



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

PROBLEMATIKA STABILIZACE BŘEHŮ VYBRANÉ ÚDOLNÍ NÁDRŽE

SHORE STABILIZATION PROBLEMS OF THE SELECTED DAM RESERVOIR

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Lukáš Skřížala

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Dr. Ing. MILOSLAV ŠLEZINGR

BRNO 2019



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

| | |
|--------------------------------|---|
| Studijní program | N3607 Stavební inženýrství |
| Typ studijního programu | Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia |
| Studijní obor | 3607T027 Vodní hospodářství a vodní stavby |
| Pracoviště | Ústav vodních staveb |

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

| | |
|------------------------|--|
| Student | Bc. Lukáš Skřížala |
| Název | Problematika stabilizace břehů vybrané údolní nádrže |
| Vedoucí práce | prof. Dr. Ing. Miloslav Šlezinger |
| Datum zadání | 31. 3. 2018 |
| Datum odevzdání | 11. 1. 2019 |

V Brně dne 31. 3. 2018

prof. Ing. Jan Šulc, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Lukáč, M. a kol. Účinky větrových vln na konstrukciu priehrady, svahy nádrže a protiabrázne opatrenia, STU Bratislava 1977

Spanilá, T. Problematika přetváření břehů na vodních nádržích, In. Přehradní dny 1992

Šlezinger, M. Břehová abraze, CERM Brno 2004

Šlezinger, M. Vegetační doprovod vodních toků a nádrží, CERM Brno 1996

Úradníček, L., Šlezinger, M. Stabilizace břehů, VUT Brno 2007

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Posouzení stávajícího stavu břehů

Zaměření řešené části vybrané lokality

Zpracování teorie využití prvků břehové stabilizace

Hydrotechnické výpočty a výpočty ústupu břehové čáry

Zpracování výkresové dokumentace - řezy břehovým územím s návrhem stabilizačních prvků

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

prof. Dr. Ing. Miloslav Šlezinger
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Diplomová práce se věnuje posouzení stavu břehového území na údolní nádrži Brno, v oblasti Osada a následně návrhu stabilizace břehu. V rámci osobní návštěvy zájmové oblasti byla provedena fotodokumentace, zaměření a následně posouzen současný stav abradovaných břehů. Pomocí zaměření a dat o výškách hladin na nádrži poskytnutých Povodím Moravy, s.p. byla vyhodnocena nejčtetnější hladina v nádrži v letech 2007–2017, stanoven ústup břehové čáry a navržená stabilizace břehu. V této práci bylo navrženo celkem osm opatření proti dalšímu ústupu břehové čáry, které byly zapracované do přehledných schémat a vizualizací.

KLÍČOVÁ SLOVA

abraze, abrazní terminanta, břeh, nejčtetnější hladina, stabilizace, vodní nádrž

ABSTRACT

The master's thesis deals with the assessment of the state of the shore territory on the Brno reservoir, in the Osada area and subsequently the proposal for shore stabilization. As part of a personal visit to the area of interest, photographic documentation, geodetic focus and subsequent assessment of the current state of the abraded shores were made. Using the geodetic focus and data of water heights on the reservoir provided by the Povodí Moravy, s.p. the most numerous in the reservoir was evaluated in 2007-2017, the coastline retreat and the proposed shore stabilization were determined. There was suggested totally eight measures were proposed against the further retreat of the shore line, which were incorporated into schemes and visualizations.

KEYWORDS

abrasion, abrasion terminant, bank, most frequently level, stabilization, water reservoir

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Lukáš Skřížala *Problematika stabilizace břehů vybrané údolní nádrže*. Brno, 2018. 80 s., 19 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce prof. Dr. Ing. Miloslav Šlezingr

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Problematika stabilizace břehů vybrané údolní nádrže* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 11. 1. 2019

Bc. Lukáš Skřížala
autor práce

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Problematika stabilizace břehů vybrané údolní nádrže* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 11. 1. 2019

Bc. Lukáš Skřížala
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl velmi poděkovat svému vedoucímu diplomové práce Prof. Dr. Ing. Miloslavu Šlezingrovi za cenné rady, připomínky, poskytování podkladů a čas, který mi věnoval při konzultacích. Také bych chtěl poděkovat pracovníkům Povodí Moravy s.p. za poskytnutí potřebných dat.

OBSAH

| | |
|---|-----------|
| ÚVOD | 11 |
| 1 PRŮVODNÍ ZPRÁVA | 12 |
| 1.1 Základní technické a správní údaje | 12 |
| 1.1.1 Nádrž | 13 |
| 1.1.2 Hráz | 13 |
| 1.1.3 Spodní výpusť | 13 |
| 1.1.4 Bezpečnostní přeliv | 13 |
| 1.1.5 Elektrárna | 13 |
| 1.2 Geodetické podklady | 14 |
| 1.3 Hydrogeologické poměry | 14 |
| 1.4 Hydrologické poměry | 14 |
| 1.4.1 Svratka | 14 |
| 1.4.2 Nádrž Brno | 15 |
| 1.5 Geologické poměry | 15 |
| 1.5.1 Povodí Svratky | 15 |
| 1.5.2 Nádrž Brno – oblast Osada | 16 |
| 1.6 Pedologické poměry | 17 |
| 1.7 Půdní druhy | 18 |
| 1.8 Půdní typy | 19 |
| 1.9 Klimatické poměry | 20 |
| 1.10 Srážkové poměry | 21 |
| 1.11 Teplotní poměry | 21 |
| 1.12 Větrné poměry | 22 |
| 1.13 Zámrzové poměry | 22 |
| 1.14 Údaje o průmyslu | 22 |
| 1.15 Údaje o zemědělství | 23 |
| 1.16 Údaje o lesnictví | 24 |
| 1.17 Chráněná území | 24 |
| 1.18 Energetické využití toku | 25 |
| 1.19 Požadavky na odběr | 26 |
| 1.19.1 Řeka Svratka | 26 |
| 1.19.2 Údolní nádrž Brno | 26 |
| 1.20 Čistota vod | 27 |

| | | |
|-------------|---|-----------|
| 1.20.1 | Povodí Svratky | 27 |
| 1.20.2 | Údolní nádrž Brno | 27 |
| 1.21 | Rekreační využití..... | 28 |
| 1.21.1 | Pláže | 28 |
| 1.21.2 | Rybolov | 28 |
| 1.21.3 | Lodní doprava..... | 29 |
| 2 | TEORIE VZNIKU ABRAZE | 31 |
| 2.1 | Půdní eroze..... | 31 |
| 2.2 | Vodní eroze..... | 31 |
| 2.3 | Morfologické změny břehů vodních nádrží..... | 31 |
| 2.4 | Činitelé podmiňující vznik abraze..... | 32 |
| 2.4.1 | Geologické a pedologické poměry | 32 |
| 2.4.2 | Fyzikálně mechanické vlastnosti pokrývných útvarů břehů | 33 |
| 2.4.3 | Úhel sklonu svahů břehů | 33 |
| 2.5 | Činitelé způsobující vznik abraze..... | 34 |
| 2.5.1 | Vlnění eolického původu..... | 34 |
| 2.5.2 | Kolisání hladin v nádrži..... | 34 |
| 2.5.3 | Vlnění způsobené pohybem plavidel..... | 34 |
| 2.5.4 | Účinky mrazů a tání..... | 35 |
| 2.5.5 | Vliv ledové pokrývky a pohybu ledových ker..... | 35 |
| 2.5.6 | Průsak vody půdním horizontem..... | 35 |
| 2.5.7 | Antropogenní vlivy..... | 35 |
| 2.6 | Posouzení rozsahu abraze | 36 |
| 2.7 | Protiabrazní opatření | 36 |
| 2.7.1 | Aktivní opatření..... | 36 |
| 2.7.2 | Pasivní opatření | 36 |
| 2.7.3 | Typy stabilizačních metod..... | 37 |
| 3 | TECHNICKÁ ZPRÁVA | 38 |
| 3.1 | Správní údaje | 38 |
| 3.2 | Úvodní část | 38 |
| 3.2.1 | Cíl práce a podklady | 38 |
| 3.2.2 | Základní popis zájmové lokality..... | 39 |
| 3.3 | Popis stávajícího stavu | 40 |
| 3.4 | Vlastní návrh úpravy..... | 41 |
| 3.4.1 | Monolitická opěrná zeď..... | 41 |
| 3.4.2 | Gabionová zeď | 42 |
| 3.4.3 | Dřevěné kulatiny – verze 1 | 43 |
| 3.4.4 | Dřevěné kulatiny – verze 2 | 44 |
| 3.4.5 | Stabilizace lomovým kamenivem..... | 45 |
| 3.4.6 | Kamenná stabilizační pata | 46 |
| 3.4.7 | Stabilizace vrbovým porostem | 47 |
| 3.4.8 | Vlnolam | 48 |
| 3.5 | Technicko-ekonomické zhodnocení..... | 49 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 4 | HYDROTECHNICKÉ VÝPOČTY | 52 |
| 4.1 | Stanovení nejčtetnější hladiny mN_{max}..... | 52 |
| 4.1.1 | Průběh vodní hladiny ve sledovaném období..... | 53 |
| 4.1.2 | Četnost výskytu hladin ve sledovaném období..... | 54 |
| 4.2 | Stanovení návrhové výšky vlny | 60 |
| 4.2.1 | Určení efektivní délky rozběhu větru – L_{ef} | 60 |
| 4.2.2 | Stanovení návrhové výšky vlny..... | 63 |
| 4.2.3 | Určení hodnoty „náhnání“ hladiny větrem..... | 63 |
| 4.2.4 | Určení střednice vlny h_0 | 64 |
| 4.2.5 | Stanovení výšky paty nejvýše položeného abrazního srubu V_a | 64 |
| 4.2.6 | Stanovení sklonu abrazní plošiny a abrazní terminanty A_T a bodu maximalního ústupu B_T | 65 |
| 5 | FOTODOKUMENTACE..... | 66 |
| 6 | ZÁVĚR..... | 69 |
| 7 | ZDROJE INFORMACÍ | 70 |
| 7.1 | Použitá literatura..... | 70 |
| 7.2 | Internetové zdroje..... | 71 |
| | SEZNAM TABULEK..... | 74 |
| | SEZNAM OBRÁZKŮ | 75 |
| | SEZNAM GRAFŮ | 76 |
| | SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ | 77 |
| | SEZNAM PŘÍLOH | 79 |

ÚVOD

Břehová abraze je proces, při kterém dochází k obrušování dna a břehů pohybem vody a následným přemísťováním a usazováním uvolněného materiálu. Pohyb vody je způsoben především vlněním vlivem větru, vlněním vlivem lodních plavidel a kolísáním vodní hladiny v nádrži. Následky vzniku a vývoje abraze jsou především – výrazné poškození břehů nádrže, vznik abrazních srubů a odplavení velkého množství zeminy. K těmto dějům se následně přidá také sesuv půdy a tím ohrožení na břehu stojících objektů a komunikací. [1]

Pokud není na porušených březích uskutečněné dostatečně vhodné opevnění, je možné sledovat postupný ústup břehové čáry na úkor přilehlých pozemků a tím i ohrožení stability přilehlých objektů. V místech vniku abrazního srubu je téměř znemožněn přístup k vodní hladině a dochází zde také k ohrožení zdraví osob pohybujících se nad abrazním srubem či v jeho těsné blízkosti. [1]

I přes snadnost vytipování ohrožených částí břehů a navržení vhodných preventivních opatření, bývá v rámci projektové přípravy vodních děl tato skutečnost velmi často opomíjena. Problém se často řeší až ve chvíli, kdy dojde k velkému porušení břehů, a tak k ohrožení přilehlých pozemků či objektů. [1]

Obsahem této práce je na základě získaných podkladů posouzení aktuálního stavu břehů na údolní nádrži Brno, v oblasti „Osada“, stanovení budoucího ústupu břehové čáry za předpokladu ignorování procesu abraze a následně návrh vhodného protiabrazního opatření v tomto místě. Údolní nádrž Brno se řadí v rámci České republiky na přední místa v problematice ohrožení břehovou abrazí.

