

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí

Katedra biotechnických úprav krajiny



Poškozování břehů nádrží abrazí

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Miloslav Janeček, DrSc.

Zpracovatel: Tomáš Repaský

© 2014 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra biotechnických úprav krajiny

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Repaský Tomáš

Územní technická a správní služba

Název práce

Poškozování břehů nádrží abrazi

Anglický název

Damaging of river banks of ponds by abrasion

Cíle práce

Analýza vlivů abraze na břehy vodních nádrží a návrhy způsobů opatření proti abrazi.

Metodika

Shromáždění literatury a její následné prostudování. V souvislosti s daným tématem bude provedena excerptce poznatků týkajících se poškozování břehů nádrží abrazi v České republice. Následně bude provedeno utřídění poznatků, včetně uvedení příkladů poškození v našich podmínkách. Práce bude obsahovat stručné vysvětlení problematiky, uvedení příkladů projevů abraze a opatření proti ní.

Harmonogram zpracování

1. Zadání bakalářské práce (březen 2013)
2. Sběr literatury, metodický postup a počátek excerptce poznatků (listopad 2013)
3. Zpracování první verze práce, rozpracování kapitol cca 60% (leden 2014)
4. Koncept bakalářské práce (březen 2014)
5. Odevzdání čistopisu bakalářské práce (duben 2014)

Rozsah textové části

35-40 stran

Klíčová slova

poškození břehů nádrží, příčiny abraze, ochranná opatření

Doporučené zdroje informací

Slezinger, Miloslav . Vegetační doprovod vodních toků a nádrží. Vyd. 2. upr. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002, 129 s. ISBN 80 - 720 - 4269 - 6

Slezinger, Miloslav. Břehové abraze: příspěvek k problematice zajištění stability břehů. Vyd. 1. Brno: Zdeněk Novotný, 2003, 157s. ISBN 80 - 865 - 1075 - 1

Toman, František. Protierozní ochrana půdy: cvičení. Brno, Mendelova zemědělská a lesnická Univerzita, 1996

Škopek, Václav. Ochrana břehů vodních nádrží proti abrazi. Praha: VŠZ, 1973

Janeček, M. Ochrana zemědělské půdy před erozí. Praha: ÚVTIZ, 1992, 110 s.

Vedoucí práce

Janeček Miloslav, prof. Ing., DrSc.

Elektronicky schváleno dne 14.4.2014

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 14.4.2014

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Děkan fakulty

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma "Poškození břehů nádrží abrazí" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 1. 4. 2014

Podpis:

Poděkování

Rád bych poděkoval panu profesoru Ing. Miloslavu Janečkovi, DrSc. Za odborné vedení, rady a ochotu při konzultacích a zpracování mé bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině, především bratrovi za cenné rady a své přítelkyni za podporu, kterou mi po celou dobu poskytovali.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá abrazí a protiabrazní ochranou se zaměřením na výskyt tohoto jevu převážně v České republice. První část je věnována všeobecnému pohledu na abrazi. Rozebírá příčiny vzniku abraze a faktory podmiňující vznik abraze. V další části je popsáno rozdělení břehového území v důsledku míry působení abraze a ochranné prvky zabraňující působení a rozvoji abraze.

Tato práce shrnuje údaje o vývoji a současném stavu abraze a protiabrazních opatření s přihlédnutím na faktory, kterými jsou tyto jevy ovlivňovány a na způsoby řešení jednotlivých případů rozvoje abraze.

Klíčová slova: poškozování břehů nádrží, příčiny abraze, ochranná opatření

Abstract

The bachelor thesis deals with the antiabrasion protection and focuses mainly on the occurrence of this phenomenon in the Czech Republic. The first part of the thesis is devoted to a general description of the abrasion. It analyzes the causes of the abrasion and factors affecting the development of the abrasion. The second part describes the division of the shore area due to the level of exposure to the abrasion, and security features to prevent operation and abrasion development.

This thesis summarizes the information about the development and the current state of the abrasion and antiabrasion and it takes into account the factors that are affected by this phenomena and ways of dealing with individual cases of the development of the abrasion.

Key words: damage of reservoir banks, causes abrasion, protective measures

Obsah

1	Úvod.....	8
2	Cíle práce	9
3	Obecná problematika	10
4	Faktory ovlivňující vznik abraze.....	11
4.1	Činitelé podmiňující vznik abraze.....	12
4.2	Činitelé způsobující vznik abraze břehů	15
5	Členění pobřežního území	22
6	Způsoby ochrany břehů.....	26
6.1	Vegetační opevnění břehů vodních nádrží	27
6.1.1	Funkce vegetačního doprovodu	28
6.1.2	Volba druhové skladby	29
6.1.3	Umístění rostlin.....	30
6.1.4	Rostlinné druhy vegetačního doprovodu	31
6.1.5	Členění pobřežního území dle umístění pásem ochranné vegetace	32
6.2	Technická opevnění břehů vodních nádrží.....	35
6.2.1	Druhy technických opevnění břehů vodních nádrží.....	35
6.3	Biotechnické způsoby ochrany břehů vodních nádrží.....	37
6.3.1	Základní typy biotechnických opevnění břehů vodních nádrží	38
7	Závěr	46
8	Seznam literatury	47

1 Úvod

Břehová abraze je přírodní jev, při kterém dochází k plošnému obrušování dna i břehů pohybem vody (vlněním) spojené s transportem a sedimentací uvolněného materiálu. Tento přírodní jev se vyskytuje ve většině nádrží po celém světě.

V rámci projektové přípravy vodních děl zůstávají návrhy na vhodná preventivní opatření neustále na okraji zájmu. I když je možné v mnoha případech poměrně snadno vytipovat a navrhnout vhodná preventivní stabilizační opatření, většinou se při výstavbě vodních děl nebere na tyto okolnosti zřetel a negativní abrazivní účinky jsou řešeny až po jejich prvotním výskytu. Provádění následných zásahů a úprav je však ekonomicky i technicky výrazně náročnější. Avšak i při těchto případech lze pomocí návrhu vhodného stabilizačního opatření v kombinaci s vhodnou prostorovou a druhovou skladbou břehových porostů zajistit dostatečnou protiabrazní a protierozní ochranu břehu.

2 Cíle práce

Cílem této bakalářské práce je poukázat na problematiku rozvoje abraze na vodních nádržích. Jsou zde detailně popsány faktory podmiňující vznik abraze a je zde kladen důraz na možnosti využití především biotechnických stabilizačních postupů, vegetačního doprovodu a především břehových porostů pro dostatečné zajištění stability břehů nádrží a ochranu proti vzniku a rozvoji břehové abraze.

3 Obecná problematika

Existuje mnoho přírodních jevů, které svojí každodenní činností nějakým způsobem stěžují člověku život. Ať se jedná o různé výkyvy teplot, záplavy, zemětřesení atd., vždycky se s tím musel, musí a bude muset člověk nějak vypořádat. Jedním z těchto problémů je eroze. Eroze je přírodní proces zapříčiněný gravitací, při kterém činností větru, vody, ledu a dalších faktorů dochází k rozrušování půdního povrchu, transportu nebo sedimentaci půdních částic. Transportované půdní částice a na nich vázané látky znečišťují vodní zdroje, zanášejí akumulací prostory nádrží, snižují průtočnou kapacitu toků, vyvolávají zakalení povrchových vod, zhoršují prostředí pro vodní organismy, zvyšují náklady na úpravu vody a těžbu usazenin; velké povodňové průtoky poškozují budovy, komunikace, koryta vodních toků atd. (Janeček, 2007). V této bakalářské práci se budeme zabývat jedním z druhů eroze, konkrétně vodní erozí a jednou z jejich kategorií, což je poškozování břehů neboli abraze.

S termínem abraze se v mnohých publikacích můžeme setkat také v jiném podání a to například jako vlnová abraze nebo břehová abraze. Šlezinger (2011) definuje proces působení půdních částic na dno a břehy různých toků a nádrží jako břehovou abrazi. Podle Šlezingra (2011) je břehová abraze plošné obroušování podkladu (dna a břehů) pohybem vody (vlněním) spojené s přemísťováním a ukládáním uvolněného materiálu. Tento jev je posuzován jako jeden z hlavních problémů velké většiny vodních nádrží, a to nejen v České republice, ale i po celém světě. V jiném případě Novák a kol. (1986) určují ústup břehové čáry v důsledku činnosti vln jako vlnovou abrazi, někdy se můžeme setkat i s termínem limnická eroze pobřeží. Při působení vlnové abraze dochází k velmi intenzivním změnám krajiny, hlavně v oblasti styku vodní hladiny a pevné hmoty pobřeží. Valouchová (2005) tvrdí, že vlnová abraze břehů je proces mechanického obroušování, rozrušování a ohlazování povrchu hornin účinkem vlnění spojený s transportem a ukládáním uvolněného materiálu, k němuž dochází za určitých podmínek a za spolupůsobení množství faktorů a přírodních činitelů.

4 Faktory ovlivňující vznik abraze

Vznik a rozvoj abraze je způsobován mnoha faktory, výsledky jsou však stejné – výrazné poškození břehů a nádrží, vznik abrazních srubů a odplavení mnoha desítek, či stovek m³ zeminy. Výjimkou nejsou ani následné sesuvy půdy, ohrožení na břehu stojících objektů a komunikací (Šlezinger, 2004).

Šlezinger (2004) tvrdí, že se jedná o proces, na který má sice zásadní vliv vlnění hladiny, ale také všechny ostatní aspekty projevující se v rámci interakce vody – břehové území (zde máme ze strany „vody“ na mysli především dlouhodobý režim údolní nádrže, úroveň hladiny vody – minimální, průměrná, maximální a další).

Jako další faktory, které mají výrazný vliv na stabilitu břehů nádrží, popisuje Šlezinger (2004) především geologickou stavbu území, morfologický tvar břehu, fyzikálně – mechanické vlastnosti hornin, vliv proudění podzemní vody, prostorovou a druhotnou skladbu břehových porostů a jejich stáří, klimatické vlivy, sklon svahu tvořícího břeh, nemluvě již o nahodilém zatížení, antropogenních vlivech apod.

Další význam z hlediska rozvoje abraze mají také vnitřní soudržné síly – zde se projevuje velký vliv takzvané „přirozené armatury“, tedy vazba zeminy s kořenovým systémem dřevin, ale i vazba mezi jednotlivými zrny.

Jiný pohled na věc uvádí Valouchová (2005), která jako hlavní faktory ovlivňující vlnovou abrazi uvádí vlnění eolického původu, vlnění způsobené pohybem plavidel, kolísání hladiny v nádržích, účinky mrazu a tání, vliv ledové pokrývky a pohybu ledových ker, vliv průsaku vody půdním horizontem a povrchové vodní eroze a taktéž antropogenní vlivy. Dále tvrdí, že velikost, tvar a intenzita přetváření břehů způsobených abrazí závisí především na pokrývných útvarech břehů (geologické a pedologické poměry, fyzikálně mechanické vlastnosti) a geomorfologických poměrech (sklony břehů).

Velký vliv na tvorbu abraze má také provoz nádrže. Břehy vodních nádrží jsou během provozu ovlivňovány mnohonásobným působením činnosti vln. Kratochvíl (1961) označuje za nádrže s velkým provozem ty, které slouží např. na využití vodní energie s přidruženou elektrárnou. Ve své publikaci uvádí, že výkyvy hladin

způsobené provozem dosahují až několika desítek metrů, což má značný vliv na přetváření břehů nádrže. Kratochvíl (1961) dále uvádí, že vlnobití poškozuje břehy erozí a účinek této eroze závisí na rychlosti a výšce větrové vlny, dále na ploše a délce ve směru převládajících větrů.

4.1 Činitelé podmiňující vznik abraze

Novák a kol. (1986) označují za hlavní činitele:

- Geologické a pedologické poměry
- Fyzikálně mechanické vlastnosti povrchových útvarů břehů
- Sklony svahů

Geologické a pedologické poměry

Za důsledek vzniku břehové abraze a zároveň ústupu břehové čáry považují Novák a kol. (1986) především litologické a petrografické složení hornin, které je považováno za základní složky tvořící břeh nádrže. V případě skalního podloží má velmi negativně působí velká puklinatost, hlavně tehdy, je-li směr puklin ve stejném směru jako sklon břehu. Šlezinger (2004) k tomu dodává, že případnou hrozbu tvoří také vrstevnatost a břidličnatost hornin, neboť jde o předurčené plochy odlučnosti, které mohou za určitých nepříznivých okolností zavinit i sesuv nadložních pokryvů. Na odolnost hornin vůči působení vlnění má vliv také úroveň a způsob povrchového navětrávání a geomorfologické poměry, tj. tvar, sklon, výška a členitost břehové linie.

Přirozená odolnost je jeden z nejdůležitějších činitelů podmiňujících vznik abraze. Novák a kol. (1986) rozdělují horniny do skupin podle stupně jejich odolnosti:

Skupina 1. zcela odolné horniny – kompaktní horniny vyvřelé, proměněné, usazené a kamenité suti, jsou to nerozmyvatelné skalní horniny, u nichž se abraze téměř vůbec neprojevuje.

Skupina 2. méně odolné horniny – povrchové zvětralé horniny usazené, zpevněné, horniny flyšového pásma, horniny podskalní, zvětralé. Horniny jsou jen velmi obtížně rozmyvatelné. Podle způsobu uložení vrstev a podle stupně navětrávání mohou být pozvolna abradovány, nikoli však do větších hloubek a ve větším rozsahu. Tvorba typicky abrazního srubu je vyloučená.

