

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
Fakulta stavební
Ústav vodních staveb

Dr. Ing. Miloslav Šlezinger

**PŘÍSPĚVEK K PROBLEMATICE PŘETVÁŘENÍ BŘEHŮ
VODNÍCH NÁDRŽÍ**

**CONTRIBUTION TO PROBLEM BANK ABRASION OF
RESERVOIRS**

ZKRÁCENÁ VERZE HABILITAČNÍ PRÁCE



Brno 2002

KLÍČOVÁ SLOVA

abraze, přehrada, stabilita, břeh, opevnění

KEY WORDS

Abrasion, Dam Reservoirs, Stabilization, Bank

Práce bude uložena v archívu oborové knihovny FAST Veverří 95, Brno

Obsah

1 Úvod	4
1.1 Cíle předkládané habilitační práce	4
2 Dosavadní poznání dané problematiky	5
2.1 Současný stav řešené problematiky, práce publikované na dané téma, užitý software	5
2.2 Přehled v současné době užívaných protiabrazních opatření	7
2.2.1 Aktivní protiabrazní konstrukce	8
2.2.2 Pasivní protiabrazní konstrukce	8
3 Vlastní přínos práce k řešení dané problematiky	9
3.1 Metoda stanovení abrazní terminanty - prognóza ústupu břehové čáry údolních nádrží	9
3.1.1 Úvod do problematiky	9
3.1.2 Cíle metody	10
3.1.3 Stanovení výškové úrovně paty nejvýše položeného abrazního srubu „Va“	11
3.1.4 Stanovení abrazní terminanty	13
3.1.5 Dílčí závěr	13
3.2 Metoda multikriteriálního hodnocení současného stavu vegetačního doprovodu vodního toku či nádrže	14
3.3 Návrh stabilizace abrazí poškozených břehů	16
3.3.1 Ukázka základních typů navrhovaného biotechnického opevnění	20
4 Závěr – zhodnocení předpokládaného přínosu výsledků předkládané práce	23
5 Použitá a související literatura	23
6 Summary	26

1 ÚVOD

Břehová abraze – (dle definice [Holý 1994] - plošné obrušování podkladu, dna a břehů, pohybem vody – vlněním, spojené s přemísťováním a ukládáním uvolněného materiálu) - je problémem velké většiny vodních nádrží, a to nejen v České republice, ale možno říci i ve světovém měřítku. Vznik a rozvoj abraze je způsobován mnoha faktory, výsledky jsou však stejné - výrazné poškození břehů nádrží, vznik abrazních srubů a odplavení mnoha desítek, či stovek m³ zeminy. Vyjímkou nejsou ani následné sesuvy půdy, ohrožení na břehu stojících objektů a komunikací.

V rámci projektové přípravy vodních děl zůstává však návrh důsledné stabilizace potenciálně ohrožených břehů nádrží, tedy návrh vhodných preventivních opatření, neustále na okraji zájmu. Ohrožené části břehů lze však poměrně snadno předem vytipovat a navrhnout zde vhodná preventivní stabilizační opatření. V mnoha případech stačí vhodná vegetační, případně biotechnická úprava. Provádění následných sanačních zásahů je technicky i ekonomicky výrazně náročnější. Avšak i v těchto situacích lze s úspěchem využít poznatků ekobiologie a vhodným návrhem biotechnických stabilizačních opatření v kombinaci s návrhem vhodné prostorové a druhové skladby břehových stabilizačních porostů, zajistit dostatečnou protiabrazní i protierozní ochranu břehu.

V předkládané práci je kladen důraz právě na možnosti užití biotechnických stabilizačních postupů, využití vegetačního doprovodu a především břehových porostů pro zajištění stability břehů nádrží a ochranu proti vzniku a rozvoji břehové abraze.

Vliv porostů je totiž mnohdy v praxi přeceňován, nebo naopak nedoceněn a výsledkem bývá nevhodný návrh biotechnických, případně pouze biologických opatření, s výrazně negativním dopadem na ochranu břehu před abrazí.

Stěžejním bodem práce je pak vypracování prognózy ústupu břehové čáry v nejohroženějších břehových oblastech údolní nádrže Brno a prezentace výsledku více než desetiletého pravidelného měření ústupu břehové čáry, tedy postupu břehové abraze v nejohroženější části údolní nádrže Brno.

1.1 Cíle předkládané habilitační práce

1. Doporučení a ověření vhodné metody stanovení postupu břehové abraze .
2. Vypracování odhadu (prognózy) postupu břehové abraze (ústupu břehové čáry) v nejohroženější části břehů údolní nádrže Brno - v oblasti „Osada“ za pomoci stanovení abrazní terminanty .
3. Prezentace modifikované metody stanovení abrazní terminanty užití při předkládaném řešení.
4. Vypracování a prezentace synoptických příčných řezů zobrazujících postup abraze v nejméně postižené části břehů údolní nádrže Brno.
5. Prezentace nově navržené metody hodnocení stavu vegetačního doprovodu vodního toku či nádrže se zřetelem na možnost jeho využití v rámci začlenění do navrhovaných protiabrazních opatření.
6. Vytvoření podkladu pro kvalifikovaný výběr dřevin vhodných pro břehové a doprovodné porosty multikriteriální analýzou, včetně vypracování softwarového vybavení pro jeho využití.

Výsledky práce by měly sloužit především vodohospodářským pracovníkům zabývajícím se ochranou břehů nádrží a projektantům při zpracovávání návrhu preventivních ochranných opatření i návrhů sanace abrazního poškození břehů za využití stabilizačního působení břehových porostů.

2 DOSAVADNÍ POZNÁNÍ DANÉ PROBLEMATIKY

2.1 Současný stav řešené problematiky, práce publikované na dané téma, užitý software

V rámci projektové přípravy vodního díla je návrh opevnění břehů (nikoli návodní strany hráze) považován v mnoha případech stále ještě za věc méně podstatnou, která bude dořešena po zahájení provozu. Snad i z tohoto důvodu není často v ohrožených lokalitách provedeno dostatečné opevnění břehů.

Projektanti ani budoucí uživatelé si zřejmě dostatečně neuvědomují fakt, že maximální rychlost postupu břehové abraze, ale také maximální vertikální nárůst abrazního srubu nastává v prvních letech (ne - li přímo v prvních měsících) provozu díla.

Pokud jsou tedy řešeny problémy se stabilitou břehů nádrží, děje se tak bohužel ve velké většině případů až následně, kdy abrazní srub již vznikl a snažíme se navrhnout jeho vhodnou sanaci (vodní díla Nechranice, Šance, Orava, Liptovská Mara, Brno...).

Problematika vztahující se k řešení stability břehů vodních toků a nádrží, problematika zabývající se vlněním na nádržích i jeho účinky, stejně jako návrhy protiabrazních a protierozních opatření je zpracována v celé řadě monografií, odborných článků a konferenčních příspěvků. V předkládané práci použité a citované prameny jsou uvedeny v kapitole 6 - Použitá a související literatura.

I když nechci zatěžovat tuto práci rozsáhlou rešerší a detailním kritickým rozbořem výsledků všech dále citovaných podkladů, je zde namísto zaujmout postoj k těm, jež považují za podstatné a zvláště přínosné.

Ze známých a důležitých pramenů – knižních publikací - zabývajících se (mimo jiné) problematikou stability břehů, návrhů břehových opevnění aj., lze se zahraniční literatury ku příkladu jmenovat : [F.Kreuter 1910], [A.Schoklitsch 1930], [E.G.Kačugin 1955], [B.A.Pyškin1962], [R.Rodriguez 1996], [H-O.Lamprecht 1996], z naší literatury pak [S. Kratochvíl 1961], [M.Lukáč, D.Abaffy 1980], [V.Broža, J.Kratochvíl, P.Peter, L.Votruba 1987], [C.Patočka, L. Maccura a kol. 1989], [M.Holý 1994], případně další.

Z této skupiny publikací je zvláště vhodné upozornit na dnes již historickou práci Der Wasserbau (A.Schoklitsch 1930) , kde autor na více než tisíci stranách podrobně shrnuje a popisuje problematiku vodních staveb, přičemž nezapomíná na otázku ochrany břehů, ale také ochrany návodního lince přehradních hrází sypaných přehrad. Více než dva tisíce podrobných nákresů a fotografií dodávají tomuto dílu na „monumentalitu“.

Problematice stability břehů, především pak návrhu vhodného opevnění, je věnováno více než 50 stran textu, včetně desítek podrobných vyobrazení. I když je většina prostoru zaměřena na vodní toky a opevnění jejich břehů, mnohé z návrhů jsou obecně použitelné a dodnes neztratily na aktuálnosti (užití gabionů str. 1075, 1083, dle dnešních měřítek „moderně pojatá“ biotechnická opevnění str.1071 – 1073, 1076, aj.).

Z publikací posledních desetiletí je pak nutno upozornit na práci autorů Lukáč – Abaffy, „Vlnenie na nádržiach, jeho účinky a protiabrazne opatrenia“. V tomto díle jsou shrnuty výsledky dlouholetého sledování postupu abraze na vodních dílech středního a východního Slovenska, včetně prezentace návrhů vhodných protiabrazních opatření. Je to jedna z mála odborných publikací vydaných v Československu (1980), jež se plně věnuje problematice břehové abraze.

Opomenout není možno ani zásadní odborné články vztahující se k problematice abraze břehů a vlnového režimu na nádržích, publikované ve sbornících odborných

a vědeckých konferencí i v odborných časopisech, ale především pak průběžné a závěrečné výzkumné zprávy týkající se stavu přetváření břehů. Jsou to především příspěvky autorů [J.Linhart 1958], [S.Kratochvíl 1969,1970,1978,1984], [P.Peter,M.Lukáč 1970], [M.Lukáč 1982], [K. Marhoun 1989], [P.Vácha 1983], [J.Jambor 1986, 1992], [T.Spanilá 1992, 1993, 1996],[K.Jahoda 1997], [V.Pondělíček 1998] a další.

Zde je nutno upozornit především na práce profesora S. Kratochvíla, jež byly důležitým podkladem pro zpracování předkládané habilitační práce, a to nejen proto, že těžištěm jejich zájmu byla mnohdy právě údolní nádrž Brno. Především problematika stanovení parametrů větrových vln a výsledky převzaté z dlouholetého (20 let) měření Vildovým anemometrem (zaznamenává směr a rychlost větru) na hrázi brněnské přehrady jsou velmi cenným studijním materiálem.

Z důležitých výzkumných zpráv bylo jako podkladu užito :

P. Peter, M. Lukáč a kol. Protiabrazne opatrenia na svahoch zemných priehrad a bokoch nádrží proti účinkom vetrových vln, SVŠT Bratislava 1974

M. Lukáč a kol. – Analýza dosledkov vodohospodárskej prevádzky vybraných vodných diel, SVŠT Bratislava 1987

M. Lukáč a kol. – Rozsah abrázie brehov VN Liptovská Mara, SVŠT Bratislava, 1988

T. Spanilá – Přehledná zpráva o stavu výzkumu přetváření břehů, Geologický ústav ČSAV 1975

T. Spanilá a kol. – Vliv hydrologického faktoru - kolísání hladiny vody na abrazní a sesuvné přetváření břehů na vodních dílech (na příkladu vodního díla Nechranice), Ústav geologie a geotechniky ČSAV Praha, 1989

T. Spanilá, J. Rybář – Posouzení stávajícího a návrhy dalšího způsobu sanace břehového pásma na levém břehu vodní nádrže Nechranice, Ústav struktury a mechaniky hornin AVČR, 1995

M.Banach T. Spanilá Geodynamic evolution of water reservoir banks, Acta Montana ORSM AS CR, 2000

Tyto výzkumné zprávy jsou zde jmenovitě uvedeny, jelikož byly jedním ze základů studia problematiky břehové abraze. Zvláště je nutno upozornit na závěrečnou zprávu z výzkumu prováděného slovenskými kolegy na Liptovské Mare (1988). V rámci tohoto výzkumu bylo provedeno pečlivé rozdělení pobřeží nádrže dle stupně abraze i obsáhlé zhodnocení rozsahu abraze. Zvláště důležitým bylo pak pečlivé vykreslení a vysvětlení návrhů prvků pasivní i aktivní protiabrazní ochrany navrhovaných v dané lokalitě. Vykreslení desítek příčných řezů a zdařilá fotodokumentace jen dokreslují závěry tohoto výzkumného úkolu.

