače ľadu pri ľadochode alebo slúžia na zastavenie a odchytenie náplav.

Stavby hradenia bystrín sú umiestňované do špecifického prostredia a sú to stavby účelové. Malé plochy povodia bystriny spolu s minimálnou hrúbkou či úplne chýbajúcou pôdou a vegetáciou spôsobujú v horských oblastiach veľmi rýchly a intenzívny priebeh povodňovej vlny vyvolanej zrážkovou vodou. Účinok povodňovej vlny je následne ešte zvýšený ďalším faktorom, a to veľkým pozdĺžnym sklonom údolnice. Výsledkom kombinácie týchto faktorov je potom to, že sa údolnicou v krátkej dobe preženie veľké množstvo vody, ktoré získa extrémnu kinetickú energiu, a tým aj unášaciu schopnosť. Problémy nižšie v povodí potom nespôsobuje len samotná voda, ale hlavne povodňovou vlnou transportované splaveniny a plaveniny, predovšetkým štrk, kamene a veľké balvany, v našich podmienkach častokrát aj kmene stromov.

Ďalším špecifikom podhorských a horských potokov je rozkolísanosť a nestálosť prietokov. Veľká časť hradenia bystrín je navrhovaná na potokoch a riečkach, ktoré behom roku postupne vysychajú, pri búrkovej udalosti sa však veľmi rýchlo zavodňujú.

Príkladom nového pohľadu na hradenie bystrín a strží, kde sú všetky opatrenia navrhované s ohľadom na všetky vyššie uvedené špecifiká bystrín a zároveň v sebe odráža moderný prístup a účelnosť, môžu byť stavby budované v rakúskych Alpách. Pri hradení bystrín a strží používajú:

- otvorené železobetónové retenčné prehrádzky s oceľovými priečkami (Obr. 11.5) - účelom týchto prehrádzok je zachytiť oceľovými priečkami veľké balvany, veľké kusy vetví a kmene stromov, ktoré tak zostávajú uložené v retenčnom priestore prehrádzky, drobnejšie zrná splavenín nie sú zachytávané,
- štrbinové prehrádzky - väčšinou železobetónové, plnia rovnakú funkciu ako prehrádzky s oceľovými priečkami, splaveniny však nie sú zachytávané priečkami, ale štrbinami v telese prehrádzky, taktiež nedochádza k zachytávaniu drobnejších zrn,
- hradlové objekty - ich funkcia je podobná funkcii otvorených prehrádzok, hradlá slúžia na zachytávanie hrubého sedimentu a plavenín.



Obr. 11.5 Železobetónové prehrádzky

11.1 Časti prehrádzky

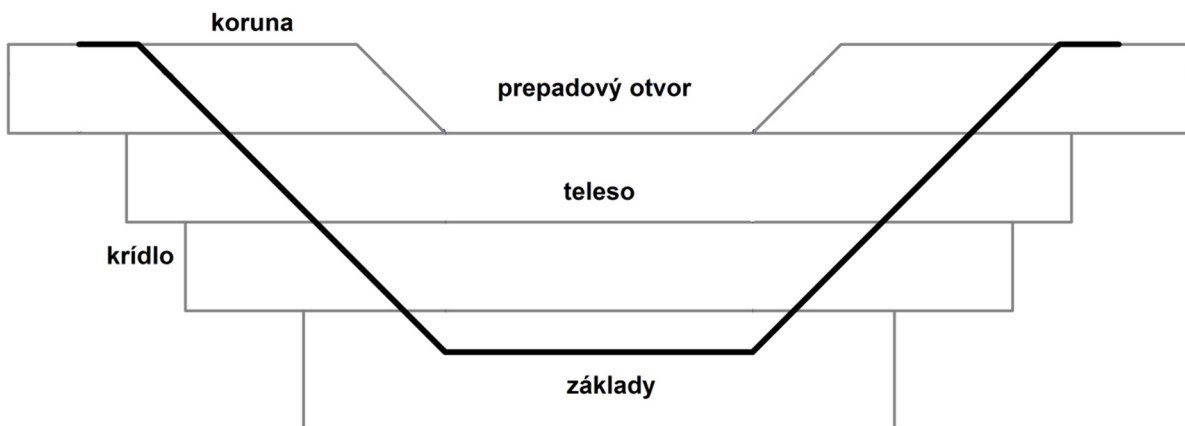
11.1.1 Základy prehrádzky

Základy prehrádzky sú umiestnené v dne toku (Obr. 11.6). Ich úlohou je zakotviť prehrádzku do nepriepustného terénu a prenášať zaťaženie vlastné aj zaťaženie vyvolané hydrostatickým,

hydrodynamickým a zemným tlakom. Vzhľadom na tieto zaťaženia je potrebné posúdiť dovolené namáhanie základovej pôdy.

Odolnosť základov proti ušmyknutiu môžeme zvýšiť pomocou ich zošikmenia v protismere sklonu dna, príp. zazubením základu v rovnakom smere. Najvhodnejšie zakladanie je na nepriepustnom podloží, vhodné sú tiež hrubé štrkové vrstvy. V prípade malej únosnosti základovej pôdy môžeme prehrádzku postaviť na pilótové rošty.

Základy sa obyčajne robia z toho istého materiálu ako ich telesá. Pri murovaných objektoch to býva obyčajne základový betón.



Obr. 11.6 Časti prehrádzky

11.1.2 Krídla prehrádzky

Krídla prehrádzok (Obr. 11.6) zachytávajú objekt do okolitého terénu a znemožňujú povodňovej vlně obísť prehrádzku a z bokov ju podomlieť. Krídla sú zapustené minimálne 1 m do svahu, pričom hrúbka krídla je totožná s hrúbkou prehrádzky v jej korune (Obr. 11.7). V širších údoliach sa navrhujú krídla so stúpajúcim sklonom 5 - 10 % od priepadu.