Skupina 3. málo odolné horniny – jsou tvořeny převážně nesoudržnými hrubozrnnými sypkými horninami, např. eluviální písčité štěrky, terasové říční štěrky, štěrky s příměsí hlín a jílu, zvětraliny flyšových hornin, říční náplavy a hrubozrnné písky. Jsou rozmyvatelné, účinnost abraze se projevuje v různé frekvenci a je možná tvorba abrazního srubu.

Skupina 4. zcela neodolné horniny a zeminy – jsou to zeminy sypké, nesoudržné, středně až jemnozrnné písky, prachové písky, písčité hlíny, písčité hlíny, sprašové hlíny, jíly a organické zeminy. Z genetického hlediska jde o eluviální, svahové, naplavené a eolické pokryvné útvary, jejich vznik se řadí do období třetihor a čtvrtohor. Tyto horniny jsou lehce rozmyvatelné a právě v těchto útvarech dochází k největšímu rozvoji abraze a k tvorbě vysokých abrazních srubů.

Při porovnávání odolnosti hornin vůči vlnění užíváme jako charakteristické kritérium jejich rozmyvatelnost. Pro rozpoznání stupně rozmyvatelnosti hornin použil rozbřídavost, jako jednu ze základních vlastností při své práci Zolotarev (1955). Rozbřídavost definoval časovou jednotkou, za níž druh horniny nebo zeminy, který je ve vodě, se rozpadá a ztrácí soudržnost. Zcela neodolné druhy hornin ztrácí svou soudržnost během 0,5 až 2 hodin, málo odolných za 2 až 3 hodiny, u méně odolných lze pozorovat pouze rozpad podle vrstev, které však nerozbřídají, horniny zcela odolné ve vodě vůbec nezmění svou strukturu. Podle Nováka a kol. (1986) je nutno při rozdělení hornin podle rozmyvatelnosti vzít v úvahu také další faktory, které ovlivňují tuto vlastnost přímo na březích nádrže. Jsou to např. kolísání hladiny fyzikálně-mechanické vlastnosti hornin a v neposlední řadě také expozice břehů proti slunečnímu svitu. Konkrétně zeminy s dobrou soudržností mění své vlastnosti při nasycení vodou a následném vyschnutí, jejich struktura se obvykle rozpadá.

Fyzikálně mechanické vlastnosti pokryvných útvarů břehů

Dle Nováka a kol. (1986) jsou to právě fyzikálně mechanické vlastnosti jednotlivých druhů hornin a zemin, kterými jsou břehy tvořeny, na nichž závisí stabilita břehů vodních nádrží. Dále tyto vlastnosti ovlivňují klimatické změny, zvláště v jarním a zimním období, a účinek vnější vody v zátopě nádrže. Jiný náhled na věc má Eichler (1978), který uvádí, že se jedná o určení zrnitosti zemin, ulehlosti zemin, určení objemové hmotnosti zemin a dalších důležitých charakteristik, obecně nazývaných tzv. granulometrické složení. Šlezinger (2004) popisuje, že se nejvýrazněji projevuje abraze u soudržných a nesoudržných zemin. Důležitou roli při projevu abraze zde představuje úroveň hladiny vody v nádrži, jelikož od poloh úrovně hladiny vody se odvíjí nasycenost a propustnost zemin v úrovni hladiny, případně úroveň úplné saturace míst nacházejících se pod hladinou. Novák a kol. (1986) definují, že nadměrný obsah vody v zemině skutečně zhoršuje její fyzikálně mechanické vlastnosti, propustnost roste se stoupající vlhkostí a zapříčiňuje zvýšení průsaku až do fáze vyplavování jemných zrn, čímž dochází k vnitřní destrukci zeminy. Šlezinger (2004) tuto definici doplňuje tím, že s rostoucím obsahem vody v soudržných zeminách dochází k bobtnání, následně rozbídní. A v konečné fázi klesá celková soudržnost plastických zemin v důsledku klesání úhlu vnitřního tření. Výsledkem těchto jevů je vytvoření silných předpokladů pro tvorbu a rozvoj břehové abraze.

Sklon a úhel svahů, tvořící břeh vodního díla

Z výsledků různých měření a pozorování na vodních nádržích Novák a kol. (1986) prokazují, že břehy se sklonem 3° až 4° se jeví jako stabilní a abraze se u nich neprojevuje v žádných geologických útvarech. Do tohoto stupně sklonu se zde vytvářejí tzv. „plážovité pobřežní plošiny“, které neovlivňují žádné faktory podmiňující vznik abraze. Vlnění hladiny zde nemá žádný vliv, protože v důsledku hodnot sklonitosti svahu zde dochází k neškodnému výběhu vlny na břeh. Šlezinger (2004) apeluje na to, že je důležité uvědomit si, že největší riziko postupu abraze závisí především na velikosti úhlu sklonu pobřežní plošiny, na výškové poloze hladiny a na výšce vlny. Dle Nováka a kol. (1986) se abraze začíná projevovat při sklonech větších než 4° na březích tvořených zeminami. Jako měřítko kritických sklonů, podmiňujících vznik abraze, se dá využívat zjištěných hodnot sklonů pobřežních plošin, na nichž se ukládá abradovaný materiál, ale není již narušován abrazí. Tyto hodnoty, charakterizující jednotlivé druhy hornin a zemin, jsou vodítkem

pro určení maximálního možného ústupu břehové čáry a pro návrhy preventivní ochrany břehů.

Orientační hodnoty úhlů sklonů svahů dle Nováka a kol. (1986), při nichž jsou břehy ještě odolné vůči abrazi:

- | | |
|-----------------------------|----------|
| • Hlinité písky | 2 - 4° |
| • Jemnozrnné písky | 3 - 5° |
| • Svahové a sprašové hlíny | 4 - 6° |
| • Jíly | 7 - 8° |
| • Štěrky s hlinitou příměsí | 18 - 22° |
| • Štěrkokamenité suti | 22 - 26° |

4.2 Činitelé způsobující vznik abraze břehů

Podle Nováka a kol. (1986) vzniká abraze břehů vodních nádrží působením těchto faktorů:

- Vlnění eolického původu
- Vlnění způsobené pohybem plavidel
- Kolísání hladin v nádrži
- Účinek ledové pokrývky a pohybu ledových jiker
- Účinek mrazu a tání

Vlnění eolického původu

Pohyb vzduchu působí na vodní hladinu, tím se částice vody dostávají do kmitavého pohybu, který probíhá po uzavřených orbitálních křivkách a přechází do vlnitého periodického pohybu ve směru proudění větru Novák a kol. (1986). Vlna, která vznikla působením větru, je označována jako větrová vlna vynucená. Lukáč a Abaffy (1980) rozdělili proces vzniku větrové vlny do 3 stádií:

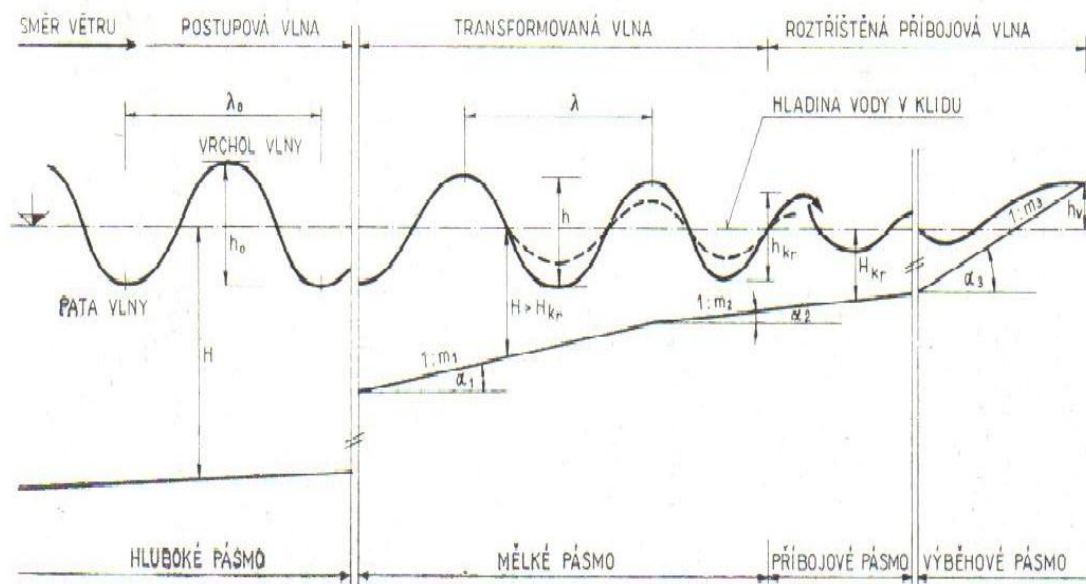
Stádium 1 – při tomto stádiu vznikají první zárodky vlnění. Hlavními úlohu má fluktuaace rychlosti větru a změna hustoty vzduchu v proudu větru. Dalším důležitým činitelem, který zapříčiňuje tvorbu vlnění na hladině je kritická rychlost větru. Šuljak (1972) udává hodnotu kritické rychlosti větru v rozmezí mezi 0,1 – 1,1 m.s⁻¹. Kapica (1949) zase udává hodnotu 0,85 m.s⁻¹ na základě pozorování na moři. Vlnění vzniká

i v podmínkách laminárního proudění vzduchu nad vodní hladinou. Při velkých rychlostech vítr unáší povrchovou vrstvu vody z hladiny a způsobuje zvlnění hladiny. Vlny vznikající v prvním stádiu jsou pravidelné, paralelně jdoucí za sebou.

Stádium 2 – charakterizuje narůstání výšky vln a nesouvislé působení proudu větru na hladinu vody. Zvětšováním rychlosti větru se vytvářejí trojrozměrné vlny.

Stádium 3 – vlnění probíhá v podmínkách asymetrické kinematické struktury proudu větru, při kterém souvisle obtéká návětrná strana vlny a přerušuje se obtékání závětrné strany a úžlabí vlny.

Šlezinger (2004) uvádí, že první náznak vlnění je možné spatřit už při rychlosti $0,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Takto vzniklé vlny působením větru označujeme jako vlny **vynucené**. Jestliže se vlna nachází v pásmu s dostatečnou hloubkou, mění se na vlnu **postupnou**. S ubývajícím hloubkou při postupném přibližování ke břehu se vlna mění a stává se z ní vlna **transformovaná**, jejíž tvar a rozměry jsou již ovlivňovány blízkostí dna. Jestliže vlna překročí kritickou hloubku, dochází k jejímu zlomení a překlopení jejího hřbetu a mění se ve vlnu **roztržitěnou**. Ta se dále pohybuje ke břehu jako vlna **příbojová** (viz obr. č. 1).



Obr. 1: Přeměna větrové vlny při postupu na břeh nádrže (Šlezinger, 2004)

Novák a kol.(1986) ve své publikaci popisuje, že příbojové vlny působí destruktivně při nárazu na břeh. Míra destrukce je ovlivněna její kinetickou energií, tlakem, výškou náběhu a sáním při zpětném splachu. Na plochých březích je destrukce výrazně menší než na strmých březích. V případě plochých břehů totiž dochází k tření spodního úžlabí o dno, čímž se vlny zpožďují a dobíhají ke břehu jako neškodné přílivové vlny. U strmých břehů je míra destrukce o mnoho větší, protože vlny nic nezpomaluje a rozbíjí se až při nárazu na strmý břeh. U kolmých sklonů a u sklonů větších než 1 : 1 se vlny netříští, ale odrážejí se zpět. Největší účinek energie vln je při opakujících se nárazech na břeh. Vlnové údery rozrušují a transportují materiál břehů, při zpětném splachu ho odnášejí a ukládají na konci pobřežní plošiny na akumulární val. Výsledkem destruktivních účinků vlnobití je podemílání břehů nebo jejich ústup.

Vlnění způsobené pohybem plavidel

Dalším výrazným faktorem, který ovlivňuje rozvoj břehové abraze, je vlnění způsobené pohybem plavidel, neboli tvorba vln v důsledku pohybu plavidel po vodní hladině. Když se pohybuje loď po vodní hladině, dochází ke zpětnému proudění, které obtéká pohybující se loď. Dochází k tomu v důsledku zmenšení plochy příčného průřezu koryta toku.

Vlny, které způsobuje pohyb plovoucích lodí na vodní hladině, rozdělil Novák a kol. (1986) do skupin:

- **vlny rozbíhavé** – vlny šířící se pod ostrým úhlem ke směru pohybu lodi souměrně k její podélné ose, vznikají na přídi i na zádi lodi
- **vlny příčné** – vlny mající kolmý směr na směr pohybu lodi

Šlezinger (2004) popisuje, že takto vznikající vlny jsou vlastně určitým druhem oscilačního vlnění. Jejich tvorba totiž závisí na rychlosti pohybu lodě, tvaru ponořené části lodě, hloubce ponoru, délce lodi, způsobu pohonu, vzdálenosti lodi od břehu, drsnosti stěn lodi, náhlé změny manévrování a dalších, často těžko určitelných faktorech. Dle Čábelky (1963) do současné doby ještě nebyly plně

propracovány všechny spojitosti, které by naprosto přesně určovaly parametry vln vznikajících při pohybu lodí po vodní hladině za úvahy všech výše jmenovaných faktorů, a které by byly všeobecně platné a schválené.

