

VĚDECKÉ SPISY VYSOKÉHO UČENÍ TECHNICKÉHO V BRNĚ

Edice PhD Thesis, sv. 349

ISSN 1213-4198

thesis IS

Mgr. Katarína Valouchová

**Návrh řešení stability břehů nádrží
ve smyslu prevence abrazních jevů**

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

Mgr. Katarína Valouchová

**NÁVRH ŘEŠENÍ STABILITY BŘEHŮ NÁDRŽÍ
VE SMYSLU PREVENCE ABRAZNÍCH JEVŮ**

**PROPOSAL OF SOLUTION OF THE DAM BANK STABILITY
CONCERNING THE ABRASIVE BANK PREVENTION**

Zkrácená verze Ph.D. Thesis

Obor: Vodní hospodářství a vodní stavby
Školitel: doc. Dr. Ing. Miloslav Šlezingr
Oponenti: prof. Ing. Michal Lukáč, Ph.D. STU Bratislava
prof. Ing. František Čihák, DrSc. ČVUT Praha
doc. Ing. Jaroslav Maleňák, CSc. VUT Brno

Datum obhajoby: 17. května 2005

Klíčová slova:

nádrž, vlnová abraze, břeh, stabilita, riziková analýza, přehrada

Key words:

reservoir, bank abrasion, shore slope, stabilisation, risk analysis, dam

Originál disertační práce je uložen na Stavební fakultě Vysokého učení technického v Brně Veverí 95, 602 00 Brno.

© Katarína Valouchová, 2005

ISBN 80-214-3087-7

ISSN 1213-4198

OBSAH

1	ÚVOD	5
2	SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY.....	6
3	CÍL PRÁCE	8
4	ZVOLENÉ METODY ZPRACOVÁNÍ.....	8
5	HLAVNÍ VÝSLEDKY PRÁCE	11
5.1	Analýza dat.....	11
5.2	Stanovení stupně ohrožení břehů vlnovou abrazí.....	13
5.3	Porovnání výsledků řešené analýzy s reálným stavem.....	16
5.4	Pravděpodobnostní určení míry abraze	17
6	ZÁVĚR	20
7	LITERATURA.....	22
8	CURRICULUM VITAE	23
9	ABSTRACT	24

1 ÚVOD

Břehy vodních nádrží jsou během provozu vystaveny specifickému geomorfologickému jevu, a sice změně tvaru břehů - procesu přetváření. K velmi intenzivním změnám krajiny dochází zejména v oblasti styku vodní hladiny a pevné hmoty pobřeží, kde v důsledku činnosti vln dochází k ústupu břehové čáry. Účinek pohybu rozsáhlých vodních ploch na břehy se nazývá vlnová abraze, někdy se můžeme setkat i s termínem limnická eroze pobřeží [15].

Vlnová abraze břehů je proces mechanického obrušování, 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.

Velikost, tvar a intenzita přetváření břehů způsobených abrazí závisí především na:

- pokryvných útvarech břehů (geologické a pedologické poměry, fyzikálně mechanické vlastnosti),
- geomorfologických poměrech (sklony břehů).

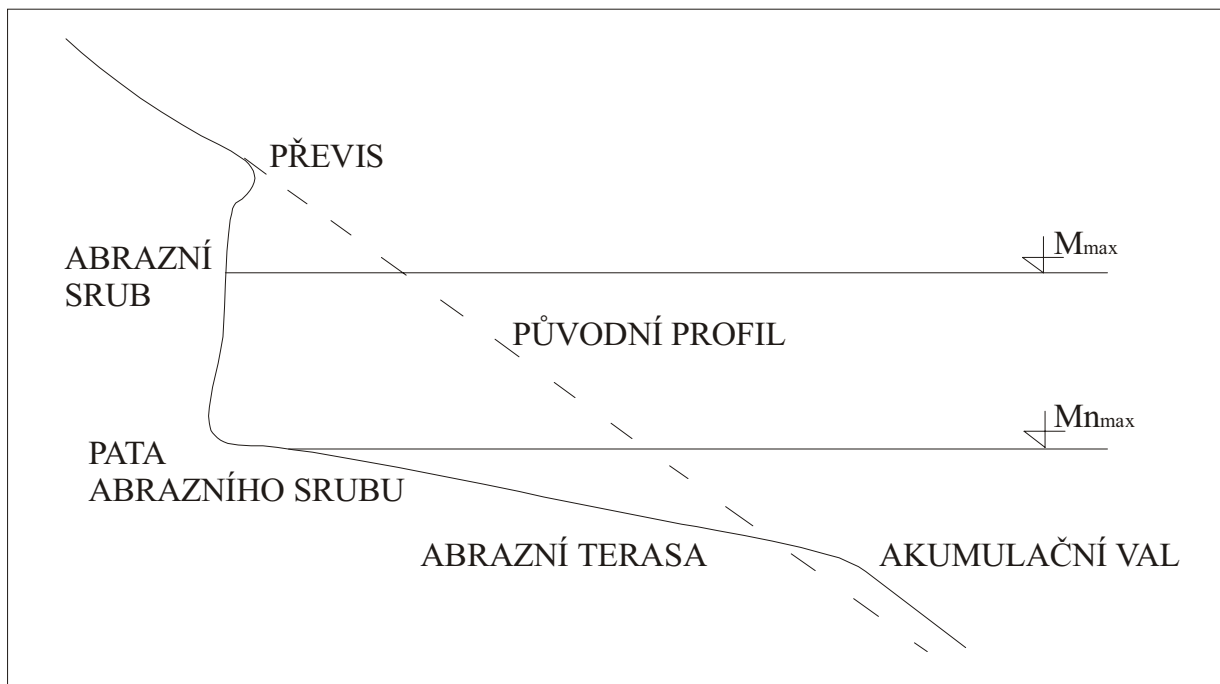
Základní činitelé, jejichž působením vzniká vlnová abraze, jsou:

- vlnění eolického původu,
- vlnění způsobené pohybem plavidel,
- kolísání hladiny v nádrži,
- účinky mrazu a tání,
- vliv ledové pokrývky a pohybu ledových ker,
- vliv průsaku vody půdním horizontem a povrchové vodní eroze,
- antropogenní vlivy,
- další působící faktory.

Přetvářením břehů abrazní činností vln jsou poznamenány zátopové oblasti velké většiny našich vodních nádrží. Podle výsledků průzkumů provedených v roce 1972 se průměrná délka potenciálně ohrožených břehů pohybovala kolem 20 až 35 % délky břehů nádrží. Intenzita vlnové abrazy břehů značně převyšuje objem jiných erozních procesů. Přestože je u nás abrazní činnost lokalizována pouze na březích vodních nádrží, způsobuje značné škody:

- zapříčiňuje ústup břehové linie, a to na úkor pobřežních, mnohdy cenných pozemků,
- ohrožuje stabilitu objektů v blízkosti břehů – komunikací, budov, přístavních zařízení, aj.,
- rušivá abrazní činnost v některých případech vede až ke katastrofálním následkům, na strmých svazích může způsobit sesuvy půdy,
- přispívá k zanášení prostoru nádrže odplaveným materiálem,

- pohyb vyplavovaného materiálu zapříčiňuje zakalení vody podél abradovaných břehů,
- v konečném důsledku je také znemožněn přirozený samovolný vývoj pobřežní vegetace,
- bylo zaznamenáno i plutí abrazí vyplavených předmětů, čímž je ohrožena např. bezpečnost plavidel,
- vysoké stěny abrazních srubů znesnadňují přístup k vodní hladině, a tím i rekreační a sportovní využívání nádrže,
- narušuje estetický vzhled vodorysu vodní nádrže a porušuje přirozený rámeček pobřežní krajiny.



Obr. 1.1: Základní prvky abrazního typu pobřeží (M_{max} – maximální hladina, $M_{n_{max}}$ – maximální nejčtetnější hladina)

2 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Hlavní koncentraci zájmu o problematiku vlnové abraze na březích vodních nádrží v ČR můžeme zaznamenat v období 70. let 20. století, kdy byla vybudována řada vodních děl. Na rozdíl od přírodních jezer, kde v průběhu dlouhodobého časového vývoje většinou došlo k vytvoření určité rovnováhy v dynamice abrazního procesu, případně po dosažení abrazní terminanty či pevného horninového podkladu i k zastavení dalšího vývoje, u abraze břehů vodních nádrží jsme najednou čelili jejímu iniciálnímu stádiu a tedy zpravidla i největší intenzitě [20].