1 PRŮVODNÍ ZPRÁVA

1.1 ZÁKLADNÍ TECHNICKÉ A SPRÁVNÍ ÚDAJE

Údolní nádrž Brno se nachází v jihomoravském kraji, na severozápadě města Brna. Plocha této nádrže se táhne od Bystrce až po Veverskou Bítýšku. Na dně nádrže leží zbytky zatopené obce Kníničky, která byla pro účel této nádrže zatopena. Staré Kníničky bylo možné nalézt na pravém břehu řeky Svratky, přibližně v místech, kde do nedávna stával hotel Přehrada. Jako datum vzniku této nádrže je uváděn rok 1940 a původní název této nádrže byl „Kníničská přehrada“. [2,12]

Nádrž byla vystavěna za účelem ochrany nejen města Brna, ale také části jižní Moravy pod Brnem, před každoročními jarními a podzimními záplavami. Kromě ochrany před povodněmi slouží nádrž také pro výrobu elektrické energie, k rekreaci, vodním sportům a lodní dopravě. Na březích této nádrže se nachází spousta hotelů, restaurací, pláží a dalších rekreačních oblastí. [2,12]

| | |
|--------------------|------------------|
| Oficiální název: | Vodní nádrž Brno |
| Kraj: | Jihomoravský |
| Okres: | Brno – město |
| Obec: | Brno – Kníničky |
| Katastrální území: | Kníničky |
| Tok: | Svratka |
| Ř. km: | 56,19 |
| Správce: | Povodí Moravy |
| Závod: | závod Dyje [13] |

Účel nádrže:

- akumulace vody pro zajištění minimálního průtoku ve Svratce pod nádrží,
- snížení povodňových průtoků,
- zajištění vodárenského odběru BVaK a.s.,
- zajištění odběru povrchové vody z nádrže,
- zajištění odběru vody pro závlahy,
- výroba el. energie ve špičkové vodní elektrárně,
- rekreace,
- vodní sporty,
- plavba,
- rybářství. [2]

V současné době se již nevyužívá vodárenského odběru BVaK a.s.

1.1.1 Nádrž

| | |
|---------------------------------|---------------------------------|
| Stálé nadržení: | 2,082 mil. m ³ |
| Zásobní prostor: | 13,020 mil. m ³ |
| Prostor retenční neovladatelný: | 2,600 mil. m ³ |
| Celkový objem | 17,702 mil. m ³ [13] |

1.1.2 Hráz

| | |
|-----------------------|---------------------|
| Typ hráze: | betonová gravitační |
| Kóta koruny: | 232,5 m n. m. |
| Šířka koruny: | 3,00 m |
| Délka hráze v koruně: | 120,0 m [13] |

1.1.3 Spodní výpust'

| | |
|---------------------------------|-----------------------------|
| Počet x průměr: | 1 x 2000 mm |
| Provozní uzávěr: | segment |
| Kapacita při maximální hladině: | 48,5 m ³ /s [13] |

1.1.4 Bezpečnostní přeliv

| | |
|---------------------------------|----------------------------|
| Typ: | korunový, hrazený – tabule |
| Počet polí x délka: | 3 x 7,0 m |
| Kapacita při maximální hladině: | 366 m ³ /s [13] |

1.1.5 Elektrárna

| | |
|---------------------|---|
| Název: | Vodní elektrárna Kníničky |
| Uvedení do provozu: | 1941 |
| Turbína: | 1 x vertikální Kaplanová |
| Optimální hltnost: | 17-18 m ³ /s |
| Maximální hltnost: | 22 m ³ /s |
| Instalovaný výkon: | 3500 kW |
| Provozovatel: | ČEZ obnovitelné zdroje s.r.o., Hradec-Králové [14] |

Elektrárna je koncipována jako špičkový zdroj, který vykrývá zvýšenou spotřebu elektrické energie v ranních a večerních hodinách. MVE Kníničky ročně vyrobí zhruba 7 mil. kWh elektřiny. [14]

1.2 GEODETICKÉ PODKLADY

- Základní mapa ČR 1:10 000
- Přehledná situace 1:50 000
- Mapové podklady SVP
- Mapové podklady ArcGIS

1.3 HYDROGEOLOGICKÉ POMĚRY [2]

Oblast v okolí Veverské Bítýšky je vlivem své geologické stavby relativně chudá na podzemní vody. Povodí Svratky je tvořeno především krystalickými vápenci. Tyto horniny, které jsou pevné a málo pórovité, mají velmi malou nasákavost.

Povodí Svratky je vodami mnohem chudší, než např. povodí Svitavy, které je tvořeno především ze sedimentů mladších geologických formací.

1.4 HYDROLOGICKÉ POMĚRY

1.4.1 Svratka [2,15]

Řeka Svratka pramení na jihozápadním úbočí Žákovy hory, ve výšce 780 m n. m., která se nachází severně od Žďáru nad Sázavou. Od svého pramenu, výtoku „Černé bahno“, obtéká obloukem Žákovou horu (810 m n. m.) a teče severovýchodním směrem až po obec Borovnice. Pokračuje jihovýchodním směrem k Brnu a pod ním vtéká do nížinné oblasti Dyjskosvrateckého úvalu.

Na řece Svratce jsou postavené dvě přehradní nádrže, a to nádrž Vírská a Brněnská.

Průtoky v měřicím bodě Veverská Bítýška ř. km 66,72 [16,17]

Tab. 1.1 N-leté průtoky [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

| Q ₁ | Q ₂ | Q ₅ | Q ₁₀ | Q ₂₀ | Q ₅₀ | Q ₁₀₀ |
|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| 60.0 | 86.8 | 126.2 | 158.5 | 193.0 | 241.0 | 280.0 |

Tab. 1.2 M-denní průtoky [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

| Q ₃₀ | Q ₆₀ | Q ₉₀ | Q ₁₂₀ | Q ₁₅₀ | Q ₁₈₀ | Q ₂₁₀ | Q ₂₄₀ | Q ₂₇₀ | Q ₃₀₀ | Q ₃₃₀ | Q ₃₅₅ | Q ₃₆₄ |
|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 17.70 | 11.95 | 8.86 | 6.83 | 5.68 | 4.86 | 4.20 | 3.63 | 3.16 | 2.26 | 1.91 | 1.16 | 0.36 |

Průtoky v měřicím bodě Brno-Poříčí ř. km 41,36 [16,17]

Tab. 1.3 N-leté průtoky [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

| Q ₁ | Q ₂ | Q ₅ | Q ₁₀ | Q ₂₀ | Q ₅₀ | Q ₁₀₀ |
|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| 51.1 | 73.2 | 110.0 | 142.0 | 178.9 | 234.5 | 282.5 |

Tab. 1.4 M-denní průtoky [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

| Q ₃₀ | Q ₆₀ | Q ₉₀ | Q ₁₂₀ | Q ₁₅₀ | Q ₁₈₀ | Q ₂₁₀ | Q ₂₄₀ | Q ₂₇₀ | Q ₃₀₀ | Q ₃₃₀ | Q ₃₅₅ | Q ₃₆₄ |
|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 18.10 | 12.09 | 8.69 | 6.83 | 5.68 | 4.86 | 4.20 | 3.63 | 3.16 | 2.66 | 1.91 | 1.16 | 0.36 |

1.4.2 Nádrž Brno [18]

| | |
|-----------------------------|---------------------------------------|
| Tok: | Svratka |
| Koruna hráze: | 232,48 m n. m. |
| Kóta přelivu: | 229,08 m n. m. |
| Maximální retenční hladina: | 230,08 m n. m. |
| Hladina zásobního prostoru: | 229,08 m n. m. |
| Hladina stálého nadržení: | 219,00 m n. m. |
| | |
| Hladina vody v nádrži: | 228,25 m n. m. |
| Přítok: | 1,52 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ |
| Odtok: | 1,29 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ |

Hodnoty k datu 28. 09. 2018, 15:00 hod.

1.5 GEOLOGICKÉ POMĚRY

1.5.1 Povodí Svratky

Oblast je tvořena mnoha tektonickými jednotkami. Tyto jednotky jsou například: moldanubikum, moravikum, svrchnokřídová tabule, boskovická brázda, masiv brněnské vyvěřeliny, devon, karbon, perm, jura, svrchní křída, neogén, diluvium a aluvium. Povodí Svratky je tvořeno asi ze $\frac{3}{4}$ horninami krystalinika a vyvěřelinami, a přibližně z $\frac{1}{4}$ usazenými horninami. [2]

Důležitým geologickým útvarem v této oblasti je boskovická brázda. Boskovická brázda je přibližně 100 km dlouhá a táhne se přes Letovice, Boskovice, Rosice až do Moravského Krumlova. Tato propadlina je vyplněná především usazeninami spodního permu, v jižní části se pak nacházejí vrstvy sedimentů svrchního karbonu. Boskovická brázda je vnitrozemská a její usazeniny vznikaly především ve sladkovodních jezerech, močálech a rašeliništích. [19]

Východně od prolomu boskovické brázdy se nachází mohutný klín brněnského vyvěřelého masivu, který svým výběžkem sahá až za Boskovice. Tato část masivu je tvořena především granitem, dioritem a diabasem. Horniny brněnského masivu jsou prostoupeny žilami aplitů, porfyrů a amfibolitů. [2]

Inundační území řeky Svatky, především dna toku, je tvořeno neogenními sedimenty. Tyto sedimenty ukazují na předneogenní stáří koryta tohoto toku. [3]

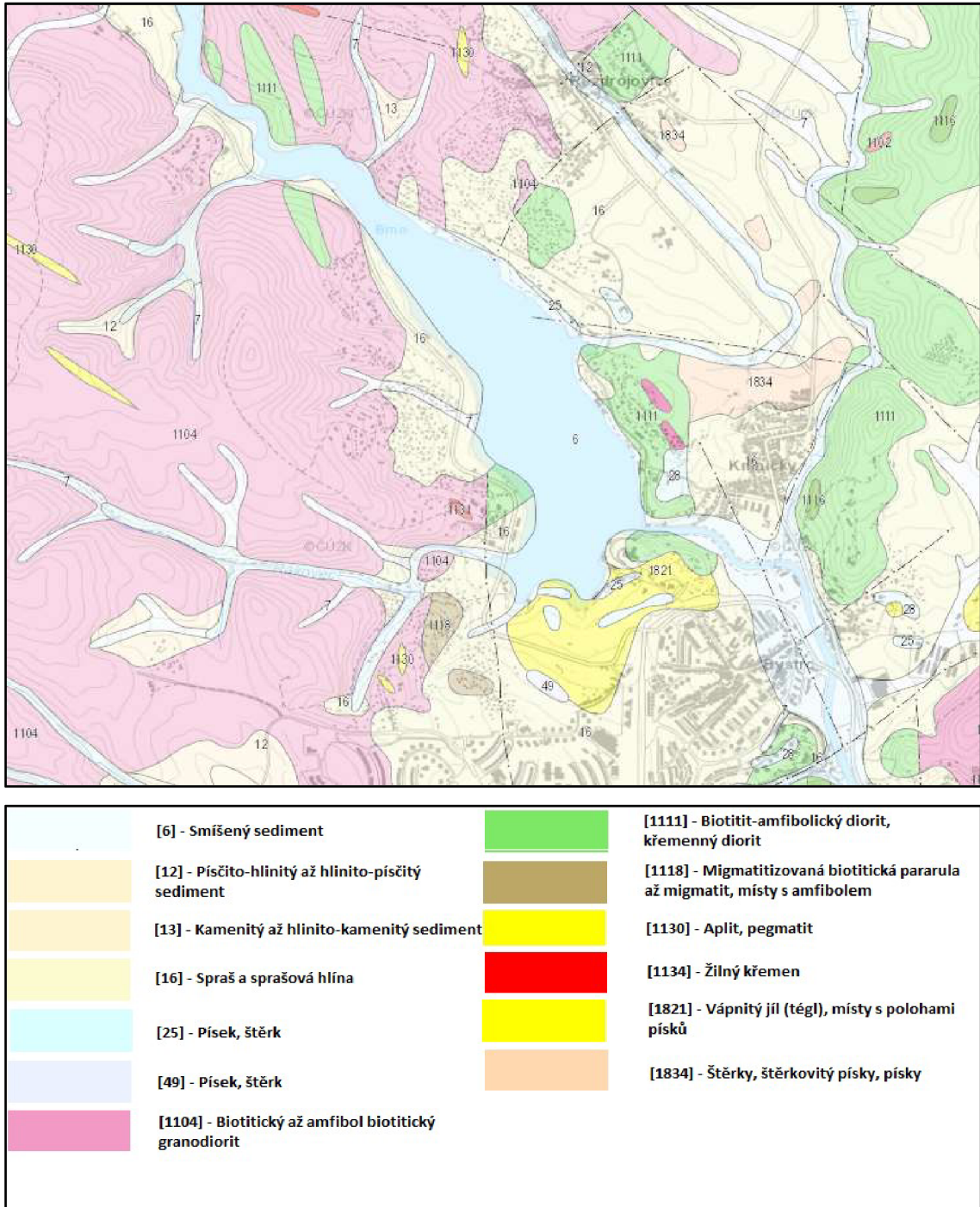
V blízkém okolí údolní nádrže Brno se vyskytují relativně vydatná naleziště rud. Železná ruda byla v minulosti těžena v okolí Lažánek, Šmelcovny i v jiných lokalitách. [3]