Kolísání hladin v nádrži

Tento jev můžeme nejvíce sledovat u energeticky využívaných nádrží. Konkrétně u akumulčních nádrží přečerpávacích vodních elektráren, kde se může výška hladiny lišit i o několik desítek metrů. Dále je tento jev možné pozorovat v ochranných nádržích, zejména v jarním období, kdy je ochranný prostor vyprazdňován.

Podle Šlezingra (2011) jsou na kolísání hladiny citlivé především pokryvné útvary soudržných zemin. Tyto pokryvné útvary jsou většinou uloženy na strmých svazích a jejich podloží bývají z písčité nebo štěrkovité vrstvy, jež je snadno propustná. Podrobný popis procesu vlivu kolísání hladiny popsal Novák a kol.(1986), který uvádí, že v důsledku hydraulického tlaku a průsaku vody dochází k nasycení zemin vodou. Tím je narušena stabilní rovnováha vzájemně působících sil zeminy a při poklesu hladiny obsažená voda v zemině prosakuje působením gravitace zpět, vzniká průsakový tlak, o který se zvětšuje složka objemové hmotnosti a snižuje se stabilita svahu. Průsakový tlak způsobuje vyplavování jemných zrn u písčitých zemin, tj. sufóze. Tento jev můžeme často zpozorovat v úpatí abrazního srubu ve formě hlubokých dutin. Negativní účinky kolísání hladiny u ochranných nádrží definuje Šlezingr (2004). Uvádí, že při rychlém vyprazdňování nebo častém a pravidelném kolísání dochází ke vzniku tzv. pórového tlaku. Ten závisí na rychlosti poklesu hladiny, na stupni nasycení vodou, na propustnosti zeminy a taktéž snižuje stabilitu svahu.

Účinek ledové pokrývky a pohybu ledových ker

Při poklesu teplot se v zimním období tvoří na hladinách vodních nádrží ledová pokrývka. Plocha hladiny zamrzá vždy stejně, a to od kraje nádrže do středu, tím se vytvoří souvislá ledová pokrývka. Tloušťka jedu je podmíněná intenzitě mrazů a jejich délce trvání. V našich klimatických podmínkách může dosahovat 40 až 50 cm i více.

Rozpínání ledu při stoupající teplotě způsobuje působení statického tlaku na břehy nádrží. Největší účinky statického tlaku podle Nováka a kol. (1986) vznikají při zrychleném vzestupu teplot. Uvolněné velké části ledu nebo samostatné ledové kry působí na břehy nádrže dynamickým tlakem. Ledová plocha může být rozrušena dvěma způsoby, a to při zrychleném jarním tání nebo v důsledku pohybu vodní hmoty pod ledovou pokrývkou. Když voda poklesne, zůstanou na březích pevně přichyceny pásy ledu, které se při poklesu vnitřní plochy ledu odlamují a zůstávají ležet na svahu břehu.

Při procesu tání rozrývají materiál břehů, když sjíždějí do nádrže. Když led taje, dochází ke stoupání hladiny nádrže. Stoupání způsobuje zdvih uvolněné vnitřní tabule ledové pokrývky, která se volně pohybuje po hladině vlivem větru a proudu vody a naráží do břehů nádrží, čímž je vlivem dynamického tlaku rozrušuje. Když vnitřní ledová tabule pokrývky dostatečně roztaje, rozlomí se na jednotlivé ledové kry, které rovněž působením dynamického tlaku působí destruktivně.

I u opevněných břehů je třeba počítat s negativními účinky ledu. Např. u kamenných záhozů dochází k přimrznutí ledu k jednotlivým kamenům, jež jsou z opevnění vytrženy pro odtržení ledového pásu.

Účinky mrazu a tání

V zimním a jarním období jsou abrazní jevy rozvíjeny změnami klimatických podmínek, především mrznutím a táním. Jak uvádí Novák a kol. (1986), k největším destrukcím břehů způsobených mrazem a táním dochází u břehů skládajících se z namrzavých zemin, které jsou charakteristické svou kapilární výškou a propustností.

Voda v pórech při mrznutí zamrzá a stává se z ní o 9% objemnější led. Následkem zvětšování objemu dochází k rozrušování zemin formou trhlin. Horniny rozrušené mrazem mají 60krát větší propustnost. Zřejmé problémy se objevují při jarním tání, protože vodou nasycená zemina je zamrzlá a nejprve roztává její povrchová vrstva a pak až vrstva hlubší. Tudiž voda z povrchové zóny nemůže prosakovat, zůstává v ní, snižuje se hodnota úhlu vnitřního tření, zemina se rozmáčí, rozpadá se a zvyšuje se možnost sesuvu půdy. Toto je příčinou nejčastějších sesuvů abrazních srubů právě v jarním období.

Šlezinger (2004) k těmto jmenovaným činitelům podmiňujícím vznik abraze přidal ještě dva:

- Antropogenní vlivy
- Vliv průsaku vody půdním horizontem

Antropogenní vlivy

Hlavní vliv na vznik a pozdější vývoj abrazní destrukce břehu má často lidská činnost v břehové zóně. Jedná se hlavně o nevhodné odvodnění, špatně propracované těžební zásahy či špatnou úpravu břehů. Tyto chyby jsou většinou zapříčiněny špatnými pracovními postupy nebo nevhodnou volbou protiabrazního opatření.

Leckteré narušení přirozeného půdního pokryvu v oblasti možné budoucí paty abrazního srubu má u břehů se sklonem svahu $4 - 5^{\circ}$ za následek neodvratný vznik abrazního poškození. Pokud nebude proti tomuto abraznímu poškození nijak zakročeno, dříve nebo později dojde k vytvoření abrazního srubu. Mezi další problémy, které spadají do antropogenních vlivů, můžeme zařadit ničení břehových porostů z důvodu lepší přístupnosti k vodě (chataři, rybáři), odstranění drnů, prošlapávání různých cest či pěšin v ohrožených částech břehů nebo v kolmých svazích na hladinu – kde poté vznikají erozní rýhy atd.

Případným ohrožením může být také skupina osob nebo složení materiálu (dřevo po těžbě), které svým nenadálým přitížením převisu abrazního srubu může způsobit jeho narušení nebo dokonce sesuv.

Vliv průsaku vody půdním horizontem

K výraznému průsaku vody půdním horizontem dochází především při dlouhodobých deštích. Následně dochází k pohybu podzemní vody a může dojít k výronům takto se pohybující podzemní vody na povrch v poškozených partiích abrazního srubu. Tento jev způsobuje vynucené vyplavování jemných půdních částic, což má společně s destruktivní činností padajících kapek za následek oddělování jednotlivých půdních částic a může způsobit i sesutí převisů či částí stěny abrazního srubu. V místech, kde se nachází vzrostlý strom na hraně abrazního srubu s podemletým kořenovým systémem, může snadno dojít k vývratům.

Při řešení celkového problému zajištění stability břehů se tedy uplatňují znalosti z oblasti fyziky – vlnění, hydraulika, hydrologie, z oblasti mechaniky zemin, geologie, pedologie, ale také dendrologie, biologie a ekologie (Šlezinger, 2004).

Dle Valouchové (2005) je přeměnou břehů abrazní činností na našem území postižena velká část našich vodních nádrží. Podle výsledků průzkumů provedených v roce 1972 se průměrná délka ohrožených břehů pohybovala kolem 20 až 35 % délky břehů nádrží.

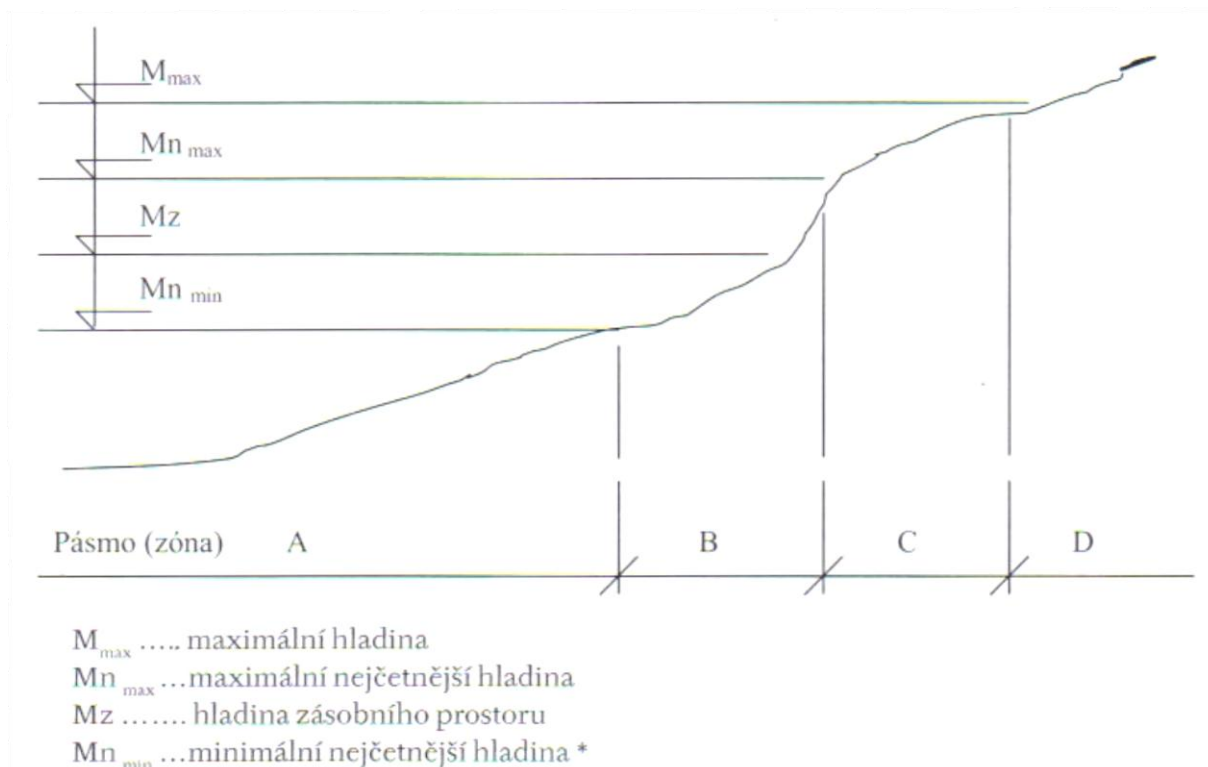
5 Členění pobřežního území

Z hlediska umístění vegetačního doprovodu na březích vodních nádrží je možné pobřežní území charakterizovat jako prostor umožňující existenci vegetace. Členění pobřežního území je dle Nováka a kol. (1986) možné rozdělit ve vertikálním směru na dvě části, na část břehovou a na část v zátopě nádrže. Nejčtenější hladina zásobního prostoru tvoří spodní hranici v zátopě a kóta maximálního vzdmutí se považuje za horní hranici.

Ve vertikálním směru Šlezinger (2011) rozděluje pobřežní území na čtyři části: profundální, sublitorální, eulitorální a supralitorální. Ale naproti tomu Novák a kol. (1986) uvádí pouze tři oblasti, což jsou: sublitorální, eulitorální a supralitorální.

Rozdělení břehových oblastí dle Šlezingra (2011):