O problematice vzniku a rozvoje břehové abraze, o návrzích následné sanace poškozených břehů a vývoji prognostických metod postupu abraze se v posledních

letech diskutuje poměrně často. Ústav vodních staveb Stavební fakulty v Brně již řadu let navazuje na dlouholetou tradici studia abrazní činnosti a souvisejících jevů konkrétně na ÚN Brno na řece Svratce (projekty GA ČR). Dále se této problematice věnují např. státní podniky Povodí, Ústav struktury a mechaniky hornin AVČR, MZLU Brno.

Významnou součástí disertační práce je zpracování rizikové analýzy zaměřené na vytipování břehových oblastí vodní nádrže ohrožených abrazní činností vln. Při jejím řešení uplatníme geografické informační systémy (GIS). Využití prostředků GIS pro správu a analýzu dat souvisejících s abrazní činností není dosud běžně aplikováno, přestože umožňují manipulaci s velkým množstvím dat a stávají se tak velmi účinným nástrojem v rozhodovacím procesu.

Problematika vztahující se k řešení stability břehů vodních toků a nádrží, otázky zabývající se vlněním na nádržích a jeho účinky, stejně jako návrhy protiabrazních a protierozních opatření jsou zpracovány v řadě monografií, odborných článků, konferenčních příspěvků a výzkumných zpráv. Pro disertační práci měly největší význam následující publikace:

- Monografie „Vlnenie na nádržiach, jeho účinky a protiabrazne opatrenia“ autorské dvojice M. Lukáč a D. Abaffy z roku 1980 [14] shrnuje 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, jenž se plně věnuje problematice břehové abraze.
- „Vegetace v úpravách vodních toků a nádrží“ [15]. Jak už název napovídá, orientuje se především na vegetační úpravy břehů a věnuje se rovněž i činitelům podmiňujícím a způsobujícím břehovou abrazi. Kapitola pojednávající o geomorfologických změnách břehů vodních nádrží z velké části vychází z kandidátské disertační práce jednoho z autorů [20].
- Odborné články vztahující se k problematice abraze břehů, a to konkrétně pro nádrž Brno, především s ohledem na vyhodnocení větrných poměrů [6], [10], [11], [12].
- Výzkumná zpráva o stavu výzkumu přetváření břehů vodních nádrží od T. Spanilé [19].
- „Břehová abraze“ z roku 2003 od M. Šlezingra [21]. Dílo se věnuje teoretickým aspektům vzniku abraze a stanovení prognózy ústupu břehové čáry. Silnou stránkou práce je rozsáhlá přílohová část, která přehledně na desítkách fotografií a schémat uvádí používané typy břehových opevnění.
- Příručka anglické autorky španělského původu s názvem „River and channel revetments: A design manual“ [4] se podrobně věnuje břehovým stabilizačním prvkům.
- Ze studia abrazní činnosti vyplynula i nutnost zabývat se, alespoň okrajově, i jinými tematickými okruhy a vědními disciplínami. Nezbytné bylo studium inženýrské geologie [16] a [23].

- Dalším tematickým okruhem obsaženým v disertační práci bylo využití samotných GIS a tedy literatura ve formě příruček a manuálů. Velkou část představují publikace firmy ESRI, které jsou zpracovány velmi názornou formou, např. [2] a [3].

Zvláštním zdrojem informací je internet. Problematika břehové abraze se v tomto médiu však vyskytuje velmi sporadicky, případné získané informace bývají velmi povrchní a pro disertační práci mají minimální hodnotu. Internet se stává vhodným pomocníkem až při hledání např. některých moderních stabilizačních opatření (např. gabionů a sítí), kdy v současnosti existuje řada firem zabývajících se krajinářskými úpravami. Velkou cenu mají stránky týkající se GIS, které jsou většinou provozovány výrobcí a distributory softwaru.

3 CÍL PRÁCE

Cílem disertační práce je navrhnout koncepci obecně použitelné metodiky v GIS pro zpracování rizikové analýzy sloužící jako podklad pro hodnocení potřebné míry preventivní ochrany břehů nádrží před poškozením vlnovou abrazí. V rámci projektové přípravy vodních děl totiž zůstává návrh důsledné stabilizace potenciálně ohrožených břehů nádrží, tedy návrh vhodných preventivních opatření, stále na okraji zájmu.

Na formovanou metodiku klademe požadavek, aby byla všeobecně srozumitelná, flexibilní a zahrnovala standardní postupy. Aplikujeme ji na oblast ÚN Brno, která je v provozu již přes šedesát let a abrazní typ pobřeží už je plně rozvinut. Tato lokalita je pro nás velmi přínosná, neboť právě pro ni disponujeme relativně nejširším množstvím vstupních informací, což je pro teprve vznikající metodiku nadmíru příznivé.

Výsledným produktem je mapa stupňů ohrožení břehů obrazí (SOBA), která umožňuje názorné rozdělení břehového území na lokality podle naléhavosti provádění (preventivních) stabilizačních opatření, a je srozumitelná jak pro odborníky podílející se na procesu rozhodování, tak i pro pracovníky z praxe a širokou veřejnost.

4 ZVOLENÉ METODY ZPRACOVÁNÍ

Realizace probíhá v prostředí GIS (software ArcView 8.3), který je hlavním nástrojem pro zpracování, evidenci, analýzu a prezentaci veškerých dat. Metody rizikové analýzy jsou nyní vzhledem k rozvoji výpočetní techniky celosvětově

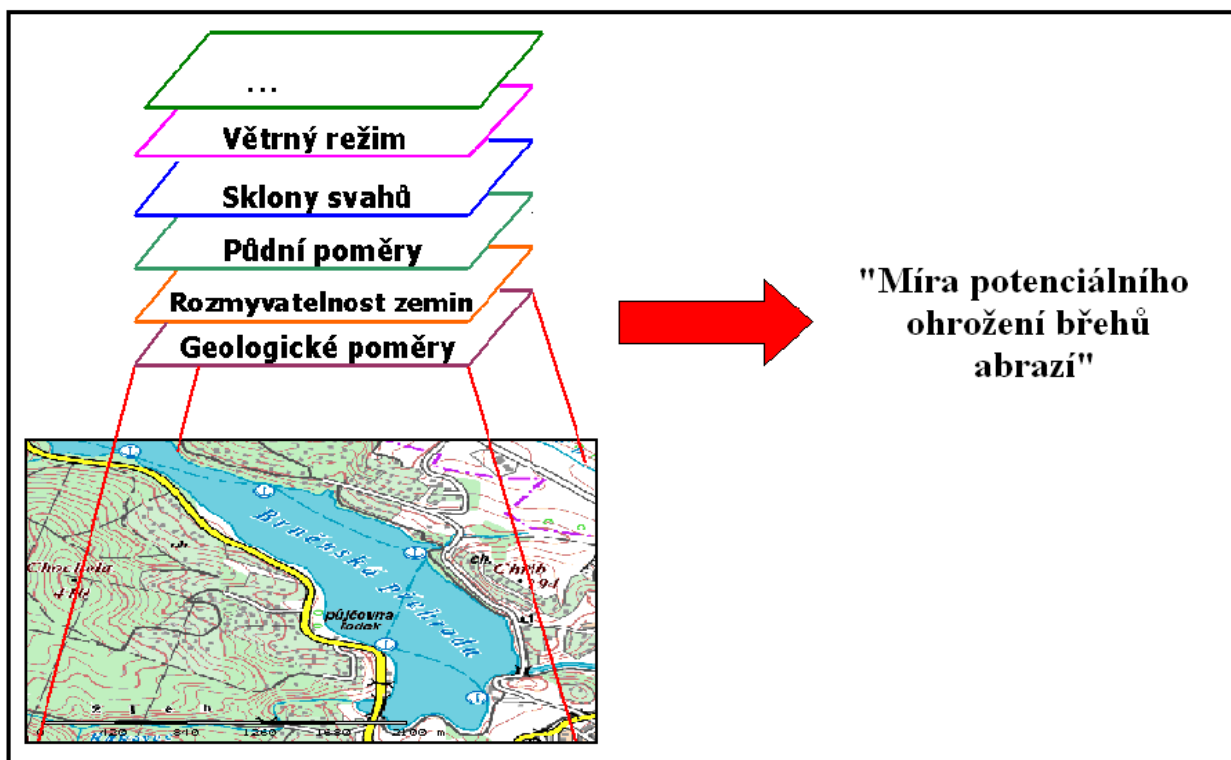
prosazovány. Hojně jsou využívány např. při analýze záplavových území a povodňových rizik. Není mi však známo, že by kdy byla u nás publikována práce, zabývající se abrazní činností z hlediska analýzy ohroženosti břehů a využitím GIS při studiu vlnové abraze na vodních nádržích. Z tohoto důvodu je prezentovaná práce novátorská a v dalších letech předpokládá obohacení o nové poznatky pokračujícího výzkumu. Je důležité si také uvědomit, že analýza rizika, její postupy a použité metody se liší v závislosti od konkrétního technického oboru a konkrétního řešeného problému.