1.5.2 Nádrž Brno – oblast Osada [20]

| | |
|-----------------------------------|---|
| Regionální členění: | Český masiv – pokryvné útvary a postvariské magmatity |
| | kvartér – kvartér akumulčních oblastí Českého masivu |
| Stratigrafie: | střední pleistocén |
| Jevy: | říční terasa |
| Původ geologických jevů (geneze): | eolická (činnost větrů) akvatická (činnost vody) |
| Hornina: | spraš, štěrk, diorit |

Geologická charakteristika

V zájmové oblasti se vyskytuje podél několika desítek metrů dlouhého břehu zhruba čtyři metry vysoký profil v kvartérních sedimentech, odkrytý erozním působením větru a vody z Brněnské nádrže. Vyskytují se zde říční štěrky v mocnosti 1-2 m, které jsou překryté prachovými sedimenty. Jedná se o naváté sedimenty s příměsí přemístěných, písčité zvětralých granodioritů a dioritů z výše položených částí svahu. Ve valounech terasových štěrků jsou zastoupeny horniny moravika, dále metamorfované horniny svrateckého krystalinika a moldanubika. Všechny tyto vrstvy jsou na podloží dioritů a granodioritů. [20]



Obr. 1.1 Geologická mapa okolí nádrže [21]

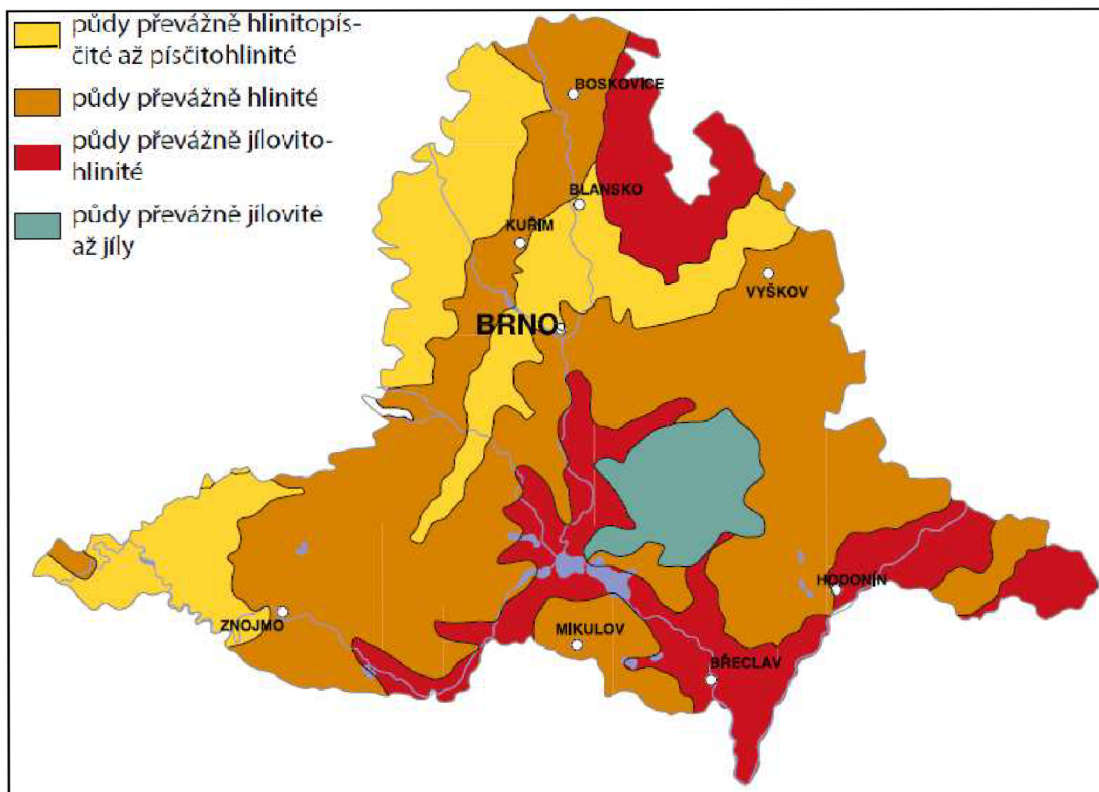
1.6 PEDOLOGICKÉ POMĚRY

Horní povodí Svatky až po Jimramov má mělké, kamenité půdy. Od Jimramova pod Tišnov se na krystalickém podkladě vyskytují půdy jílovito-hlinito-slidnaté a půdy písčito-jílnaté z rul, svorů a fylitů. [3]

Boskovická brázda, kterou protéká řeka Svatka, má půdy středního typu – obyčejné hlíny a mělké kamenité půdy. [3]

1.7 PŮDNÍ DRUHY

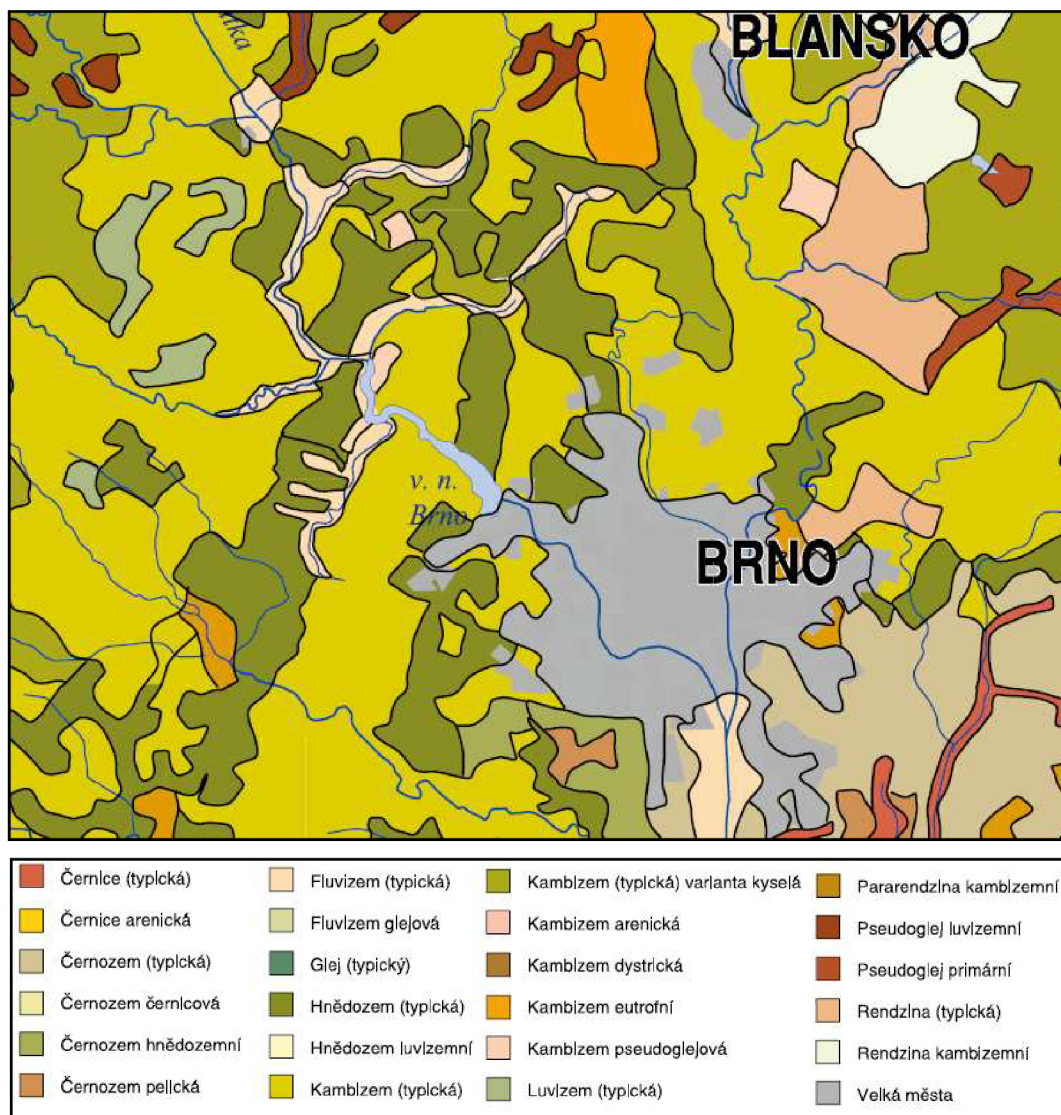
V Brně a blízkém okolí se vyskytují půdy převážně hlinitopísčité až písčitohlinité. V zájmové oblasti, konkrétně v oblasti Osada, se vyskytují půdy převážně hlinité. Hranice těchto dvou oblastí rozděluje nádrž Brno zhruba na půl v severovýchodním směrem. [1,4]



Obr. 1.2 Půdní druhy [4]

1.8 PŮDNÍ TYPY

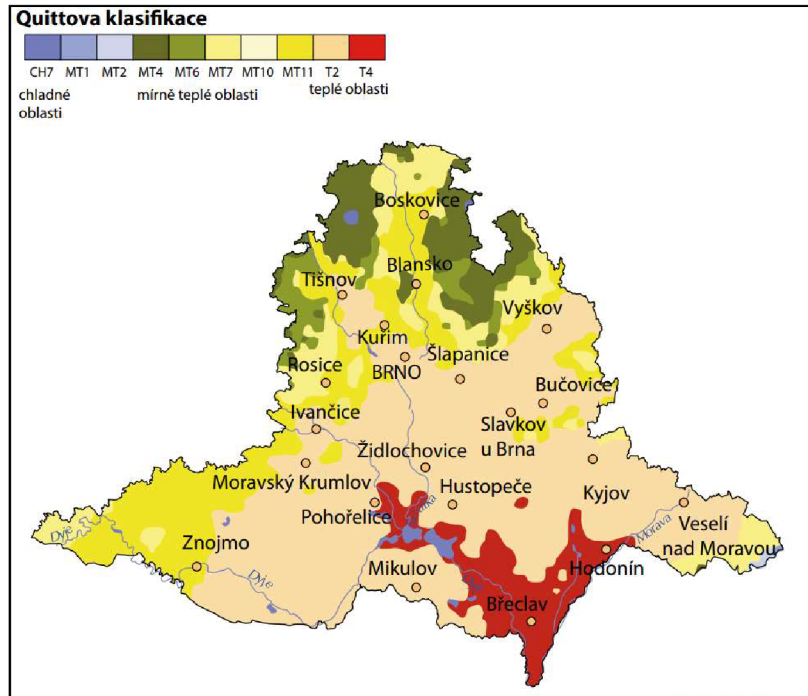
Z půdních typů se na horní části nádrže objevuje (typická) Fluvizem, která postupně přechází v (typickou) Kambizem. V zájmové oblasti se také vyskytuje (typická) hnědozem. [4]



Obr. 1.3 Mapa půdních typů [4]