Dále je nutno upozornit na „Přehlednou zprávu o stavu výzkumu přetváření břehů vodních nádrží“ z roku 1975. I když jde již svým způsobem o zprávu historickou, skýtá ucelený a přehledný soubor důležitých podkladů a literatury. Podrobně rozepsaná metodika vytváření prognóz přetváření břehů na základě využití metod několika autorů (především sovětských,ale nejen jich) je velmi přínosným materiálem, který v této podobě jinde nenalezneme.

Návrhům břehových a doprovodných porostů, jež se výrazně uplatňují při návrzích stabilizace břehů, se široce věnovali z našich autorů například : [K. Marhoun 1982, 1991, 1996], [L. Novák, M.Iblová., V.Škopek 1986], . [J.Motl, S.Štěrba, S.Ježek 1979], [J.Chmelař 1964] [O.Hrdina,Z. Macoun 1987]. Ze zahraničních autorů je nutno upozornit například na práce [K.Kabisch, J.Hammerling 1981], [J.Reichholf 1998], [R.T.T.Forman, R.Gordon 1993], [G.Petchallies 1989] [E.Klementova, J. Skalova 1999].

Velmi zajímavá a důležitá publikace z této skupiny podkladů je práce autorů L.Novák, M. Iblová, V.Škopek – Vegetace v úpravách vodních toků a nádrží. Přináší přehledně zpracovaný souhrnný materiál týkající se vegetačního doprovodu toků i nádrží. Právě zde se

objevuje po více než 30 letech opět zmínka o jedné z metod stanovení prognózy ústupu břehové čáry, zpracované J. Linhartem pro využití v našich podmínkách. (Většina metod zpracovaných zahraničními autory vychází z podmínek nádrží zaujímajících podstatně větší plochu, než nádrže v ČR.) Právě nutné modifikaci a následnému využití této metody je věnována značná část předkládané práce.

Dále je nutno upozornit na práce K. Marhouna - Zásady revitalizace vodních toků a Revitalizace říčních systémů – komentáře, které se sice přímo nevztahují k problematice břehové abraze, avšak z hlediska návrhu biotechnického opevnění břehů jsou výrazným přínosem.

Keřová vrba jako základní prvek břehových porostů je středem pozornosti autorů Chmelaře a kolektivu pod vedením J. Motla. Podrobný popis habitu i ekologie jednotlivých druhů vrb je zpracován v dílech citovaných autorů a má pro následný výběr zásadní význam. Návrh vhodných dřevin je mnohdy základem budoucí stability biotechnického opevnění. Výběr druhů, jejich umístění na svahu, ale také povýsadbová péče, to jsou podmínky budoucího úspěchu. Toto jsou záležitosti, které by především technická veřejnost neměla podceňovat.

Velká pozornost byla tématu zajištění stability břehů údolních nádrží věnována také na 19. Kongresu ICOLD ve Florencii (1997), s jejímž programem i výsledky byla širší odborná veřejnost z ČR a SR seznámena na konferenci Priehradné dni 1998 v Košicích. Problematice stability břehů nádrží se zde věnovali např.: [Fabian E., Giesecke J. 1997] (Německo), [A. Huber 1997] (Švýcarsko), [H. Namiki a kol. 1997] (Japonsko), a další.

Zájem o tuto problematiku neutichá ani v posledních letech, čehož důkazem mohou být práce [K. McConnell 1998], [E. Klementova, J. Skalova 1999], [Řehout, T. Spanilá 2000], [R. Milerski 2000], [T. Spanilá, L. Starý, K. Jahoda, M. Dvořák 1999] [D. Moore, O. Hungr, 1998], [M. Banach, T. Spanilá 2000] a další.

S poměrně rychlým rozvojem a praktickým využitím výpočetní techniky (zejména osobních počítačů řady PC) lze v 80. a 90. letech zaznamenat vývoj celé škály softwarových prostředků. V rámci geodetických měření a následného vyhodnocování naměřených údajů byly široce využity systémy CAD.

Především se jednalo o u nás nejrozšířenější AutoCAD verze 12 a 14. Pro uchování naměřených dat i početní operace byl pak využit základní software firmy Microsoft - Excel 97 a Word 7.

2.2 Přehled v současné době užívaných protiabrazních opatření - metody stabilizace břehů

1. Technické způsoby stabilizace břehů – jedná se především o kamenné paty svahů, betonové, či železobetonové opěrné zdi, kamenné pohozy a záhozy, dlažby, prefabrikovaná opevnění, drátokamenné matrace a další.
2. Stabilizační metody inženýrské biologie – živá vegetační opevnění – především břehové porosty keřových vrb v eulitorálním pásmu, porosty rákosin v pásmu sublitorálním, travní koberce, stromové porosty.
3. Biotechnické způsoby stabilizace – jsou tvořeny kombinací technických a biologických stabilizačních prvků, jde o haťové, či haťošťerkové válce, zápletové plůtky, oživené kamenné rovnániny, aj.
4. Vlnolamy – zatopené, polozatopené a vynořené, propustné, nepropustné, pevné, pohyblivé.

Dle vlastního stabilizačního působení můžeme dále užívané protiabrazní konstrukce rozdělit na aktivní a pasivní [M.Lukáč, D. Abaffy 1980].

2.2.1 Aktivní protiabrazní konstrukce

Podélné usměrňovací stavby (jsou budovány podél pobřeží)

- ♦ *podélná břehová lavice* - je tvořena kamennou hrázkou navrženou souběžně s ohroženou částí břehů, volně přecházející v dno. Materiál tvoří lomový kámen. Břehová lavice se navrhuje cca v úrovni nejčtetnější maximální hladiny $M_{n_{max}}$.
- ♦ *podélná přerušovaná hrázka* - její koruna je navržena v úrovni - lépe mírně nad úrovní - nejčtetnější maximální hladiny. Jako materiálu užíváme zpravidla lomového kamene, jedná se tedy o propustnou stabilizační konstrukci. V nechráněných místech (přerušování hrázky) dochází k tzv. regulované, částečné abrazi břehu. Při návrhu vycházíme z předpokladu, že $l_2 \geq l_1$, přičemž l_1 vyjadřuje půdorysnou délku hrázky a l_2 délku přerušování hrázky.

Příčné usměrňovací stavby (jsou budovány kolmo, nebo šikmo na břehovou linii)

- ♦ *výhony kolmé k břehové čáře* – jsou budovány tam, kde je převažující směr větru (a tedy i vlnění) souběžný s břehem, směr vln působících na břeh tedy neprotíná linii břehu. Působením výhonů břeh leží ve „vlnovém stínu“.
- ♦ *výhony šikmé k břehové čáře* – mohou být navrhovány kolmo na převažující směr působení vlnění a nebo tak, aby zajistily pro co největší část břehu „vlnový stín“. Názory na přesné umístění výhonů však nejsou zdaleka jednotné viz [M.Lukáč, D.Abaffy 1980], [M. Lukáč 1977], stejně jako není jednotný názor na nejvhodnější délku výhonů.

Kombinované usměrňovací stavby – sestávají z přerušovaných podélných staveb, a na ně kolmých příčných staveb, které je spojují s břehem. Podélné stabilizační stavby částečně eliminují vliv vlnění na břehy a s nimi svázané příčné stavby zabraňují odnosu materiálu.

Ponořené břehové vlnolamy – jsou zpravidla navrhovány souběžně s břehovou čarou. Jejich hlavní funkcí je zmenšení výšky vlny za vlnolamem a zabránění transportu abraďovaného materiálu do nádrže. Takto následně vznikají plážové sklony břehů za vlnolamem. Navrhují se jako :

- ♦ *propustné vlnolamy* (kamenná hrázka, stěna z prefabrikovaných, nebo betonových bloků volně instalovaných vedle sebe, aj.)
- ♦ *nepropustné vlnolamy* (nejčastěji jsou tvořeny nepropustnou betonovou stěnou)

2.2.2 Pasivní protiabrazní konstrukce

Opěrné zdi – jsou budovány především u břehů nádrží zasahujících do intravilánu, nebo tam, kde jiné způsoby opevnění nejsou schopny plně zaručit stabilitu břehu (v blízkosti budov, břehových komunikací, aj.) Kolmé opěrné zdi se navrhují také v místech přístavišť a tam, kde to vyžaduje zájem lodní dopravy.

Nevegetační opevnění a obklady břehů – především se zde užívá těžkých kamenných záhozů, kamenných svahových pat, kamenných pat prolévaných betonem, železobetonových prefabrikovaných konstrukcí, kamenných dlažeb do betonového lože, betonem nebo asfaltem prolévaných kamenných rovinanin a dalších prvků.

Vegetační opevnění břehů – v rámci dřevinných břehových porostů (nezaměňovat s porostem doprovodným) jsou dnes užívány především dřeviny rodu *Salix* - keřové druhy, dále *Alnus*, *Populus*, *Fraxinus*, *Quercus*, *Acer*, a další. Dřevinné porosty je nutné doplnit bylinným patrem, protierozním travním kobercem. Břehové porosty (bylinné i dřevinné) často vznikají přirozenou sukcesí, náletem. Důležitou roli hraje také vegetace v pásmu rákosin (sublitorální pásmo).

Kombinované - biotechnické opevnění – jeví se jako jeden z nejvýhodnějších typů břehových opevnění. Technický prvek se umísťuje v oblasti největšího namáhání břehu, vegetační prvky opevnění pak v části méně namáhané (v oblasti působení výběhu vlny), přičemž oba tyto prvky se ve stykové oblasti prolínají. Jmenovitě se jedná o oživené kamenné rovinaniny, oživené kamenné záhozy, oživené drátokamenné matrace (gabiony), polovegetační tvárnice a další nově navrhované prvky o nichž bude pojednáno v následujících kapitolách.

Zvláštní skupinu pak tvoří zápletové plůtky, oživené sruby, haťové a haťošterkové válce, aj.

Břehové vlnolamy – jedná se především o neponořené nepropustné vlnolamy, ale také o těžké konstrukce typu „tetrapod“, „stabid“, aj. V rámci opevnění břehů (nikoli hrází) se tyto prvky užívají u nás vyjíměčně, výraznější užití nacházejí v cizině (velká jezera, mořské pobřeží).

3 VLASTNÍ PŘÍNOS PRÁCE K ŘEŠENÍ DANÉ PROBLEMATIKY

Teze habilitační práce jsou zaměřeny především na problematiku :

- Stanovení abrazní terminanty,
- Návrhu metody multikriteriálního hodnocení stávajícího stavu vegetačního doprovodu
- Návrhu stabilizace abrazí poškozených břehů

3.1 Metoda stanovení „abrazní terminanty“ - prognóza ústupu břehové čáry údolních nádrží

3.1.1 Úvod do problematiky

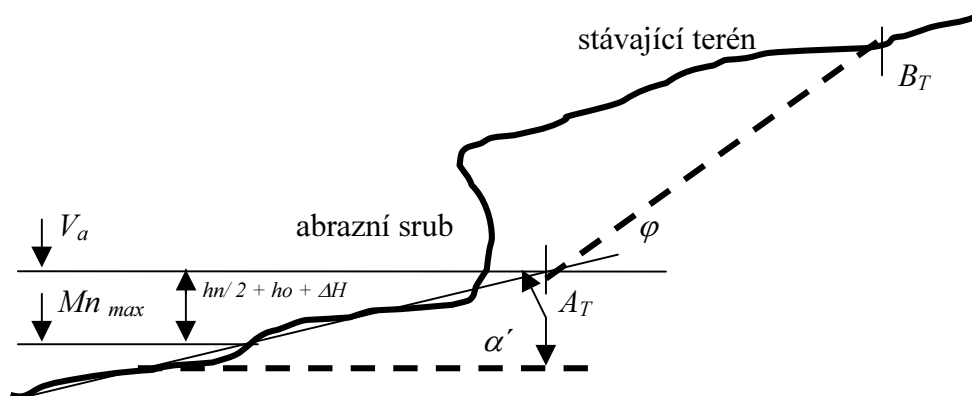
K plošnému obrušování dna a břehů vlněním hladiny, tedy ke vzniku abraze dochází především v oblasti břehů se sklonem svahů větším než 4 - 5°, a to za spolupůsobení celé řady faktorů (klimatických, geologických, ekologických, antropogenních, aj.).