Existují dva základní přístupy k řešení analýzy rizik: kvalitativní a kvantitativní metody [22]. Kvalitativní metody vyjadřují riziko v určitém rozsahu (např. pouze pomocí pravděpodobnosti $\langle 0; 1 \rangle$, nebo obodováním $\langle 0 \rightarrow 10 \rangle$, popř. slovním vyjádřením $\langle \text{malé, střední, velké} \rangle$). Úrovně členění škály rizika, stanovení jednotlivých mezí se obvykle určuje expertním odhadem, či jsou výsledkem konsensu. Kvalitativní metody lze označit za subjektivní, jejich výhodou je však jednoduchost a rychlost zpracování. Kvantitativní metody jsou založeny na matematickém výpočtu rizika z frekvence výskytu nebezpečí a jeho dopadu. Dopad je obvykle vyjádřen ztrátou ve finančních jednotkách. Tyto metody jsou více exaktní než metody kvalitativní, vyžadují však více času a úsilí a jsou tedy náročnější na provedení i zpracování výsledků.

V navrhované metodice se omezíme především na posuzování činitelů, jenž vznik abraze podmiňují. Pokud totiž nejsou dány podmínky pro vznik abraze, pak vlnění nepůsobí na břeh destruktivně a k vytvoření abrazního typu pobřeží nedojde. Jedná se o geologické a geomorfologické poměry břehů. Jsou to parametry jen ztěží kvantitativně vyjádřitelné, proto pro další práci upřednostníme metody kvalitativní.

Pro předběžné hodnocení potenciálního rizika je vhodné aplikovat metodu založenou na matici rizik, což je současně i jeden z nejjednodušších přístupů rizikové analýzy. Nevyžaduje kvantitativní odhad škody, přesto však vhodným způsobem vyjadřuje účinek studovaného jevu v dané lokalitě. Nebezpečí je třeba definovat a popsat a lze jej vyjádřit např. pomocí kategorií (stupňů, míry). Tato metoda vyžaduje kromě běžných aplikací, jako jsou textový editor (Word) a tabulkový procesor (Excel), také vhodně navržené programové prostředky GIS, které jsou pro zpracování podkladů i výsledků řešení ve formě tematických map nezbytnou podmínkou. Výhodou této metody jsou standardní požadavky na podklady, vstupní data i nároky na počítačové vybavení. Zřejmou předností je tedy její univerzálnost. Umožňuje relativně jednoduchým způsobem vymezit zóny se zvýšeným nebezpečím a může být důležitým podkladem pro následné hodnocení ekonomické rentability ochranných opatření.

Vytyčený problém řešíme formou jednouživatelského analytického projektu GIS [3]. Použijeme software ArcGIS 8.3 (ArcView, nadstavby ArcGIS Spatial Analyst, ArcGIS Geostatistical Analyst, ArcGIS 3D Analyst) a k dispozici máme počítač Intel(R) Pentium, (R) 4CPU 2.60GHz, 526 KB RAM.



Obr. 4.1: *Schéma analytického projektu*

Úlohu můžeme rozčlenit do čtyř základních kroků:

- a) Otázku typu „Které břehy nádrže jsou nejvíce potenciálně ohroženy vlnovou abrazí?“ převedeme na návrh databáze GIS a plán analýzy. Tento krok vyžaduje, abychom otázku rozdělili na logické úseky, stanovili, které vrstvy dat budou zapotřebí k zodpovězení každé části otázky, a vyvinuli strategii, jak zkombinovat odpovědi na každou část otázky do výsledné odpovědi.
- b) V dalším kroku vytvoříme databázi, která obsahuje geografická data potřebná k zodpovězení položené otázky. To vyžaduje, abychom digitalizovali existující mapy, získali a převedli elektronická data z různých zdrojů a formátů, dále zajištění odpovídající kvality vrstev, aby byly v tomtéž systému souřadnic a aby se překrývaly korektním způsobem. Vytváření projektové databáze je rozhodující a časově náročnou částí projektu.
- c) Provádíme analýzu dat. To obvykle vyžaduje překryv různých vrstev, dotazy na atributy a umístění prvků, zodpovězení každé části logické otázky, kombinace těchto odpovědí, až dostaneme úplnou odpověď na prvotní otázku.
- d) V posledním kroku analytického projektu GIS jde o prezentaci výsledků (mapy, zprávy, grafy a jejich kombinace). Snahou je vytvořit takový způsob prezentace výsledků, aby byl pokud možno jednoduše srozumitelný. Cílové

mapy, které vytvoříme, budou znázorňovat míru ohroženosti břehů abrazní činností vln.

Při realizaci rizikové analýzy mohou nastat dvě výchozí situace. Buď provádíme analýzu nádrže, jenž bude do provozu teprve uvedena, nebo nádrže již provozované. Ideový proces je v obou případech shodný. Musíme však přihlížet k tomu, že u nádrže již provozované vycházíme z podmínek, které jsou činností nádrže více či méně přetvořené, v čemž může být oproti nádrži teprve budované výrazný rozdíl.

5 HLAVNÍ VÝSLEDKY PRÁCE

5.1 Analýza dat

Máme-li sestavenou databázi vybraných rizikových faktorů, přikročíme k provedení vlastní analýzy z hlediska vzniku abrazního poškození pro konkrétní vodní dílo. Vyneseme jednotlivé tematické vrstvy:

- **SKLONITOST** - pro klasifikaci sklonitosti svahů používáme dělení do šesti skupin: 0° až 5° (značení v atributové tabulce: 1), 6° až 15° (2), 16° až 25° (3), 26° až 35° (4), 36° až 55° (5) a 56° až 90° (6),
- **ROZMYVATELNOST** - v závislosti na typu zeminy (horniny) rozlišujeme čtyři stupně rozmyvatelnosti břehového materiálu: velmi lehce rozmyvatelné, lehce rozmyvatelné, středně rozmyvatelné a nerozmyvatelné (těžce rozmyvatelné), toto označení je použito i v atributové tabulce. Vycházíme z Geologické mapy Brno a okolí 1 : 50 000 [5].
- **ORIENTACE** - ohroženost břehu větrným vlněním posuzujeme pomocí expozice břehu vůči světovým stranám, v atributové tabulce značeno číslicemi od 1 do 10.

První dvě vrstvy sloučíme do jedné, kterou nazveme **UNION_1**. Docílíme tak toho, že atributová tabulka sloučené vrstvy obsahuje data obou vrstev, tedy údaje jak o sklonitosti terénu, tak o rozmyvatelnosti pokryvných útvarů.