1.9 KLIMATICKÉ POMĚRY

Brno a jeho blízké okolí spadá do oblastí T2, nádrž Brno a velká část povodí Svatky pak spadá do oblasti MT11. Tyto oblasti bývají označovány jako mírně teplé až teplé. [4]



Obr. 1.4 Quittova klasifikace [4]

Charakteristika klimatické oblasti T2

Dlouhé, teplé a suché léto, velmi krátké přechodné období s teplým jarem i podzimem, krátkou, mírně teplou, suchou až velmi suchou zimou, s velmi krátkým trváním sněhové pokrývky. [22]

| | |
|--|---------|
| Počet letních dní: | 50-60 |
| Počet dní s průměrnou teplotou > 10°C: | 160-170 |
| Počet dní s mrazem: | 100-110 |
| Počet ledových dní: | 30-40 |

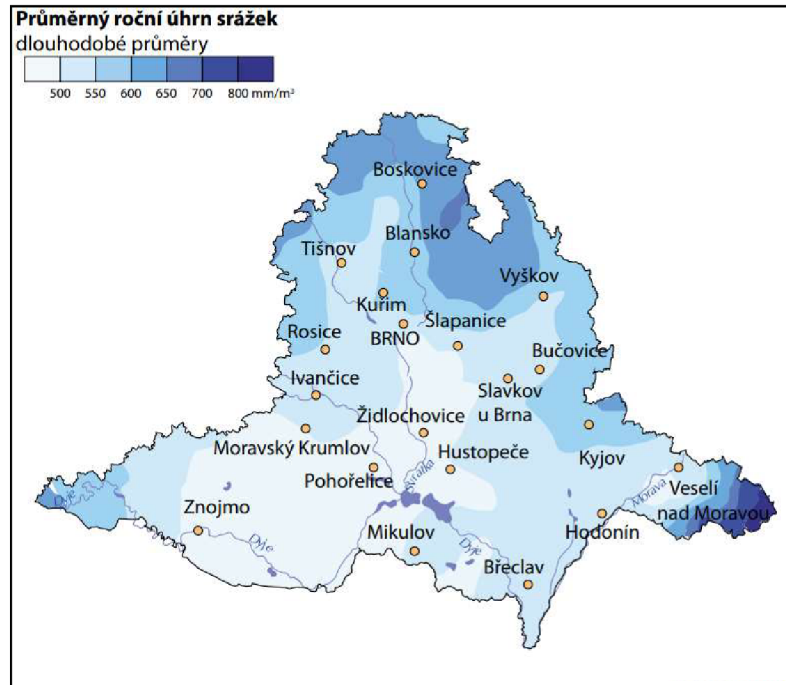
Charakteristika klimatické oblasti MT11

Dlouhé, teplé a suché léto, krátké přechodné období s mírně teplým jarem i podzimem, krátkou, mírně teplou a suchou až velmi suchou zimou s velmi krátkým trvání sněhové pokrývky. [22]

| | |
|--|---------|
| Počet letních dní: | 50-60 |
| Počet dní s průměrnou teplotou > 10°C: | 140-160 |
| Počet dní s mrazem: | 110-130 |
| Počet ledových dní: | 30-40 |

1.10 SRÁŽKOVÉ POMĚRY

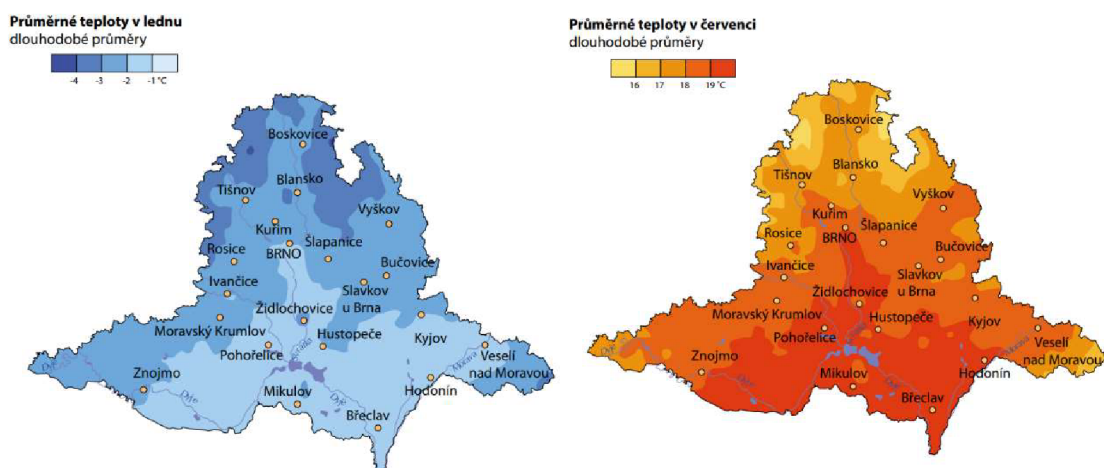
Průměrný roční úhrn srážek v Brně je poměrně nízký. Hodnota dlouhodobého průměru srážek se pohybuje mezi 500-600 mm/m². Průměrný počet dní se srážkami > 1 mm je 90-100. Ve vegetačním období zde spadne 350-400 mm srážek, v zimním období 200-300 mm srážek. [4,22]



Obr. 1.5 Průměrný roční úhrn srážek [4]

1.11 TEPLOTNÍ POMĚRY

Dlouhodobá průměrná lednová teplota v zájmové oblasti se pohybuje okolo -1 až -2 °C, červencová pak okolo 18 až 19 °C. [4]



Obr. 1.6 Průměrné teploty v lednu a červenci [4]

1.12 VĚTRNÉ POMĚRY

V pozorovaném období, v letech 1946-1965, se v zájmové oblasti vyskytovaly větry o rychlosti $w \geq 10 \text{ m.s}^{-1}$ v 678 dnech, převládající směr těchto větrů byl z 41,5 % západní, z 28,5 % severozápadní a z 16 % jihovýchodní. Větry o rychlosti $w \geq 20 \text{ m.s}^{-1}$ se ve sledovaném období vyskytly celkem ve 187 dnech. [1]

1.13 ZÁMRZOVÉ POMĚRY [23]

Zhruba od zimní sezóny 2009/2010 se začala měřit hloubka ledu na nádrži. V počátcích toto měření prováděli lidé z Jednotky poříční Městské policie Brno. Měření se provádí zhruba dvakrát týdně nebo při větší změně počasí i denně.

V zimním období 2016/2017 se ledová pokrývka začala tvořit zhruba 21.12.2016. Tloušťka ledu se zvětšovala až do data 3.2.2017, kdy byla nejsilnější, a to o tloušťce cca 40 cm. Od tohoto dne se z preventivních důvodů začala upouštět voda z nádrže, která klesla celkově o jeden metr. Kvůli odpouštění přehrady začal led praskat. Dne 17.3.2017 se na hladině vyskytovaly poslední kusy ledu a aktuální teplota byla okolo 16 °C.

Zimní období 2017/2018 bylo kratší než předchozí. Ledová pokrývka se začala tvořit 9.1.2018 a až do 26.2.2018 nedosahovala větší tloušťky než 10 cm. Okolo data 28.2.2018 byl led nejsilnější, a to o tloušťce zhruba 12 cm. Dne 8.3.2018 ledová pokrývka mizí a na hladině se tvoří rozbředlý led.

1.14 ÚDAJE O PRŮMYSLU [24]

Průmyslová výroba v okolí vodního toku může ovlivnit průtokové poměry v korytě nebo kvalitu vody. Průmysl může být potenciální odběratel nebo znečišťovatel. Tato kapitola se zaměřuje především na průmyslovou výrobu v bezprostředním okolí vodního toku, od pramene až po nádrž Brno.

Kovo HB s.r.o.

Firma se zabývá výrobou zboží pro domácnost jako jsou například kuchyňské potřeby, lisováním plechových dílů pro automobilový průmysl, výrobou lisovacích nástrojů nebo svařováním nerezových konstrukcí atd.

Papírna a cech Prudká, s.r.o

Výroba a velkoobchodní prodej produktů papírenského průmyslu. Mezi její produkty patří hlavně dřevovina a vlnitá lepenka.

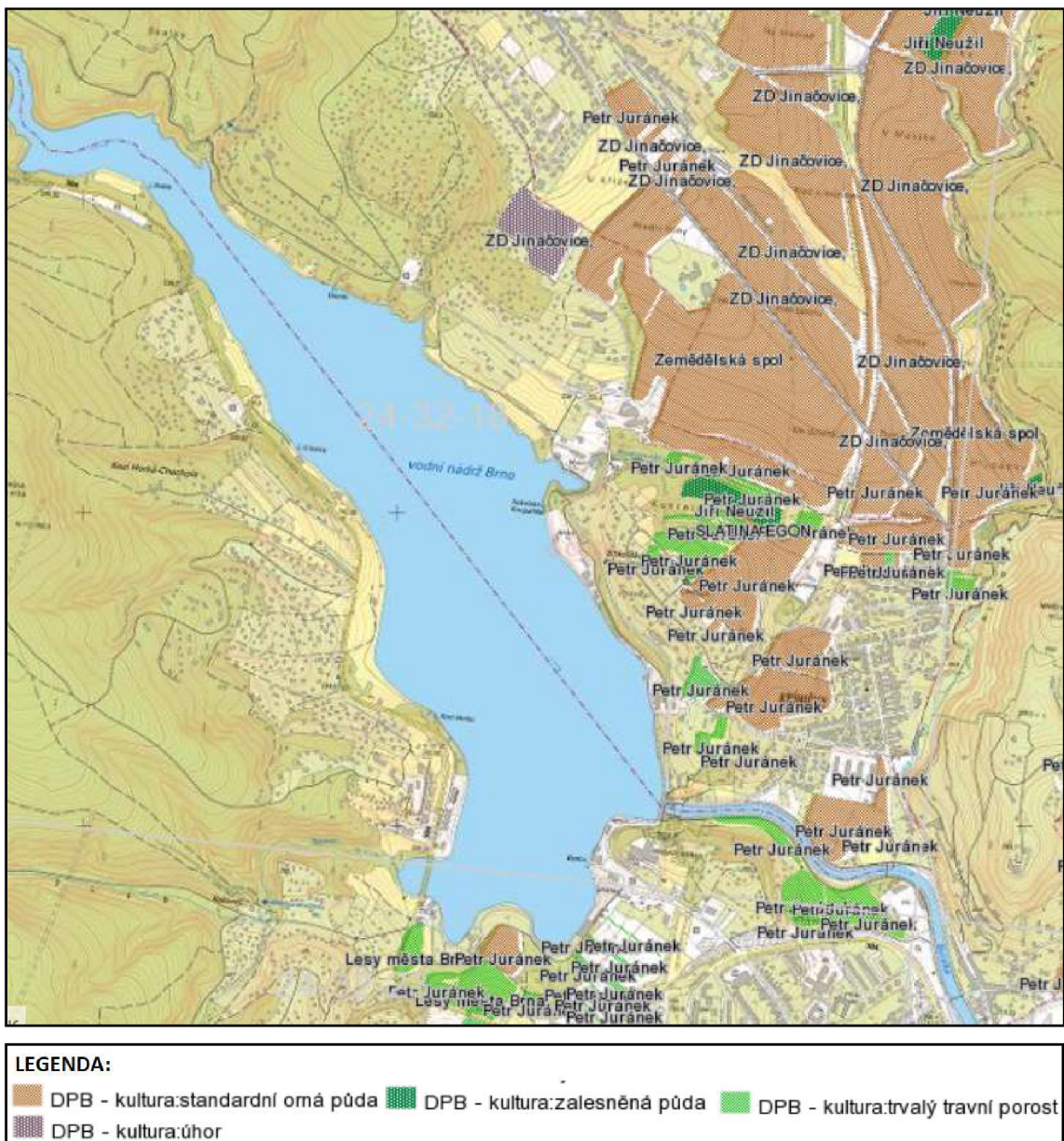
Mechanizace zpracování masa, spol. s.r.o.

Tato firma vyrábí konstrukce, stroje a zařízení pro potravinářský průmysl. Dalšími produkty jsou například minipivovary vyrobené dle specifických požadavků zákazníka a zakázková výroba z nerezové oceli.