Tento jev se vyskytuje ve větší či menší míře na téměř všech nově budovaných nádržích a pokud jsou vytvořeny vhodné podmínky k rozvoji abraze, je následný ústup břehové čáry neodvratný. (To samozřejmě za předpokladu, že nebude provedeno řádné břehové opevnění.)

Následující řádky jsou věnovány prezentaci nově zpracované metody prognózy ústupu břehové čáry.

3.1.2 Cíle metody

Metoda stanovení abrazní terminanty A_T – tedy nejzazšího bodu, kde se postup abraze samovolně zastaví - v modifikaci dle [Šlezinger 2000] vychází ze znalosti úrovně nejčtenější hladiny Mn_{max} , návrhové výšky vlny h_n a sklonu abrazní plošiny daným úhlem α' . [Linhart 1954] [Novák, L., Ibllová, M., Škopek, V. 1986] Pro názornost je uvedeno následující schéma (obr. 1) :



Obr. 1 Grafické znázornění stanovení abrazní terminanty

- A_T abrazní terminanta – (bod určený dle popisované metody)
- B_T bod maximálního ústupu břehové čáry (hledaný bod v daném příčném profilu)
- Mn_{max} .. nejčtenější hladina (m n.m.)
- V_a nadmořská výška paty nejvýše položeného abrazního srubu, určená dle (1) (m n.m.)
- α' úhel charakterizující ustálený sklon abrazní plošiny
- φ úhel vnitřního tření zeminy
- h_n výška návrhové vlny
- h_0 střednice vlny
- ΔHvýška nahnání hladiny větrem

Cílem metody je určit abrazní terminantu A_T (bod) ve všech sledovaných profilech nejohroženější části břehů údolní nádrže. Následně – například vnesením hodnoty úhlu vnitřního tření φ (v případě, že je břeh tvořen nesoudržnými zeminami) - můžeme stanovit bod maximálního ústupu břehové čáry B_T . Zakreslením míst příčných řezů do situace a spojením vnesených bodů B_T , pak vznikne linie zobrazující předpokládaný maximální ústup břehové čáry, tedy **prognóza ústupu břehové čáry** ve sledované lokalitě.

Jedná se o prognózu dlouhodobou, především pokud jde o dosažení bodu B_T . Avšak i docílení bodu A_T – (abrazní terminanty) je záležitostí mnoha desítek let. U většiny nádrží k tomu samovolně nedojde, případně bude docílení tohoto bodu značně časově odsunuto, vzhledem k prováděným stabilizačním zásahům v břehové oblasti.

Toto je základ vlastního prognostického modelu. Konkrétní postup je následující :

3.1.3 Stanovení výškové úrovně paty nejvýše položeného abrazního srubu V_a

Pro zjištění abrazní terminanty je nutné určit úroveň potenciální (případně již vzniklé) paty nejvýše položeného abrazního srubu (viz obr.1). Právě toto je totiž oblast, kde by mělo být provedeno nejsilnější opevnění břehů.

Postup určení paty nejvýše položeného abrazního srubu vychází z předpokladu znalosti výškové úrovně nejčtetnější hladiny Mn_{max} a výšky návrhové vlny h_n .

Patu nejvýše položeného abrazního srubu určíme ze vztahu :

$$V_a = Mn_{max} + \frac{h_n}{2} + h_0 + \Delta H \quad (1)$$

Přičemž :

V_a nadmořská výška paty nejvýše položeného abrazního srubu (m n.m.)

Mn_{max} ...nejčtetnější hladina (m n.m.)

h_n návrhová výška vlny (m)

h_0 střednice vlny (m)

ΔH výška nahnání hladiny větrem (m)

K určení úrovně nejčtetnější hladiny Mn_{max} je třeba shromáždit měření nadmořských výšek hladin za co nejdélší období (10 let i více).

Podle zkušeností získaných dlouhodobým měřením (1970 – 2000) a zpracováním naměřených výsledků našich i zahraničních autorů ([1], [3], [7], aj.) se ukazuje, že pravděpodobný počátek vzniku abraze, tedy místo vzniku paty budoucího nejvýše položeného abrazního srubu můžeme očekávat v blízkosti maximální hladiny zásobního prostoru, případně výše v oblasti neovladatelného retenčního prostoru nádrže. Pro určení hodnoty Mn_{max} se pak použije statistických metod.

Návrhovou výšku vlny h_n stanovíme ze vztahu [ČSN 75 0255] :

$$h_n = 0,0026 \cdot \frac{w_{10v}^{1,06} \cdot L_{ef}^{0,47}}{g^{0,53}} \quad (2)$$

w_{10v} rychlost větru ve výšce 10 m nad hladinou (m/s)

L_{ef} efektivní délka rozběhu vlny po hladině nádrže (m)

gtíhové zrychlení (m/s²)

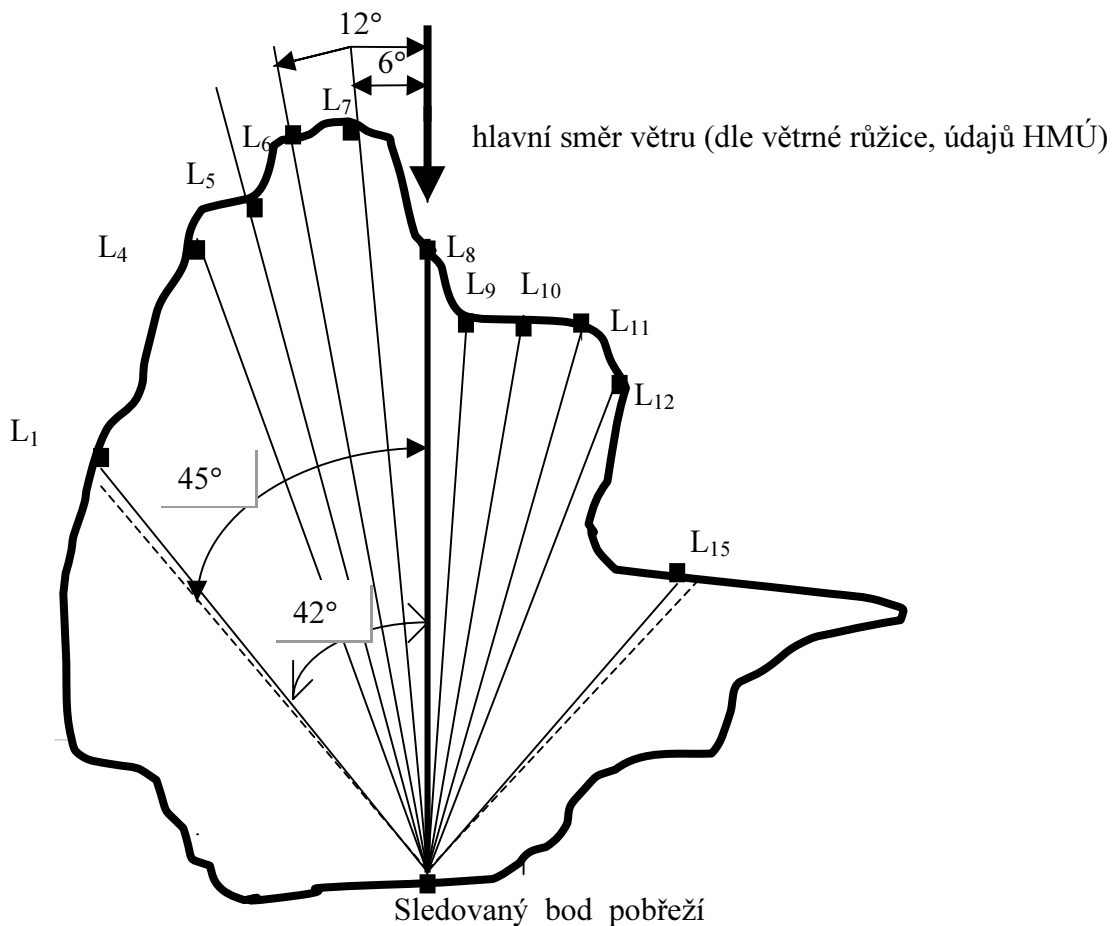
Efektivní délku rozběhu větru L_{ef} je možno určit dle vztahu [ČSN 75 0255] :

$$L_{ef} = \frac{\sum_{i=1}^{i=15} L_i \cos^2 \psi_i}{\quad} \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^{i=15} \cos \psi_i$$

Kde: L_i délka i – té radiály (m)

φ_i úhel, který svírá i – tá radiála s hlavním směrem větru (6,12...42°)



Obr. 2 Schéma k výpočtu efektivní délky rozběhu větru L_{ef}

Určení hodnoty nahnání hladiny větrem ΔH

Ve směru větru dochází k velmi mírnému hromadění vody v oblasti břehů nádrže, toto „nahnání vody“ ve směru větru je mnohdy nepatrné, zvýšení úrovně hladiny je v mm, případně jednotkách cm, u malých nádrží jej vůbec není nutno brát v potaz.

Určení hodnoty nahnání hladiny (nahnání vody větrem) ΔH je možno provést dle následujícího vztahu [ČSN 75 0255] :

$$\Delta H = k_w \cdot \frac{w_{10v}^2 \cdot L_{ef}}{g \cdot H} \cdot \cos \delta \quad (4)$$

k_w součinitel závislý na rychlosti větru

pro $w_{10v} < 20 \text{ m/s}$ platí $2,1 \cdot 10^{-6}$
 pro $w_{10v} < 30 \text{ m/s}$ platí $3,0 \cdot 10^{-6}$
 pro hodnoty mezi 20 a 30 m/s se určí hodnota k_v lineární interpolací
 w_{10v} rychlost větru ve výšce 10 m nad hladinou vody (m/s)
 L_{ef} efektivní délka rozběhu větru (m)
 g tíhové zrychlení (m/s)
 H hloubka vody v nádrži (m)
 δ úhel mezi podélnou osou nádrže a směrem větru ($^\circ$)

Určení střednice vlny h_0

Střednice vlny je vodorovná čára vedená tak, že v profilu vlny pólí její výšku. Dle [ČSN 75 0255] se při výpočtu postupových vln vychází z teorie malé amplitudy, při které se předpokládá sinusový profil vlny a střednice vlny se ztotožňuje s hladinou v klidu. Můžeme tedy uvažovat, že

$$h_0 = 0 \quad (5)$$

Po dosazení veličin ze vztahů (2), (3), (4), (5) do vztahu (1) je tedy možno určit nadmořskou výšku paty nejvýše položeného abrazního srubu, tedy hodnotu V_a (m n.m.)

Dalším krokem vedoucím k určení výškové úrovně abrazní terminanty A_T , tedy bodu, kde se postup abraze samovolně zastaví, je zjištění sklonu ustálené abrazní plošiny, tedy hodnoty úhlu α' (viz obr. 1).

Sklon abrazní plošiny α' můžeme získat :

- podrobným geodetickým zaměřením příčných profilů ve sledované lokalitě,
- orientačně z grafu stanovení sklonu abrazní plošiny dle Pyškina, který je však možno použít pouze pro homogenní materiály.