Obr. 11.7 Zapustenie krídla prehrádzky do svahu

11.1.3 Teleso prehrádzky

Teleso prehrádzky (Obr. 11.6) prenáša všetky tlakové účinky do základov a plní vlastnú funkciu prehrádzky. V bežných prípadoch pôdorys prehrádzok je najčastejšie priamy. Priečný profil murovaných prehrádzok je obvykle lichobežníkový. Návodná strana je zvislá a vzdušná strana má sklon 4 : 1 až 5 : 1. Koruna prehrádzky sa zvyčajne rozširuje a muruje sa z pevnejšieho materiálu, ktorý lepšie odoláva účinkom prepadajúcej vody a splavenín. Zároveň rozšírenie koruny v smere vzdušnej strany prehrádzky oddiaľuje dopad vody od jej päty.

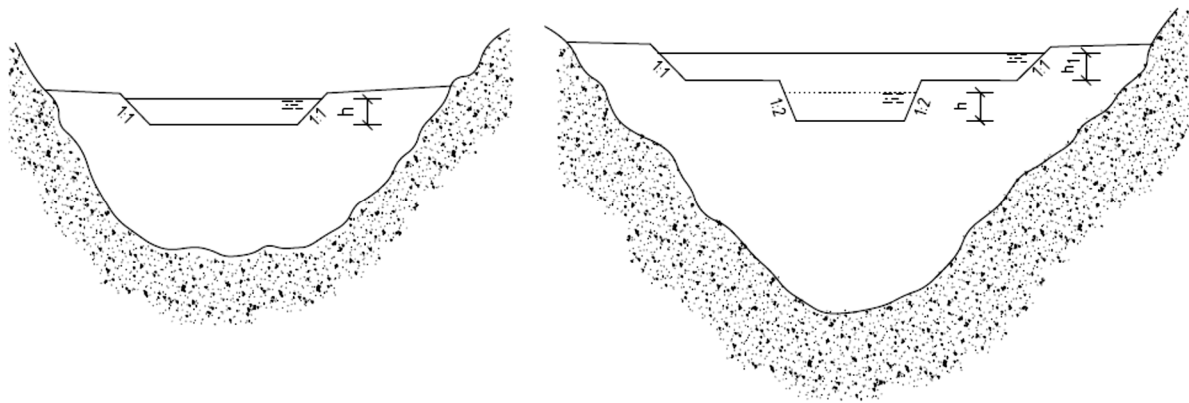
Odvodnenie priestoru za prehrádzkou a opevnenými brehmi vývariska umožňujú otvory. V telese prehrádzky je ich úlohou umožniť v prvej etape účinnosti stavby prevádzanie malých prietokov vody a v ďalšom období rovnako ako otvory na príľahlých úsekoch brehov znižovať hydrostatický tlak pôsobiaci z návodnej strany objektu.

11.1.4 Priepad prehrádzky

Umožňuje prietok vody cez prehrádzku. Jeho tvar býva lichobežníkový (Obr. 11.6), prípadne obdĺžnikový. Spodná časť priepadovej hrany býva vodorovná. V prípadoch, keď brehy dopadiska sú z málo súdržných zemín, musia byť brehy chránené pred účinkami dopadajúcej vody.

Prehrádzky sú zvyčajne navrhnuté so zárezom alebo s prepacom (voľný lúč alebo podopretý prepacový lúč). Voľný prepacový lúč v ovzduší prepadajúci do vody v koryte pod prehrádzkou s držaním ďalej od stien koryta je jednoduchší na vybudovanie a najčastejšie používaný. Prepac s hydrodynamickým profilom (podopretý vzdušnou stranou prehrádzky) by mal byť použitý, keď výška prepacového lúča je výrazná vzhľadom na výšku prehrádzky.

Voľný prepac má zvyčajne rovné prahy, bez zakrivenia rohov alebo stien, lichobežníkový prierez pre uľahčenie prevzdušnenia pod prúdom a prechod menších prietokov, a sklon medzi 1 : 1 a 2 : 1, resp. 1 : 0,5 (Obr. 11.8). V prípade úzkeho koryta pod prehrádzkou sa buduje zložený priepadový otvor zložený z nižšej časti umiestnenej v strede koryta na prevádzanie bežných zvýšených prietokov a z plytšej časti ($h_1 < 1$ m) umiestnenej vyššie na prevedenie väčších prietokov s menším výskytom (Obr. 11.8).



Obr. 11.8 Jednoduchý a zložený priepadový otvor (upravené podľa Lopez Cadenas de Llano, 1993)

V prípade prepacu s hydrodynamickým profilom ide o pravouhlú prietokovú plochu so zvislými stranami umiestnenú v strede koryta pod prehrádzkou. Návrh priepadovej hrany a vzdušnej strany prehrádzky odráža zakrivenie hydrodynamického profilu. Tvar profilu závisí na prepacovej výške, sklone návodnej strany a rýchlosti prepadajúcej vody.

Šírka priepadového otvoru je daná šírkou koryta pod priepadom. Ak je šírka otvoru so značným zúžením, je potrebné to brať do úvahy pri výpočte, a teda:

$$b_0 = b - 0,2 \cdot H_0 \quad (m) \quad (11.1)$$

$$H_0 = h + k' \quad (\text{m}) \quad (11.2)$$

kde: b_0 - účinná šírka (m),
 b - šírka priepadovej hrany (m),
 k' - rýchlostná výška (m), ktorú vypočítame zo vzťahu (11.3),
 h - prepádová výška (m).

$$k' = \frac{v_h^2}{2 \cdot g} \quad (\text{m}) \quad (11.3)$$

kde: v_h - rýchlosť vody v koryte nad objektom ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$),
 g - tiažové zrýchlenie ($9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$).

Pri dimenzovaní dokonalého prepádu cez obdĺžnikový profil určíme prietok zo vzťahu

$$Q = m \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g} \left[(h + k')^{\frac{3}{2}} - k'^{\frac{3}{2}} \right] \quad (\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}) \quad (11.4)$$

kde: m - prepádový súčiniteľ (-).

Hodnotu prepádového súčiniteľa určíme z Tab. 11.2 v závislosti od výsledku pomeru prepádovej výšky h k šírke priepadovej hrany k (šírke koruny).

Tab. 11.2 Hodnoty prepádových súčiniteľov pre obdĺžnikový profil s dokonalým prepádom (Valtýni, Jakubis, 1998)

h/k	0,10	0,33	0,50	1,00	1,50	1,50 - 2,00
m	0,30	0,32	0,33	0,37	0,41	0,41 - 0,42

Ak máme lichobežníkový profil, môžeme použiť predchádzajúce vzťahy, avšak za hodnotu b dosadíme strednú šírku lichobežníka:

$$b = \frac{B + b_1}{2} \quad (\text{m}) \quad (11.5)$$

kde: B - šírka otvoru v brehoch (m),
 b_1 - šírka otvoru v dne (m).