1.15 ÚDAJE O ZEMĚDĚLSTVÍ

V okolí Brněnské přehrady se nachází především zalesněné oblasti. Na severovýchodní straně nádrže se nachází oblasti s ornou půdou, v menším podílu pak oblasti s trvalým travním porostem, zalesněnou půdou a úhorem. [25]

Ze správců jednotlivých pozemků nejbližší zájmové oblasti převládá ZD Jinačovice. ZD Jinačovice hospodaří zhruba na 286,03 ha zemědělské půdy. Půdní bloky pozemků se nachází v katastrálním území Jinačovice, Rozdrojovice, Mor. Knínice a Kníničky. Po zrušení živočišné výroby v roce 2011 se ZD orientuje pouze na rostlinnou výrobu. Zabývá se například pěstováním pšenice ozimé, hořčice bílé, jarním ječmenem a brambor. [26]

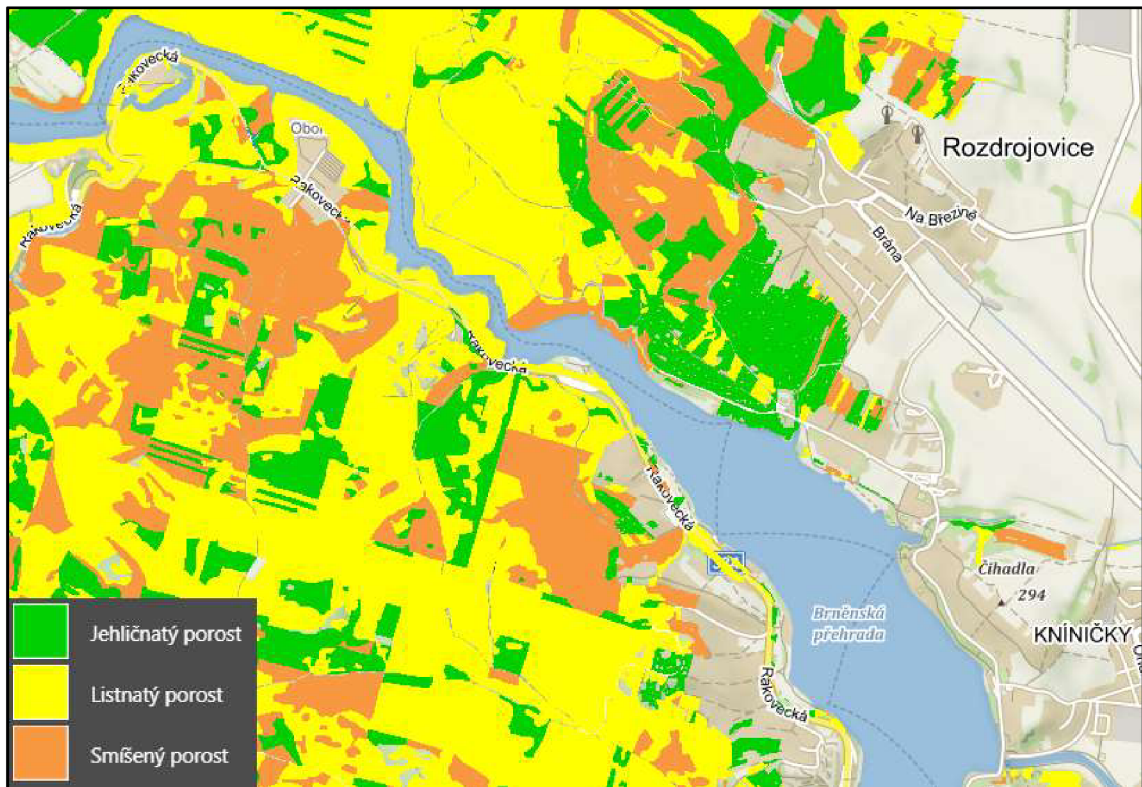


Obr. 1.7 Zemědělské plochy v okolí údolní nádrže Brno [25]

1.16 ÚDAJE O LESNICTVÍ [27]

Údolní nádrž Brno výrazně obklopuje dubobukový vegetační stupeň, ve kterém můžeme najít dřeviny jako například buk lesní, dub letní, javor mleč, bříza bílá atd.

Údolní nádrž Brno obklopují Rozdrojovické lesy, Podkomorské lesy a nedaleká lesní oblast Baba. V zájmové oblasti Osada se pak převážně vyskytují borové lesy.



Obr. 1.8 Složení lesních porostů [28]

1.17 CHRÁNĚNÁ ÚZEMÍ

Přírodní park Podkomorské lesy [29]

Přírodní park se táhne od golfového hřiště v Brně-Žebětíně, až po Moravské Knínice. Ze západu je tento park ohraničen Boskovickou brázdou, která odděluje brněnský masiv od Českomoravské vrchoviny. Zahrnuje lesy v okolí Brna, Žebětína a Ostrovačic.

Přírodní park Podkomorské lesy je nejrozsáhlejším lesním komplexem na území města Brna a dělí se na dvě části. V severní části můžeme najít pláže na břehu přehrady a cesty vedoucí přes skálu Zouvalky až do Bítýšky. Velkou část zde zabírá oplocená lesní obora, ve které se nachází velké množství volně pobíhající lesní zvěře. Do této oblasti je zakázán vstup v noci. V jižní části se nachází nejvyšší kopce přírodního parku, a to - Kopeček (479 m n. m.) a Lipový vrch (478 m n. m.). Tato část je hojně využívána pro cykloturistiku a v zimních měsících pak pro běžkaření. V této části se také nachází známý hrad Veverží a oblast Obora. Severní a jižní část rozdělují údolí, kterým protéká řeka Svratka a začíná se zde vzdouvat.

Přírodní park Baba [30]

Tento park se nachází přibližně mezi Kníničkami, Medlánkami, Českou a Kuřimí a rozkládá se na ploše 854 ha. Park byl vyhlášen v letech 1990-1991 za účelem zachování krajinného rázu lesnatého území v těsné blízkosti města Brna. V parku se nachází lesní komplex porostlý převážně listnatými a smíšenými dřevinami s nejvyšším zastoupením dubu, buku, habru a smrku. V celé oblasti se nacházejí turistické cesty, které nabízí turistům aktivní odpočinek a klid.

CHKO Ždárské vrchy [31]

Nejvýznamnější chráněnou oblastí pro řeku Svratku je CHKO Ždárské vrchy, ve které tato řeka pramení. Je to chráněná oblast, která leží na území okresů Žďáru nad Sázavou, Havlíčkův Brod, Chrudim a Svitavy. Rozloha této oblasti činí 70 940 ha. Z této plochy cca 46 % zaujímají lesy, které se nachází zejména ve vyšší části území, dále pak zemědělský půdní fond, který zde zaujímá cca 44 % a ve zbytku plochy jsou zde vodní plochy, zastavěné plochy a ostatní plochy. V této oblasti na husté síti vodních toků byla ve středověku vytvářena rozsáhlá rybníční soustava. K nejcennějším částem této oblasti patří zejména rašeliniště a další mokřadní společenstva.

1.18 ENERGETICKÉ VYUŽITÍ TOKU [32]

Na řece Svratce se nachází celkem 25 malých vodních elektráren (MVE), na kterých je instalováno celkem 37 turbín s celkovým výkonem cca 13 495 kW.

Největší MVE se nachází na vodní nádrži Vír I. Na této MVE jsou instalovány dvě Francisovy turbíny s celkovým výkonem 7 100 kW.

Na vodní nádrži Vír II, která byla vybudována především pro vyrovnání toku z hlavní vodní nádrže, stojí další MVE. Tato MVE je vybavena jednou Kaplanovou turbínou s výkonem 742 kW.

V zájmové oblasti na údolní nádrži Brno se nachází malá vodní elektrárna Kníničky. V této MVE je instalována jedna Kaplanova turbína s výkonem zhruba 3 500 kW.



Obr. 1.9 MVE Kníničky [foto: L. Skřížala, listopad 2018]

1.19 POŽADAVKY NA ODBĚR [33]

1.19.1 Řeka Svratka

Když pomineme odběry podzemní vody, mezi nejvýznamnější odběratele vody na řece Svratce nad nádrží Brno patří:

Vodárenská akciová společnost, a.s. – Žďár nad Sázavou

Odběr vody pro veřejný vodovod do Žďáru nad Sázavou a okolí. (1 200,8 tis m³ za rok 2017)

Brněnské vodárny a kanalizace, a.s.

Provoz Vírského oblastního vodovodu jako druhého zdroje pitné vody pro Brno a okolí. (2 974,3 tis m³ za rok 2017)

Železářny Štěpánov, spol. s r.o.

Odběr vody pro průmyslovou technologii a jiné využití. (13,5 tis m³ za rok 2017)

1.19.2 Údolní nádrž Brno

MVE Kníničky [14]

Tato elektrárna slouží jako špičkový zdroj určený k vykrývání zvýšené spotřeby elektrické energie v ranních a večerních špičkách. Elektrárna je osazena jednou Kaplanovou turbínou o maximální hltnosti 22 m³/s. Optimálně ale pracuje při hltnosti 17-18 m³/s.

Úpravna vody v Brně-Pisárkách [34]

Úpravna vody upravovala vodu z řeky Svratky od roku 2001 a byla rezervním zdrojem pitné vody pro mimořádné provozní situace a havarijní případy. Vzhledem ke skutečnosti, že úpravna od roku 2008 do vodovodní sítě nedodávala vodu vůbec, byl provoz úpravní vody v květnu 2013 ukončen.

VUT Brno [35]

S rozvojem vodohospodářské výstavby a stupňujícími se požadavky na výzkum vzniká v roce 1945 nové pracoviště pro výzkum na velkých vodních modelech přehrad, jezů, toků apod. Nyní je areál odprodán a modely jsou přesunuty do nové laboratoře na ulici Veveří.

Závlahy

Řeka Svratka slouží jako zdroj vody pro závlahy v oblastech pod Brnem. Nádrž Brno slouží jako opatření k nalepšení průtoku ve vodním toku pod nádrží.

1.20 ČISTOTA VOD

1.20.1 Povodí Svratky [5,36]

Na úseku od pramene k údolní nádrži Brno se také nachází zhruba deset ČOV, které ovlivňují kvalitu vody. Nejvýznamnější z nich je ČOV obci Březina, na kterou je připojeno cca 11 227 obyvatel. Za rok 2017 zde bylo vypuštěno 836,6 tis. m³ vody.

Nejvýznamnějším bodovým zdrojem znečištění na této řece je ČOV Modřice. Tato ČOV se nachází cca 18 km pod hrází údolní nádrže Brno.

V letech 2016-2017 byla Svratka sledována na dvaceti profilech. V těchto profilech se celková třída jakosti dle ČSN 75 7221 pohybovala nejčastěji na hodnotě 3. Například v profilu Veverská Bítýška byly třídy jakosti následující:

| Sledovaný ukazatel | Třída jakosti |
|--------------------|---------------|
| BSK ₅ | 2 |
| CHSK _{Cr} | 2 |
| N-NO ₃ | 3 |
| N-NH ₄ | 1 |
| Fosfor celkový | 3 |
| Výsledná třída | 3 |

1.20.2 Údolní nádrž Brno

Kvalita vody v údolní nádrži Brno je výrazně ovlivněna velkým počtem sinic, které vytvářejí sinicový vodní květ. Sinice produkují jedy (toxiny), které mají negativní vliv na trávicí soustavu člověka a způsobují také alergie a ekzémy. Rozvoj sinic je závislý na různých podmínkách v nádrži, a to především na koncentraci dusíku, fosforu, na teplotě a hodnotách pH. [37]

Statutární město Brno a Povodí Moravy, s.p. společně realizují třetí etapu projektu „Realizace opatření na Brněnské údolní nádrži 2018-2022“. V rámci této revitalizace v současné době probíhá srážení fosforu, který je hlavní živinou pro sinice, na přítoku do Brněnské přehrady. V nádrži je také v provozu aerační systém, který pomáhá okysličovat vodu u dna a tím stěhuje životní cyklus sinic. [38]

Stav vody v Brněnské nádrži v roce 2018 přiměl hygieniky již v polovině července k vydání zákazu koupání téměř ve všech oblastech této nádrže. Tento zákaz platil do druhé třetiny srpna. [38]

1.21 REKREAČNÍ VYUŽITÍ [39]

Údolní nádrž Brno je významnou rekreační oblastí města Brna. Je to místo odpočinku, sportu, turistiky a relaxace. V této oblasti můžeme najít mnoho pláží, restaurací a zahrádek, které lákají k příjemnému posezení. Lze zde provozovat snad všechny druhy sportů. Rozlehlé lesy, které se nachází v okolí nádrže, nabízí příležitost k turistice i cykloturistice. Pro cykloturistiku se zde nabízí zhruba 30 km dlouhá trasa okolo vodní nádrže. Dalším výletním místem je zde hrad Veveří. Na hladině této nádrže se pravidelně koná významná mezinárodní soutěžní přehlídka ohňostroju Ignis Brunensis.