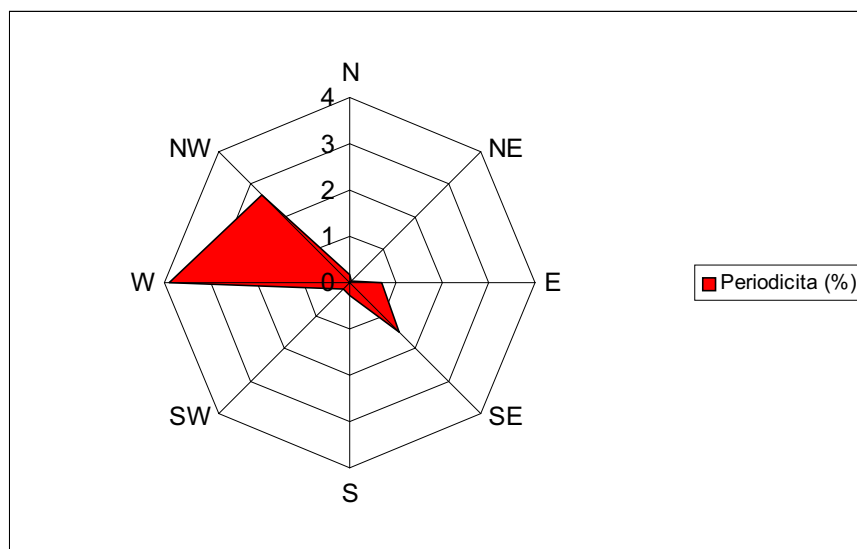
Na základě vhodně volených dotazů jsme schopni vyselektovat plochy s různou podmíněností (předurčeností) k abrazi. Vytvoříme vzájemné kombinace čtyř stupňů rozmyvatelnosti a šesti stupňů sklonitostí. Získáme tak 24 skupin prvků s vybranými vlastnostmi, které můžeme lokalizovat v mapě zvýrazněním. Tyto dvojice vlastností roztřídíme na základě odborného posouzení rovnoměrně do pěti skupin (Tab. 5.1). Očíslujeme je od 1 do 5, kde 1 jsou činitele podmiňující vlnovou abrazi v kombinaci náchylné k nejintenzivnější abrazi, 5 představuje činitele podmiňující vlnovou abrazi v kombinaci s minimální (zanedbatelnou) náchylností k vlnové abrazi břehů.

Tab. 5.1: Rozdělení vlastností břehů do pěti skupin podmíněnosti k vlnové abrazi

Rozmyvatelné Sklon (°)	těžce	středně	lehce	velmi lehce
56 - 90	4	3	2	1
36 - 55	5	3	2	1
26 - 35	5	3	2	1
16 - 25	5	4	2	1
6 - 15	5	4	3	2
0 - 5	5	4	4	3

Důležitou úlohu při vzniku abrazního typu pobřeží však sehrává směr a intenzita větru, který způsobuje vlnění hladiny. Proto je nutné ještě uvážit vliv větru. Na základě poznatků, které máme o větrných poměrech v posuzované lokalitě (Obr. 5.1), rozdělíme hlavní směry větru do tří skupin podle jejich četnosti výskytu:

<u>četnost</u>	<u>směr větru</u>
velká	Z, SZ, JZ
střední	JV, V, J
malá	S, SV



Obr. 5.1: Větrná růžice s periodicitou p výskytu pro rychlost větru $w_{10} \in (10, 20) \text{ m.s}^{-1}$

Čím je výskyt větru daného směru četnější, tím je břeh exponovaný vůči takovému větru více ohrožený. V dalším kroku sloučíme vrstvy **ORIENTACE** a **UNION_1** a dáme tak vzniknout vrstvě **UNION_2**, která bude navíc obsahovat data o větrných poměrech.

5.2 Stanovení stupně ohrožení břehů vlnovou abrazí

Výsledným produktem provedené analýzy je grafické znázornění – mapa stupňů ohrožení břehů abrazí (SOBA), zobrazující multikriteriálně vyselektované části pobřeží. Z mapy lze stanovit, jaký poměr z posuzovaného pobřeží spadá do té které skupiny stupně ohrožení abrazí.

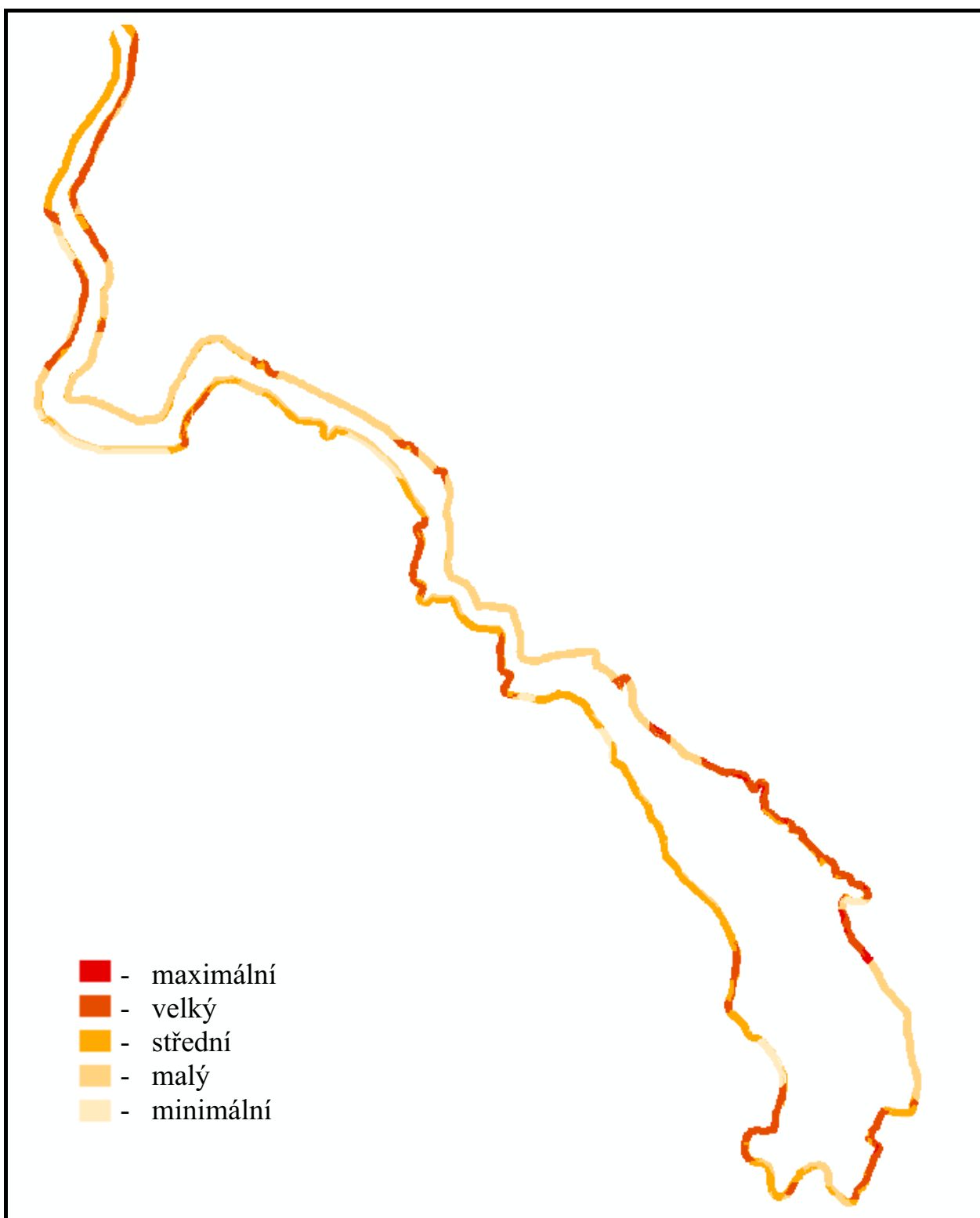
V postupujícím zpracování nyní hrají důležitou roli dva atributy, a to podmíněnost k abrazi a četnost větru. Opět, analogicky se vznikem 24 vlastností z kombinací rozmyvatelnosti a sklonitosti, je vzájemně sdružíme a tentokrát obdržíme 15 různých kombinací podmíněnosti k abrazi a četnosti větru, kterým přiřadíme pět stupňů ohrožení abrazí: 1 – maximální, 2 – velký, 2 – střední, 4 – malý, 5 – minimální (Tab. 5.2). Obdržíme mapový výstup s jednotlivými stupni ohrožení břehů abrazí (Obr. 5.2).