Na presnejší výpočet prietoku v prípade lichobežníkového profilu je potrebné použiť nasledovný vzťah

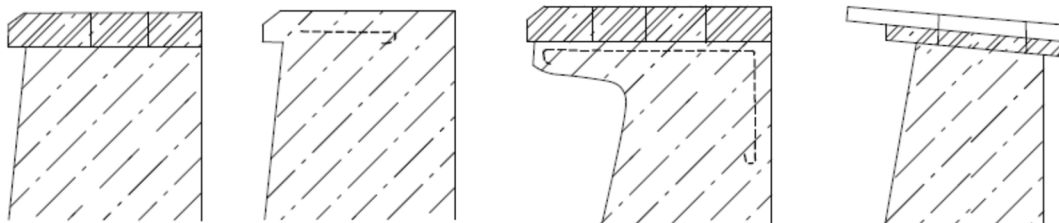
$$Q = m \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g} \left[(h + k')^{\frac{3}{2}} - k'^{\frac{3}{2}} \right] + 2 \cdot \mu \cdot \tan(\alpha) \cdot \sqrt{2 \cdot g} \left[\frac{4}{15} \cdot \left(h + k'^{\frac{5}{2}} - \frac{2}{3} \cdot h \cdot k'^{\frac{3}{2}} - \frac{4}{15} \cdot k'^{\frac{5}{2}} \right) \right] \quad (\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}) \quad (11.6)$$

kde: μ - výtokový súčiniteľ (-) určený vzťahom (11.7),
 α - uhol sklonu strán lichobežníka ($^\circ$).

$$\mu = \frac{3}{2} \cdot m \quad (-) \quad (11.7)$$

Priepad musí byť dimenzovaný na maximálne prietokové množstvo, t.j. Q_{100} . Priepad býva umiestnený v strede prehrádzky, resp. toku. Len v prípadoch, keď únosnosť zemin pod prehrádzkou je značne rozdielna, priepad sa umiestňuje do priestoru s pevnejšou (súdržnejšou) zeminou. Hrany priepadu sú vo zvýšenej miere namáhané obrusom spôsobovaným prepádajúcimi splaveninami a sacím účinkom

prepadávajúcej vody. Z toho dôvodu je potrebné ich lepšie zabezpečiť proti poškodeniu. V prípade matraca alebo drôtokamennej prehrádzky je v korune vystavený abrázii, preto musí byť koruna chránená drevenou alebo kamennou krycou doskou. Drevená ochrana je najjednoduchšia a najlacnejšia forma ochrany v prípade, že je k dispozícii v mieste výstavby. Koruna priepadu môže mať rôzny tvar v pričnom reze (Obr. 11.9).



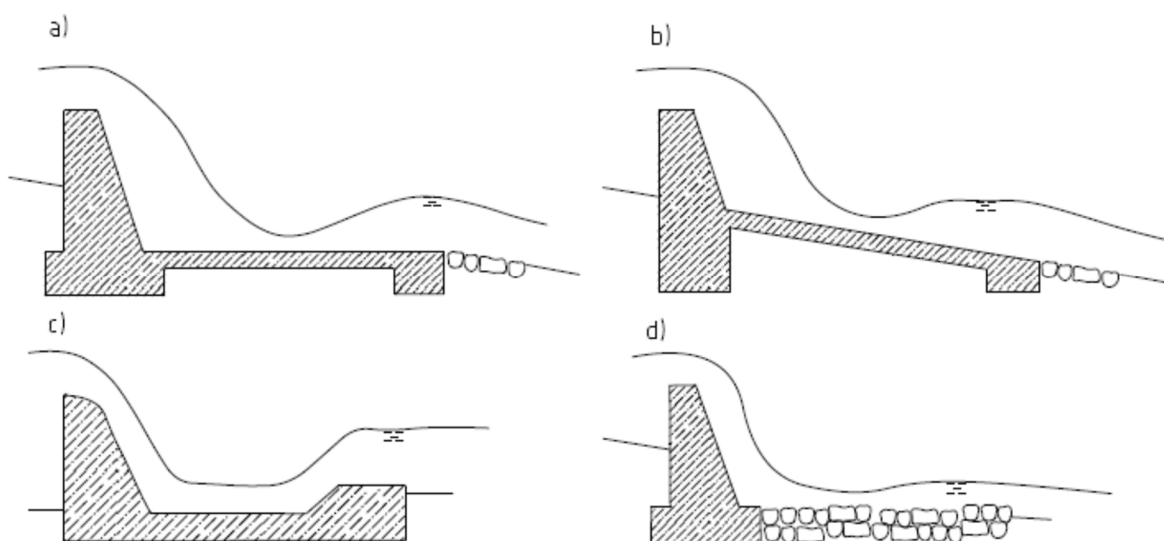
Obr. 11.9 Možnosti riešenia pričného profilu koruny prehrádzky (Binder, 1969)

11.1.5 Dopadisko, vývar

Voda po pretečení priepadom sa dostáva do dopadiska. V nespevnenom dne dopadiska vzniká výmol', ktorého hĺbka závisí od prietokového množstva a výšky pričného objektu. V prípade opevnenia dna toku pod stupňom alebo prehrádzkou bez vytvorenia predprahu vzniká spádisko (Obr. 11.10 a, Obr. 11.10 b a Obr. 11.10 d) a uzavretím spádiska predprahom - vytvorením vodného vankúša, do ktorého dopadá voda vzniká vývarisko (vývar).

Vývar je možné vybudovať aj z drôtokamenných konštrukcií. Ak je v tomto prípade nevyhnutné vývar stabilizovať, treba dodržať nasledujúce zásady:

- prah na konci vývaru by mal byť zhotovený z dvoch vrstiev košov s celkovou výškou 0,5 m s priečkami,
- na zabránenie pohybu skál a následnému poškodeniu samotného prahu v dôsledku intenzívneho dynamického pôsobenia prúdu, koše by mali byť naplnené veľkými zaoblenými kameňmi ($d_e = 250 - 300 \text{ mm}$),
- v najhorších prípadoch je vhodné chrániť sieť vo vývare betónovou krycou vrstvou alebo balvanmi,
- bočné svahy v blízkosti stupňa by mali byť chránené pred vymletím (najmä v úzkych častiach a riekach s erodovanými brehmi).