3.1.4 Stanovení abrazní terminanty

Průsečík vodorovné přímky vedené v úrovni paty nejvýše položeného abrazního srubu V_a a přímky vedené ve sklonu α' (úhel sklonu abrazní plošiny – viz obr. 1) nám určí výškovou hodnotu a umístění abrazní terminanty – tedy bodu A_T .

Při zjišťování hodnoty B_T (nejzazšího předpokládaného ústupu břehové čáry) vyneseme od bodu A_T přímku (tento postup by platil pro nesoudržné materiály, pro orientační určení B_T je však obecně užíván) ve sklonu shodném s úhlem vnitřního tření φ zeminy tvořící břeh nádrže. Vycházíme z předpokladu, že následná erozní činnost (eroze větrná, vodní, sněhová...) povede v dlouhodobém horizontu k vytvoření ustáleného sklonu erodovaného svahu, odpovídajícímu přibližně úhlu vnitřního tření materiálu, jímž je tvořen (obr 1).

3.1.5 Dílčí závěr

Metoda určení abrazní terminanty byla úspěšně ověřována na údolní nádrži Brno na řece Svratce (ČR) v letech 1999 a 2000.

Další ověřování správnosti této metody proběhne v roce 2002 na nádržích Liptovská Mara (SR), Zemplínská Šírava (SR), případně dalších.

Kromě metody stanovení abrazní terminanty, je v rámci tezí předkládané habilitační práce důležité prezentovat autorem nově zpracovaný návrh metody hodnocení stávajícího stavu vegetačního doprovodu vodního toku, či nádrže.

3.2 Metoda multikriteriálního hodnocení současného stavu vegetačního doprovodu vodního toku či nádrže

Kvalitnímu návrhu vegetačního doprovodu vodního toku či nádrže by mělo vždy předcházet podrobné zpracování hodnocení stávajícího stavu zájmového území. To znamená i stavu vegetačního doprovodu před zahájením jakýchkoli stavebních, či jiných prací v předmětné lokalitě.

K tomuto slouží především podrobná prohlídka pobřežního území včetně zhotovení zápisu, a to například podle zde předložené metody hodnocení, doplněné o pořízenou fotodokumentaci a dle potřeby i odborný komentář.

Jelikož není vždy možné provádět hodnocení stávajícího stavu vegetačního doprovodu za účasti dendrologa, či alespoň lesního inženýra, byla autorem navržena, zpracována a ve spolupráci Ústavem lesnické botaniky, typologie a dendrologie MZLU Brno odzkoušena metoda hodnocení nevyžadující podrobné dendrologické, biologické a ekologické znalosti, podle které se však dá s dostačující přesností stanovit v jakém stavu se stávající porosty nacházejí.

Základním principem navrhované metody je **jednoduchost** a **srozumitelnost** a tudíž i široká využitelnost. Důvodem návrhu a prezentace této metody je i snaha o objektivizaci posudků stávajícího stavu vegetačního doprovodu. Nutné a nevyhnutné je tedy pouze provedení podrobné prohlídky zájmové lokality, v našem případě posuzované části břehu. Hodnocení pak provádíme přímo v rámci prohlídky současného stavu území.

Posuzovaný úsek rozdělíme (je-li to vzhledem k rozsahu nutné) na úseky o délce přibližně 50 - 200 m (tato délka je variabilní, dle konkrétní situace na místě), a ty pak posuzujeme odděleně. Důležité je řádné označení úseků v situaci. Každý břeh toku, či nádrže posuzujeme zvlášť.

Vlastní hodnocení vychází z obodování (oznámkování) plnění konkrétních kritérií – přičemž 1 = nejlepší stav, 3 = nejhorší stav, a následuje zařazení úseku do jedné ze tří kategorií. Ty pak jednoznačně ukazují, v jakém stavu se nachází vegetační doprovod před zahájením stavebních, či jiných prací v předmětné lokalitě.

Spolu s fotodokumentací může toto hodnocení sloužit jako doložení daných skutečností při problémech se začleněním stavby do krajiny v rámci jejího dokončení, dále pak k archivaci pro případné užití jako dokumentační materiál pro budoucí opravy, úpravy apod.

V rámci zpracovávání návrhu tohoto hodnocení bylo provedeno několik testů vhodnosti hodnotících kritérií (hodnocení úseku Svratky jez v Komíně – silniční most Bystřec 1997, Silniční most Bystřec – přehrada Brno 1998 aj.). Z navrhovaných možností bylo následně vybráno pět kritérií, která se jevila jako nejvýstižnější a splňující výše uvedené předpoklady (jednoduchost, srozumitelnost...).

Jejich využitím pak vznikla předkládaná metoda hodnocení.

Metoda hodnocení současného stavu vegetačního doprovodu vodního toku či nádrže – tabulka hodnocení :

(zpracováno autorem práce za odborných konzultací na MZLU Brno a Hydroeko Brno)

Kriterium hodnocení		počet bodů
A. % poškozených, či nevhodných* dřevin	do 30 %	1
	do 60 %	2
	nad 60 %	3
B. Počet vegetačních pater	1 veg. patro	3
	2 veg. patra	2
	3 veg. patra	1
C. Šířka vegetačního pásma (od přibližné úrovně Q _a)	do 7 m	3
	7 – 10 m	2
	nad 10 m	1
D. Druhovú rozmanitost dřevin	do 3 druhů	3
	4 – 6 druhů	2
	7 a více druhů	1
E. Relativní hustota porostů :	souvislý porost s místními průhledy na hladinu	1
	střední a velké skupiny porostů	2
	bez porostů, malé skupinky, solitery	3

*Za nevhodné dřeviny jsou považovány stanovištně nevhodné druhy, exoty, aj.

Hodnotíme každý břeh zvlášť, zájmové území rozdělíme na úseky o délce cca 50 – 200m, s přihlédnutím k místním zvláštnostem, konfiguraci terénu aj. Po ohodnocení každého úseku provedeme bodový součet, a hodnocený úsek začleníme dle součtu získaných bodů do kategorií :

5 – 6 bodů	vegetační doprovod v dobrém stavu	kategorie I.
7 – 8 bodů	v úseku jsou nutné úpravy, dosadby	kategorie II.
9 a více bodů	nutné rozsáhlé zásahy, případně celková obnova	kategorie III.

Součástí hodnocení je i zpracování fotodokumentace posuzovaných úseků sledovaného pobřežního území.

Ke zvoleným kritériím je vhodné doplnit, že volba hranic v bodě „ C “ (šířka vegetačního pásma) vychází ze studie Lesprojektu z roku 1987, ze které vyplývá, že průměrná šířka vegetačního pásma u vodních toků v ČR je 7 – 10 m. I když je možno říci, že pro některé oblasti dolních toků našich řek se jedná o hodnoty mírně nadsazené, bylo právě toto rozmezí zvoleno za základ šířky vegetačního pásma pro prezentovanou metodu.

Hranice počtu druhů – bod „ D “ vychází jednak z provedených odborných prohlídek břehových a doprovodných porostů [M.Šlezinger 1997] , jednak z údajů odborné literatury [K. Marhoun 1991, 1996], [V. Šimíček 1999], aj.

Volba ostatních kritérií vychází především z vlastního systému třístupňového bodování, dále pak z terénních sledování a základních dendrologických a biologických znalostí.

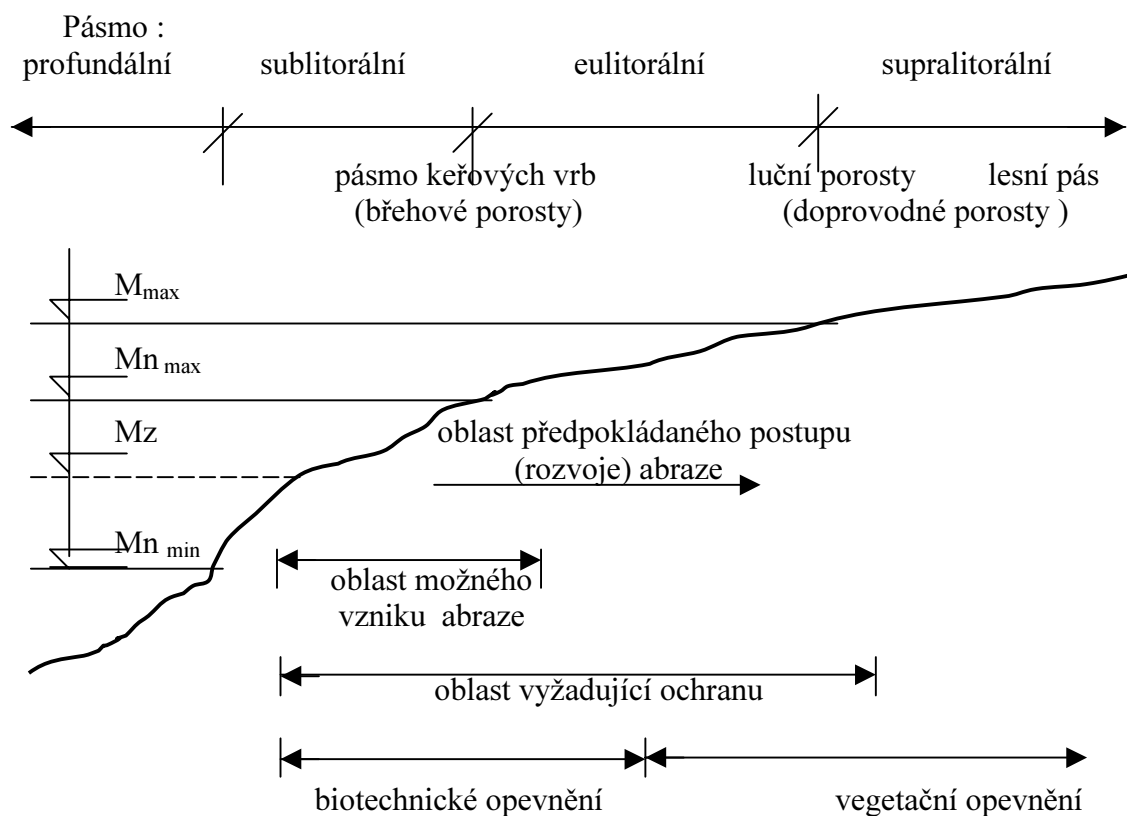
Po provedení tohoto hodnocení je možno i s odstupem času objektivně posoudit hodnocený stav porostů. Další případné upřesnění hodnocení a návrh nutných zásahů je vhodné následně konzultovat s příslušnými odborníky z oblasti lesního inženýrství, dendrologie, ekologie, aj.

Pro užití v rámci technické praxe (ale nejen zde) byly dále zpracovány multikriteriální výběrové tabulky listnatých dřevin, široce použitelné při zpracovávání projektové přípravy obnovy vegetačního doprovodu vodního toku nebo nádrže. Tyto tabulky usnadní výběr vhodných dřevin, a to využitím 18 výběrových kritérií. Základní verze „Výběrové tabulky dřevin“ byla publikována [Šlezinger 1996], a po doplnění a částečném přepracování je také součástí předkládané habilitační práce.

3.3 Návrh stabilizace abrazí poškozených břehů

Velmi důležitou podmínkou úspěšného návrhu stabilizace břehů biotechnickými metodami je znalost členění pobřežního území z hlediska vegetačních zón.