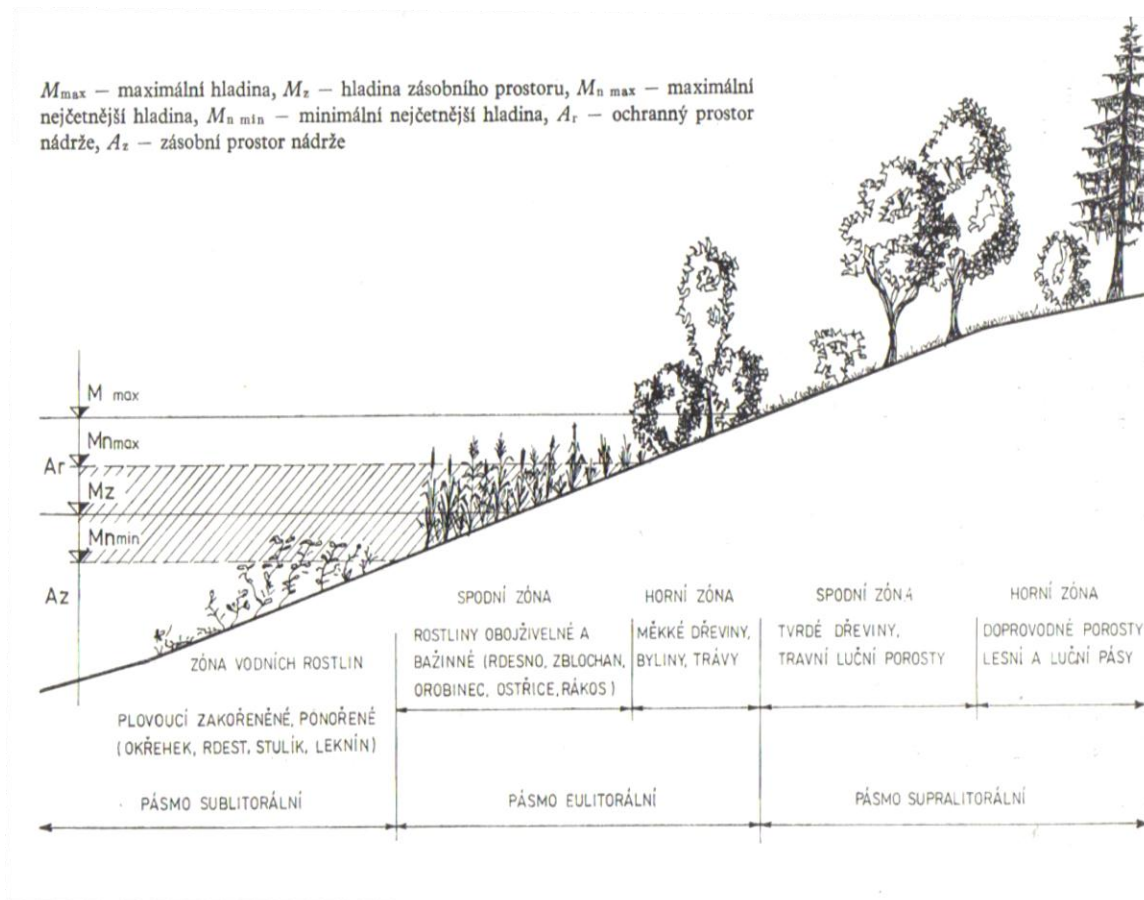
- Pásmo A: *Profundální* – stále zatopená nebo převážně zatopená oblast, výskyt pouze plovoucích rostlin zakořeněných i nezakořeněných (leknín, okřehek, rdest, stulík atd.)
- Pásmo B: *Sublitorální* – občasně zatápěná oblast rostlin bažinných a rákosin (orobinec, zblochan, rákos atd.)
- Pásmo C: *Eulitorální* – v blízkosti sublitorálního pásma možný výskyt rákosin, ve vyšší části svahu výskyt měkkých dřevin (olše, topol, keřové i stromové vrby), byliny, trávnatý porost
- Pásmo D: *Supralitorální* – ve spodní části výskyt i tvrdých dřevin (jasan, dub letní), dále obsazení doprovodných porostů, lučních pásů a lesních pásů



Obr. 2: Rozdělení pásem dle Šlezingra (Šlezingr, 2011)

Rozdělení břehů nádrží dle Nováka a kol. (1986)

- *Pásmo sublitorální* – plochy břehů nacházejících se pod nejčtenějšími hladinami zásobního prostoru, jsou trvale zatopeny, vyskytují se tam plovoucí, ponořené, nezakořeněné i zakořeněné rostliny (vodní mor, okřehek, rdest)
- *Pásmo eulitorální* – plochy břehů nacházejících se v rozmezí od nejčtenějších hladin ke kótě maximální hladiny, pásmo kde neustále kolísají hladiny, pásmo obnažovaných a střídavě zatápěných ploch, výskyt bažinných a oboživelných rostlin (zblochan, orobinec, ostřice, rdesno, rákos), v horní části zastoupení i měkkých dřevin (vrby, olše, trávy a byliny)
- *Pásmo supralitorální* – spodní část obsahuje tvrdé dřeviny, travní porosty, luční porosty a horní část obsahuje porosty doprovodné a ochranné lesní pásy

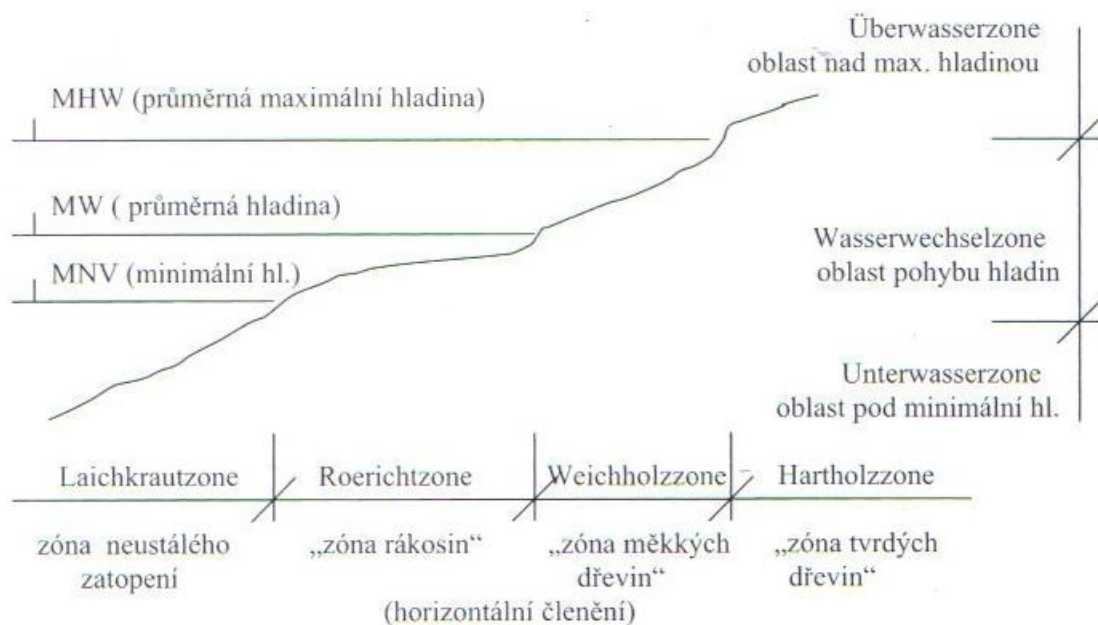


Obr. 3: Rozdělení pásem dle Nováka a kol. (Novák a kol., 1986)

Takřka stejným problémem, tedy rozdělením břehových pásem, se zabýval německý profesor Petchallies (1989), který ve své publikaci víceméně souhlasí se Šlezingrem (2011), avšak horizontální členění u břehových oblastí se zde vztahuje především k disponujícímu typu zde nejvíce prosperujících plodin (vegetace). Navrhuje, aby horizontální členění téměř přesně kopírovalo úroveň hladiny. Viz obr. 4 – byly zde ponechány i původní názvy zón pro lepší orientaci a přehled.

Svým názorem přispěl také prof. Rodriguez (1996), který uvádí, že v zóně neustálého zatopení, čili v profundální zóně (podle Šlezingra), je vhodné začlenit „Schwimtblattpflanzzone“, což bychom mohli přeložit jako oblast plovoucích rostlin. Toto opatření má podle Rodrigueze zmírňující účinky na vliv vlnobití. Avšak

podle názorů ostatních autorů je to v našich podmínkách zcela zbytečné a zbytečně se tím zvyšují náklady.



Obr. 4: Rozdělení pásem dle Petchalliese (Petchallies, 1989)

6 Způsoby ochrany břehů

Šíření vlnové abraze na březích vodních nádrží můžeme čelit, zabránit, nebo tento proces regulovat tak, aby nenabýval nežádoucích účinků. Proto se navrhuje různé typy protiabrazních opatření a konstrukcí na chráněném břehu, nebo v určité vzdálenosti od něho (Lukáč a Abaffy, 1980).

Lukáč a Abaffy (1980) dále tvrdí, že při návrhu těchto protiabrazních opatření se v mnohých případech vychází z různých výzkumů a zkušeností odborníků s ochrannými opatřeními na moři. Většina přímořských států Evropy a USA vykonává intenzivní výzkumy tohoto druhu.

Princip ochrany břehů vodních nádrží před vlnovou abrazí je v mnohých případech založený na spolupůsobení větrových vln s břehem. Břehy nádrží jsou rozrušovány působícími větrovými vlnami, a z produktů vlnové abraze (v abrazní části svahu) se vytvářejí akumulární „hranoly“, které tlumí energii vln.

Novák a kol. (1986) popisuje, že břehovou ochranu proti abrazi můžeme zajišťovat třemi různými způsoby. A to pomocí opatření vegetačních, technických nebo kombinovaných čili biotechnických. Avšak u opevnění břehů nádrží se nejčastěji používají biotechnická opatření.

Nejdříve než zvolíme určitý druh ochrany břehů, musíme posoudit možnosti a vhodnost jejich použití v daných podmínkách. Novák a kol. (1986) navrhli následující osvědčený metodický postup:

- a. Posouzení stability břehů a jejich odolnosti vůči abrazním jevům, zhodnocení průzkumů a podkladů (inženýrsko-geologické průzkumy)
- b. Studie meteorologických a klimatických údajů, zejména nejčtenějších rychlostí a směrů větrů přímo na hladině
- c. Vyhodnocení bilance pohybu vodních hladin – u nádrží v provozu podle diagramu četnosti hladin, při zpracování návrhů před napuštěním nádrže podle kót předpokládaného sektoru budoucích nejčtenějších hladin
- d. Výpočet parametrů vln způsobených pohybem plavidel a větrových vln podle ustanovení ČSN 73 6500

- e. Vypracování posudku přetváření břehů a určení abrazní terminanty
- f. U břehů ohrožených abrazí vypracování technickoekonomického hodnocení s ohledem na současný či plánovaný způsob využívání nebo obhospodařování pobřežního sektoru.
- g. Zhodnocení možností prevence ochrany břehů před uvedením nádrže do provozu
- h. Posouzení navrhovaných způsobů ochrany břehů. Určení způsobu, konstrukce a druhu materiálu je prováděno podle účelu nádrže, intenzity abraze, geologických poměrů břehů a základních parametrů vln
- i. Určení konkrétního optimálního výškového a situačního umístění ochranných opatření, zejména s ohledem na vegetační prvky a na pásma déle trvajících zátop
- j. Stanovení doby výstavby ochranných opatření, nejvhodnější bývá období pro realizaci po 3leté až 5leté době provozu, kdy už je možné vyhodnotit úseky břehů ohrožených abrazí a určit potřebná ochranná opatření

Nejobtížnější je navrhnout takový způsob ochrany, typ konstrukce a druh materiálu, aby splňoval všechny technické, ekonomické a estetické požadavky a byl maximálně účinný.

6.1 Vegetační opevnění břehů vodních nádrží

Jedním ze základních stavebních prvků územních systémů ekologické stability (ÚSES) je právě vegetační doprovod břehů vodních toků a nádrží. Vegetační doprovod je ve většině případů přírodní součástí ekologie krajiny, rostoucí mimo lesnické komplexy. Je tvořen travními porosty, bylinami a dřevinami rostoucími podél vodních toků. V dnešní době neustále přibývá různých úprav vodních toků a nádrží, staveb v blízkosti vodních toků aj., tím pádem dochází k neustálému úbytku vegetačního doprovodu, což je příčinou stále zvyšujícího rizika tvorby abrazních jevů v povodích nádrží a řek.

6.1.1 Funkce vegetačního doprovodu

Jak uvádí Šlezinger a Úradníček (2002), vegetační doprovod má kromě mnoho pozitivních a nepostradatelných funkcí:

- **Funkce protierozní, protiabrazní** – vegetační doprovod působí jako ochranný prvek břehů svou podzemní i nadzemní částí. Prorůstání kořenového systému půdním profilem zapříčiňuje zpevnění břehové zóny říčního koryta, dále pak kořeny zasahují i do zóny neustálého zatopení, kde poskytují vodním živočichům útočiště. Nadzemní část vegetačního doprovodu složí jako tzv. „tlumič“ náporu proudící vody, ochraňuje břehy před účinky vlnobití, ledochodu a ve sloučení s neživými opevňovacími konstrukcemi slouží jako trvanlivá, dlouhodobá a stabilní ochrana břehů.
- **Funkce protideflační** – ochrana před negativními účinky větru. Při zvýšeném proudění větru dochází k transportu jemných půdních částic, semen rostlin, organických zbytků, přebytků hnojiv atd. Pro tuto funkci je nejvhodnější již vzrostlý porost (keře, stromy), který v tomto případě působí jako tzv. „ochranná stěna“, která zachycuje značnou část transportovaného materiálu. Tato „ochranná stěna“ má obdobnou funkci jako polopropustný větrolam, k jehož funkci se dostaneme v dalších kapitolách. Jako další funkci můžeme uvést ochranu při lodní dopravě. Působení bočního větru mnohdy působí nebezpečně především u prázdných lodí.
- **Funkce ochranná před zanášením či zarůstáním koryta** – v letních slunečních dnech, kdy dochází k intenzivnímu prohřívání vody v korytech, dochází ke snižování vodních stavů řek i nádrží. Tím dochází ke zvýšenému růstu vodních flóry, která je dobře zásobená živinami z okolních zemědělských pozemků a konečným výsledkem může být i značný kyslíkový deficit, který je nepříznivý pro rybí společenstvo v nádrži (rybníku).

- **Funkce kvality vody** – při přirozené přeměně organického znečištění na anorganické látky jsou to právě kořeny a části rostlin zasahujících do vody ve spolupráci s přítomnými organismy, co výrazně zvyšuje samočistící schopnost vody.
- **Funkce estetická** – vegetační doprovod tvoří velice důležitý krajinnotvorný prvek, který má zásadní vliv také na estetiku krajiny. Při úpravách vodních nádrží bychom měli s velkým zřetelem dbát na původní vegetaci a zamezit jejímu poškození či odstranění. Po provedení určitých technických úprav je třeba zajistit realizaci nové výsadby ve spolupráci s příslušnými odborníky. Novou výsadbu či rekonstrukci břehové vegetaci nelze podcenit, jelikož neosázené plochy mohou zarůstat náletovými dřevinami, jejichž nevhodné druhové složení a umístění může velmi narušit břehovou stabilitu.