Obr. 11.10 Riešenie opevnenia dopadu prepadového lúča pod prehrádzkou (upravené podľa Lopez Cadenas de Llano, 1993)

Potrebu vývaru môžeme zjednodušene určiť na základe Froudeho čísla (pozri kap. 3). Ak:

- $Fr < 1,7$ vývar nie je potrebný, spádovisko s dĺžkou ($4 \cdot h_2$) postačuje,
- $1,7 < Fr < 2,5$ vývar môže byť použitý, ale nie je to nevyhnutné,
- $2,5 < Fr < 4,5$ vývar alebo spádovisko sú potrebné, i keď vodný skok nie je stabilný a vlny môžu presiahnuť za vývar,
- $4,5 < Fr$ vývar je potrebný.

Výpočet vývaru v prípade hydrodynamického tvaru priepadu a prepádového lúča robíme nasledovne (Obr. 11.10 c):

- návrhový prietok - prietok, ktorý preteká korytom,
- hodnota h_3 - hĺbka voľného prepadu; je potrebné urobiť terénny prieskum a vypočítať ho podľa rovníc rovnomerného prúdenia v otvorených korytách (podľa Bazina, Manninga a pod.),
- výpočet h_1 - uplatňuje sa zákon zachovania energie:

$$h_1^3 - \left(H_p + h_0 + \frac{v_0^2}{2 \cdot g} \right) \cdot h_1^2 + \frac{q^2}{2 \cdot g \cdot \varphi^2} = 0 \quad (11.8)$$

kde: φ - strata energie prepadu,

q - podiel návrhového prietoku a šírky prepadu (Q/b) (m),

- výpočet h_2 :

$$h_2 = \frac{h_1}{2} + \sqrt{\frac{h_1^2}{4} + \frac{2 \cdot q}{g \cdot h_1}} \quad (m) \quad (11.9)$$

- výpočet hĺbky vývaru:

$$p = \frac{1,15}{h_2 - h_3} \quad (m) \quad (11.10)$$

- výpočet výšky bočného opevnenia:

$$h_4 = h_2 + 0,1 \cdot (h_1 + h_2) \quad (m) \quad (11.11)$$

- výpočet dĺžky dna vývaru:

$$L = 5 \cdot (h_2 - h_1) \quad (m) \quad (11.12)$$

11.2 Návrh prehrádzky

Prehrádzky plnia viacero účelov, ako napr. zníženie rýchlosti prúdiacej vody, zníženie eróznej činnosti, zníženie pôvodného sklonu dna, zlepšenie vlhkosti okolitého územia, zachytávanie sedimentov, zlepšujú infiltráciu. Preto, ak nie sú navrhnuté, vybudované a umiestnené správne, môže dôjsť ku koncentrovanému obtoku alebo zničeniu prielomovou vlnou. Návrh je ovplyvnený viacerými faktormi, ktoré sa môžu v praxi vyskytnúť. Napríklad veľké povodie zvyšuje odtok a prislúchajúci prietok musí prehrádzka zvládnuť previesť. Taktiež výška prehrádzky ovplyvní vzdialenosť medzi nimi, ich počet a celkové náklady projektu. Návrh parametrov ako je výška prehrádzky, vzdialenosť prehrádzok od seba, sklon medzi korunou jednej a päťou vyššie nasledujúcej prehrádzky, tvar telesa prehrádzky, použitý konštrukčný materiál, priepad, dĺžka prehrádzky a celkové náklady nás privádzajú k optimálnemu návrhu.

Výber stavebného materiálu závisí od umiestnenia a účelu. Počas veľkých povodňových prietokov voda preteká ponad prehrádzku a/alebo cez ňu. Pri nízkych vodných stavoch sa voda zachytí pred konštrukciou a potom pomaly preteká cez prehrádzku alebo infiltruje do podložia alebo sa vyparí.

Návrh prehrádzky zahŕňa:

- plné pochopenie situácie vyžadujúcej reguláciu prietoku,
- správne umiestnenie,
- výber najvhodnejšieho typu,
- spôsob výpočtu vhodných statických parametrov objektu,
- opatrný hydraulický návrh na obmedzenie povodňových škôd na objekte,
- technickú a ekonomickú analýzu konštrukčného materiálu, dostupnosti, dopravy a pod.

Existujú 3 štádia prevádzky prehrádzky, a to:

1. plnenie - hydrostatický tlak je uplatňovaný na návodnej strane prehrádzky; tlak môže byť trojuholníkový alebo lichobežníkový, závisí na tom, či výška prepádového lúča nad korunou je väčšia alebo rovná nule; hustota vody je rovná alebo presahuje 1000 kg.m^{-3} , keď začína byť prehrádzka zaplňaná (zvyčajne sa počíta s hodnotou 1200 kg.m^{-3});
2. počas a hneď po nanosení - výtokové otvory znižujú riziko nárastu tlaku sedimentov umožnením odtoku vody, kým sa nevytvorí nové dno;
3. keď je dno zanesené a stáva sa prakticky nepriepustné (konsolidácia dna) - hydrostatický tlak je prenášaný do krídel prehrádzky, zatiaľ čo zvyšok stavby čelí tlaku nasýtenej pôdy.

Návrh jednotlivých častí prehrádzky je potrebné robiť od prípadu k prípadu, pričom nasledujúce informácie sú vždy potrebné:

- výška prehrádzky,
- šírka koruny,
- šírka v základoch a čelný sklon,
- založenie,
- odtokové otvory,
- vývar,
- dilatčná škára.