Vodní nádrž také nabízí velmi vhodné podmínky pro rybaření.

1.21.1 Pláže [40]

Sokolské koupaliště

Sokolské koupaliště se nachází v bezprostřední blízkosti hotelu Maximus Resort, který přispívá ke kvalitě koupaliště svými gastronomickými, zábavními a relaxačními službami. Nachází se na travnatých svazích se vzrostlou zelení a dobrým přístupem k vodě.

Kozí Horka

Tato pláž je umístěna na západním břehu nádrže a patří mezi nejvyhledávanější pláže na nádrži. Pláž je zde travnatá s mírným vstupem do vody a za nižšího stavu vody i písčítá.

Rokle

Zde lze většinou najít nejčistší vodu v přehradě. Jsou zde travnaté pláže s mnoha vzrostlými stromy a mírným vstupem do vody. Za nižšího stavu vody je zde část pláže písčinná.

1.21.2 Rybolov

V místě dnešní Brněnské nádrže patřila Svratka původně k tzv. parmovému pásnu, které bylo osídleno rybím společenstvem, ke kterému patří například zástupci jako parma obecná, jelec tloušť, jelec proudník, ostroretka stěhovavá a další. Po vytvoření nádrže vznikl nový biotop jezerního typu. Tento biotop vytvořil podmínky i pro výskyt nových druhů ryb jako například kapra obecného, který je typický pro mírně tekoucí až stojaté typy vod, dále pak cejna velkého, lína obecného, štiky obecné, sumce velkého a dalších. Nově vysazení zde byli například i amur bílý, tolstolobec pestrý, karas stříbřitý nebo střevlička východní. [41]

Vzhledem ke skutečnosti, že hráz nádrže je nepřekonatelnou překážkou pro ryby, jsou rybí společenstva horního a dolního úseku Svratky izolována. Společenstvo ryb je v Brněnské nádrži velmi rozmanité a dosud zde bylo zaregistrováno cca 33 druhů ryb. [41]

Údolní nádrž Brno spadá do rybářského revíru – Svratka 5 Brněnská přehrada. Tuto oblast vymezuje jez Tejkalova mlýna ve Veverské Bítýšce a hráz údolní nádrže Brno. V této oblasti je zakázán lov například na všech přítocích, v zátocce Rakovec, v zátocce „na pile“, na přístavních můstcích atd. Velmi často se rybáři vyskytují v oblasti Osada. [42]

1.21.3 Lodní doprava

Myšlenka provozování lodní dopravy na nádrži Brno je starší než nádrž sama. Realizace této myšlenky se zkomplikovala díky 2. světové válce, kdy začalo období nedostatku materiálu, energií, pohonných hmot i lidských zdrojů. Dne 11. ledna 1946 dostalo město Brno koncesi k provozování osobní lodní dopravy na Brněnské nádrži za určitých podmínek. V neděli 5. května 1946 došlo ke slavnostnímu křtu prvních tří lodí (*Brno, Morava a Svratka*), které byly následně v odpoledních hodinách vypuštěny na hladinu nádrže a tak byla slavnostně zahájena lodní doprava v Brně. [6]

Následující rok došlo k výstavbě všech důležitých objektů v oblasti bystrckého přístavu. Byl zde postaven dřevěný hangár, díky kterému získala lodní doprava důležité zázemí, především v zimním období. Později se v tomto hangáru stavěly lodě nejen pro nádrž Brno, ale také pro jiné lodní provozy v tehdejší Československé republice. Dalším, novým objektem zde byl dřevěný objekt pro odbavování lodí nebo dřevěná budova restaurace. V půlce tohoto roku došlo k pokřtění další lodi - *Veveří*. V šedesátých letech se začalo výrazněji projevovat stárnutí lodního parku i provizorních dřevěných objektů provozovny. V roce 1978 začala celková rekonstrukce provozovny a do roku 1985 byly vybudovány dva zděné hangáry. V osmdesátých letech byly provedeny generální opravy a modernizace několika lodí. [6]



Obr. 1.10 Loď Stuttgart v přístavišti 21. 9. 2013 [foto: L. Skřížala, září 2013]

Kromě lodě *Brno*, která je jednopatrová, jsou v dnešní době všechny lodě dvoupatrové a svým vzhledem jsou si velmi podobné. Kapacita lodí je cca 200 osob. Zajímavostí je, že všechny tyto lodě pohání elektromotor napájeny akumulátory. [43]

V současné době plují na vodní hladině lodě: *Brno, Lipsko, Stuttgart, Dallas, Vídeň a Utrecht*. [44]

Tyto lodě plují mezi zastávkami Bystrc – přístav, Kozí horka, Sokolské koupaliště, U kotvy, Osada, Rokle – přístaviště, Cyklistická, Hrad Veveří – přístaviště, Mečkov, Skály, Vev. Bítýška – přístaviště. [45]

Přibližně polovinu roku jezdí lodě po hladině přehrady a přibližně druhou polovinu roku jsou lodě vytaženy na břeh. Na břehu pak probíhá jejich údržba a příprava na novou plavební sezonu. Plavební sezona na nádrži zpravidla končí v polovině října. Po vytažení lodí na souš zpravidla následuje postupné snižování vodní hladiny. Do konce října jsou zpravidla všechny lodě na břehu a od listopadu se postupně přesouvají do krytých hal, kde na nich probíhá údržba. Počátkem dubna je potřeba všechny práce na lodích ukončit a deset dní před začátkem plavební sezony jsou lodě vytaženy na vodu. Sezona na Brněnské nádrži začíná zpravidla v půlce dubna, v závislosti na počasí a průběhu údržbových prací. [6]

2 TEORIE VZNIKU ABRAZE

2.1 PŮDNÍ EROZE [7]

Abychom si mohli lépe upřesnit teorii vzniku abraze, je nutné si předem upřesnit pojem eroze, který je abrazi nadřazený.

Půdní eroze je způsobená činností vody, větrů a ledovců. Je to třífázový proces. První fází se půdní částice uvolňují z půdní hmoty, druhou fází je jejich transport vodou, větrem a ledovci. Pokud již není dostatek energie pro jejich transport – nastává fáze třetí – ukládání materiálu. Uvolněné půdní částice jsou ukládány po poklesu jejich tangenciálního napětí a rychlosti na úpatí svahů. Jemný materiál je pak dále transportován a tvoří převážnou část splavenin. Tyto splaveniny pak zanášejí přirozené a umělé vodní toky, vodní nádrže a stavby na tocích. Splaveniny zmenšují potřebnou kapacitu toků a kanálů, což vede k jejich zarůstání, zmenšení průtočné kapacity a tím omezení jejich funkce.

Velké nebezpečí představují splaveniny pro vodní nádrže, v nichž dochází zanášením ke zmenšování kapacity prostoru. U mnoha nádrží je ročně zaneseno až 5 % jejich objemu. U vodních nádrží, které slouží pro energetické účely, hrozí vlivem průchodu vody s obsahem splavenin k ohrožení turbín a ke zmenšení energetického potenciálu kvůli zmenšení objemu nádrže.

2.2 VODNÍ EROZE [7]

Vodní eroze je vyvolána kinetickou energií dešťových kapek, které dopadají na půdní povrch a následně mechanickou silou povrchově stékající vody. Povrchový odtok vzniká z dlouhotrvajících nebo přívalových srážek a při jarním tání sněhových vod. Mořská, jezerní a rybníční voda způsobuje erozi pobřežní.

Mechanickou erozní činnost vody nazýváme korazi, chemickou pak jako korozi. Obrušování skalního podkladu na dně vodních toků, jezer a moří nazýváme abraze.

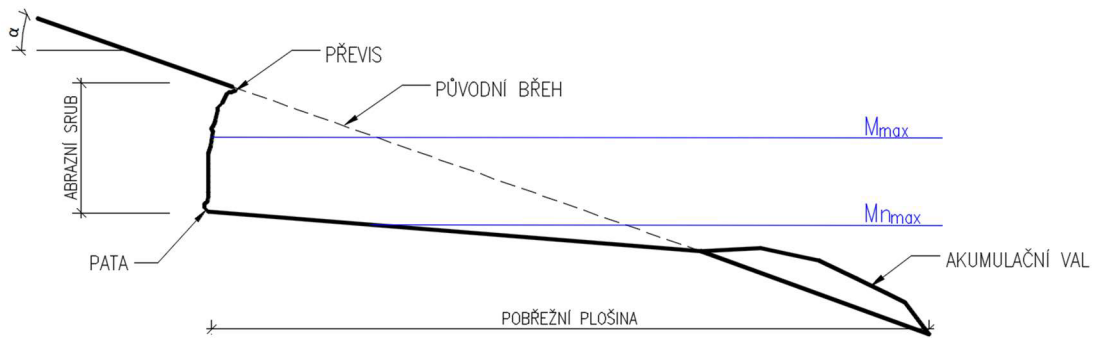
Abrazi můžeme definovat jako obrušování skalního podkladu na dně vodních toků, jezer a moří.

2.3 MORFOLOGICKÉ ZMĚNY BŘEHŮ VODNÍCH NÁDRŽÍ [8]

V místě, kde dochází ke styku pobřeží a vodní hladiny dochází za určitých podmínek ke změnám tvaru břehu. Tento jev se označuje jako limnická eroze pobřeží neboli abraze. Abrazní přetváření břehů lze pozorovat jak na mořském pobřeží, tak na březích jezer i umělých vodních nádrží. U přírodních jezer dojde vlivem dlouhodobého vývoje a vytvoření určité rovnováhy v dynamice abrazního procesu i k zastavení dalšího postupu abraze. U břehů vodních nádrží se setkáme s největší intenzitou břehové abraze, která je zapříčiněná přímým stykem vodní hladiny s břehem, jehož geologické a pedologické složení a sklon umožňují vznik abraze.

Většina našich nádrží je situována jako údolní přehradní nádrž. Svahy údolí často vznikaly historickým vývojem říčního údolí – aluviálními hlinitopísčítými náplavami, pokrývnými útvary svahových a eolických hlín značných mocností. Pokud tyto útvary zasahují do pásma kolísání hladin nádrže, podléhají velmi rychle abrazním účinkům.

K abrazi břehů dochází v litorálním pásmu pobřeží tehdy, mají-li tyto břehy vlastnosti, které jejich přetváření umožňují. Mezi tyto vlastnosti patří především nevhodné geologické a pedologické složení břehů, mála stabilita svahů a sklonitost svahů. Mezi činitelé, jejichž působením toto přetvoření vzniká, patří především vlnění a kolísání vodní hladiny, led, mráz a tání. Současným působením podmiňujících a způsobujících faktorů vzniká charakteristický jev, a to abrazní zářez neboli srub. Působením vln na břeh se mění kinetická energie vln v práci, jejíž výsledkem je zářez neboli pata abrazního srubu.