Tab. 5.2: Přehled přiřazení stupně ohrožení břehu abrazí

Četnost větru	Podmíněnost k abrazi				
	1	2	3	4	5
1	1	2	2	3	4
2	2	2	2	3	4
3	3	3	3	4	5

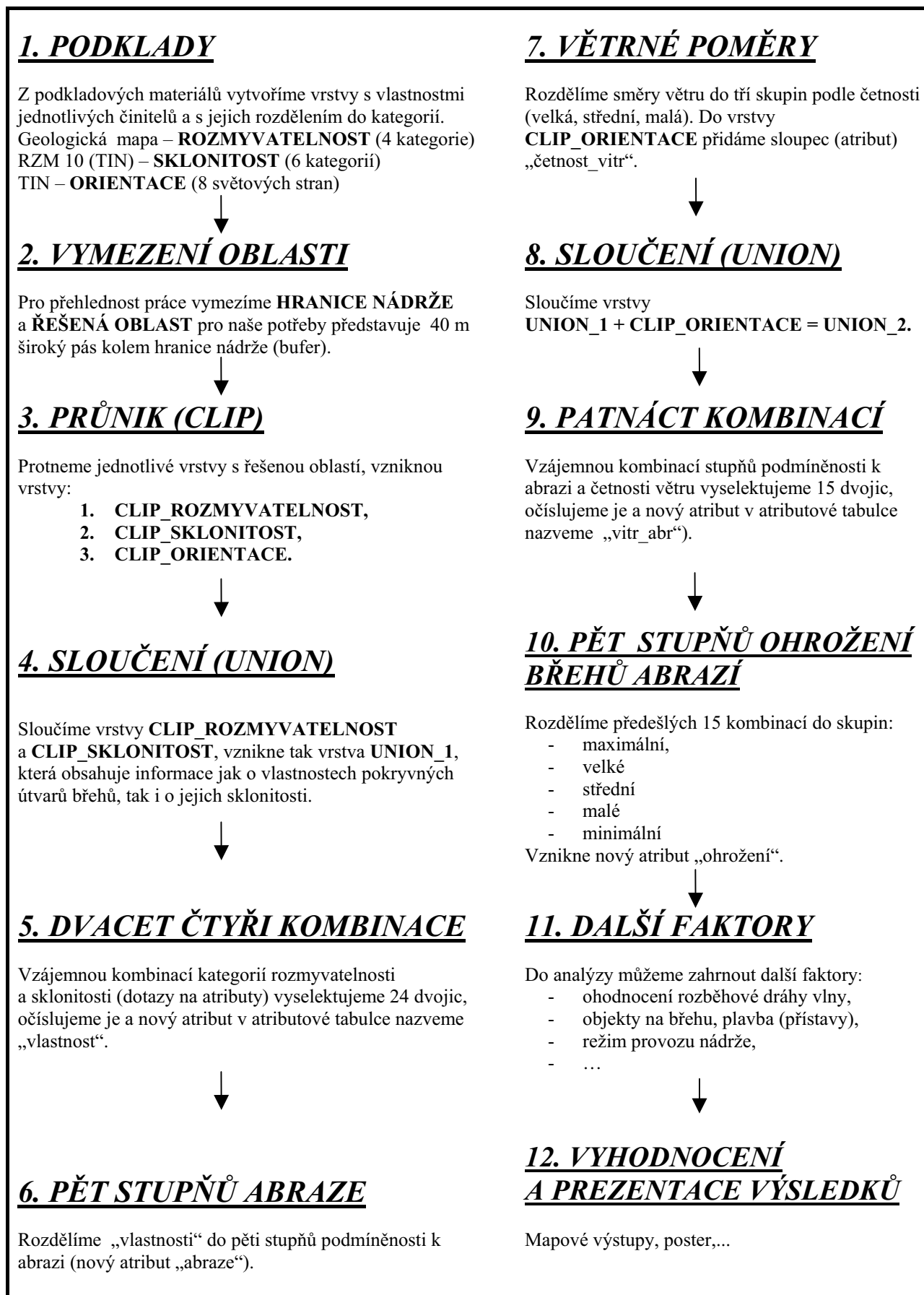
Jednotlivé stupně ohrožení břehů abrazí lze charakterizovat různým přístupem k provádění ochranných stabilizačních opatření:

- 1. *maximální* – představuje oblasti s největším rizikem rozvoje vlnové abrazie břehů, a proto je zde nejvyšší priorita a naléhavost realizace nápravných opatření (sanační opatření je nutno provést okamžitě),
- 2. *velký* – riziko poškození břehů je vysoké a nápravná opatření je třeba promptně plánovat,
- 3. *střední* – odpovědné subjekty se u břehů zařazených do tohoto stupně musí zamýšlet nad nutností nápravných opatření,
- 4. *malý* – v těchto oblastech postačí doplňková opatření,
- 5. *minimální* – jedná se o břehy, které nejsou abrazní činností vln postiženy.



Obr. 5.2: *Stupeň ohrožení břehů abrazi (ÚN Brno), výsledná mapa projektu*

Tab. 5.3: Souhrnná struktura postupu řešení v GIS



5.3 Porovnání výsledků řešené analýzy s reálným stavem

Pro posouzení vzájemné shody výsledků rizikové analýzy se skutečným stavem v zájmové lokalitě bylo využito mobilních GIS a GPS, které umožňují získávat a aktualizovat data přímo v terénu. Jako mobilní zařízení byl použit kapesní počítač (handheld) „ipaq pocket pc h3950“ v ochranném pouzdře s procesorem 400MHz Intel PXA250 Application Procesor a pamětí 64MB SDRAM, 48- or 32- MB Flash ROM Memory a software ArcPad firmy ESRI, který umí snadným způsobem pořizovat a zobrazovat data přímo v terénu a podporuje různé GPS přijímače (použit model Pathfinder od firmy Trimble s přesností 2 až 5 m).

Při pochůzce zájmovou lokalitou byl zaznamenán současný stav břehů. Pro klasifikaci břehů byla využita kategorizace dle Lukáče a Abaffyho z roku 1980 [14], která byla poprvé aplikována na nádrži Orava a Velká Domaša a dělí břehy nádrží dle výskytu abrazních jevů do pěti stupňů abraze:

1. stupeň - *nejintenzivnější abraze*, pro kterou jsou charakteristické velký objem rozrušeného materiálu, maximální rychlost ústupu břehové čáry, výška abrazních srubů přesahující 3 m. Energie vlnění je největší, jde o nejexponovanější úseky svahů z hlediska vlnové činnosti. Sklon svahů je strmý až svislý. Odpor svahového materiálu vůči rozrušování je malý (velmi lehce rozmyvatelné zeminy).
2. stupeň - *intenzivní abraze* je charakteristická pro strmé břehy složené z lehce rozmyvatelných materiálů. Výška abrazních srubů se pohybuje v rozmezí 1 až 3 m.
3. stupeň - *mírná abraze* je charakterizována výškou abrazních srubů 0,5 až 1 m. Rozrušování strmých svahů tvořených středně rozmyvatelnými materiály nastává v první řadě účinkem vlnění. Rychlost abraze je pomalejší.
4. stupeň - *velmi mírná abraze*, pro kterou je charakteristická výška abrazních srubů kolem 0,5 m a malý objem rozrušeného materiálu. Strmější svahy jsou tvořeny těžce rozmyvatelnými materiály, případně ploché svahy jsou tvořeny horninami středně rozmyvatelnými. Rozsáhlejší abrazi dokáže zabránit nízký lesní porost a vegetační kryt.
5. stupeň - *břehy bez abraze*, jde prakticky o neporušené mírné přirozené břehy bez abrazních srubů, nebo o strmé svahy chráněné lesním porostem a vegetačním krytem v zátokách, které nejsou exponované vlnovému režimu a dalším faktorům působícím na vznik abraze. Břehy jsou tvořeny odolnými horninami.

Podoba břehů údolní nádrže Brno byla během více než šedesáti let provozu značně pozměněna. Současný stav je výsledkem různě intenzivního postupu abraze a řady úprav, více či méně zdařilých. Z tohoto důvodu je jen stěží možné některé části břehu klasifikovat. Detailnějším rozbořem a znalostí situace na ÚN Brno porovnání obou přístupů (teoretického určení SOBA a vizuální klasifikace

současného stavu) působí příznivě. Odlišnosti mohou být způsobeny především sanačními zásahy a opevněním břehů, které zabraňují rozvoji a někdy i vzniku břehové abraze tak, jak by tomu bylo v případě přirozeného vývoje.