11.2.1 Výpočet prietokového množstva cez priepad

V návrhu prehrádzok pri výpočte prietokového množstva uvažujeme prakticky vždy s dokonalým prepádom. Rozhodujúcim parametrom pre určenie vhodnosti použitého vzťahu je pomer medzi prietokovou výškou nad priepadom a šírkou koruny prehrádzky. Pre výpočet prietokového množstva cez prehrádzku za predpokladu, že šírka koruny (k) spĺňa vzťah $(0,67 \cdot h) < k < (2 \cdot h)$ použijeme rovnicu:

$$Q = m \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot b \cdot \sqrt{H_0^3} \quad (\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}) \quad (11.13)$$

prepádový súčiniteľ pre obdĺžnikový tvar koruny priepadu vypočítame podľa vzťahu:

$$m = 0,294 + 0,078 \cdot \frac{h}{k} \quad (-) \quad (11.14)$$

V prípade zaoblenia návodnej strany koruny priepadu, prepádový súčiniteľ zvyšujeme o 5 %.

Pri použití širšej koruny priepadu, kde $k > (2 \cdot h)$, ide o priepad cez širokú korunu. V tomto prípade na korune prehrádzky vzniká vodný skok. Pre určenie veľkosti prepádového súčiniteľa pre širokú korunu použijeme vzťah:

$$m = \frac{2 \cdot \varphi^3 \cdot (2 \cdot \varphi^2 - 1)}{\sqrt{[1 + 2 \cdot \varphi^2 \cdot (2 \cdot \varphi^2 - 1)]^3}} \quad (-) \quad (11.15)$$

11.2.2 Návrh rozmerov prehrádzky

Výška závisí na účele a ekonomických možnostiach. Pre retenčné prehrádzky je potrebné veľmi opatrne vybrať miesto s najväčším možným priestorom na zachytenie sedimentov a výšku, ktorá umožní najväčší objem zachytených sedimentov. Ak však konsolidácia je bezprostredným cieľom, potom výška bude taká, že koniec výplne sedimentom sa nachádza vo vzdialenosti L od pôvodného miesta (Obr. 11.1 a Obr. 11.3).

Avšak aj tam, kde je skalné okolie s cieľom zabezpečiť stabilitu prehrádzky, ešte musí byť urobená kontrola, či výška nahromadených sedimentov nespôsobuje žiadne ťažkosti vyššie v toku, ako je zanesenie mosta alebo zaplavenie plodín v dôsledku príliš prudkého nárastu úrovne koryta. Niekedy bude tiež potrebné skontrolovať, či nánosy v strede prierezu majú očakávaný stabilizačný účinok na brehy.

Vzorec pre určenie šírky koruny prehrádzky má tvar:

$$k = H_p \cdot \sqrt{\frac{\rho_v}{5 \cdot \rho_m} \cdot \left(1 + 3 \cdot \frac{h}{H_p}\right)} \quad (\text{m}) \quad (11.16)$$

kde: H_p - výška prehrádzky (m),

ρ_v - hustota vody (1000 - 1500 kg.m⁻³),

ρ_m - hustota muriva (2400 - 2500 kg.m⁻³ podľa hutnosti kameňa),

h - prepádová výška (hĺbka prietokového profilu, m).

Viacerí autori uvádzajú rôzne vzorce pre výpočet šírky koruny. Medzi nimi nájdeme aj výpočet šírky koruny prehrádzky ako funkciu výšky prehrádzky:

$$k = 0,7 + \varepsilon \cdot H_p \quad (\text{m}) \quad (11.17)$$

kde: ε - funkcia veľkosti častíc (0,1 - 0,2).

Pomocou vypočítanej šírky koruny prehrádzky môžeme určiť šírku základov na základe vzťahu:

$$z = -\frac{k}{2} + \sqrt{\frac{5 \cdot k^2}{4} + \frac{\rho_z \cdot H_p \cdot (H_p + 3 \cdot x)}{\rho_m}} \quad (\text{m}) \quad (11.18)$$

kde: k - šírka koruny prehrádzky (m),

ρ_z - redukovaná objemová hmotnosť zeminy (Tab. 11.3), ak sa ráta len s namáhaním vodou, potom sa dosadzuje objemová hmotnosť vody,

$x = \frac{h_1}{h}$, pričom h_1 - výška prietokového profilu nad priepadom (m).

Hĺbku založenia objektu pod úroňou terénu určíme na základe výpočtu veľkosti hĺbky možného výmoľa, pričom od vypočítanej hĺbky sa odpočíta výška hladiny vody pod prehrádzkou. Minimálna hĺbka založenia sa však uvažuje 1 m vzhľadom na možnosť premrzania pôdy a dosiahnutie požadovanej bezpečnosti.

Schocklitsch navrhol pre určenie hĺbky výmoľa bez opevnenia (napr. pod stupňom) vzťah

$$h_v = 4,75 \cdot \frac{y^{0,2} \cdot q^{0,57}}{d_{90}^{0,32}} \quad (\text{m}) \quad (11.19)$$

kde: y - rozdiel hladín pred a za prekážkou (m),

q - podiel návrhového prietoku a šírky prepadu (Q/b) (m),

d_{90} - 90% zrno splavenín dna (mm).

Pri návrhu vývariska sa na jeho dno ukladá dlažba z lomového kameňa hrubého 0,3 až 0,5 m na cementovú maltu. Dlažba nie je spojená s telesom prehrádzky, aby sa otrasy spôsobené dopadajúcou vodou neprenášali na konštrukciu. Pod dlažbou je podkladový betón s hrúbkou cca 0,2 m. Predprah má hrúbku 0,8 - 1,0 m.

Tab. 11.3 Stredné hodnoty prirodzenej a redukovanej objemovej hmotnosti v kg.m³ pre rôzne druhy zeminy (Valtýni, Jakubis, 1998)

Druh zeminy	Prirodzená objemová hmotnosť	Redukovaná objemová hmotnosť
Násypová zemina suchá	1400	300 - 400
Násypová zemina mokrá	1800	680
Piesok suchý	1600 - 1650	400 - 560
Piesok mokrý	2000	800
Hlína suchá	1500	260 - 320
Hlína mokrá	1900	780 - 940
Íl suchý	1600	220 - 340
Íl mokrý	2000	800 - 980
Štrk suchý	1800 - 1850	400 - 500
Štrk mokrý	1850	760
Štrk hranatý	1800	300
Štrk guľatý	1800	600
Voda	1000	1000
Bahno	2000	2000

11.2.3 Výpočet stability prehrádzky

Priečne objekty s výškou do 2 m nie je potrebné staticky posudzovať. Priečne objekty vyššie ako 2 m je potrebné staticky posúdiť.