Břehové území členíme dle následujícího schématu (obr. 3) :



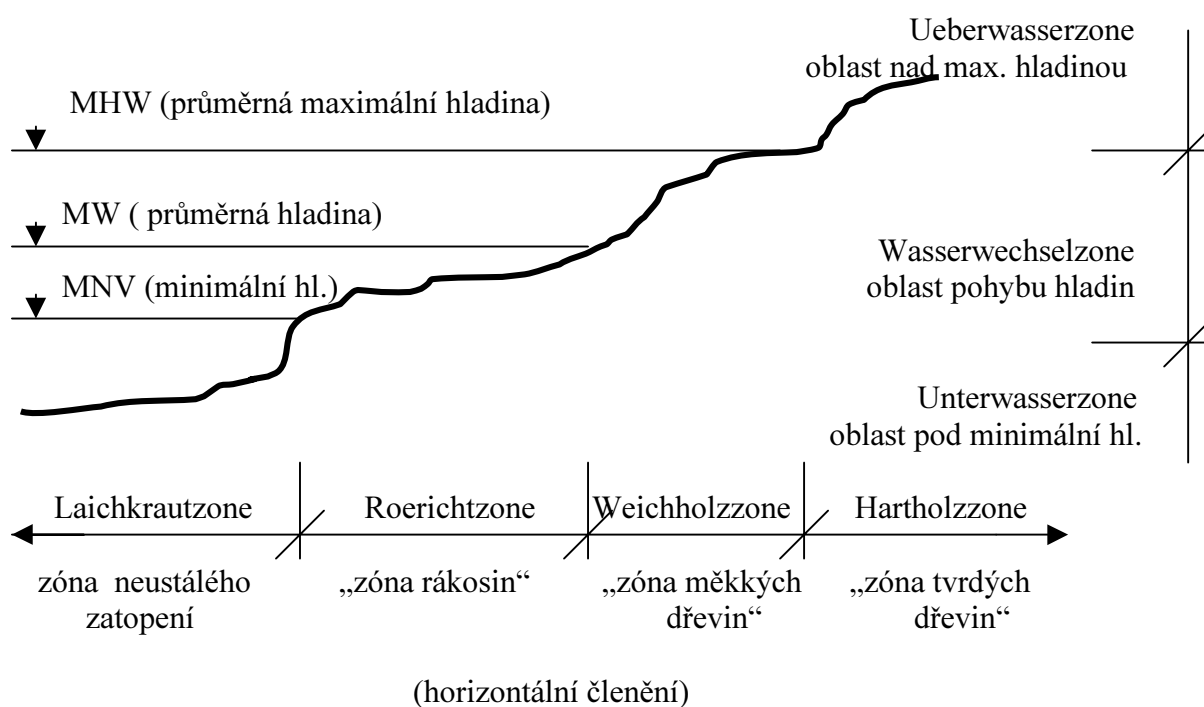
M_{max} maximální hladina
 $M_{n\ max}$... maximální nejčtenější hladina
 M_z hladina zásobního prostoru
 $M_{n\ min}$... minimální nejčtenější hladina

Členění břehového území není vždy úplně jednoznačné. Především u malých nádrží s plochými břehy, rybníčních staveb, u přirozených jezer a pod. nelze vždy jasně vymezit jednotlivé oblasti litorálních pásem. To pak mimo jiné i z prostého důvodu, že celé břehové

pásmo zaujímá (bráno v příčném řezu) pouze několik málo metrů a břehový i doprovodný porost splývají v jednotný vegetační doprovod toku.

V těchto případech vymezujeme pouze pásmo stálého zatopení, tedy pásmo profundální, ohraničené setrvalou vodní hladinou (případně nejčastěji se vyskytující minimální hladinou) a oblast litorálních pásem. Zde pak blíže k hladině nacházíme měkké dřeviny (reprezentované převážně rodem *Salix*), a následně dřeviny ostatní. Na přechodu profundální – litorální pásmo se (především u rybníků) nachází zóna rákosin.

V širším evropském kontextu se problematikou břehových pásem – jejich členěním, návrhem vhodné rostlinné skladby i problémem stability břehů zabýval např. profesor Petchallies (FH Oldenburg, TU Berlin). Jeho představy byly publikovány [G. Petchallies 1989] a víceméně souhlasí s členěním používaným u nás. Horizontální členění břehového území je tu však striktně vztaženo k převažujícímu typu zde nejlépe prosperující vegetace, horizontálně toto členění přibližně kopíruje úroveň hladin, není však vztaženo k hladinám konkrétněji vymezeným (mám zde na mysli např. úroveň hladiny Q_{355} , Q_1 apod.) Podrobněji viz obrázek 4 (pro lepší orientaci byly ponechány i původní názvy zón):



Obr. 4 Členění příbřežního území [G. Petchallies 1989]

Podle prof. Rodrigueze [E.R.Rodriguez 1996] působícího ve vodohospodářské laboratoři na FH ve Wiesbadenu je vhodné mezi oblast neustálého zatopení a zónu rákosin včlenit ještě „Schwimmblattpflanzenzone“, tedy jakousi zónu plovoucích rostlin. Při porovnání s ostatními autory však tuto oblast není nutné ani důležité v našich podmínkách zvláště vymezovat.

Také ostatní získané zahraniční podklady (viz kapitola 1 a 8) vycházejí v podstatě ze stejného členění břehového území.

Vraťme se tedy k problematice zajištění stability ohrožených částí břehového území nádrží.

Jako preventivní opatření je tedy žádoucí provést zabezpečení té části svahu, která je potenciálně přímo ohrožena abrazí.

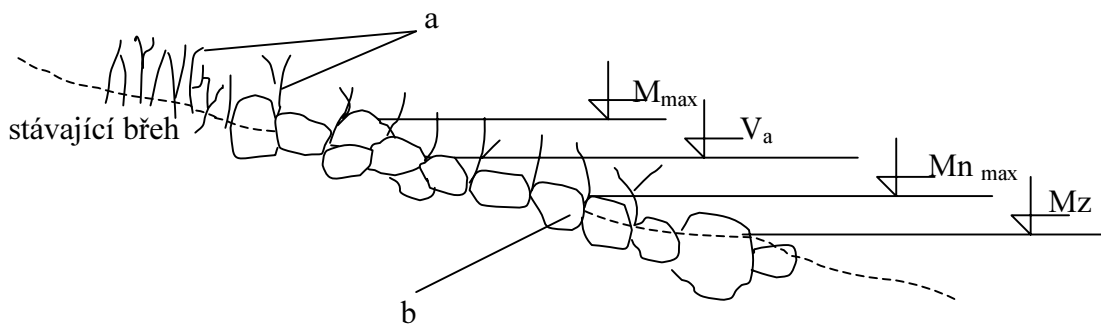
Z hlediska sklonu břehů a materiálu břehů se jedná zejména o břehy tvořené zeminami s větším sklonem svahu než 4° , zvláště jsou-li zbaveny původních porostů a nově vysazené dřeviny a travní porosty nejsou ještě schopny zajistit – byť dočasnou - ochranu břehu, a především pak jsou-li vystaveny větru jež má v převládajícím směru délku rozběhu $L \geq 1$ km.

Preventivní ochranu břehů ohrožených abrazí je nutno navrhnout a provést ještě před napuštěním vodního díla, případně v prvním roce provozu. Řádný návrh a včasné provedení stabilizace břehu ušetří v budoucnu mnoho starostí provozovateli vodního díla, nehledě k významu ekologickému a krajinnotvornému.

Problematickou se jako v mnoha jiných situacích jeví stránka ekonomická. Doufejme, že hospodářský růst země dovolí včas a řádně investovat i do těchto, pro někoho méně podstatných ochranných opatření.

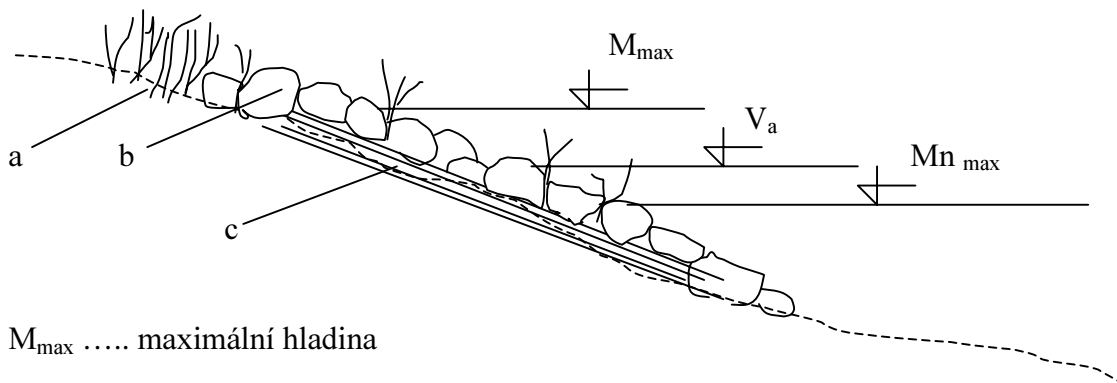
Základem preventivního opevnění by měl být pás tvořený vrstvou, lépe dvěma vrstvami lomového kamene, oživeného vrbovými řízků, kůly, vrbovou podestýlkou, aj.

Příklady možné preventivní stabilizace břehu – oživené kamenné pohozy :



- M_{max} maximální hladina
- Mn_{max} ... maximální nejčtenější hladina
- Mz hladina zásobního prostoru
- V_a maximální nejčtenější hladina zvýšená o předpokládanou kótu nejvýše položené paty abrazního srubu dle modifikované Linhartovy metody
- a vrbové řízky
- b lomový kámen ϕ cca 300 - 500 mm

Obr. 5 Návrh možné preventivní stabilizace břehu (varianta 1)



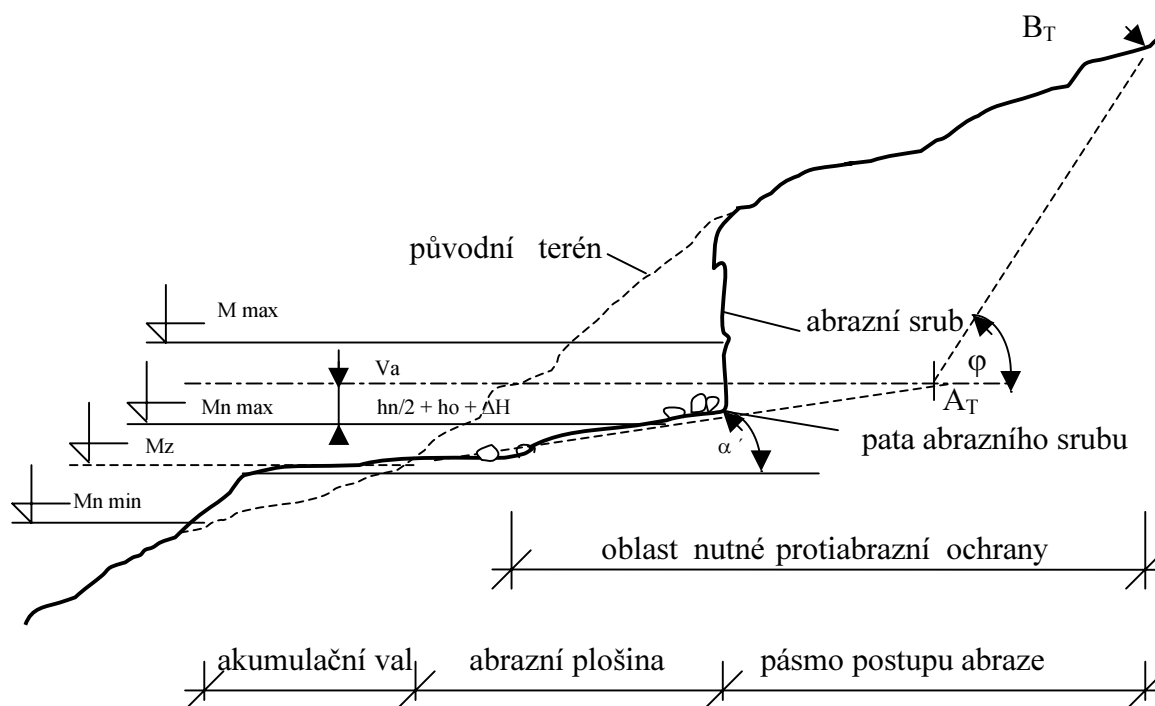
- M_{max} maximální hladina

- Mn_{max} ... maximální nejčtetnější hladina
- V_a maximální nejčtetnější hladina zvýšená o předpokládanou kótu nejvýše položené paty abrazního srubu dle modifikované Linhartovy metody
- a vrbové řízky
- b lomový kámen ϕ cca 300 - 500 mm
- c vrbová podestýlka tl. 100 – 200 mm

Obr. 6 Návrh možné preventivní stabilizace břehu (varianta 2)

Jiná situace nastává při zanedbání protiabrazní ochrany. Dle zkušeností z provozu desítek vodních děl (Nechranice, Slapy, Liptovská Mara, Orava ale také Brno a další) vyplývá, že abrazní sruby, terasy a plošiny začínají vznikat na ohrožených březích ihned po napuštění nádrže a k jejich nejvýraznějšímu rozvoji dochází v prvních měsících a letech provozu vodního díla.