6.1.2 Volba druhové skladby

Novák a kol. (1986) popisuje, že pro určení nejvhodnějších druhů pobřežních a vodních rostlin, je možno použít výsledků pokusné výsadby a tříletého sledování na řece Moravě a Dyji a zkušeností ze zahraničí. Za hlavní ukazatele při výběru toho nejlepšího břehového osazení se považuje minimální mortalita vysazených rostlin, jejich nejrychlejšího vývoje a zapojení vzniklého porostu, trvanlivost rostlin, regenerační schopnosti, odolnost vůči možnému dlouhodobému zaplavení. Podle Šlezingra a Úradníčka (2002) tyto podmínky nejlépe splňuje: šmel okoličnatý, puškvorec obecný a chrastice rákosovitá. Všechny tyto porosty brzy vytvářejí zapojený porost nebo hustý drn, rychle se ujímají, odolávají i při průtocích o rychlosti $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, dostatečně plní zpevňovací funkci, dobře přezimují, dokonale zapadají do estetického vzhledu krajiny, nezaplevelují se, zvyšují samočistící schopnost toků a nijak nebrání rekreaci. Kutílek (1973) tvrdí, že některé z rostlin (puškvorec obecný, chrastice rákosovitá) svými vlastnostmi působí spíše jen jako povrchová ochrana a vyžadují výsadbu spojenou s jinými rostlinami, které mají velkou opevňovací schopnost (ostřice štíhlá, rákos obecný). Tyto opevňovací rostliny odolávají vlnobití a jsou schopny osídlit oblast břehu přímo pod vodní hladinou, kde působí příbojová

a proudová eroze. Nejvíc se uplatňuje rákos, který díky své pružnosti a hustým pletivem kořenů dostatečně tlumí nárazy vln, způsobené větrem a plavbou.

Marhoun (1981) doporučuje při výběru druhu opevnění a při návrzích úprav toků zajistit informace biologického charakteru:

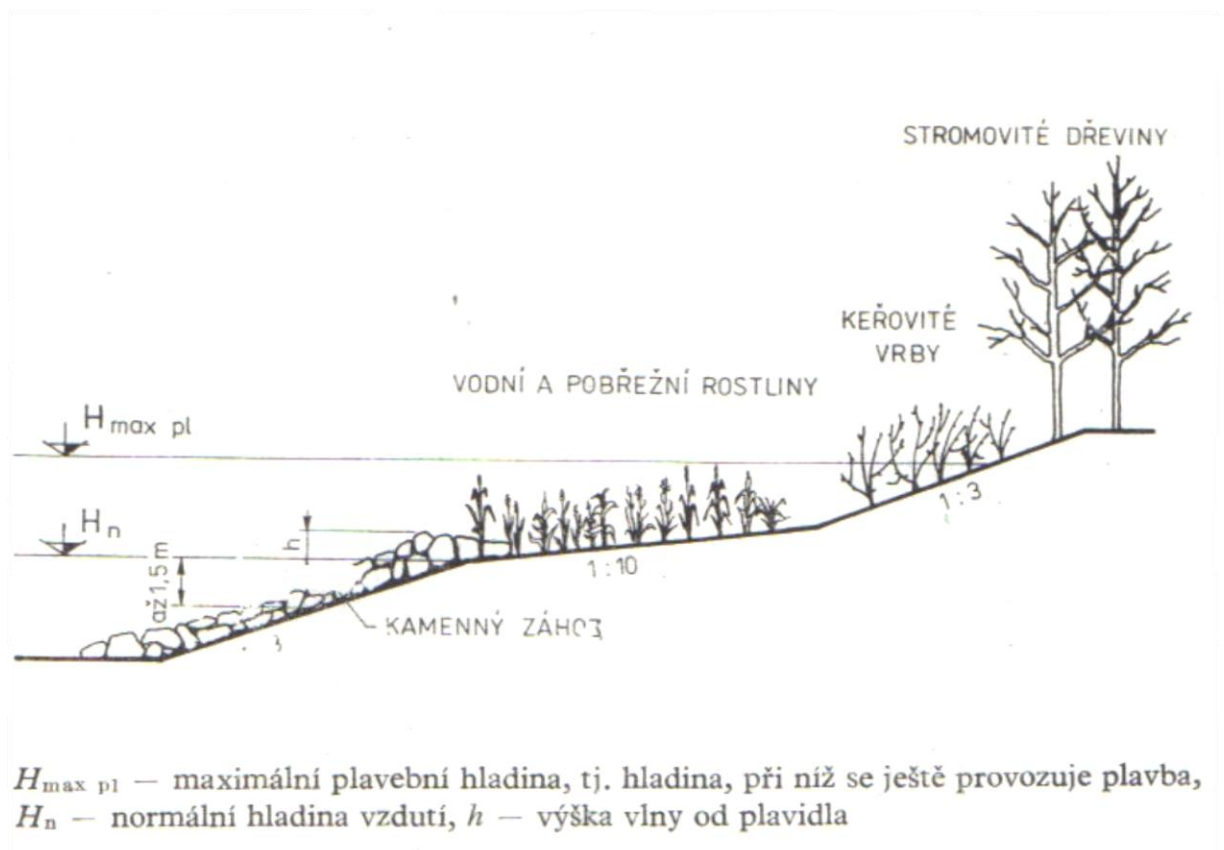
- Údaje o rostlinných společenstvech (fytocenózách)
- Údaje o životě v toku – zarybnění, čistota vody apod. (limnologické)
- Údaje o živočišných společenstvech (zoocenózách)
- Údaje agronomické
- Druhovú skladbu zeleně v krajině

Tyto potřebné údaje lze získat u orgánů státní správy ochrany přírody a je potřeba je doplnit informacemi z ostatních průzkumů.

6.1.3 Umístění rostlin

Při výsadbě rostlin nebo úpravách toků je třeba rozmístit břehovou vegetaci na svazích koryta tak, aby co nejúčinnějším způsobem zajišťovala stabilitu břehů. Kratochvíl S. (1961) uvádí, že většinou se navrhuje v okolí oblasti kolísání vody vysadit pásmo vodních a pobřežních rostlin, dále v oblasti kolísání vodní hladiny navazuje zóna měkkých dřevin, jako jsou např. nízkorostoucí vrby, které svými hlubokými prorostlými kořeny zpevňují svahy břehů. A na zónu měkkých dřevin naváže konečná zóna s vysokokmennými a keřovými dřevinami.

Novák a kol. (1986) doporučuje, že vodními a pobřežními rostlinami je třeba opevňovat svahy se sklonem 1: 3, neoptimálnější je sklon 1 : 10. Pro nejvhodnější druh vegetace na pobřeží je třeba dokonale znát rozpětí kolísání hladiny vody v toku. U neupravených toků výsadba vegetace provádí většinou v místě setrvalé hladiny vody. V průplavech a na tocích splavněných kanalizační metodou ve vzduťých úsecích nad jezem (přehradou) se vegetační doprovod rozrůstá hlavně kolem normální hladiny vzduť, což je vzduťá hladina udržovaná na žádané úrovni jezovým uzávěrem, popř. přehradou (viz obr. 5)



Obr. 5: Členění pobřežního území (Novák a kol, 1986)

6.1.4 Rostlinné druhy vegetačního doprovodu

Základní rozdělení popsal ve své knize Novák a kol. (1986):

- *Měkké luhy* – jsou to společenstva umístěná na zaplavovaném území řek. Vyskytují se převážně podél vodních toků na rovinách, které jsou aspoň jednou v roce zaplavovány. Půdní skladba je písčité, štěrkopísčité, hlinitá a hlinitopísčité. Úroveň podzemní vody je 0,5 až 1,5 m pod povrchem. Tato společenstva většinou obsahují v největším zastoupení topoly (černý, šedý, bílý) a olše. Menší zastoupení pak tvoří vrby (bílá, křehká) a jasany jsou vysazovány jen vtroušené.
- *Tvrdé luhy* – společenstva vyskytující se na náplavech řek a březích nádrží zaplavovaných jen zřídka. Půdní složení je zde hlinitopísčité, jílovitohlinité, černozemě nebo hnědozemě. Hladina podzemní vody dosahuje větší hloubky než 2 m. Druhovú skladba zde obsahuje duby, jasany, jilmy, lípy a

vtroušené javory a topoly. Obvykle se vyskytuje i keřové pásmo, které tvoří bez černý, svída, hloh, brslen, líska, krušina, kalina a další keře.

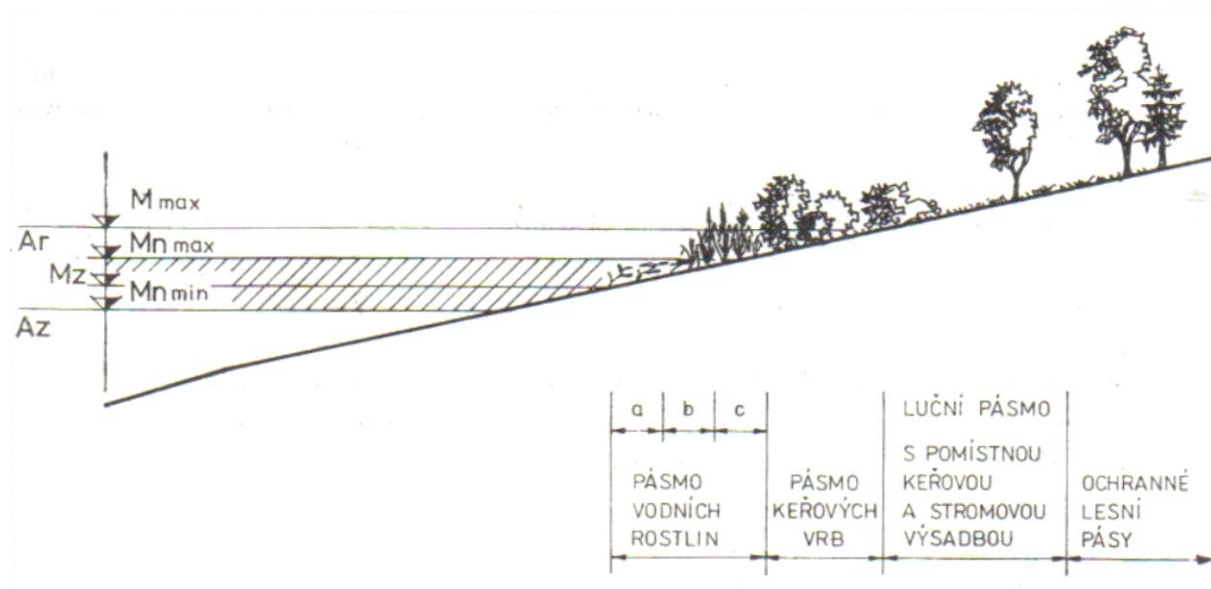
- *Jasanové olšiny* – jejich výskyt je situovaný na březích vodních nádrží, kde jsou půdní poměry velmi nestálé. Podzemní voda zde sahá téměř k povrchu nebo je jen 0,2 až 0,5 m pod povrchem. Jasanové olšiny se zde vyskytují na mladých aluviálních náplavech.
- *Luhy olše šedé* - tento typ se většinou vyskytuje na povodí nádrží, které leží na územích s nadmořskou výškou větší než 750 m n. m., ale jeho výskyt je možný i v polohách kolem 500 m n. m., kde navazuje na jasanové olšiny. Obvykle jim vyhovují hlinitopísčité, písčitohlinité, štěrkovité a kamenité půdní poměry. Druhová skladba se skládá z olší, javorů, jasanů a smrkové příměsi. Dále zde mohou být roztroušené olše a jilmy.
- *Olšiny* – jejich oblast výskytu je většinou v trvale zamokřených plochách v nadmořské výšce od 300 m do 500 m n. m. Její rozšíření je vázáno na prohlubně s mírně stagnující vodou. Její výskyt je obvykle situován u rybníků, nádrží, močálů, slepých ramen upravených toků atd., v těžkých jílovitohlinitých a špatně propustných hlinitých půdách. Druhová skladba se převážně skládá z olší, jasanů, vrb a osik.

6.1.5 Členění pobřežního území dle umístění pásem ochranné vegetace

Existuje mnoho návrhů na uspořádání ochranných pásem vegetace podél vodních nádrží. Dosavadní návrhy vycházely z dosti rozdílných pojetí členění pobřežního území. Umístění jednotlivých dřevinných a rostlinných pásů bylo většinou odvozováno z poměrů na březích vodních nádrží, ale nebyl brán ohled na ostatní specifické podmínky, se kterými se musí na březích uměle vytvořených vodních nádrží počítat.

Uvedeme si několik příkladů různých návrhů umístění vegetace na březích vodních toků, které byly založeny na určitých průzkumech a studiích jednotlivých autorů.

Skatula (1964) rozděluje pobřežní území (viz obr. 6) na čtyři základní pásma:



Obr. 6: Rozdělení pobřežního území dle Skatuli (Skatula, 1986)

1. Pásmo rostlinných a vodních rostlin v dosahu kolísající vodní hladiny, které je dále rozděleno - zóna trvalé inundace
 - zóna kolísání vodní hladiny
 - zóna občasného zaplavení a obnažení

Zde se vyskytuje především bažinná a vodní flóra.