Při analýze geologických podmínek oblasti by bylo vhodnější vycházet z podrobného terénního inženýrsko-geologického průzkumu. V analýze použitá Geologická mapa Brno a okolí 1 : 50 000 má pro tento účel malé měřítko. Nemalý vliv má také skutečnost, že břehy UN Brno jsou intenzivně využívány a pozměňovány lidským zásahem.

Výsledky „GIS analýzy“ jako součásti metodiky stanovení potenciálního ohrožení břehů abrazí – „SOBA analýza“, určují místo a míru (stupeň) ohrožení břehů vlnovou abrazí, ke kterému dojde při zatopení předtím vodou neovlivněného území. Z provedeného porovnání je patrná shoda právě v místech bez technických stabilizačních zásahů, jako jsou např. Osada, Sokolské koupaliště nebo Rokle (pravý břeh). Jedná se o lokality s největším rozvojem abraze, které nejsou sanovány, nebo byly sanace provedeny teprve v nedávné době. Navržená metodika je pro provádění (preventivních) stabilizačních zásahů přínosná.

5.4 Pravděpodobnostní určení míry abraze

Obsahem stejnojmenné kapitoly disertační práce je matematické vyjádření řešené problematiky, tj. početní určení míry ohroženosti břehu abrazní činností. K tomu poslouží nástroje matematické pravděpodobnosti, konkrétně pravděpodobnost podmíněná a nezávislost jevů.

V konečném důsledku nás zajímá odpověď na otázku, jaká je pravděpodobnost, že dojde k porušení břehu, když je v daném místě lokalizována určitá sklonitost a rozmyvatelnost břehu, tj. kombinace dvou na sobě nezávislých vlastností. Uvažujme z matematického hlediska nejjednodušší variantu řešení - dva stavy výsledku. Následně můžeme analogicky řešit komplikovanější variantu celkového problému (pět stupňů ohrožení břehů abrazí, tj. pět stavů výsledku).

Vycházíme z předpokladu, že zkoumáme existenci dvou činitelů - „sklon břehu“ a „rozmyvatelnost“. V tabulkách (Tab. 5.4) jsou uvedeny jejich pro nás důležité vlastnosti se zvoleným označením.

Tab. 5.4: Popis řešených činitelů

Sklon břehu			Rozmyvatelnost		
označení	charakteristika (°)	relativní četnost (%)	označení	charakteristika	relativní četnost (%)
A ₁	0 až 5	0,21	B ₁	těžce rozm.	0,37
A ₂	6 až 15	0,31	B ₂	středně rozm.	0,02
A ₃	16 až 25	0,19	B ₃	lehce rozmyvatelné	0,40
A ₄	26 až 35	0,13	B ₄	velmi lehce rozm.	0,21
A ₅	36 až 55	0,11			
A ₆	56 až 90	0,05			

Číslice (dolní index) 1 uváděna v označení (u A a B) představuje stav nejpříznivější, tj. nejvhodnější pro stabilitu břehu. S rostoucí hodnotou indexu potenciální riziko pro rozvoj abraze stoupá. Sloupec „relativní četnost“ udává, jaký procentuální podíl dané vlastnosti byl v řešené oblasti nádrže zaznamenán. Číselné údaje jsou převzaty z požadované vrstvy souboru GIS. Odpovídají tedy konkrétnímu výskytu jevu na ÚN Brno.

Za zjednodušenou variantu považujeme řešení situace, kdy připouštíme existenci pouze dvou možností: buď nastane stav břehu S_1 , kdy jsou dány nejhorší podmínky pro stabilitu břehu, tj. současný výskyt nejnepříznivějších faktorů (A_6, B_4) v daném místě, nebo stav S_2 , který zahrnuje všechny zbylé varianty (např. A_2, B_3 a řadu dalších – celkem 23).

$$\text{Stav břehu: } S_1 \dots \dots \dots \text{nejhorší situace} \quad S_1 = A_6 \cap B_4 \quad (5.1)$$

$$S_2 \dots \dots \dots \text{ostatní} \quad S_2 = \overline{S_1} \quad (5.2)$$

Pravděpodobnost, že nastane stav S_1 označíme p_1 a pravděpodobnost výskytu všech ostatních kombinací, stavu S_2 , označíme p_2 , tj.

$$p_1 = P(S_1) \quad (5.3)$$

$$\text{a platí: } p_1 + p_2 = 1, \quad (5.4)$$

$$\text{tj. } p_2 = P(S_2) = 1 - p_1. \quad (5.5)$$

Tyto pravděpodobnosti odhadneme pomocí uvedených relativních četností (Tab. 5.4).

$$p_1 = P(A_6) \cdot P(B_4), \quad (5.6)$$

$$\text{tj. } p_1 = 0,05 \cdot 0,21 = 0,0105,$$

$$p_2 = 1 - 0,0105 = 0,9895.$$

Nyní do výpočtu zapojíme podmínku, že při daném stavu dojde k poruše břehu $K \dots \dots \dots$ dojde k poruše břehu,
 $P(K) \dots \dots$ pravděpodobnost, že nastane porucha (neznáme).

Pravděpodobnost, že nastane stav S_1 za podmínky, že dojde k poruše břehu, označíme q_1 a pravděpodobnost stavu S_2 za podmínky K označíme q_2 . Hodnoty q_1 a q_2 volíme na základě zkušenosti a odborného odhadu, např. $q_1 = 0,99$ a $q_2 = 0,01$. Interpretace této hodnoty je taková, že dojde-li k porušení břehu, lze s 99 procentní pravděpodobností konstatovat, že se v daném místě břehu současně vyskytují největší sklon a velmi lehce rozmyvatelná zemina

$$q_1 = P(S_1/K) \quad (5.7)$$

$$\text{a platí: } q_1 + q_2 = 1, \quad (5.8)$$

$$\text{tj. } q_2 = P(S_2/K) = 1 - q_1. \quad (5.9)$$

Nás hlavně zajímá, jaká je pravděpodobnost P_1 , že dojde k poruše v místě, kde je stav S_1 , resp. pravděpodobnost P_2 poruchy za stavu S_2 .

$$P_1 = P(K/S_1) \quad (5.10)$$

$$P_2 = P(K/S_2) \quad (5.11)$$

Podmíněná pravděpodobnost jevu K za podmínky, že nastal jev S_i ($P(S_i) > 0$) je definována jako

$$P_{S_i}(K) = P(K/S_i) = \frac{P(K \cap S_i)}{P(S_i)} \quad (5.12)$$

$$P_K(S_i) = P(S_i/K) = \frac{P(K \cap S_i)}{P(K)} \quad (5.13)$$

Pomocí výše uvedených definičních vztahů vyjádříme P_1 a P_2 a dosadíme konkrétní hodnoty (Tab. 5.4)

$$P_1 = P(K/S_1) = \frac{P(K \cap S_1)}{P(S_1)} = \frac{P(S_1/K) \cdot P(K)}{P(S_1)} \Rightarrow P_1 = \frac{q_1}{p_1} \cdot P(K) = \frac{0,99}{0,0105} \cdot P(K) \quad (5.14)$$

$$P_1 = 94,2857 \cdot P(K)$$

$$P_2 = \frac{q_2}{p_2} \cdot P(K) = \frac{0,01}{0,9895} \cdot P(K) \quad (5.15)$$

$$P_2 = 0,010106 \cdot P(K)$$

$P(K)$ neznáme a vypočítáme ho z podmínky, že P_1 má hodnotu menší nebo rovno jedné, tj.

$$94,2857 \cdot P(K) \leq 1 \Rightarrow P(K) \leq 0,010606. \quad (5.16)$$

Dosadíme-li tedy do výpočtu (5.14) a (5.15) hodnotu $P(K)$, kterou zvolíme z daného intervalu $(0 ; 0,010606)$, získáme hodnoty P_1 a P_2 , tj. pokud je $P(K)$ rovno např. 0,002, pak $P_1 = 0,1886$ a $P_2 = 0,00002021$.