Vo všeobecnosti platí, že prehrádzky staticky riešime na zaťaženie hydrostatickým tlakom, ktorý pôsobí od základovej škáry. So zaťažením samotným zemným tlakom uvažujeme len v prípade, ak predpokladáme, že krátko po výstavbe priečného objektu sa priestor nad objektom (nádrž prehrádzky) zaplní prirodzene splaveninami (ak sa v povodí vyskytujú napr. aktívne strže, zosuvné územia, extrémne vymieľajúce bystriny a pod.). So zaťažením samotným zemným tlakom uvažujeme aj vtedy, ak sa ihneď po výstavbe zaplní časť nádrže nad prehrádzkou zeminou.

Prehrádzky, ktoré majú byť postavené nad zastavanými oblasťami alebo v nich, ako aj prehrádzky, pod ktorými sa vyskytujú dôležité objekty, staticky riešime na zaťaženie hydrostatickým tlakom, ktorý by vznikol počas prietoku Q_{100} . Ostatné prehrádzky postačuje dimenzovať na hydrostatický tlak, ktorý by vznikol pri prietoku Q_{50} .

Prehrádzky môžeme podľa pôsobenia tlakov rozdeliť na:

- tiažové, ktoré ďalej delíme na tiažové konzolové a tiažové monolitické (časť zaťaženia prenášajú do brehov),
- klenbové,
- tiažové prehrádzky s klenbovým pôsobením - zaťaženie je prenášané z časti klenbovým pôsobením telesa do svahov a z väčšej časti pôsobením tiaže do základov,
- železobetónové,
- prehrádzky z oceľových prvkov.

Tiažové konzolové prehrádzky majú najväčšie rozmery. V pôdoryse sú to priame objekty, ktoré prenášajú vonkajšie zaťaženie tiažou telesa do základov. Sú to prehrádzky veľkých rozpätí, ich návrh je opodstatnený len v širokých profiloch bystrín. Ich teleso je zvislými dilatačnými škárami rozdelené do zvislých konzol (samostatne pôsobiacich). Stabilita týchto prehrádzok závisí od ich tiaže.

Murované prehrádzky sa riešia ako oporné múry. Pri návrhu priečného profilu prehrádzky sa vychádza z podmienky stability prehrádzkového telesa a vonkajších síl pôsobiacich na prehrádzku. Pri statickom výpočte prehrádzky uvažujeme výrez hrádze zodpovedajúci jej prierezu so šírkou 1 m.

Najprv je potrebné rozlíšiť sily stabilizačné a destabilizačné.

Stabilizačné sily sú:

- vlastná váha objektu (prehrádzky),
- vertikálna zložka tlaku vody alebo sedimentov na návodnej strane (ak je naklonená) a nadzemná časť základov,
- váha prietokového lúča nad korunou priepadu,
- tlak vody na vzdušnej strane (povodnej),
- pasívny tlak pôdy proti vzdušnej strane a základom.

Destabilizačné sily sú:

- hydrostatický tlak,
- pasívny tlak pôdy proti návodnej strane a základom,
- vzdúvanie,
- stres vyvolaný stratou tlaku (napr. tlak ľadu a nedostatočné prevzdušnenie pod voľne padajúcim vodným lúčom),
- dynamický tlak premenlivého pôvodu,
- postranný tlak z nestabilných svahov.

Vztlak sa pri bystrinných prehrádzkach neuvažuje, pretože jeho pôsobenie sa prejavuje s oneskorením a dosahuje tak malé hodnoty, že sú s ohľadom na znižovanie hydrostatického tlaku v krátkom období prietoku veľkých vôd zanedbateľné.

Vlastnú váhu muriva prehrádzky so šírkou 1 m vypočítame (Obr. 11.11)

$$Q = S \cdot \rho_m \cdot 1 \quad (\text{kg}) \quad (11.20)$$

kde: S - prierezová plocha muriva (m²),

ρ_m - objemová váha muriva, t.j. murivo kamenné lomové z hutného kameňa 2500 kg.m⁻³, murivo z betónu 2200 kg.m⁻³.

Vodný tlak pôsobiaci na vykrojenú časť muriva určíme

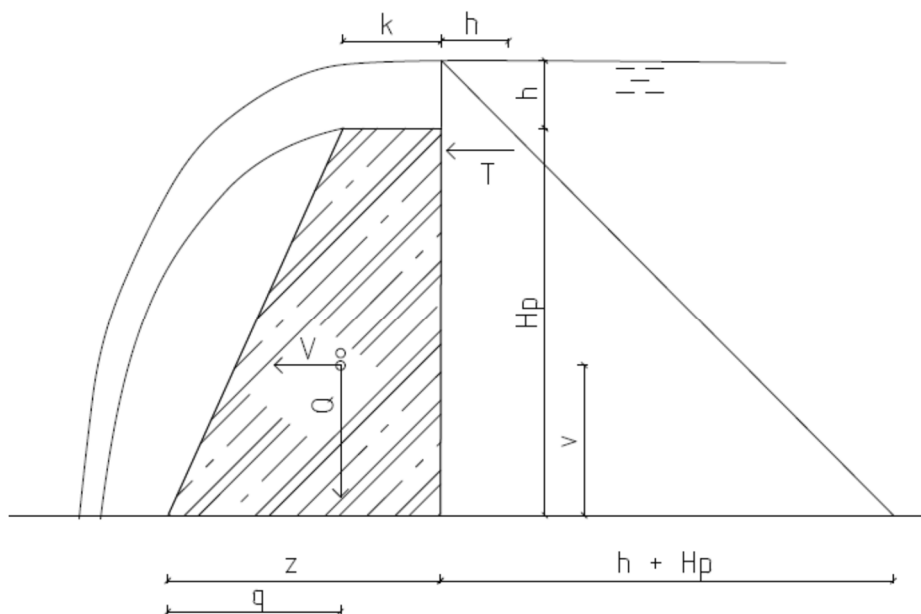
tlakový trojuholník
$$V = \frac{H_p^2}{2} \cdot \rho \cdot 1 \quad (\text{Pa}) \quad (11.21)$$

tlakový lichobežník
$$V = \left(\frac{2 \cdot h + H_p}{2} \right) \cdot H_p \cdot \rho \cdot 1 \quad (\text{Pa}) \quad (11.22)$$

kde: h - hĺbka prietokového profilu prehrádzky (m),

H_p - výška prehrádzky (m),

ρ - hustota vody (1000 kg.m⁻³).