2. Pásmo keřových vrb, které se doporučuje vytvořit 4 až 6 m široké.
3. Pásmo luční tvořené víceletými jetelotravními směsi.
4. Pásmo lesních porostů tvořené listnatými i jehličnatými dřevinami o šířce 20 až 40 metrů.

Podobné rozdělení vegetačního doprovodu podél břehů vodní nádrže Žermanice rozlišují Riedl a Kalenda (1986), kteří rozdělují vegetační porost břehů také na čtyři zóny, avšak s jiným výškovým rozdělením:

1. Pásmo zátopy – výskyt vodní flóry

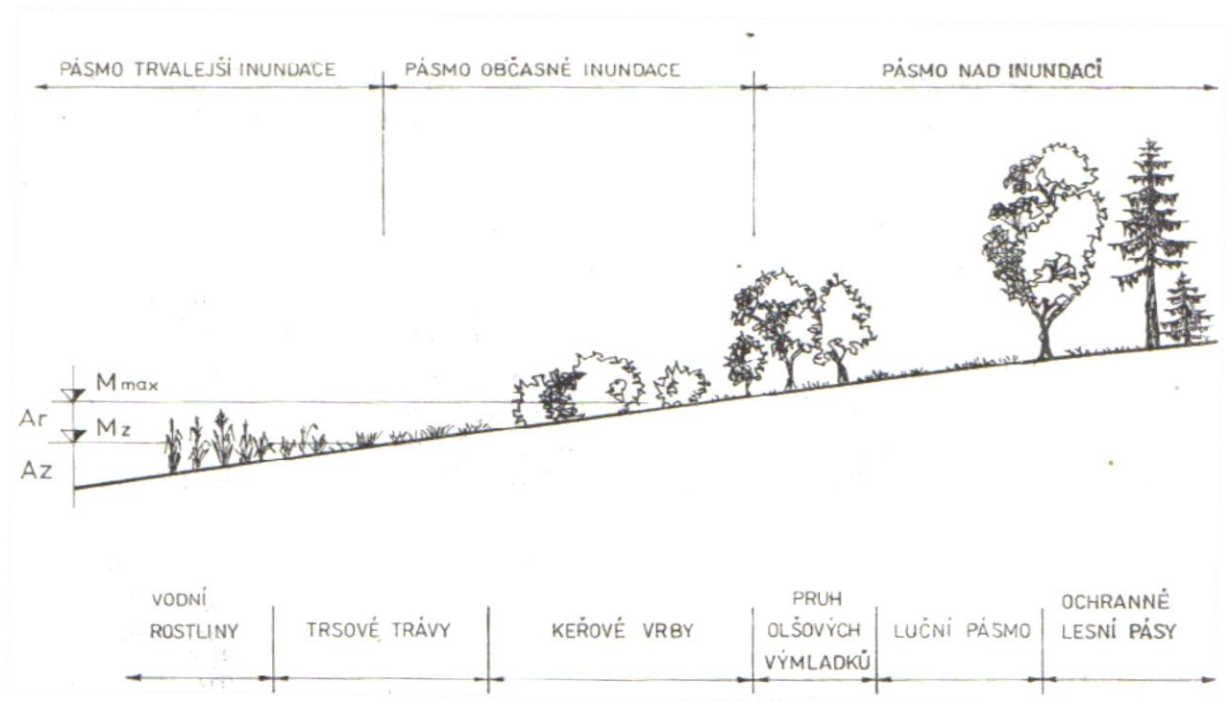
2. Pásmo kolísání vodní hladiny – rozmezí tohoto pásma je od břehových ploch ochranného prostoru až ke kótě maximální hladiny, výskyt trsových trav, bylin, keřových vrb a vlhkomilných keřů
3. Pásmo lesních porostů
4. Pásmo lučních porostů

Bittman (1964) rozděluje pobřeží vodních nádrží na 4 pásma jednotlivých druhů vegetace a udává k nim i časové údaje, po které tyto rostliny a dřeviny snesou zátopu vody a hloubku, ve které mohou po dobu zátopy vegetovat:

1. Pásmo rdestu – vodní rostliny, které snesou zátopu po dobu více než 360 dní v hloubce 2,5 až 4 m
2. Pásmo rákosu – rákosy snášejší zátopu kratší než 360 dní a rostou v hloubce 1 až 2 m
3. Pásmo měkkých dřevin – zátopu snesou méně než 150 dní v hloubce 0 až 1 m
4. Pásmo tvrdých dřevin – snesou zátopu méně než 30 dní v hloubce 0 až 0,5 m

Další příklad rozdělení pobřežního území popsal Vavřík (1961) na přehradní nádrži Těrlicko, ten rozděluje pobřeží na 5 pásem (viz obr. 7):

1. Pásmo trvalé inundace – výsadba vodních rostlin a trsových trav
2. Pásmo krátkodobé inundace – výsadba keřových vrb
3. Pásmo nad inundací – výsadba olší
4. Pásmo lučních travin
5. Pásmo lesních pásů s rozlišnou druhovou skladbou



Obr. 7: Členění pobřežního území a návrh výsadeb vegetačních pásem (Vavřík, 1961)

6.2 Technická opevnění břehů vodních nádrží

Technická neboli nevegetační opevnění se navrhují pouze v případech, kdy nejde nebo je neúčelné použít vegetační nebo biotechnické opevnění. Používají se obvykle tam, kde pro vegetační opevnění nejsou vhodné podmínky, například z hlediska splaveninového režimu nebo tam, kde je tečné napětí větší než dovolené tečné napětí pro vegetační opevnění (Poslavskij a Šankin, 1965).

6.2.1 Druhy technických opevnění břehů vodních nádrží

Mareš (1997) popsal ve své publikaci následující druhy technických opevnění:

- *Kamenný pohoz* – je většinou složený z kamenů do hmotnosti 200 kg, používá se do sklonu max. 1:2, kameny se rozhrnou podél břehů a tím zamezí nekontrolovanému rozšiřování vodního koryta.
- *Kamenný zához* – chrání patu svahu, je to nejúčelnější a nejodolnější typ břehového opevnění, skládá se z lomových kamenů s hmotností větší než

200 kg a umísťuje se na strmější svahy se sklonem větším než 1:2, někdy bývá doplněn poštěrkováním (viz obr. 8).



Obr. 8: Kamenný zához na údolní nádrži Zemplínská Šírava, SR (Šlezinger, 2011)

- *Rovnanina* – je složená z betonových prvků nebo neopracovaných kamenů, které se skládají na sucho s vazbou v podélném i příčném směru (viz obr. 9). Lícni plocha se dlažbovitě urovnává a dutiny se vyplňují menšími kameny. Používá se v exponovaných úsecích, konkrétně v blízkosti objektů, nebo jako patka.
- *Betonové dlažby* – stejný princip jako u kamenných dlažeb, kameny nahrazeny betonovými tvárnicemi s minimálními rozměry 40 x 40 cm a tloušťkou 10 cm
- *Velkoplošné betonové nebo železobetonové desky* – jejich konečná výroba probíhá přímo na svahu speciálními montážními prostředky, kromě zpevňovací funkce plní také funkci těsnící (přiváděče průmyslové i odpadní

vody, meliorační, energetické a průplavní kanály). Toto opevnění se příliš nepoužívá, protože má více nevýhod než výhod. Nesplňuje estetické požadavky, více trpí obrusem a je méně trvanlivé.



Obr. 9: Kamenná rovnanina (Šlezinger, 2011)

6.3 Biotechnické způsoby ochrany břehů vodních nádrží

Jako jeden z nejvhodnějších typů ochrany břehů se jeví biotechnické způsoby opevnění. Kombinací podzemních i nadzemních orgánů živé vegetace s neživým materiálem (dřevo, kámen) se dosahuje optimální ochranných i estetických výsledků.

Jako přednosti biotechnického způsobu ochrany vodních břehů Novák a kol. (1986) uvádí, že v místech nejvyšších destrukčních účinků, způsobených dynamickým nárazem a tlakem vln, je umístěna odolná a pevná technická část opevnění a v méně namáhaných místech, kde už působí pouze výběh vlny, zaručuje ochranu pružná a živá vegetační část opevnění. Lukáš a Abaffy (1980) doplňují, že pevný a odolný materiál technické části zároveň tvoří ochranu vegetace, nutnou pro

zakořenění vegetačního prvku. Důvodem je, aby v další fázi vývoje mohla převzít část ochrany, kterou zajišťoval technický prvek, a celkovou ochranou funkci mohla značně vylepšit.

Šlezinger (2011) uvádí, že základním prvkem technické (neživé) části biotechnického opevnění je zdravý lomový kámen nebo dřevo. Lomový kámen je nejodolnější a nejtrvanlivější varianta v oblasti styku s vodní hladinou a účinků vlnobití. Používají se různé velikosti kamene v rozsahu od 7cm až do 80 cm. Jako výplň do haťošterkových válců nebo drátošterkových matrací se používá šterk nebo valouny. Jako druhý jmenovaný prvek uvádí Novák a kol. (1986) dřevo. Upravené dřevo ve svislé podobě (dřevěné ploty, kůly, tyče) nebo dřevo v podélné podobě (latě, fošny) se sice používá jako biotechnický ochranný prvek, ale má jednu velkou negativní vlastnost, a to že jeho životnost je velmi krátká. Vlivem negativního působení klimatických činitelů spolu s kolísáním hladiny, působením vody a vzduchu se rychle snižuje jeho životnost.

Jako obdobné prvky biotechnického opevnění uvádí Novák a kol. (1986) například polovegetační betonové tvárnice s otvory umožňujícími prorůstání vegetačního prvku. Podobnou funkci mají i perforované fólie z umělých hmot. Avšak tyto konstrukční prvky se většinou moc nepoužívají, protože často sklízí negativní ohlas kvůli jejich neestetickému vzhledu, i když mnohdy plní svou stabilizační funkci velmi kvalitně.

Hlavním biologickým prvkem v biotechnickém opatření bývají keřové vrby, které vyrůstají z řízků, prutů, zápletů, povázek, podestýlek, rohoží a pokryvů, užívaných v různých typech konstrukcí.

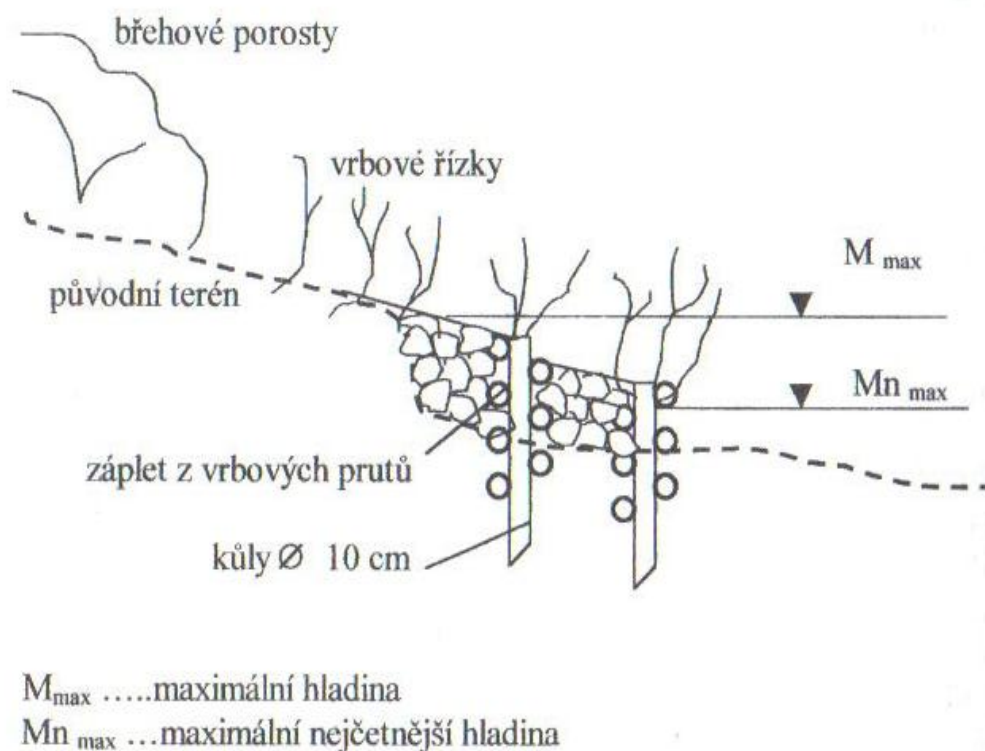
6.3.1 Základní typy biotechnických opevnění břehů vodních nádrží

Při opevňování břehů lze použít mnoho druhů biotechnický opatření. Všechny tyto postupy mají většinou v podstatě stejné technologické postupy, jednotlivé prvky i materiál. Vždy se liší jen malými konstrukčními rozdíly, které vyplývají z rozličných podmínek namáhání břehů v určitých úsecích břehové části (Šlezinger, 2004).