Oblast, kde již došlo ke vzniku a následnému rozvoji břehové abraze, charakterizuje následující obr. 7 :



Obr. 7 Oblast pobřežního území postiženého rozvinutou abrazí

- M_{max} maximální hladina
- Mn_{max} ... maximální nejčtetnější hladina
- Mz hladina zásobního prostoru
- V_a maximální nejčtetnější hladina zvýšená o předpokládanou kótu nejvýše položené paty abrazního srubu zjištěné dle modifikované metody
- Mn_{min} ... minimální hladina
- A_T abrazní terminanta
- B_T předpokládaný mezní bod ústupu břehové čáry
- ϕ úhel vnitřního tření zeminy
- α' sklon abrazní plošiny

Břehy údolních nádrží postižené abrazí se stávají jednak hrozbou pro objekty stojící v blízkosti, ale také se výrazně podílejí na zanášení nádrží, na změně kvality vody v břehových oblastech, ohrožují rekreaci a negativně působí z pohledu ekobiologického i krajinyotvorného. Nehledě k tomu, že vlastníci pozemků v blízkém okolí abrazí postižených břehů přicházejí nevratně o svůj majetek (jako ukázkou můžeme prezentovat oblast Sokolského koupaliště údolní nádrže Brno, kde došlo za 13 let provozu vodního díla k ústupu břehové čáry o 13 m [Linhart J. 1958], dnes (60 let provozu) je to již více jak 20 m [Šlezinger M. 1999] (na jiných nádržích – Nechanice, Orava, Liptovská Mara aj. je ústup břehové čáry ještě mnohem výraznější).

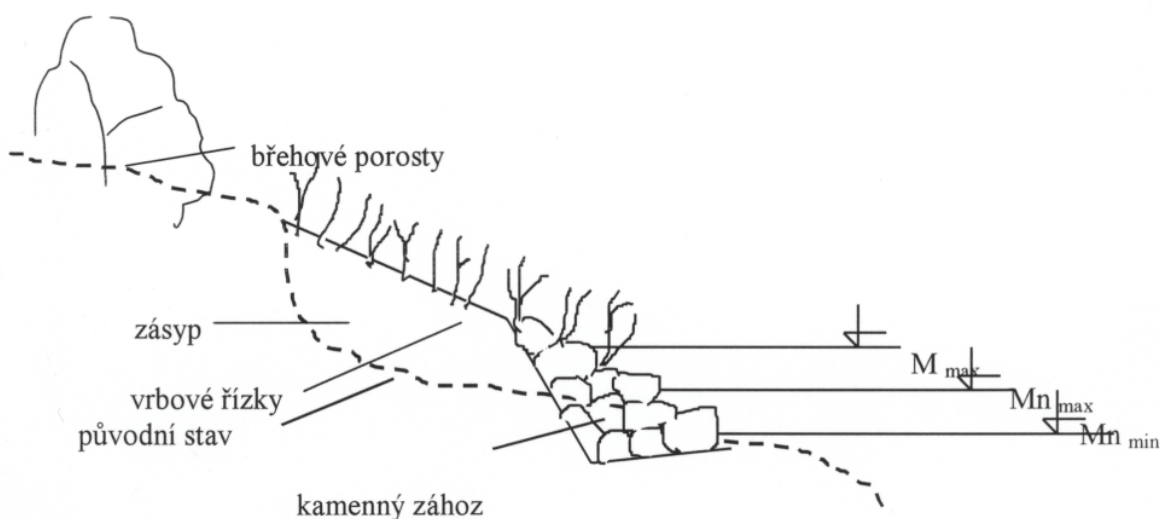
I z těchto důvodů je nutno bezodkladně přistoupit k sanaci ohrožených břehových partií, a to především právě v oblastech, kde může dojít k ohrožení budov. Po geodetickém zaměření břehového území včetně vlastního abrazního srubu a abrazní plošiny je možné právě např. aplikací modifikované Linhartovy metody prezentované v této práci zjistit polohu abrazní terminanty A_T . Následně dle úhlu přirozené sklonitosti materiálu břehu (úhlu vnitřního tření zeminy) můžeme stanovit předpokládaný bod maximálního ústupu břehové čáry B_T , viz kapitola 3.1.

Takto lze zjistit v jaké fázi se abrazní porušení břehů nachází a především pak, stojí-li v oblasti možného a předpokládaného porušení svahu objekt, jež je přímo ohrožen.

V každém případě je však možno a nutno navrhnout a realizovat protiabrazní opatření. Uvedme tedy v předkládané práci navrhovaný souhrn základních typů biotechnických způsobů opevnění břehů využitelných pro stabilizaci a následnou ochranu abrazí poškozené části břehu.

3.3.1 Ukázka některých základních typů navrhovaného biotechnického opevnění

Oživený kamenný zához



M_{max} maximální hladina

Mn_{max} ...maximální nejčtenější hladina

Mn_{min} ...minimální nejčtenější hladina

Obr. 8 Oživený kamenný zához

Oživený kamenný zához je jedním z nejužívanějších typů biotechnického opevnění břehů. Může být využit i při výrazných sklonech (až 35°) a výšce abrazního srubu i několik metrů.

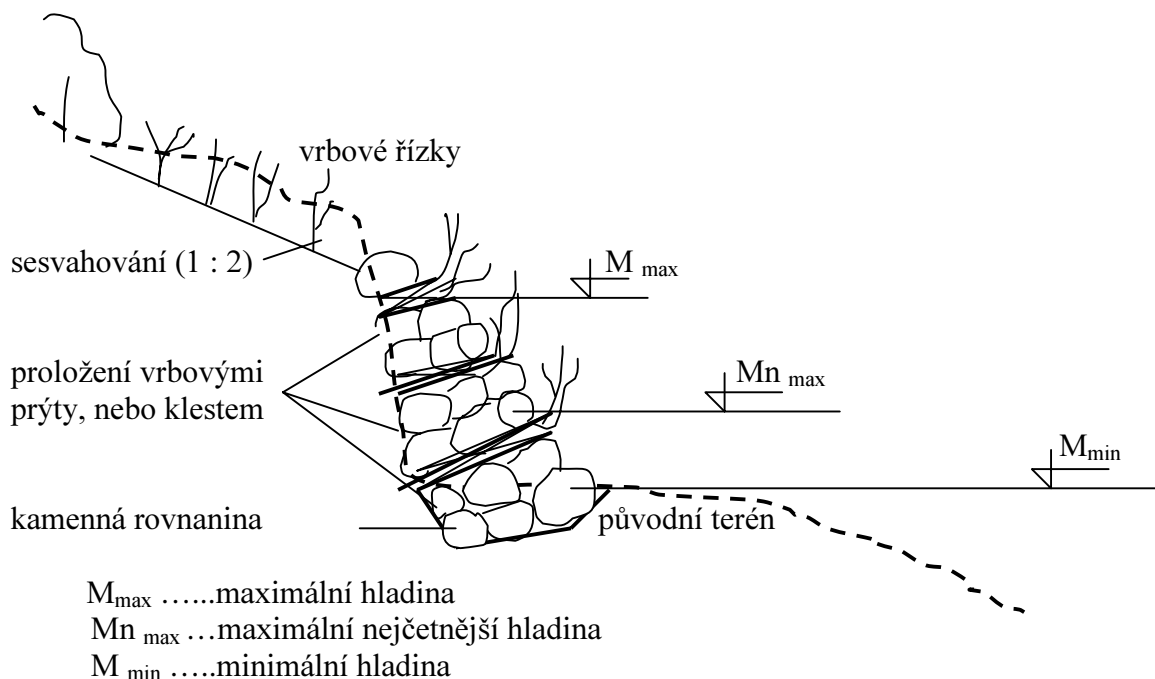
Před počátkem usazování kamenů je nutno provést urovnání i vhodné sesvahování sanované části břehu, nejlépe do sklonu 1 : 2. Následně je stabilizační materiál (lomový kámen o středním průměrném zrně cca 0,30 – 0,60 m) rozprostřen do stabilizované části svahu. Lícni plochu dorovnáme následně do vhodného sklonu. Horní a střední část kamenného záhozu prosypeme zeminou a šterkem. Do mezer mezi kameny zastrkujeme vrbové prýty. Ozelenění volně přechází i nad kamenné opevnění a navazuje na stávající, případně nově navržený doprovodný porost.

Během jedné, maximálně dvou vegetačních sezón se vytvoří vhodný vrbový kryt. Po tuto dobu je nutné provádět prohlídky nově opevněného břehu a provádět případné místní dosadby, či drobné úpravy provedeného opevnění.

Oživená kamenná rovnanina

Je dalším z často užívaných typů biotechnického opevnění břehů. Aplikace je vhodná především v oblastech s výrazným abrazním poškozením, kde chceme dokonale a spolehlivě chránit výše na svahu stojící objekty.

Těleso kamenné rovnaniny zakládáme do základové rýhy upravené ve spodní části sanovaného břehu. Lomový kámen ukládáme v pravidelných vrstvách, které jsou prokládány čerstvě seřezanými vrbovými prýty. Tloušťka vrstvy prýtů by měla být asi 0,1 m. Sklon líce rovnaniny může být až 3 : 1 dle užitého kameniva a způsobu jeho ukládání. Břeh nad kamennou rovnaninou je vhodné sesvahovat a provést na něm výsadbu keřových vrb, jež volně přejde v travní, či jiné doprovodné porosty.



Obr. 9 Oživená kamenná rovnanina

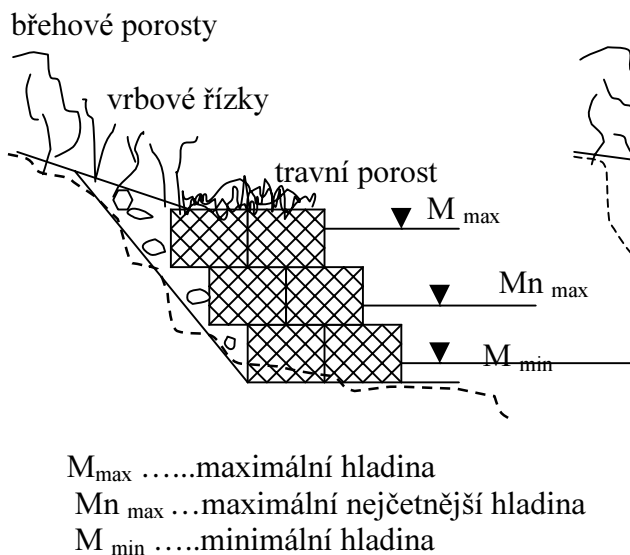
Oživené drátokamenné (drátošterkové) koše

Jedná se o drátěné obdélníkové koše vyrobené z žíhaného pozinkovaného drátu (ten může mít i povlak PVC nebo PV) se šestiúhelníkovými oky. Okraje košů jsou vyztuženy dráty většího průměru jako je drát sítě pro zpevnění konstrukce a vhodnější manipulaci.