Obr. 11.11 Rozdelenie síl pôsobiacich na teleso prehrádzky (Skatula, 1960)

Gravitačné (ťažové) prehrádzky sú prehrádzky, ktorých vlastná váha má hlavný vplyv na ich stabilitu. Nasledujúce podmienky musia byť zohľadnené:

- v žiadnom bode prehrádzky nemá ťažová sila prekročiť stanovený limit. Výslednica všetkých vonkajších síl pôsobiacich nad akoukoľvek horizontálnou časťou by mala ostať vo vnútri (centrálnom jadre) - táto podmienka zvyšuje bezpečnostný faktor voči prevráteniu na hodnotu vyššiu ako 1;
- prehrádzka musí byť dostatočne stabilná proti posunutiu na základni alebo v ktoromkoľvek horizontálnom bode. Ak je teleso prehrádzky bezpečné proti prevráteniu, ale nevykazuje bezpečnosť proti posunutiu, je možné dosiahnuť požadovaný stupeň bezpečnosti naklonením základovej škáry tak, aby výslednica všetkých síl pôsobiacich nad časťou alebo základmi ležala pod uhlom α od vertikálnej osi tak, že $\tan \alpha$ je menší ako zodpovedajúci súčiniteľ trenia (Tab. 11.4);

$$\tan \alpha = f \quad (11.23)$$

- tlaková sila pôsobiaca na materiály prehrádzky nemá presiahnuť prípustnú hranicu.

Pri výpočte stability ťažovej konzolovej prehrádzky musí byť preukázaná:

1. bezpečnosť proti prevrhnutiu, t.j. výslednica tlakov, ktoré na hrádzu pôsobia a váhy muriva nesmú vybočiť z uvažovanej horizontálnej škáry, teda musí platiť

$$\frac{\sum Q_i \cdot g_i}{\sum V_i \cdot v_i} \geq 1,5 \quad (11.24)$$

kde: Q_i - zvislé sily pôsobiace na teleso, teda ťaž telesa a zvislé zložky vodného tlaku (N),

g_i - ramena zvislých síl k otočnej hrane vo vzdušnej stene prehrádzky (m),

V_i - vodorovné sily - vodorovné zložky vodného tlaku (N),

v_i - ramena vodorovných síl k rovnakej otočnej hrane (m);

2. bezpečnosť pevnosti muriva, t.j. namáhanie muriva v tlaku nesmie v žiadnom bode hrádzke prekročiť dovolené namáhanie, ktorému prislúcha použitie stavebnej hmoty - namáhanie muriva v ťahu sa nesmie vyskytnúť, tzn. že výslednica musí zostať vo vnútornej tretine základovej škáry;

3. bezpečnosť proti posunutiu, tzn. že nesmie nastať následkom pôsobenia vodorovnej zložky výslednice síl posunutie muriva hrádze v základovej alebo v niektorej inej škáre, pričom platí

$$\frac{\sum Q_i \cdot f}{\sum V_i} \geq 1,2 \quad (11.25)$$

kde: f - súčiniteľ trenia medzi základom prehrádzky a základovou škárou.

Súčiniteľ trenia pre murivo spojované maltou je 0,7 a pre betónové murivo je 0,5. Ďalšie hodnoty sú uvedené v Tab. 11.4.

Tab. 11.4 Hodnoty súčiniteľa trenia f

Popis materiálov	súčiniteľ trenia
betón po betóne	0,75
betón po skale	0,75
betón po skale strednej kvality	0,50 - 0,65
betón po skale zlej kvality	0,30 - 0,50
betón po piesku alebo štrku	0,35 - 0,50
betón po íle	0,20 - 0,30
kamenné murivo po kamennom murive	0,60 - 0,70
kamenné murivo po piesku alebo štrku	0,50 - 0,60
kamenné murivo po hlinitej pôde	0,40 - 0,55
kamenné murivo po ílovitej pôde	0,30 - 0,50

4. bezpečnosť, pokiaľ ide o namáhanie základovej pôdy v tlaku, ktoré nesmie byť prekročené. Napätie v základovej škáre sa určí podľa vzorca

$$\sigma_{1,2} = \sigma_0 \cdot \left(1 \pm \frac{6e}{b}\right) \quad (\text{Pa}) \quad (11.26)$$

kde: σ_0 - stredné napätie $\frac{N}{F}$ (Pa),

N - súčet všetkých síl pôsobiacich kolmo na škáru (N),

F - plocha škáry (m^2),

e - vzdialenosť výslednice síl od stredu škáry (m),

b - šírka škáry (m).

Pri statickom riešení tiažových konzolových prehrádzok sa posudzuje len jedna 1 m široká konzola, a to tá, na ktorej dosahuje prehrádzky najväčšiu výšku, t.j. najčastejšie tá, ktorá je osadená v osi prehrádzky.