Novák a kol. (1986) zařadil tyto druhy opevnění mezi základní a nejvíce využívané:

- *Jednořadé až dvouřadé zápletové plůtky* – U svahů s menší sklonitostí (6° – 10°), odolávají menší intenzitě abraze, odolávají abrazním zářezům o výšce 0,5 – 1 m). Největší důraz je kladen na situování spodní řady plůtky, je doporučováno ji umístit nad nejvyšší nejčtenější hladinu. Horní řada by měla

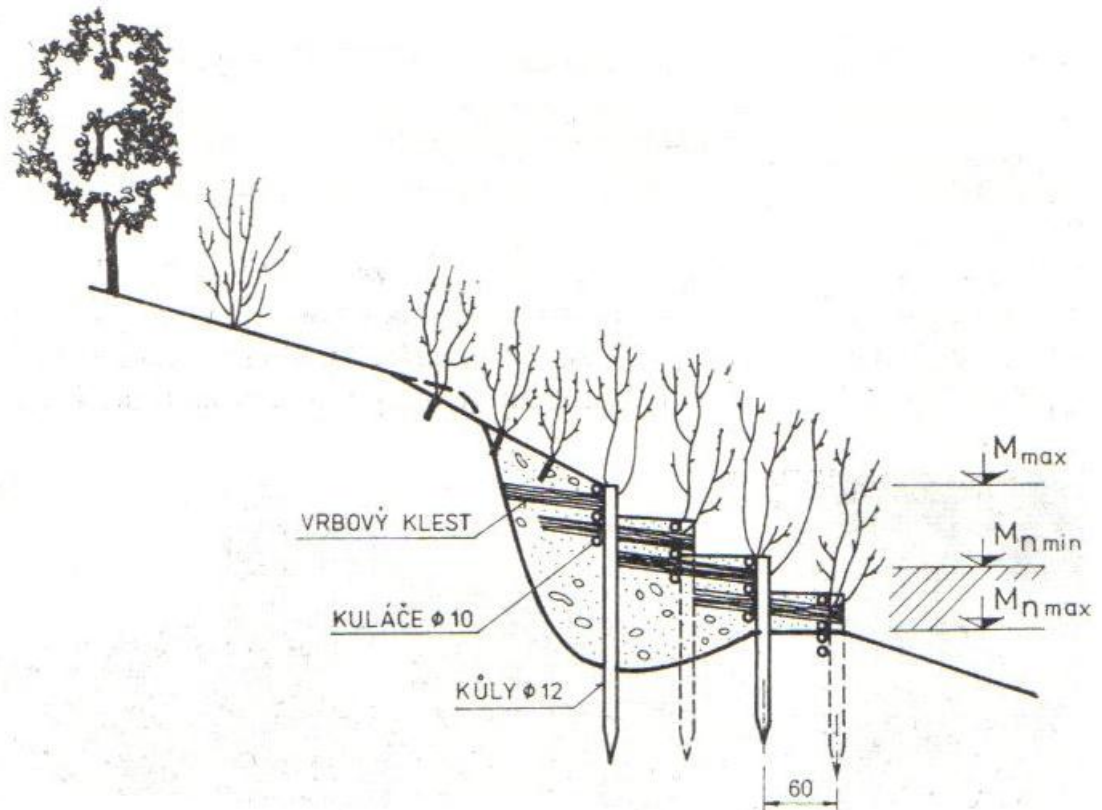
být založena 30 – 50 cm od stěny abrazního srubu. Nad terénem by výška zápletu neměla přesahovat 40 cm. Prostor mezi oběma plůtky se obvykle vyplňuje klestem nebo šterkem, protože zemina je vlivem vlnobití a sání vyplavována. Šlezinger (2011) doplňuje, že místo přechodové linie břehu je dobré osázet vrbovými řízký (viz obr. 10)



Obr. 10: Zápletové plůtky (Šlezinger, 2011)

- *Oživené dvouřadé až třířadé sruby z kulatiny* – u svahů se sklonem 10° až 15° slouží k zamezení dalšího postupu abraze při výškách abrazního srubu 1 až 2 m (viz obr. 11). Šlezinger (2011) oživený srub z kulatiny definoval jako několik řad dřevěných kúlů s délkou 1-1,5 m, tloušťce 10 – 12 cm, umístěných souběžně s břehem. Ke kúlům je přikládána dřevěná kulatina taktéž souběžně s dřevem, která je ke kúlům připevněna dráty. Volný prostor bývá obvykle vysypán hrubým šterkem a nad úrovní maximální hladiny

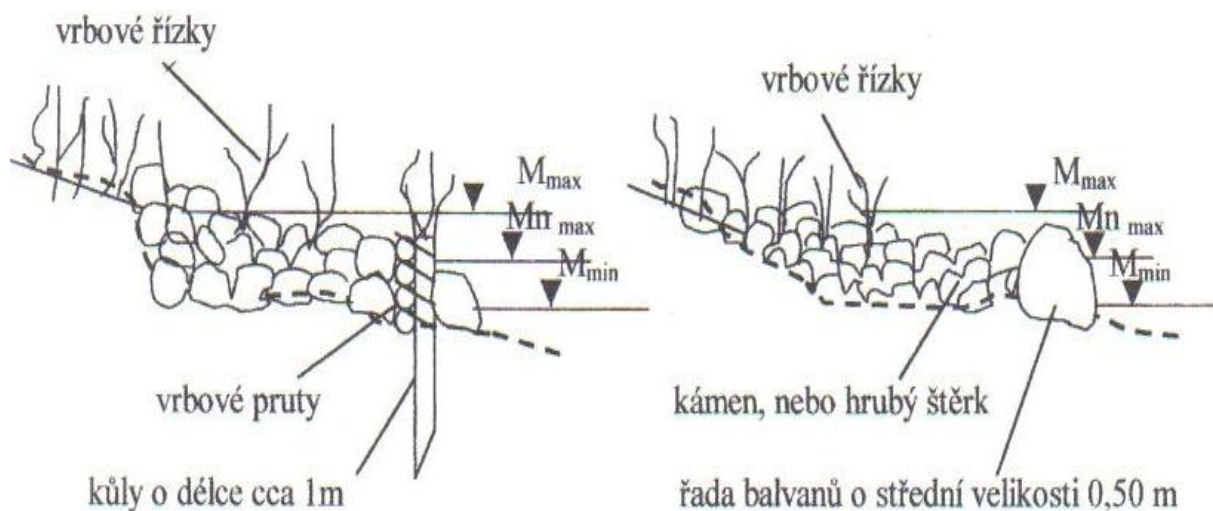
zeminou. Opět je nutností vyplnit prostor mezi řadami vrstvou štěrku (min. 20 cm) nebo proložit vrbovým klestem. Šachovité uspořádání kúlů zapříčiňuje provázání celé konstrukce právě pomocí prokládaných větví.



Obr. 11: Srub z kulatiny (Novák a kol., 1986)

- *Oživený štěrkový nebo kamenný pohoz* – používá se většinou ke stabilizaci abrazních plošin a abrazních srubů s maximální výškou do jednoho metru. Jeho konstrukce je navrhována minimálně ze dvou až tří řad kameniva. Tloušťka ochranné – stabilizační vrstvy by měla být rovna dvojnásobku až trojnásobku průměrné zrnitosti kamene, která je minimálně 7-12 cm. Pohoz je oživen silnějšími vrbovými řízků. Jako výplň řádek nebo štěrbin vynechaných v pohozu je možno použít i baly vodních rostlin. Je možno usadit kamenivo i na rohože z vrbového proutí. Nejnižší položenou část pohozu je třeba stabilizovat zápleťovým plůtkem tvořeným vrbovými kůly o

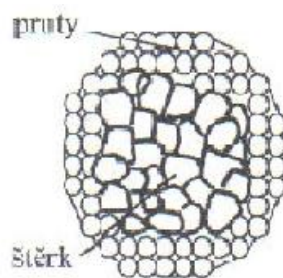
průměru cca 8 cm a délce 1 m a příčně uloženými vrbovými pruty, které jsou k těmto kúlům přichycené dráty (viz obr. 12). Spodní část pohozu je možné stabilizovat také řadou balvanů (viz obr. 13).



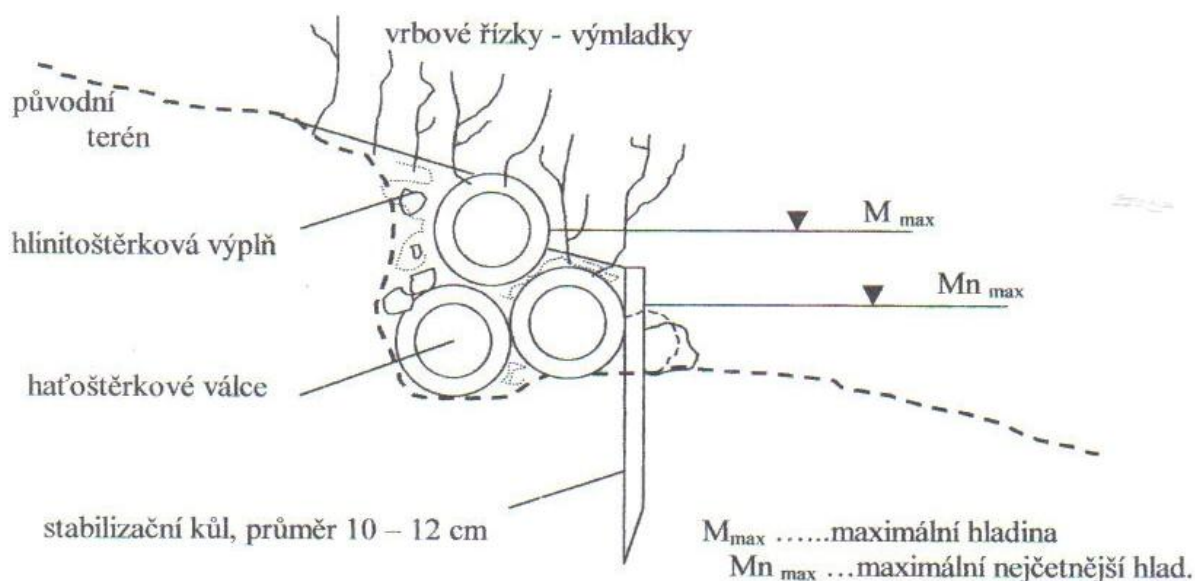
Obr. 12: Kamenný pohoz kombinovaný se záplavovým plůtkem (Šlezinger, 2011)

Obr. 13: Kamenný pohoz stabilizovaný řadou balvanů (Šlezinger, 2011)

- *Oživené haťové a haťoštěrkové válce* – vhodné u menších abrazních zářezů do výšky 1 m. Haťové válce jsou vlastně jinak řečeno velké otepi složené z vrbových prutů, kde jsou vrbové pruty skládány a svazovány tak, že se překrývají asi na 1/2 až 1/3 své délky a vzniká tzv. nekonečný pás. V tomto uspořádání tvoří vrbové pruty obal o tloušťce 10 – 20 cm a uvnitř válce je štěrková výplň (viz obr. 14). Haťové válce se používají pro stabilizaci poškozených břehů do výšky 1 m. Dva až tři válce se umístí v patě abrazního zářezu a upevní se probíjením dřevěných kúlů nebo se ukládají mezi dvě řady kúlů, které jsou zatlučeny ve vzdálenosti 1,5 až 2 m do hloubky 1,5 m. Poskytují náhlou a bezpečnou zábranu pro postup abraze. Stěnu abrazního zářezu nad válci se doporučuje osázet vrbovými řízkami pro zajištění úplné stabilizační ochrany. Válec uložený nejnižší a nejbližší hladiny je nutno stabilizovat kúlou nebo přitížit kameny (viz obr. 15).



Obr. 14: Haťošterkový válec, příčný řez (Šlezinger, 2011)



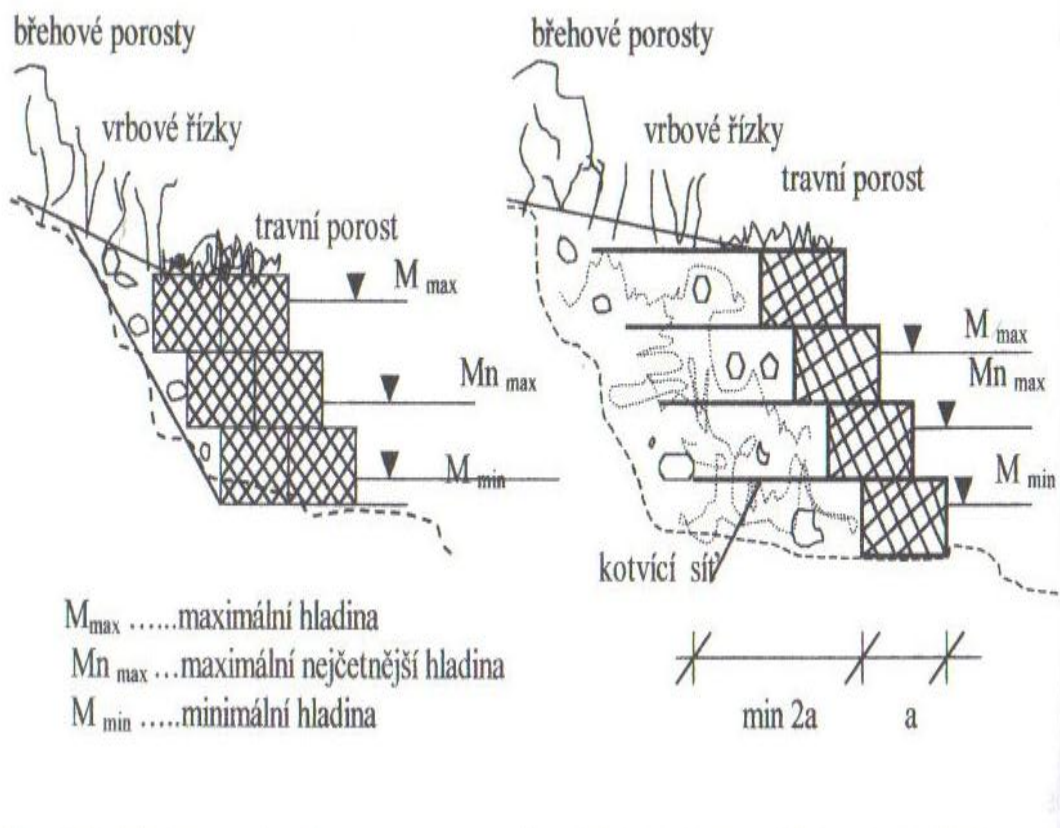
Obr. 15: Příklad sanace abrazního srubu pomocí haťošterkových válců (Šlezinger, 2011)

- *Oživené drátokamenné a drátošterkové koše (matrace)* – jsou to obdélníkové drátěné koše vyrobené z pozinkovaného drátu se šestiúhelníkovými oky. Okraje košů jsou vyztuženy silnějšími dráty pro zpevnění a zlepšení manipulace. Koše jsou vyplněny kameny nebo šterkem. Doporučují se na svah se sklonem maximálně 1: 3. Před aplikováním matrací je třeba srovnat patu svahu a porušený břeh případně nesvahovat. Koše jsou pokládány a propojovány podle předem stanoveného nákresu.