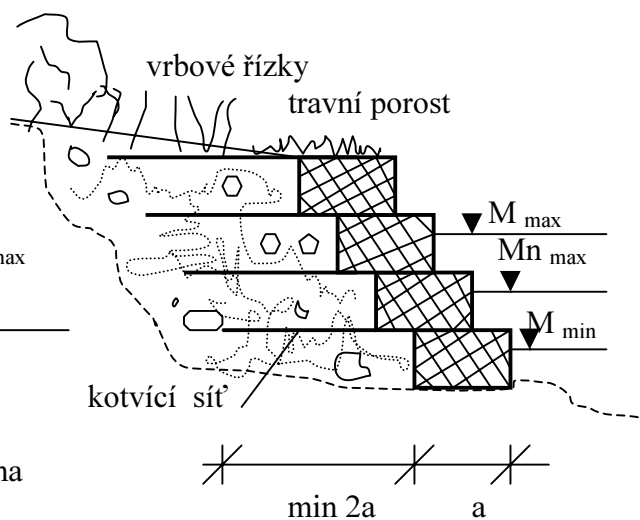
Koše jsou vyplněny kamenem či hrubým štěrkem. Výška a šířka konstrukce není nijak omezena, je dána stavebními možnostmi prováděcí firmy a přirozenými podmínkami opevňované lokality.

Před zahájením prací na usazení spodní – základové řady košů je nutno urovnat patu svahu a abrazi porušený břeh případně sesvahovat. Koše jsou pak ukládány a vzájemně propojovány dle předem vytvořeného schématu i místních podmínek. Dovnitř košů je ukládáno kamenivo, běžně se užívá velikost kamene 50 – 250 mm (obr. 10).

Při užití kotvící sítě je postupně prováděno uložení opevňovacího prvku (drátokamenných košů) a dosypávání a hutnění zeminy (obr. 11).



Obr. 10 Drátokamenné koše



Obr. 11 Drátokamenné koše s kotvící sítí

Velkou výhodou drátokamenných opevňovacích konstrukcí je jejich pružnost, schopnost dokonale kopírovat povrch. Konstrukce jsou vodopropustné (oproti opěrným zdem) a není třeba dělat drenáž. Další velkou výhodou je jednoduchost konstrukce, která je rozložená dovezena i se spojovacími prvky a sestavena na místě. Předpokládá minimální požadavky na údržbu.

Z ekobiologického pohledu konstrukce umožňuje prorůstání vegetace, nejvýše položená řada košů může být prosypána zeminou a následně kryta travním porostem. Blokový typ konstrukce umožňuje také architektonicky v horizontálním i vertikálním směru členit stavbu. S prorůstáním vegetace matrací roste také opevňovací účinek stavby.

Kromě drátokamenných košů jsou užívány také drátokamenné matrace, vaky, protipovodňové zábrany (kombinace drátokamenného koše a PVC-folie) aj.

4 ZÁVĚR

Výsledky předkládané práce by měly sloužit především :

- vodohospodářským pracovníkům zabývajícím se ochranou břehů nádrží,
- projektantům při zpracovávání návrhu preventivních ochranných opatření i návrhů sanace abrazního poškození břehů za využití stabilizačního působení břehových porostů,
- terénním pracovníkům podniků povodí
- pro výukové účely - předběžná posouzení stávajícího stavu porostů pro návrh biotechnických způsobů stabilizace
- dalším organizacím zabývajícím se břehovými a doprovodnými porosty, stabilitou břehů nádrží, apod.
- jako výchozí podklad pro další sledování deformace břehů na ú.n.Brno a návrhu zajištění jejich stability

Pouze následné využití navrhované metody stanovení prognózy ústupu břehové čáry na jiných ohrožených lokalitách může prověřit její vhodnost a odhalit případné nedostatky, stejně jako využití ostatních zde prezentovaných nástrojů pro zajištění vhodného návrhu vegetačního či biotechnického opevnění břehů a návrhu vhodného vegetačního doprovodu.

5 POUŽITÁ A SOUVISEJÍCÍ LITERATURA

- Banach, M. Spanila T. Geodynamic evolution of water reserfoir banks, Acta Montana IRSM AS CR, Toruň – Praha 2000
- Broža,V. Kratochvíl, J. Peter, P. Votruba, L. Přehrady SNTL / ALFA Praha – Bratislava 1987
- Čábelka, J. Vnútrozemské vodné cesty, SNTL Bratislava – Praha, 1963
- Čábelka J. Vodní cesty a plavba, SNTL Praha 1976
- Eichler, J. Mechanika zemin, SNTL Praha 1978
- Harušťák, V. Posobenie vetra na vodnú hladinu a vlnobitie na pobrežie, výzkumná zpráva, SAV Bratislava 1980
- Holý, M. Eroze a životní prostředí, vydavatelství ČVUT, Praha 1994
- Hieke, K. Praktická dendrologie 2 sv. Praha 1978
- Hrdina, O., Macoun, Z. Komplexní řešení obnovy břehových porostů, Vodní hospodářství 7/1987 – řada A, str. 190 - 193
- Chmelař, J. Stručný přehled vrb s ohledem na použití pro vegetační zpevnování břehů vodních toků a nádrží, In: Vegetační problémy při budování vodních děl, ČSAV Praha 1964
- Chmelař, J. Ekologie vrb ve vztahu k činiteli voda, In: Funkce břehových porostů v krajinném prostředí, Brno 1986, str. 82
- Fabian, E. Giesecke, J. Hillside stabilization for the lower reservoir of the Wehr pumped-storage plant – 20 years of operational experience, XIX kongres ICOLD – přehledná informace In: Priehradné dni Košice 1998, str. 58
- Forman, R. T.T. Gordon, M. Landscape Ecology, Wiley spol. Sons, Inc., New York 1986
- Gabriel, P. Vodní cesty, ČVUT Praha, 1997
- Gurukumba K. Mukupe, H. Stabilisation of Kariba south bank , XIX kongres ICOLD – přehledná informace In: Priehradné dni Košice 1998, str. 58

- Huber, A. Quantifying impulse wave effect in reservoirs, XIX kongres ICOLD – přehledná informace In: Priehradné dni Košice 1998, str. 60
- Horský, O. Spanilá, T. Remodelling of water reservoir banks by exogenous processes, In: International symposium on engineering geology and the environment, Rotterdam 1997, str. 2711 – 2716
- Jahoda, K. K výpočtu parametrů větrových vln, Vodní hospodářství, 1997,3, str. 87 – 89.
- Jambor, J. Problematika ústupu břehov nádrží Orava a Liptovská Mara, In: Přehradní dny 1992, Tábor str. 126-137
- Jambor, J., Sanácia abrázie hrádzí nádrže VD Drahovice-Madunice, Vodní hospodářství 6/1986 – řada A, str. 150 - 154
- Kabisch, K. Hammerling, J. Tuempfel, Teiche und Weiher – Oasen in unserer Landschaft, Leipzig 1981
- Kala, Z.: Využití statistické analýzy při kalibraci postupů dle norem, XI. mezinárodní vědecká konference, Sborník příspěvků konference doktorandů, Brno 1999, s.119-122,
- Kala, Z.: Stochastická analýza stavební konstrukce, část 1 - Stavební Obzor, s. 65-69, 3/99.
- Kolem, M. Rejec, A. Cetina, M. Sanitation of the left bank in Doblar reservoir – Soča Riever, XIX kongres ICOLD – přehledná informace In: Priehradné dni Košice 1998, str. 58
- Kačugin, E. G. Rekomendácii po izučenu pererabotki beregov vodochranilišč, Gidrometoizdat, Leningrad, 1955
- Klementová, E. Skálová, J. Evaluation of small water reservoirs intro-system of the ecological stability, In. Krajina, meliorace a vodní hospodářství na přelomu tisíciletí, str. 167 – 172, Brno 1999
- Kratochvíl, J., Stara, V., Přehrady, VUT Brno, 1990
- Kratochvíl, S. Prognóza hlavních parametrů větrových vln v hlubokých přehradních nádržích, Vodní hospodářství 10/1970, str. 265 – 270
- Kratochvíl, S. Parametry větrových vln na přehradní nádrži, Vodohospodársky časopis, ročník 17, č.4/1969, str. 320 – 337
- Kratochvíl S. Oscilační postupové vlny na nádržích, Vodohospodársky časopis, roč. 17, č.4/1969, str. 305 – 317
- Kratochvíl S. Ochrana břehů vodních nádrží a toků proti účinkům vlnobití, Bratislava 1978
- Kratochvíl, S., Účinek vlnobití na hráze velkých mělkých nádrží s opevněním pohozen kamene, Vodní hospodářství 2/1984 – řada A, str. 41 - 46
- Kreuter, L. Der Wasserbau III. Teil, Leipzig 1910
- Lamprecht H-O. Boeschungsschutz, Berlin 1996
- Lukáč, M. Abaffy, D. Vlnenie na nádržiach, jeho účinky a protiabrazne opatrenia, vydavateľstvo Príroda, Bratislava 1980
- Lukáč, M. a kol. Analýza dosledkov vodohospodárskej prevádzky vybraných vodných diel, Expertýza, STU Bratislava 1987
- Lukáč, M. Štefánek, J. Vrábel, B. a kol. Rozsah abrázie břehov VN Liptovská Mara – Sprievodná správa, STU Bratislava 1988
- Lukáč, M. Účinky vetrových vln na konštrukciju priehrady, svahy nádrže a protiabrazne opatrenia, STU Bratislava – Habilitačná práca, 1977
- Linhart, J. Intenzita abrazní činnosti hladiny Kníničské přehrady, In: Sborník ČS společnosti zeměpisné, 1954, č. 4, str. 185 - 194
- Linhart, J. Zanášení vodních nádrží splaveninami, Vodní hospodářství 6/1958, str. 177-179
- Loew, J. Revitalizace systémů trvalé vegetace v krajině, Projekt GA/1180/93, Praha 1995
- Motl, J. Štěrba, S. Ježek, R. Keřové vrby vhodné pro biologickou ochranu břehů vodních toků a nádrží, Lesnický průvodce 1/1979, Praha 1979
- Marhoun, K. Zásady revitalizace vodních toků, Aquatis Brno, 1991
- Marhoun, K. Revitalizace říčních systémů – komentáře, Brno 1996

- Marhoun, K. Návrh opevnění vodních toků travním porostem, *Vodní hospodářství* 1982, č. 10
- Marhoun, K. Dřevinný vegetační doprovod vodních toků, úkol MLVH č. 8, 1982
- Marhoun, K., Vodní nádrže a ekologie krajiny, *Vodní hospodářství* 4/1989 – řada A, str. 100 – 103
- Milerski, R., Tvorba privilegovaných cest při povrchovém odtoku, In.: *Vývoj metod modelování a řízení vodohospodářských a doprovodných systémů*, Brno 2000
- Moore, D. Hunger, O. Experience based on banks fortification structures - Water reservoir, In: *Proceedings Eighth International Congress*, Vancouver – Canada, 1998, str. 3845 - 3851
- Novák, L. Iblova, M. Škopek, V. Vegetace v úpravách vodních toků a nádrží, SNTL, Praha 1986
- Nowak, H. Meliorationen – Baukonstruktionen, Deutsche Landwirtschaftsverlag Berlin, Berlin 1990
- Namiki, H. a kol. A model of investigation and stability estimation for landslides of reservoir bank, XIX kongres ICOLD – přehledná informace In: *Přehradné dni Košice 1998*, str. 61
- Patočka, C. Macura, L. Úpravy toků, SNTL, Praha 1989
- Peter, P. Lukáč, M. Parametre vetrových vln a ich vplyv na návrh prvkov konštrukcie priehrady a svahy nádrže, *Vodohospodársky časopis*, roč. 18, č. 3/1970
- Peter, P. Protiabrázne opatrenia na svahoch zemných priehrad a bokoch nádrží proti účinkom vetrových vln – štúdia, STU Bratislava 1974
- Petschallies, G. Entwerfen und Berechnen in Wasserbau und Wasserwirtschaft, Wiesbaden und Berlin 1986
- Pondělíček, V. Opravy návodního svahu vodního díla Nechanice, *Vodní hospodářství* 1-2/98, str. 13-15
- Pyškin, B.A. Pererabotka beregov vodochranilišč, AN USSR, Kyjev 1962
- Reichholf, J. Feuchtgebiete, Verlag GmbH, Muenchen 1988
- Rodriguez, E.R. Vorlesung 1803: Wasserbau und Wasserwirtschaft, Wiesbaden 1996
- Rodriguez, E.R. Vorlesung 1801: Wasserbau und Wasserwirtschaft, Wiesbaden 1996
- Rybníkář, J. Vodní cesty, VUT Brno, 1984
- Satrpa, L. Použití vegetačních opevňovacích prvků při výstavbě a rekonstrukci hrází, In: *Přehradní dny 1992, Tábor 1992*, str. 154-160
- Schoklitsch, A. Der Wasserbau, Verlag von J. Springer, Wien, 1930
- Spanilá, T., Starý, L., Jahoda, K., Dvořák, M. Technique of data recording and data processing of wind waves amplitudes, *J Hydrol. Hydromech* 47, 1999, 3, str. 195 – 207
- Spanilá, T. Vliv hydrologického faktoru – kolísání hladiny vody na abrazní a sesuvné přetváření břehů na vodních dílech, *Výzkumná zpráva, Ústav geologie a geotechniky ČSAV Praha*, 1989, 20 stran.
- Spanilá, T. Přehledná zpráva o stavu výzkumu přetváření břehů vodních nádrží, *Výzkumná zpráva Geologický ústav ČSAV Praha*, 1975, 75 stran.
- Spanilá, T. Problém přetváření břehů na vodních nádržích, In: *Přehradní dny 1992, Tábor 1992*, str. 138-143
- Spanilá, T. Simenova, G. Bank ceformations on some water reservoirs in Bulgaria and Czechoslovakia, *ACTA Montana Igt AS CR*, 1993, str. 93 – 109
- Spanilá, T. Landslides and abrasion processes on the shoerline of the water reservoir Nechanice, In: *International symposium on landslides, Rotterdam 1996*, str. 579 - 583
- Šimíček, V. Vrby při úpravách vodních toků a ekologické obnově krajiny, Praha 1992
- Šimíček V. Břehové a doprovodné porosty vodních toků – součást lužních ekosystémů, vydal Agrospoj, Praha 1999