Tedy pravděpodobnost, že nastane porucha za podmínky stavu S_1 , je téměř 19 %. Můžeme rovněž vyčíslit, kolikrát pravděpodobnější je poškození břehu v oblasti stavu S_1 než v oblasti se stavem S_2

$$\frac{P_1}{P_2} = 9332, \quad (5.17)$$

tj. v našem případě je výskyt porušení břehu, který má stav S_1 , 9332krát pravděpodobnější než při stavu S_2 . Analogicky lze řešit složitější úlohy pro jednotlivé stupně podmíněnosti břehů k abrazi a neomezovat se pouze na dva stavy břehu.

Prezentovaná úloha si kladla za cíl předložit možné řešení kvantitativního posouzení potenciálního ohrožení břehů vodní nádrže. Jistě se jedná o jeden z mnoha možných přístupů k dané problematice. Umožňuje odhadnout

pravděpodobnost daného jevu na základě řešených činitelů (sklon břehu a rozmyvatelnost).

6 ZÁVĚR

Disertační práce se věnuje vlnové abrazi břehů, jenž je problémem většiny vodních nádrží, a to nejen v České republice, ale i v celosvětovém měřítku. Vznik a rozvoj vlnové abraze je způsobován mnoha faktory, výsledky jsou však stejné - destrukční tvary, jejichž vývojem se zmenšuje rozsah pevniny, výjimkou nejsou ani následné sesuvy půdy.

Z hlediska společenského a ekonomického bývají abraze zasažené pozemky často cenné, určené pro zemědělské obhospodařování, k výstavbě komunikací či rekreačních objektů. Jejich ohrožení znamená značné hospodářské škody spojené s devastací pobřežní krajiny. Vhodným preventivním zásahem lze jejich eventuálnímu poškození předejít.

Disertační práce nás uvádí do problematiky geomorfologické přeměny břehů vodních nádrží, nastiňuje současný stav vědeckého poznání v daném oboru a představuje nejdůležitější literární prameny. Podrobně se věnuje předpokladům pro vznik a rozvoj břehové abraze.

Nejpodstatnějším přínosem disertační práce je návrh struktury geografického informačního systému na platformě běžně používaného softwaru (ArcGIS od firmy ESRI) tak, aby jej bylo možno využívat i ke studiu problematiky přetváření břehů vodních nádrží. Využití prostředků GIS pro správu a analýzu dat v souvislosti s abrazní činností není dosud u nás běžně aplikováno. Hlavní náplní disertační práce bylo vytipování potenciálně ohrožených břehových úseků (v ideálním případě ještě před napuštěním nádrže). To bylo provedeno na základě analýzy vybraných nejvýznamnějších činitelů podmiňujících a způsobujících vlnovou abrazi, jimiž byly rozmyvatelnost materiálů břehu, sklonitost břehu a orientace břehu vůči větru o různé intenzitě. Včasná, vhodná a odborně provedená stabilizace břehů totiž dokáže zabránit vzniku abrazního srubu a pokud se přece jen později projeví místní poškození břehů vlivem vlnění hladiny, je rychlá a odborná úprava dostatečnou zárukou následné ochrany břehu.

Navržená metodika a vypracované mapy, především cílová mapa zobrazující míru ohrožení břehů abrazi v dané lokalitě (v práci se jedná o ÚN Brno), může posloužit při realizaci preventivních stabilizačních opatření v období před napuštěním nádrže a jejím uvedením do provozu. Lze ji samozřejmě využít rovněž v případě nádrží již provozovaných, kdy usnadňuje rozhodovací proces a nasvědčuje na prioritu provádění plánovaných stabilizačních prací. Mapy umožňují rychlou orientaci v zájmovém území. Na první pohled jsou zřejmé oblasti, jenž si vyžadují přednostní uskutečnění sanačních terénních úprav. Břehové oblasti spadají do jednoho z pěti stupňů ohrožení abrazi (maximální, velký, střední, malý, minimální), s čímž je spojena naléhavost provedení nápravných opatření.

Disertační práce je doplněna mapovými přílohami, které v chronologickém sledu prováděných operací v GIS zobrazují jednotlivé grafické výstupy. Ty přehledně zachycují situaci daného atributu v lokalitě ÚN Brno (např. rozmyvatelnost a sklonitost břehů, ale i abrazí potenciálně nejohroženější oblasti).

Analyticky získané výsledky posouzení stupňů ohrožení břehů abrazí (SOBA) byly porovnány s reálným stavem abraze na ÚN Brno (pochůzka řešenou oblastí s GPS) a můžeme konstatovat, že navržená „SOBA analýza“ je pro provádění preventivních stabilizačních zásahů přínosná.

Představená metodika i návrhy budou jistě dále ověřovány a doplňovány s cílem, aby bylo dosaženo maximální efektivity při ochraně břehů před rozvojem abraze. V budoucnu je pak dle potřeby možné do analýzy zařadit faktory další, v době prvotního zpracování neznámé, nezjištěné, případně, byť v dobré víře, podceněné. Těmi mohou například být:

- rozpracování účinku a vlivu rozběhové dráhy větru,
- stávající pokryv svahu,
- stav vegetace (druhovú a prostorová skladba),
- současné a plánované využívání břehové oblasti,
- provozní režim dané nádrže,
- další faktory, mnohdy významné pouze pro konkrétní lokalitu, případně pouze v určitém období, krátkodobě.

Samostatnou prací by mohlo být laboratorní ověření rozdělení kategorií rozmyvatelnosti pokryvných útvarů břehů a sklonitosti svahů do pěti skupin podmíněnosti k abrazi. Bylo by také vhodné podrobněji popsat (kvantifikovat) jednotlivé stupně ohrožení abrazí, např. jaká intenzita abrazní činnosti je může charakterizovat (rychlost postupu břehové čáry). Zajímavá by byla i otázka vzájemné souvislosti mezi předpověděným stupněm ohrožení abrazí a výsledným stupněm abraze („in situ“).

V kapitole „Pravděpodobnostní určení míry abraze“ je na příkladu zjednodušené a kompletní varianty představeno jedno z možných řešení kvantitativního posouzení potenciálního ohrožení břehů vodní nádrže. Na základě uvažovaných činitelů (sklon břehu a rozmyvatelnost) lze vypočítat pravděpodobnost daného jevu. V budoucnu by bylo vhodné teoreticky rozpracovat otázku volby hodnot $P(K)$ a q_i a jejich vliv na konkrétní řešení pravděpodobnostní úlohy.

Vedle samotné aplikace v GIS je dílčím tématem disertační práce problematika ochranných opatření, která mohou vést ke zvýšení stability poškozených břehů. Kromě přehledného výčtu používaných stabilizačních metod jsou v závěru práce představena i případná řešení směřující k nápravě přímo na ÚN Brno.

Z hlediska ÚN Brno je pro studijní účely atraktivní lokalita Osada, kde je rozvinut nejvyšší stupeň abraze. Tato oblast je momentálně Ústavem vodních staveb FAST VUT v Brně nejdůkladněji sledována a podrobně zmapována. Útvar geodézie Povodí Moravy, s.p. Brno, který se podílel na řešení grantového projektu GAČR 103/01/0063 zde provedl geodetické zaměření dvaceti sedmi příčných profilů vybraným břehovým územím. Úkolem bylo během několika let opakovaně zaměřit

aktuální stav břehů (jaro, podzim). Předmětem měření v příčných profilech byly body ve dně, hladina, všechny charakteristické body břehu (od paty po hranu) a další body terénem.

Průběžně dlouhodobě získávané a doplňované informace o abrazní činnosti na Brněnské přehradě tvoří bohatou datovou základnu, která je cenným zdrojem podkladů pro práci další generace studentů a vědeckých pracovníků. Nabytých poznatků lze využít při plánování a projektování staveb nových vodních nádrží a mohou se stát inspirací při studiu změn břehové čáry nejen u našich vodních děl.

Zůstává přáním, aby abradovaných břehů vodních ploch bylo co nejméně a aby vynaložené prostředky a úsilí vedly k eliminaci tohoto jevu.