Matrace jsou oživené pomocí silných vrbových řízků a holí, které se při vyplňování matrace šterkem vysazují do tělesa matrace pomocí průbojníku až do podloží. Tento způsob opevnění je nejvhodnější u části matrace, která

je v oblasti kolísání hladiny. Až teprve nad nejčtetnější hladinu je možné povrch matrací oživit prosypáním zeminou a osetím travním semenem nebo opět vrbovými řízký.

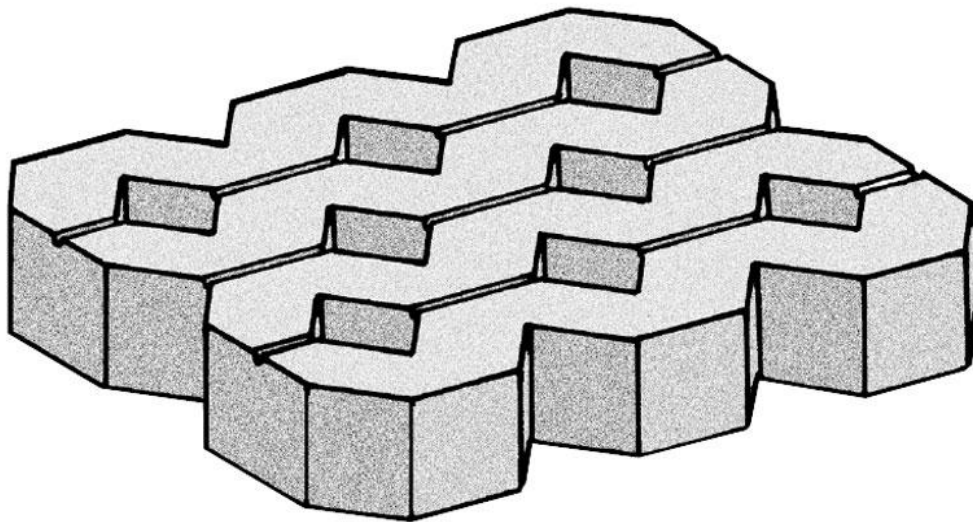
Velkou výhodou drátokamenných nebo drátošterkových matrací je jejich pružnost a schopnost dokonale kopírovat povrch. Konstrukce jsou vodopropustné a není třeba zde dělat drenáž na rozdíl od opěrných zdí. Další výhodou je jednoduchost konstrukce, která se na místo dováží rozložená i se spojovacími prvky a je sestavena až na místě. Předpokládané požadavky na údržbu jsou minimální.



Obr. 16: Drátokamenné koše
(Šlezinger, 2011)

Obr. 17: Drátokamenné koše s kotvící sítí
(Šlezinger, 2011)

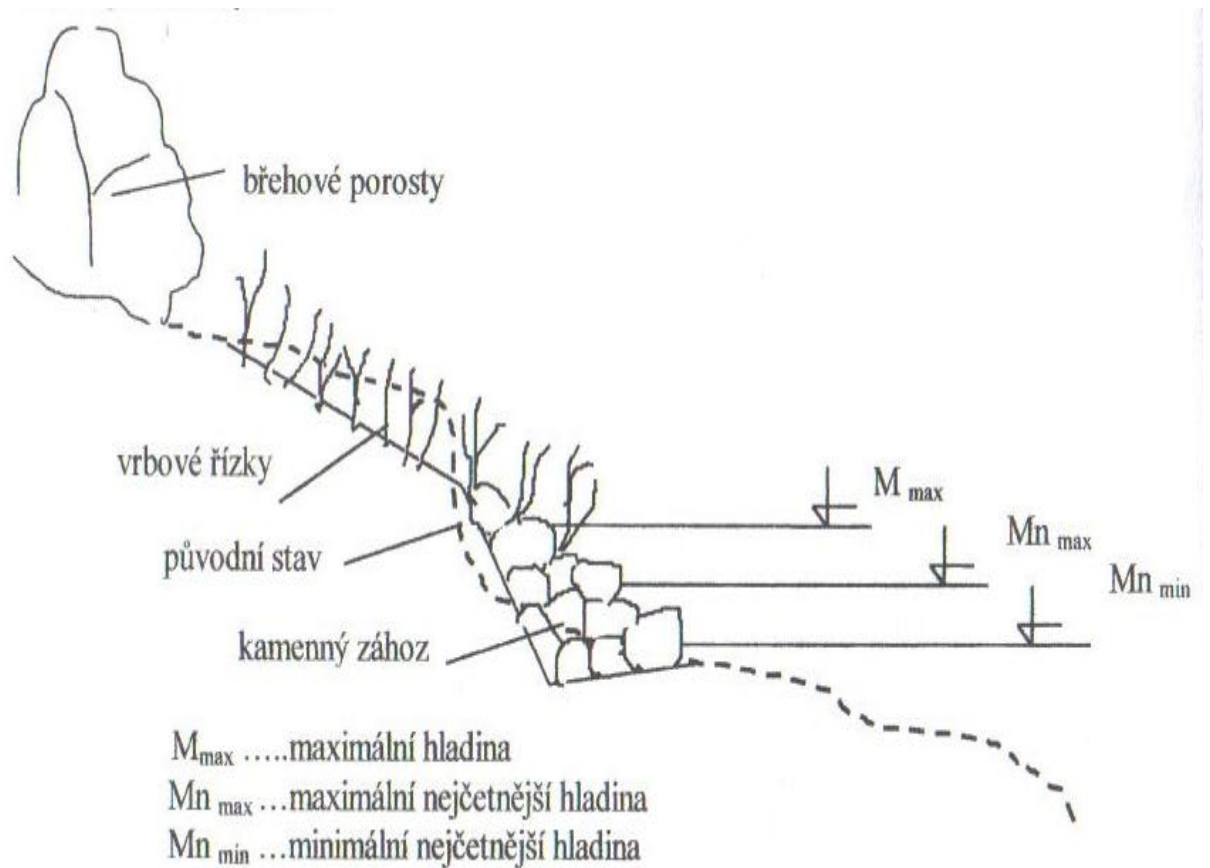
- *Polovegetační betonové tvárnice s otvory* – mohou být umístěny na předem sesvahovaný a upravený břeh, který byl rozrušen abrazí, nebo mohou být použity k opevnění horní části pobřežní plošiny. Ve vyšší části břehu se vysazují vrbové řízky a v nižší části pobřežní plošiny se do otvorů tvárnice vysazují baly vodních rostlin. Tvárnice poskytují velice dobrou a pevnou ochranu kořenovým systémům rostlin, které chrání před vyplavením. Neestetický vzhled je zakryt ihned po vzrůstu nadzemní části rostlin.



Obr. 18: Polovegetační betonové tvárnice (Novák a kol. 1986)

- *Oživený kamenný zához* – je to jeden z nejvyužívanějších typů biotechnického opatření v České republice. Využívají se u porušených svahů s vyšším sklonem (20° až 30°) a při výškách abrazního srubu 2 až 4 m. Než se začnou osazovat kameny, je třeba upravit svah do ideálního sklonu 1: 2. Následně se na upravenou pláň navezou lomové kameny o velikosti 30 – 60 cm, které se rozprostřou po celé ploše. Horní a střední část lícni plochy se přesype zeminou nebo šterkem. Do nevyplněných mezer mezi kameny se zastrkují vrbové proutky. Zhruba během dvou vegetačních období se vytvoří vhodný vrbový kryt. Škopek (1973) popisuje jiný způsob oživení záhozu tak,

že se upravený svah břehu nejdříve pokryje vrstvou prutové a klestové vrbové podestýlky o tloušťce 20 cm. Její dolní konce prutů jsou ukládány do vyhloubených rýh v patě záhozu, která se posype zeminou. A na tuto podestýlku se nahrne záhozový kámen. Aby výhony vyrůstající z podestýlky dobře a rychle vyrostly, je třeba, aby konečná průměrná tloušťka záhozu nepřesahovala 40 až 50 cm. Z pozorování pokusných úseků opevněných tímto způsobem je patrné, že zához dobře odolává účinkům vlnobití a nedochází k vyplavování podloží.



Obr. 19: Oživený kamenný zához (Šlezinger, 2011)

7 Závěr

Abraze je přírodní jev, který ovlivňuje zemský povrch odedávna. Za poslední století vzniklo mnoho desítek nových nádrží, které se dodnes potýkají s problémem poškozování břehů abrazí. V této práci jsou shrnuty všechny nejhlavnější faktory, které mají velký podíl na tvorbě abraze. Každý negativní faktor je zde dopodrobna popsán a z jejich popisu je zřejmé, že abrazní činnost má za následek nemalý úbytek zeminy z pobřežní oblasti, což způsobuje zanášení nádrže, snižování retenčního objemu v nádrži, změnu jakosti vody v nádrži a sní související skladby rybí obsádky. Tyto jevy vedou ke zvyšování eutrofizace (úživnosti vody), což mnohdy vede k přemnožení nižších organismů a má velmi negativní vliv na samočistící procesy probíhající v nádrži.

Dále jsou v práci popsány vegetační, technické a biotechnické způsoby ochrany. Každý typ stabilizace je podrobně popsán a jsou zde uvedeny i obrázkové nákresy pro lepší představivost a pochopení daného řešení.

Výsledky mé práce mohou sloužit jako souhrnný zdroj informací o abrazních procesech a možných protiabrazních opatření. Tyto informace jsou velice důležité pro určení možného výskytu abraze a pro stanovení preventivních opatření proti možnému rozvoji abraze.

8 Seznam literatury

Bittman E. a kol., 1964: Der biologische Wasserbau an den Bundeswasserstrassen. Bundesanstalt für Gewässerkunde Koblenz, Stuttgart

Čábelka J., 1963: Vnútorné vodné cesty, SNTL Bratislava – Praha

Eichler J., 1978: Mechanika zemin, SNTL Praha

Janeček M., 2007: Ochrana zemědělské půdy před erozí – Metodiky, Praha

Kratochvíl S., 1961: Vodní nádrže a přehrady, Praha

Kutílek P., 1973: Technologie množení a výsadby vodních a pobřežních rostlin pro zpevňování břehů, Brno

Lukáč M., Abaffy D., 1980: Vlnenie na nadržiach, jeho účinky a protiabrázne opatrenia, Bratislava

Mareš K. 1997: Úprava toků – navrhování koryt, Praha

Marhoun K., 1981: Všeobecná typizační směrnice: Navrhování úprav toků z hlediska tvorby a ochrany životního prostředí, Brno

Novák L. a kol., 1986: Vegetace v úpravách vodních toků a nádrží, Praha

Petschallies G., 1986: Entwerfen und Berechnen in Wasserbau und Wasserwirtschaft, Berlin

Poslavskij S. V., Šankin P. A., 1965: Technické návody pro projektování a budování kamenných opevnění hydrotechnických staveb, Moskva

Riedl O., Kalenda A., 1966: Porostní typ v inundaci a na svazích přehrady na Lučině u Žermanic, Praha

Rodriguez E. R., 1996: Vorlesung, 1803, Wasserbau und Wasserwirtschaft, Wiesbaden

Skatula L., 1964: Biotechnické úpravy vodního režimu v ČSSR. Vegetační problémy při budování vodních děl, Praha

Škopek V., 1973: Ochrana břehů vodních nádrží proti abrazi, Praha

Šlezinger M., 2011: Břehová abraze – možnosti stabilizace břehů, Praha

Šlezinger M., 2004: Břehová abraze – příspěvek k problematice zajištění stability břehů, Praha

Šlezinger M., Úradníček L., 2002: Vegetační doprovod vodních toků a nádrží, Praha

Valouchová K., 1995: Návrh řešení stability břehů nádrží ve smyslu prevence abrazních jevů, Praha

Vavřík K., 1964: Návrh ochranných lesních pásů u přehrady v Těrlicku. Vegetační problémy při budování vodních děl, Praha

Zolotarev G., 1955: Inženernogeologičeskie izučenie bergerových sklonov vodočranilišč i oceanka ich pererabotki, Moskva