12 Použitá literatúra

- Antal, J.: Ochrana pôdy a lesotechnické meliorácie 2. Návody na cvičenia. Bratislava: Príroda, 1985, 208 s.
- Binder, R.: Zahrádzanie bystrín a lavín. Bratislava: Príroda, 1969, 296 s.
- Cablík, J., Jůva, K.: Protierozní ochrana půdy. 2. prepracované vydanie. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1963. 324 s.
- Čabalová, D., Baliak, F., Kopecký, M.: Geológia. Bratislava: STU, 1999, 211 s. ISBN 80-227-1284-1
- Donat, M.: Bioengineering Techniques for Streambank Restoration. A Review of Central European Practices. Watershed Restoration Project Report No. 2, 1995, 86 s.
- Dvořák, J., Novák, L., Antal, J., Filip, J., Húska, D., Stred'anský, J., Křovák, F., Pasák, M.: Soil conservation and silviculture. Amsterdam: Elsevier, 1994, 396 s. ISBN 0-444-98792-4
- DYWIDAG: Sortiment geotechnických výrobkov spoločnosti DYWIDAG. (<http://docplayer.cz/amp/25765454-Sortiment-geotechnicky-ch-vyrobkov-spolocnosti-dywidag.html>)
- Gualdi, P., Macura, V., Škrinár, A.: Použitie drôtokamenných konštrukcií v úpravách tokov. Bratislava: MACCAFERRI CENTRAL EUROPE s.r.o., 2015, 96 s. ISBN 978-80-89151-44-8
- Gupta, S.K.: Modern Hydrology and Sustainable Water Development. New Delhi: Wiley-Blackwell, 2010, 464 s. ISBN 978-1-4051-7124-3
- Hassanli, A.M., Beecham, S.: Criteria for optimizing check dam location and maintenance requirements. In Check Dams, Morphological Adjustments and Erosion Control in Torrential Streams, eds. Garcia C.C., Lenzi M.A. Nova Science Publishers, 2010, str. 22. ISBN 978-1-60876-146-3
- Húska, D.: Lesotechnické meliorácie. Nitra: ES VŠP, 1983
- Chadwick, A., Morfett, J., Borthwick, M.: Hydraulics in civil and environmental engineering. 5th edition. CRC Press, 2013, 624 s. ISBN 978-0-415-67245-0.
- Jurík, L., Halaj, P., Paganová, V., Strnál, M.: Zakladanie a údržba brehových porastov pri vodných tokoch a nádržiach na vidieku. Nitra: Agroinštitút, 2012, 101 s. ISBN 978-80-7139-152-4.
- Kaletová, T.: Hydromechanika. Nitra: SPU, 2013, 126 s. ISBN 978-80-552-0975-3
- Krajčírová, Z., Stred'anský, J.: Lesotechnické meliorácie. Nitra: ES VŠP, 1990
- Křovák, F., Kovář, P., Kadlec, V.: Technická protierozní opatření - Hrazení bystrín a strží. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i. 2014, 53 s. ISBN 978-80-87361-31-3
- Lehotský, M., Kidová, A., Rusnák, M.: Slovensko-anglické názvoslovie morfológie vodných tokov. In Geomorphologia Slovaca et Bohemica, roč. 15, č. 1, 2015, 61 s. ISSN 1337-6799
- López Cadenas de Llano, F.: Torrent control and streambed stabilization (FAO Land and Water Development Series, n. 9). Rím: FAO, 1993, 169 s. ISBN 92-5-102424-3
- Macura, V., Halaj, P.: Úpravy a revitalizácie vodných tokov. Bratislava : STU, 2013, 228 s. ISBN 978-80-227-3925-2.
- Mindáš, J., Škvarenina, J., Střelcová, K.: Význam lesa v hydrologickom režime krajiny. Životné prostredie, 2001, roč. 35, č. 3, str. 146-150.
- MPaRR SR, NLC: Správa o lesnom hospodárstve v Slovenskej republike za rok 2015 - Zelená správa. 2016 (<http://www.mpsr.sk/index.php?navID=123&id=10995>)
- Nemčok, A.: Zosuvy v slovenských Karpatoch. Bratislava: VEDA SAV, 1982, 320s.

Remaitre, A., Malet, J.-P.: The effectiveness of torrent ched dams to control channel instability: Example of debris-flow events in clay shales. In Check Dams, Morphological Adjustments and Erosion Control in Torrential Streams, eds. Garcia C.C., Lenzi M.A. Nova Science Publishers, 2010, str. 27. ISBN 978-1-60876-146-3

Skatula, L.: Hrazení bystřin a strží. Praha: Příroda, 1960

Skládanka, J., Vrzalová, J., Vyskočil, I.: Trávníkářství - multimediální učební texty. (http://web2.mendelu.cz/af_222_multitext/travy/index.php?N=0&I=0)

STN 48 2506: Lesníckotechnické meliorácie. Zahrádzanie bystřin a strží. (v. 06/2016)

STN 75 0110: Vodné hospodárstvo, Hydrológia, Terminológia

STN EN 10223-3: Ocelový drôt a drôtené výrobky na ploty a siete. Časť 3: Výrobky zo sietí z ocelového drôtu so šesťuholníkovým okom určené na stavebné účely

STN EN 10223-8: Ocelový drôt a drôtené výrobky na ploty a siete. Časť 8: Zvárané siete na gabionové produkty

Straka, J., Straková, M.: Zakládání trávníků a péče o trávníky. Učební texty pro výukový program Kvalifikovaný pracovník v péči o zeleň. Svaz zakládání a údržby zeleně. 2011, 44 s. (<http://www.szuz.cz/UserFiles/File/Zakladani%20travniku%20a%20pece%20o%20travniky.pdf>)

Štefančík, I., Kamenský, M., Bruchánik, R.: Výchova a obnova lesných porastov v rozdielnych ekologických podmienkach. Zvolen: Národné lesnícke centrum, 2007, 142 s. ISBN: 978-80-8093-027-1

Štich, O.: O zákonitosti pohybu splavenín. Bratislava: Práca VÚV 1958.

Valtýni, J., Jakubis, M.: Lesnícke meliorácie a zahrádzanie bystřin. Zvolen: Technická univerzita, 1998, 270 s. ISBN 80-228-0793-1

Vokurka, A.: Hrazení bystřin a strží - znovuobjevovaná technická úprava vodních toků s extrémním sklonem. In Vodohospodářské stavby, Stavební kniha 2016. Praha: ČKAIT, 2016, s. 96-107. ISBN 978-80-87438-75-6

Zachar, D.: Erózia pôdy. Bratislava: SAV, 1970, 528 s.

Internetové stránky

http://sk.sycons.eu/subhorizontalne_odvodnovacie_vrty

<http://www.geokotvy.cz/>

<http://www.geomat.cz/>

<http://www.lesy.sk/files/lesnik/2005/Lesnik10/neostanme.htm>

<http://www.zakladani.cz/cz/horninove-kotvy>

<https://pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/images/fig3grouping-2LG.jpg>

Autorka:

Ing. Tatiana Kaletová, PhD.

Názov:

LESOTECHNICKÉ MELIORÁCIE

Vydavateľ: Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre

Vydanie: prvé

Rok vydania: 2017

AH – VH: 12,48 – 12,71

Neprešlo redakčnou úpravou vo Vydavateľstve SPU.

ISBN 978-80-552-1694-2