7 LITERATURA

- [1] ARCDATA Praha – Přístupné z: <http://www.arcdata.cz>.
- [2] BOOTH, B. (2000) *Using ArcGIS 3D Analyst*. USA: ESRI. 212 str. ISBN: 1-58948-004-X
- [3] BOOTH, B. – MITCHELL, A. (2001) *Getting started with ArcGIS*. USA: ESRI. 253 str. ISBN: 1-879102-93-5
- [4] ESCARAMEIA, M. (1998) *River and channel revetments: A design manual*. London: Thomas Telford. 245 str. ISBN: 0 7277 2691 9
- [5] HANŽL, P. et. al. (1999) *Geologická mapa Brno a okolí 1 : 50 000*. Český geologický ústav.
- [6] KRATOCHVIL, S. (1969 a) Parametry větrových vln na přehradní nádrži. *Vodohospodársky časopis SAV*. Roč. 17. č.4. Str. 320-337.
- [7] KRATOCHVIL, S. (1969 b) Oscilační postupové vlny na nádržích. *Vodohospodársky časopis SAV*. Roč. 17. č.4. Str. 305-318.
- [8] KRATOCHVIL, S. (1970 a) Stanovení parametrů větrových gravitačních vln v hlubokých přehradních nádržích a jezerech. *Vodohospodársky časopis SAV*. č.3.
- [9] KRATOCHVIL, S. (1970 b) Výška výběhu větrové vlny v hluboké vodě na svah. *Vodohospodársky časopis SAV*. Roč. 18. č.5.
- [10] KRATOCHVIL, S. (1970 c) Prognóza hlavních parametrů větrových vln v hlubokých přehradních nádržích. *Vodní hospodárství*. Č.10. Str. 265-270.
- [11] LINHART, J. (1954 a) Abrasní činnost na Kníničské přehradě, In. *Sborník Československé společnosti zeměpisné*, roč. 59, str. 185 –194.
- [12] LINHART, J. (1954 b) Intenzita abrazní činnosti hladiny Kníničské přehrady, In. *Sborník Československé společnosti zeměpisné*. č.4.

- [13] LINHART, J. (1957) Ustupování břehů vodních nádrží. *Věda a život*. Praha: Orbis. 1957/11. Str. 612 – 615.
- [14] LUKÁČ, M. – ABAFFY, D. (1980) *Vlnenie na nádržiach, jeho účinky a protiabrazne opatrenia*. Bratislava: Príroda. 108 str. 64-152-80
- [15] NOVÁK, L.- IBLOVÁ, M.- ŠKOPEK, V. (1986) *Vegetace v úpravách vodních toků a nádrží*. Praha: SNTL. 243 str. 04-701-86
- [16] ONDRÁŠIK, R. – RYBÁŘ, J. (1991) *Dynamická inžinierská geológia*. Bratislava: Slovenské pedagogické nakladateľstvo. 267 str. ISBN: 80-08-00366-9
- [17] POVODÍ MORAVY. Přístupné z: <http://www.pmo.cz>.
- [18] ŘÍHA, J. ed. (2002) *Riziková analýza záplavových území*. Práce a studie Ústavu vodních staveb FAST VUT v Brně. Sešit 2. Brno: ECON publishing. 174 s. ISBN: 80-86433-15-3.
- [19] SPANILÁ, T. (1975) *Přehledná zpráva o stavu výzkumu přetváření břehů vodních nádrží*. Praha: Geologický ústav. 76 str.
- [20] ŠKOPEK, V. (1973) *Ochrana břehů vodních nádrží proti abrazi*. Kandidátská disertační práce. Školitel Jan Dvořák. Vysoká škola zemědělská. Agronomická fakulta. Katedra meliorací. Praha.
- [21] ŠLEZINGR, M. (2003) *Břehová abraze: Příspěvek k problematice zajištění stability břehů*. Brno: Ing. Zdeněk Novotný. 157 str. ISBN: 80-86510-75-1.
- [22] VÚV T.G.M. (2003) *Návrh metodiky stanovování povodňových rizik a škod v záplavovém území a její ověření v povodí Labe*. VaV/650/502. 2525PR_2003.
- [23] ZÁRUBA, Q. – MENCL, V. (1974) *Inženýrská geologie*. Praha: Academia.

8 CURRICULUM VITAE

Mgr. Katarína Valouchová (* 1978 v Žilině)

Středoškolské vzdělání: Gymnázium na tř. Kpt. Jaroše v Brně. Maturitní zkouška: fyzika, zeměpis, český a anglický jazyk. Studium ukončeno s vyznamenáním r. 1997.

Vysokoškolské vzdělání: Fyzika - Zeměpis, Pedagogická fakulta MU Brno. Téma diplomové práce: Mnohonásobné využívání krajiny Brněnské přehrady, vedoucí

práce prof. RNDr. Jaromír Demek, DrSc. Studium ukončeno s vyznamenáním r. 2001.

Postgraduální studium: Ústav vodních staveb, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně.

- 9/2002 - 12/2002 studijní pobyt na Technische Universität Dresden, Německo,
- 3. místo v soutěži „Student GIS projekt“ v kategorii disertačních prací

Spolupráce na projektech:

- I. MSM 261100006 (hl. řešitel doc. J. Říha) – Vývoj metod modelování a řízení vodohospodářských a dopravních systémů
- II. Grantový projekt GAČR 103/01/0063 (hl. řešitel doc. M. Šlezinger) – Projekt posouzení vlivu vegetačního doprovodu na zvýšení stability břehů nádrží se zaměřením na prevenci vzniku a rozvoje břehové abraze
- III. Grantový projekt GAČR 103/04/0731 (hl. řešitel doc. M. Šlezinger) – Vliv spolupůsobení kořenových systémů dřevin a armovaných zemních konstrukcí na stabilitu břehů

9 ABSTRACT

The aim of this thesis is on the basis of collecting latest scientific achievements to contribute to the solution of the issues of the water abrasion protection with a special focus on assessment of potentially endangered banks. The thesis involves the issues of geomorphological conversion of dam banks, outlines the current level of scientific knowledge in the field and introduces the most significant sources of literature. It presents detailed material on conditions for emergence and progress of the bank abrasion.

The most essential task and contribution of the thesis is a proposal of generally applicable methodology for elaboration of risk analysis which serves as a source material for an estimate of the necessary level for the protection of the dam banks against the abrasion damage.

Realization is carried out in GIS (software ArcGIS – ArcView 8.3). The analysis solves the properties which are the most influential for the emergence and progress of the bank abrasion (Table 7.1 and 7.2). They are washout of the bank-covering forms resulting from the geological structure of the area of interest, bank gradient, wind conditions in the close neighborhood of the dam, banks orientation towards the cardinal points, and their exposure towards the wind of certain frequency.

The output is a map of the bank abrasion danger (Fig. 5.2). Bank areas belong to one of 5 degrees of the bank abrasion danger (Table 5; maximum = 1, high = 2, middle = 3, low = 4, minimum = 5) which enables clear division of the bank area into localities according to the urgency of the sanative treatment (in an ideal case

preventive, before the dam filling). The map is readable for both experts sharing decision-making processes and practising workers or public. Early, corresponding and professionally operated bank stabilization is sufficient to prevent rise of an abrasive cliff and if in spite of it there is a later local bank damage affected by the water surface waving, quick and professional reparation is a sufficient guarantee of the consequential bank protection.

Tab. 7.1: Division of properties into 5 groups of the abrasion conditionality

washout \ bank gradient (°)	hard	middle	weak	very weak
56 - 90	4	3	2	1
36 - 55	5	3	2	1
26 - 35	5	3	2	1
16 - 25	5	4	2	1
6 - 15	5	4	3	2
0 - 5	5	4	4	3

Tab. 7.2: Classification of the degrees of the bank abrasion danger

wind condition \ abrasion conditionality	1	2	3	4	5
1	1	2	2	3	4
2	2	2	2	3	4
3	3	3	3	4	5

The thesis comprises map enclosures which present individual graphic output of the operations performed in GIS in chronological sequence. They distinctly record the situation of the given phenomenon in the location of the Brno dam (e.g. washout and bank radiant but also the classification of the degrees of the abrasion conditionality). The work is supplemented with evaluation of the real state of the banks as verified by means of GPS which serves to estimation of mutual conformity of the results of the analysis and the state in the location of interest.

In the chapter “Probable determination of the abrasion degree“, there is an example of simplified and complete variant which represents one of the solutions of the quantitative estimation of the potential danger of the dam banks. On the basis of the considered factors (bank radiant and washout), the probability of the given phenomenon can be calculated. Besides the application in GIS itself, a partial topic of the thesis is a problem of protective measures which contribute to stability increase of the damaged banks.