Obr. 2.1 Schéma vývoje abrazie břehů [8]

Nad patou srubu vzniká postupně obnažená, téměř kolmá, stěna srubu. Na vrcholu této stěny se ve většině případů vytváří převis, který se zde drží díky kořenovému systému vegetace (drn, kořeny stromů a keřů). Pokud postup abrazie již zcela podkopává břeh, převis začne padat na abrazní plošinu. Materiál zeminy pak v tomto místě bývá poměrně rychle rozplaven na konec abrazní plošiny, kde se vytvoří abrazní val. Pokud jsou břehy nádrže příliš strmé, tento val se na konci abrazní plošiny neudrží a postupuje dále, směrem ke dnu nádrže. Obsahuje-li materiál břehu úlomky hornin v dostatečně velké zrnitosti, ukládá se tato frakce hned v úpatí abrazního srubu. Tím vytváří přirozený kamenitý pohoz, který může další postup abrazie značně zmírnit.

2.4 ČINITELE PODMÍŇUJÍCÍ VZNIK ABRAZE [8]

Proces vzniku abrazie závisí především na:

1. geologických a pedologických poměrech
2. fyzikálně mechanických vlastnostech povrchových útvarů břehů
3. sklonu svahů

2.4.1 Geologické a pedologické poměry [1,8]

Proces vzniku abrazie a jeho následný rozvoj je ovlivňován lithologickým a petrografickým složením hornin, které vytvářejí břeh nádrže. Velmi nepříznivě působí velká puklinatost, především tehdy, je-li některý systém puklin souběžný se sklonem břehu.

Velmi nebezpečná je vrstevnatost a břidličnost hornin, neboť jde o předurčené plochy odlučnosti, které mohou za nepříznivých okolností způsobit i sesuv nadložních povrchů.

Přetváření břehů také závisí na geomorfologických poměrech – tvaru, sklonu, výšce a členitosti břehové linie.

Podle stupně odolnosti je možné rozdělit horniny do následujících skupin:

A) zcela odolné horniny – kompaktní horniny vyvřelé, proměněné, usazené a kamenné suti. Jsou to horniny skalní, abraze se zde vůbec neprojevuje.

B) méně odolné horniny – Povrchově navětralé horniny usazené, zpevněné horniny flyšového pásma, horniny poloskalní, zvětralé. Podle stupně navětrání a způsobu uložení vrstev mohou být pozvolna abradovány, nikoli však do větších hloubek a ve větším rozsahu.

C) málo odolné horniny – nesoudržné hrubozrnné sypké horniny, např. eluviální písčité šterky, terasové říční šterky, šterky s příměsí hlín a jílů, zvětralin flyšových hornin, říční náplavy a hrubozrnné písky. Málo odolné horniny jsou rozmyvatelné, abraze se zde projevuje v různé intenzitě a vytváří abrazní srub.

D) horniny a zeminy zcela neodolné – střednězrnné až jemnozrnné písky, prachové písky, písčité hlíny, sprašové hlíny, jíly a organické zeminy. Jsou velmi lehce rozmyvatelné a dochází zde k největším účinkům abraze a k tvorbě vysokých abrazních srubů.

Při této kategorizaci hornin je potřeba brát v úvahu i další velmi důležité faktory, které tvorbu abrazního srubu ovlivňují jako jsou fyzikálně mechanické vlastnosti hornin, kolísání hladin, vystavení břehů nárazům větru, působení deště, expozice břehů proti slunečnímu svitu atd.

2.4.2 Fyzikálně mechanické vlastnosti pokrývných útvarů břehů [1,8]

Stabilita břehů vodních nádrží závisí především na fyzikálně mechanických vlastnostech hornin a zemím, jimiž jsou břehy vytvořeny. Abrazní procesy se nejvíce projevují u soudržných a nesoudržných zemin. Na základě momentálních poloh hladin v nádrži dochází k různým stupňům nasycení zemin v úrovni hladiny, případně až ke stavům úplné saturace vodou pod hladinou. Přítomnost nadměrného množství vody v zemině výrazně zhoršuje její fyzikálně mechanické vlastnosti. Soudržné zeminy mění dle obsahu vody svou konzistenci. Při větším obsahu vody bobtnají a rozbírají, při vysychání tuhnou a smršťují se. U nesoudržných písčitých zemin se objevuje vyplavování jemných zrn, a tím dochází ke vnitřní destrukci zeminy. Změnami fyzikálně mechanických vlastností se zhoršují podmínky, které mají vliv na stabilitu břehů a tak je zvýšeno riziko vzniku abraze.

2.4.3 Úhel sklonu svahů břehů [1,8]

Na základě pozorování a měření na vodních nádržích bylo prokázáno, že abraze se zřetelně neprojevuje na březích o sklonu svahů 3° až 4°. Vytvářejí se zde pouze plážovité typy pobřežních plošin.

Při sklonech svahů větších než 4° se začíná projevovat abraze, a to především na březích tvořených zeminou.

2.5 ČINITELE ZPŮSOBUJÍCÍ VZNIK ABRAZE

2.5.1 Vlnění eolického původu [1,8]

Pohybem vzduchu po vodní hladině se vodní částice dostávají do kmitavého pohybu, který ve směru větru přechází do vlnitého periodického pohybu.

Vlna, která vznikla působením větru, se označuje jako vynucená větrová vlna. Postupným přibližováním vlny k pobřeží se vlna mění na vlnu transformovanou, jejíž tvar a rozměry jsou ovlivněny dnem, které ztrácí na své hloubce. Po překročení kritické hloubky dochází ke zlomení a překlopení jejího hřebenu. Tato vlna se pak změní na roztržitou vlnu a pokračuje dále ke břehu jako příbojová vlna. Příbojová vlna působí svou kinetickou energií, tlakem, výškou náběhu a sáním při zpětném tlaku destruktivně na strmý břeh.

Vlny postupně rozrušují břeh v místě paty budoucího abrazního srubu, rozrušují, vyplavují a přemísťují materiál břehů, který je postupně vodou smýván do nádrže. Pod nově vznikajícím abrazním srubem se pomalu vytváří pobřežní abrazní plošina, která je zakončena akumulacním valem.

Při výpočtu účinků vln na pobřeží a pro následný návrh břehového opevnění je nutné znát základní parametry vln, a to především vlnovou délku, výšku, postupovou rychlost, periodu vlny a také sklon, drsnost a materiál břehu.

2.5.2 Kolísání hladin v nádrži [1,8]

Kolísání hladin v nádrži se nejvíce projevuje u energeticky využívaných nádrží a v nádržích ochranných. Zvláště citlivé jsou na kolísání hladin především pokryvné útvary soudržných zemin, uložené na strmých svazích. V jejich podložích se často vyskytují propustné písčité a štěrkopískové vrstvy. Při vzduť hladiny dochází k průsaku vody a k nasycení zemin vodou. Při poklesu hladiny pak dochází k vyplavování jemnozrnných částic zeminy – sufozi. Velmi nepříznivě také působí jarní snížení hladin v nádrži, kdy při poklesu teplot voda v zemině zamrzá a při následném zvýšení teplot zemina rozbírá a zvětšuje se tak pravděpodobnost sesuvů půdy.

2.5.3 Vlnění způsobené pohybem plavidel [1,8]

Provozování lodní dopravy na nádržích také může negativně působit na přetváření břehů. Na rozdíl od větrových vln se tyto vlny liší především směrem náběhu vln na břeh. Tyto vlny postupují v poměrně ostrém úhlu ke břehu. Dotkne-li se vlna břehu, postupuje podél břehu ve směru jízdy plavidla a tak působí tak na materiál břehu frézovitým pohybem.

2.5.4 Účinky mrazů a tání [1,8]

Na rozvoj abrazních jevů mají výrazný vliv mnohaleté cykly zámrazu a tání vodní hladiny. Při zamrznutí vody v zemině se tato voda mění v led, který má objem o cca 9% vyšší než voda. V důsledku tohoto zamrznutí se zvětší objem zeminy a dochází ke vzniku trhlin. Při jarním tání nejprve roztává povrchová vrstva a pak následně hlubší vrstvy. Voda z povrchové vrstvy nemůže prosakovat a zůstává v ní, následkem čehož zemina rozbírá a v důsledku poklesu úhlu vnitřního tření se zvyšuje možnost vzniku sesuvu.

2.5.5 Vliv ledové pokrývky a pohybu ledových ker [1,8]

K zamrznutí vodní hladiny nádrží dochází v našich podmínkách celkem pravidelně. Při snižování a zvyšování vodní hladiny je po abrazní plošině posouván štěrk, kameny i odlomené části ledu s ledovými krami. Při tomto pohybu může dojít k poškození abrazní plošiny a k zanášení dna nádrže.

Zásadnější vliv na abrazi břehu má zámraz před snížením vodní hladiny. Souvislá ledová pokrývka působí na břehy statickým tlakem. Při zvyšování hladiny pak dochází k vytrhávání materiálu přimrzlého k ledovým kram. Následným táním a kolísáním hladiny se ledové kry podílejí na rozrušování stěn dynamickým tlakem.

2.5.6 Průsak vody půdním horizontem [1,8]

Při dlouhotrvajících deštích dochází k průsaku vody půdním horizontem a následně pak k pohybu podzemní vody ve směru méně propustných či nepropustných hornin. V nejnižších vrstvách abrazního srubu může dojít k výronům takto proudící podzemní vody, která způsobí vyplavování jemnozrnných půdních částic.

2.5.7 Antropogenní vlivy [1,8]

Lidská činnost v břehové zóně má často zásadní vliv na vznik a rozvoj břehové abraze. Jedná se především o nevhodnou úpravu břehu, těžební zásahy nebo nevhodné odvodnění. Jakékoliv porušení půdního krytu v místě budoucí potenciální paty abrazního srubu má za následek vznik abrazního poškození především u břehů s větším sklonem než 4–5°.

2.6 POSOUZENÍ ROZSAHU ABRAZE [1]

Kritéria posouzení rozsahu abraze

Velikost abrazního poškození břehů na vodních nádržích můžeme posoudit podle následujících kritérií:

- 1. Stupeň abraze** – rozsáhlé poškození břehů nejintenzivnější abrazní činností. Sklon svahů je zde velmi strmý až svislý, odpor vůči rozrušování je minimální. Výška abrazních srubů je vyšší než 3 m.
- 2. Stupeň abraze** – intenzivní abrazní činnost, strmé až téměř kolmé stěny abrazního srubu. Výška abrazních srubů dosahuje 1 – 3 m.
- 3. Stupeň abraze** – nevýrazné abrazní poškození na mírných svazích břehu nádrže, které je tvořeno mrně omyvatelnými horninami. Výška abrazních srubu se zde pohybuje mezi 0,5 – 1,0 m. Může se zde projevit ochranné působení vhodných břehových porostů.
- 4. Stupeň abraze** – jedná se o velmi mírnou abrazi, která je charakteristická malým množstvím rozrušeného materiálu. Abrazní sruby zde dosahují výšky maximálně 0,5 m a břeh je tvořen buď těžko rozmývatelnými horninami, nebo má plážový charakter.
- 5. Stupeň abraze** – břehy bez abraze tvořeny těžko rozmývatelnými horninami, břehy v krytých zátokách, břehy ve větrném stínu – jsou dobře chráněny břehovými porosty.

2.7 PROTIABRAZNÍ OPATŘENÍ

2.7.1 Aktivní opatření [1]

Mezi aktivní opatření patří především podélné usměrňovací stavby, které jsou budovány podél pobřeží. Mezi tyto konstrukce patří zejména podélná břehová lavice a podélná břehová hrázka. Konstrukce, které se budují kolmo nebo šikmo na břehovou linii se nazývají příčné usměrňovací stavby a patří sem hlavně výhony kolmé k břehové čáře a výhony šikmé k břehové čáře. Kombinací příčných a podélných konstrukcí vznikají kombinované usměrňovací stavby. Další aktivní konstrukce mohou tvořit například ponořené břehové vlnolamy, jejichž hlavní funkcí je zmenšení výšky vlny.

2.7.2 Pasivní opatření [1]

Mezi pasivní opatření patří například opěrné zdi, které jsou budovány u břehů nádrží či na místech, kde je třeba plně zajistit stabilitu břehu. Dále zde patří nevegetační opevnění a oblady břehů, ve kterých se užívá především těžkých kamenných záhozů, kamenných svahových pat apod. Mezi další opatření řadíme vegetační opevnění břehů, kde jsou v rámci břehových porostů nejužívanější dřeviny rodu *Salix*, které je však důležité doplnit bylinným patrem neboli protierozním bylinným kobercem. Potom také kombinované – biotechnické opevnění, které můžeme označit jako jeden z nejvýhodnějších typů břehového opevnění. V oblasti nejvyššího namáhání břehu umístíme technický prvek a na místech nejnižšího namáhání poté prvky vegetační. Oba tyto prvky se ve stykové oblasti prolínají.