- Šlezinger M. The contribution solving the problem of securing bank stabilisation of valley reservoirs, In: XI. International scientific conference Brno 1999, str. 73-76
- Šlezinger M. Presentation of partial results of controlling processes of abrasion along a Brno dam area, In: International watermanagement colloquy, Brno 1999, str. 66-69
- Šlezinger M. Vegetační doprovod vodních toků a nádrží, CERM Brno 1996
- Šlezinger M. Prezentace výsledků monitoringu postupu abraze na březích údolní nádrže Brno v letech 1989 – 1999, Vodní hospodářství 9/99, str. 192-193
- Šlezinger M. Návrh metody hodnocení stavu vegetačního doprovodu vodního toku a nádrže Vodní hospodářství 7/ 2000, str. 145
- Šlezinger M. Příspěvek k problematice prognózy ústupu břehové čáry, Přehradní dny 2000, Karlovy Vary, str. 313 - 317
- Úradníček, L. Chmelař, J. Dendrologie lesnická 1. a 2. část, skripta MZLU Brno, 1995
- Vácha, P. Hydraulický návrh vlnolamu, Vodní hospodářství 3/1983 řada A, str. 71 - 78
- Woznica L. Diskusní příspěvek - Přehradní dny 1992, Tábor 1992
- ČSN 01 1320 Veličiny, značky a jednotky v hydraulice
- ČSN 73 6510 Základní vodohospodářské názvosloví
- ČSN 73 6530 Názvosloví hydrologie
- ČSN 75 0255 Výpočet účinků vln na stavby na vodních nádržích a zdržích
- ČSN 75 2101 Ekologizace úprav vodních toků
- ČSN 75 0121 Názvosloví hydrotechniky
- Kolektiv autorů - Atlas podnebí ČSSR
- Kolektiv autorů - Stav porostů v okolí vodních toků, Lesprojekt 1987

6 SUMMARY

1 Introduction

The paper deals with the problem of an origin and development of bank abrasion of dam reservoirs. Bank abrasion is recognised as surface abrasion of bottom and banks by the action of waves accompanied by the transport and sedimentation of material released.

Abrasion arises mainly at the region with bank slopes steeper than $4^\circ - 5^\circ$ when other factors (climatic, geologic, ecological and others) are co-operating.

The phenomena occur in bigger or smaller scale almost at all newly built reservoirs and when suitable conditions are present, consequent retreat of bank line is inevitable (of course if no bank lining is carried out).

This paper deals with newly proposed method for prognosis of the retreat of bank line.

2 Terminology

Abrasion terminal line – the most distant line within the bank, where the abrasion process naturally stops

Abrasion wall – part of the bank changed by abrasion

Abrasion plain – surface of steady slope arising below the abrasion wall heel towards the reservoir

Design wave height – height, which is in accord with Rayleigh theory of wave height frequency in the set of waves assumed as wave with 13% occurrence [Czech National Standard ČSN 75 0255]

3 The goal of the method

Method for the determination of abrasion terminal line modified [Šlezinger 2000] issues from the knowledge of the most frequent water level Mn_{max} , design wave height h_n and the slope of the abrasion plain given by the angle α' (see Fig. 1).

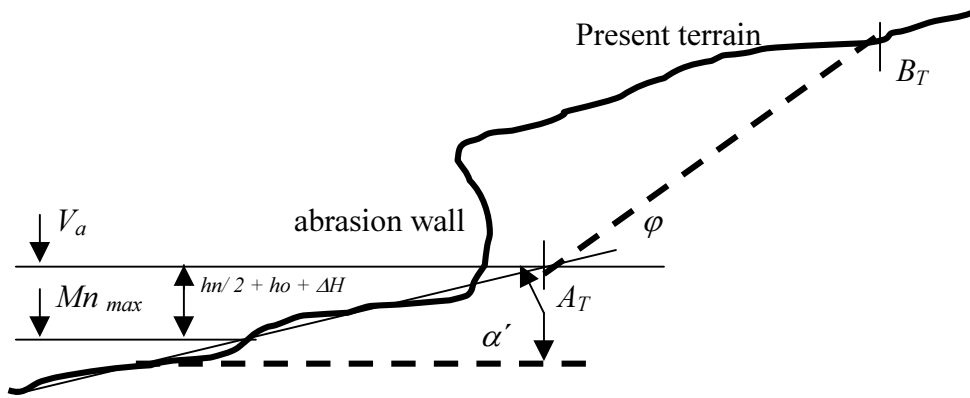


Fig. 1 Scheme of the method of determination of abrasion terminal line

- A_T abrasion terminal point;
- B_T point of maximum retreat of the bank line (within the given section);
- Mn_{max} .. the most frequent water level (metres above sea water level);
- V_a altitude of the heel of the highest abrasion wall according to (1) (m above SWL);
- α' stable slope of abrasion plain;
- φ angle of internal friction of the soil;
- h_n design wave height;
- h_0 centre line of the wave;
- ΔH height of the level driven by wind.

The goal of the method is to determine abrasion terminal line A_T at all observed sections of the most exposed banks of the reservoir. Subsequently, e.g. by plotting the angle of internal friction φ (in case of cohesion-less soils) the maximal bank retreat B_T can be determined. When joining these point at the ground plan (layout of the reservoir), the line of maximal possible bank retreat is obtained as an interpretation of **prognosis of the bank retreat line** within given portion of reservoir bank.

The prognosis has the character of long-term prediction especially in terms of the point B_T , which in fact can be reached after several decades. At most of the reservoirs the extreme point will not be reached or will be delayed owing to bank stabilisation arrangements.

Following sections show the fundamentals of the prognostic method of the extent of bank abrasion.

3.1 Determination of the position V_a of the heel of the highest abrasion wall

To determine the abrasion terminal line it is necessary to determine potential level of the heel of the highest abrasion wall (see Fig.1). This is the region of the most resisting bank lining.

The method of determination of the altitude of the heel issues from the assumption of the knowledge of the most frequent water level Mn_{max} and the design wave height h_n .

The heel of the maximum abrasion wall can be derived as follows:

$$V_a = Mn_{max} + \frac{h_n}{2} + h_0 + \Delta H. \quad (1)$$

Variables in equation (1) are described at the beginning of section 3. To determine the most frequent reservoir water level Mn_{max} it is necessary to collect observations of water level during sufficiently long period (10 years and more).

Based on the experience obtained during the long-term water level measurement (1970 – 2000) and analysis of results ([1], [3], [7]) it can be shown that the most probable origin of the abrasion (point where the heel of the future highest abrasion wall is located) can be expected close to the altitude of the maximal operation water level eventually little higher in the region of the non-controllable flood surcharge volume. To determine value of Mn_{max} , statistical methods are used.

Design wave height h_n is determined as follows [ČSN 75 0255] :

$$h_n = 0,0026 \cdot \frac{w_{10v}^{1,06} \cdot L_{ef}^{0,47}}{g^{0,53}} \quad (2)$$

where:

- w_{10v} wind velocity in the height 10 m above the water level;
- L_{ef} effective length of the wave run on the reservoir water level (m)
- g acceleration due to gravity (m/s²)

Effective length of the wave run L_{ef} . Can be determined as follows [ČSN 75 0255] :

$$L_{ef} = \frac{\sum_{i=1}^{i=15} L_i \cos^2 \psi_i}{\sum_{i=1}^{i=15} \cos \psi_i} \quad (3)$$

- where: L_i length of i – th radial (m)
- ψ_i angle between the i –th radial and principle wind direction (6,12...42°)

(Fig. 2 Scheme of the effective wave run L_{ef})

Height of the level driven by wind ΔH

In the wind direction the mild accumulation of water occurs close to the reservoir bank. This co called “wind driven water level increase “ is usually very small (in mm) and can be neglected. It can be estimated according the Czech national standard [ČSN 75 0255] :

$$\Delta H = k_w \cdot \frac{w_{10v}^2 \cdot L_{ef}}{g \cdot H} \cdot \cos \delta \quad (4)$$

- k_w wind velocity coefficient
 - for $w_{10v} < 20$ m/s it has value $2,1 \cdot 10^{-6}$
 - for $w_{10v} < 30$ m/s it has value $3,0 \cdot 10^{-6}$
 - for values of w_{10v} between 20 and 30 m/s k_w is determined by linear interpolation
- w_{10v} wind velocity 10 m above water level (m/s)
- L_{ef} effective length of win run (m)
- H water depth in reservoir (m)
- δ angle between the tangent to the bank and wind direction (°)

Centre line of the wave h_0

The centre line of the wave is horizontal line which halves the wave height. According [ČSN 75 0255] the small wave amplitude theory, where the sinus wave profile is assumed and the centre line is identical with calm water level. It can be assumed:

$$h_0 = 0 \quad (5)$$

Substituting variables from equations (2), (3), (4) and (5) into formula (1) it is possible to calculate altitude V_a of the heel of the most elevated abrasion wall (m above SWL)

The next step is to determine the altitude A_T of abrasion terminal line. This is the point where the abrasion process naturally stops. For this purpose it is necessary to determine the steady abrasion plain slope, or the angle α' (see Fig. 1) respectively.

The angle of abrasion plain α' can be found by:

- Detailed geodetic surveying of cross sections at the area of interest,
- Approximately from the graph according Pyškin. It is applicable only for homogeneous materials.

3. 2 Determination of abrasion terminal line

The intersection of horizontal line at the heel V_a of the most elevated abrasion wall and line inclined by the angle α' (see Fig. 1) gives the altitude of abrasion terminal line A_T .

To determine point B_T of maximum retreat of the bank line (within the given section), the line from the point A_T (for cohesion-less materials) is constructed in the slope given by the angle of internal friction φ . It is anticipated that the long-term erosion action (wind, water, snow erosion) will tend to steady slope of eroded bank corresponding to the angle of internal friction of the bank material (Fig. 1).

4. Conclusions

The method of determination of abrasion terminal line was successfully verified at the Brno dam reservoir at the Svatka river during years 1999 and 2000. Further observation and analysis will be carried out during the year 2001 at reservoirs Liptovská Mara, Zemplínská Šírava (Slovakia) and others.