Posledním typem pasivní protiabrazní konstrukce jsou břehové vlnolamy. Jsou to především neponořené, nepropustné konstrukce, ale také těžké konstrukce typu „tetrapod“ atd. Tyto prvky najdou využití spíše v cizině – při mořském pobřeží.

2.7.3 TYPY STABILIZAČNÍCH METOD [1]

V současné době můžeme rozdělit stabilizační metody následujícím způsobem:

- 1) Technické způsoby stabilizace břehů – kamenné paty svahů, betonové nebo železobetonové opěrné zdi, kamenné pohozy a záhozy, drátokamenné matrace atd.
- 2) Stabilizační metody inženýrské biologie – živá vegetační opevnění: břehové porosty keřových vrb v eulitorárním pásmu, rákosy v sublitorárním pásmu, travní koberce atd.
- 3) Biotechnické způsoby stabilizace – kombinace technických a biologických stabilizačních prvků: haťové a haťošťerkové válce, zápletové pŕtky, oživené kamenné rovnániny atd.
- 4) Vlnolamy – slouží ke snížení síly a intenzity vlny.

3 TECHNICKÁ ZPRÁVA

3.1 SPRÁVNÍ ÚDAJE [13]

| | |
|--------------------|------------------|
| Oficiální název: | Vodní nádrž Brno |
| Kraj: | Jihomoravský |
| Okres: | Brno – město |
| Obec: | Brno – Kníničky |
| Katastrální území: | Kníničky |
| Tok: | Svratka |
| Ř. km: | 56,19 |
| Správce: | Povodí Moravy |
| Závod: | závod Dyje |

3.2 ÚVODNÍ ČÁST

3.2.1 Cíl práce a podklady

Cílem diplomové práce je stanovení ústupu břehové čáry a navržení opatření proti vývoji ústupu břehové čáry na údolní nádrži Brno. Tomuto vyhodnocení předchází následující:

- 1) Zjištění stávajícího stavu břehů na údolní nádrži Brno v části Osada, a to geodetickým zaměřením, osobní pochůzkou a vytvořením fotodokumentace stávajícího stavu.
- 2) Zajištění příčných řezů a situačního výkresu dané oblasti.
- 3) Zajištění výšek hladin údolní nádrže Brno za období 1. 1. 2008 – 31. 12. 2017.
- 4) Stanovení výšky paty nejvýše položeného abrazního srubu V_a a zapracování do příčných řezů a situačního výkresu.
- 5) Stanovení sklonu abrazní plošiny z příčných řezů, abrazní terminanty A_T a bodu maximálního ústupu B_T .
- 6) Navržení opatření proti dalšímu ústupu břehové čáry.

Pro zpracování této diplomové práce byly použity následující podklady:

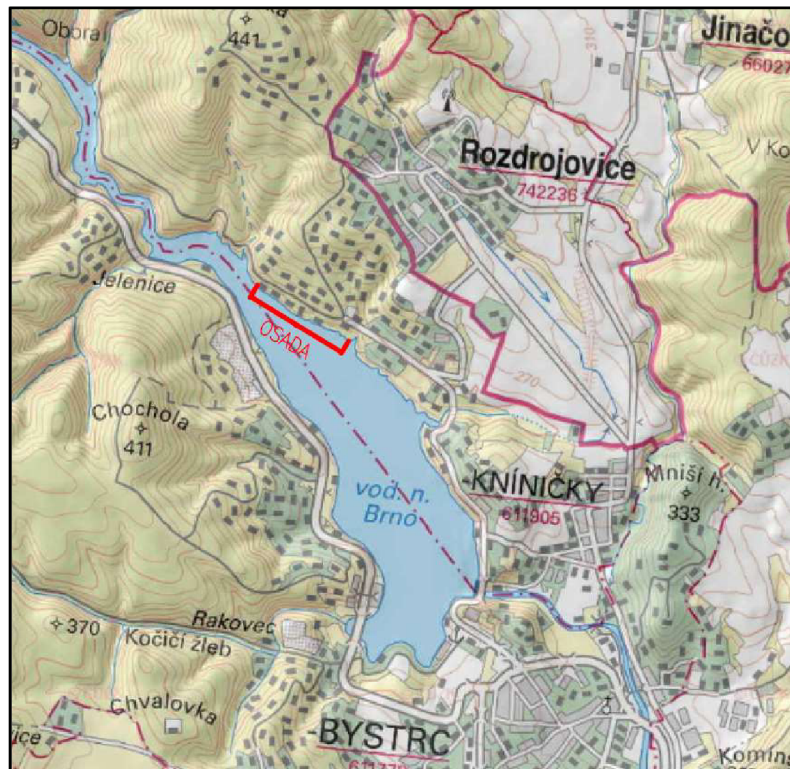
- 1) Základní mapa ČR (zdroj: <https://mapy.cz>).
- 2) Přehledná situace v měřítku 1:50 000.
- 3) Mapové podklady SVP.
- 4) Mapové podklady ArcGIS.
- 5) Příčné řezy zájmové oblasti v měřítku 1:100.
- 6) Výšky hladin údolní nádrže Brno za období 1. 1. 2008 – 31. 12. 2017.
- 7) Fotodokumentace zájmové oblasti.

3.2.2 Základní popis zájmové lokality [24, 47]

Zájmová oblast se nachází na levém břehu údolní nádrže Brno, zhruba jeden kilometr od obce Rozdrojovice. Celá tato oblast leží v chatové kolonii, která se rozkládá na ploše o velikosti přibližně 40 ha. Nachází se zde velké množství penzionů a restaurací. K nejznámějším restauracím zde patří restaurace „U Šuláka“, která zde nabízí i ubytování. Pár set metrů směrem k Zouvalce se nachází přístaviště lodí s názvem „přístaviště Osada“ a nudapláž.

Při návštěvě této oblasti si nelze nevšimnout, že oblast přímo pod restaurací „u Šuláka“ je pro svůj klid hojně využívaná rybáři. V těsné blízkosti vodní hladiny se také nachází spousta malých, dřevěných chatek.

Řešená zájmová oblast je z východu ohraničená přístavištěm a ze západní strany malou zátokou, která se nachází pár desítek metrů pod restaurací „u Šuláka“.



Obr. 3.1 Vymezení zájmové oblasti [47]

3.3 POPIS STÁVAJÍCÍHO STAVU

Posouzení stávajícího stavu břehů a rozsahu abraze bylo provedeno poprvé v červnu 2015 v rámci výuky v terénu. V zájmové oblasti byl pomocí nivelačního přístroje a latě zaměřen terén. Zaměření bylo následně vyneseno do příčných řezů. S ohledem na korektnost výstupu byly pro tuto práci zvoleny příčné řezy od Povodí Moravy s.p.

Další posouzení stávajícího stavu proběhlo osobní prohlídkou v březnu, září a listopadu 2018. Ve všech případech umožnila nízká úroveň vodní hladiny sestup až k patě abrazního srubu. Během těchto návštěv byla provedena fotodokumentace, která je součástí této práce.

Zájmová oblast o délce cca 250 m začíná za rekreačním objektem, který je poměrně nově zrekonstruován. Za tímto objektem, až k malé zátoce, se tvoří abrazní sruby o výšce 3-6 m.

Břeh je zde tvořen zahliněnými šterkopisky, sprašemi a svrchní vrstvou z lesní půdy o mocnosti cca 0,3 m. Vzrostlé stromy na vrchu břehu svými kořeny mírně dopomáhají ke stabilizaci břehu, díky které lze v mnoha místech pozorovat tvořící se převisy. Voda zde však vymílá zeminu pod břehem a odkrývá tak kořeny dřevin. V patě abrazního srubu probíhá odnos jemnozrnného materiálu, který je dále odnášen vodou a zůstává zde spíše hrubozrnný materiál. V určitých částech abraze se tvoří kaverna, jejíž hloubka je místy až 1 m.

Celá zájmová oblast byla ohodnocena na první, výjimečně druhý, stupeň abrazního poškození.

Objekty

Na začátku zájmové oblasti se nachází rekreační objekt. U tohoto objektu je patrná snaha majitelů o stabilizaci břehu pomocí betonové opěrné zdi.

Zhruba o 20 m níže se nachází další rekreační objekt, který je nyní vzdálený zhruba 3-4 m od hrany břehu. V případě dalšího postupu abraze zde hrozí sesun tohoto objektu do vody.

Dalším objektem v zájmové oblasti je loděnice, kvůli které byl v padesátých a následně v sedmdesátých letech upravován břeh. Došlo k jeho snížení a stabilizaci.

V oblasti příčných řezů 16-22 se vyskytují další rekreační objekty. Mnohé z nich zde mají vytvořený pozvolný, místy zpevněný, přístup k vodní hladině.

Opevnění

Předchozí snaha ke zpomalení abrazní činnosti se zde vyskytuje například v podobě betonové opěrné zdi pod rekreačním objektem na začátku zájmového úseku. Na obnaženém břehu se zde dále nachází zhruba 6 m dlouhá konstrukce z vrbových prýtů vyplněných kamenivem a přibližně 5 m dlouhá drátokamenná matrace. V místě rekreačních objektů lze pozorovat také opevnění prefabrikovanými dílci.

3.4 VLASTNÍ NÁVRH ÚPRAVY

3.4.1 Monolitická opěrná zeď

Základem pro tuto opěrnou zeď bude betonový pás o velikosti 0,5x3,0 m, který bude podsypaný zhutněným štěrkopískem o minimální hloubce 0,2 m a velikosti zrna 0-32 mm. Tento základ bude dále stabilizován pomocí kamenného pohozu v délce cca 3,0 m pod vodní hladinu, o hmotnosti kamene 30-50 kg až nad úroveň nejčtenější hladiny. Na základ bude navazovat monolitická opěrná zeď, která do výšky 2,0 m od základu bude kolmá, o tloušťce 2,0 m, poté její vnější strana bude zkosena směrem ke břehu, a to v poměru 5:1 až na tloušťku 1,0 m. Vnitřní strana zůstane kolmá po celé své délce. Celková výška opěrné zdi, včetně jejího základu, bude v závislosti na místní výšce břehu dosahovat až 7,3 m. Vrchní část bude vytažena zhruba 1,0 m nad úroveň terénu. Od této hrany bude terén upraven do sklonu 1:2 a bude zde vysázena nová vegetace.

Monolitická opěrná zeď bude provedena z vodostavebního betonu HV 8 (C 25/30 XC2). Pro zajištění lepší pevnosti betonu bude v této stěně instalována ocelová vyztuž dle statického výpočtu.

Pro zlepšení manipulačních prostor bude odtěžená zhruba 1,5 m silná vrstva břehu, která zde bude po výstavbě opěrné zdi zpátky navracena a zhutněna. Odtok prosáklé podzemní vody zde bude zajištěn pomocí drenážního systému, který prochází napříč zdí ve sklonu 1:3 a tloušťce 100 mm.

Monolitická opěrná zeď je vhodná vzhledem ke svým pořizovacím nákladům především v místech, kde by při dalším posunu břehové čáry mohlo dojít k ohrožení staveb nad abrazním srubem.

Jedná se o technické opatření.

Schéma návrhu monolitické opěrné zdi je přílohou č. 10 této práce.



Obr. 3.2 Vizualizace monolitické opěrné zdi

3.4.2 Gabionová zeď

Na předem urovnaný a zhutněný terén, zhruba ve hloubce 0,6 m od nejčtenější hladiny, bude vystavěna stěna z drátokamenných matic (gabionů). Tyto gabiony budou vystavěny ve dvou řadách za sebou s přesahem 0,4 m až do výšky zhruba 6,0 m. Tato výška se může měnit v důsledku rozdílných výšek v daném profilu. Ve vrchní části gabionové stěny bude umístěna pouze jedna řada gabionu, která bude prosypána zeminou a osazena vegetačním doprovodem.

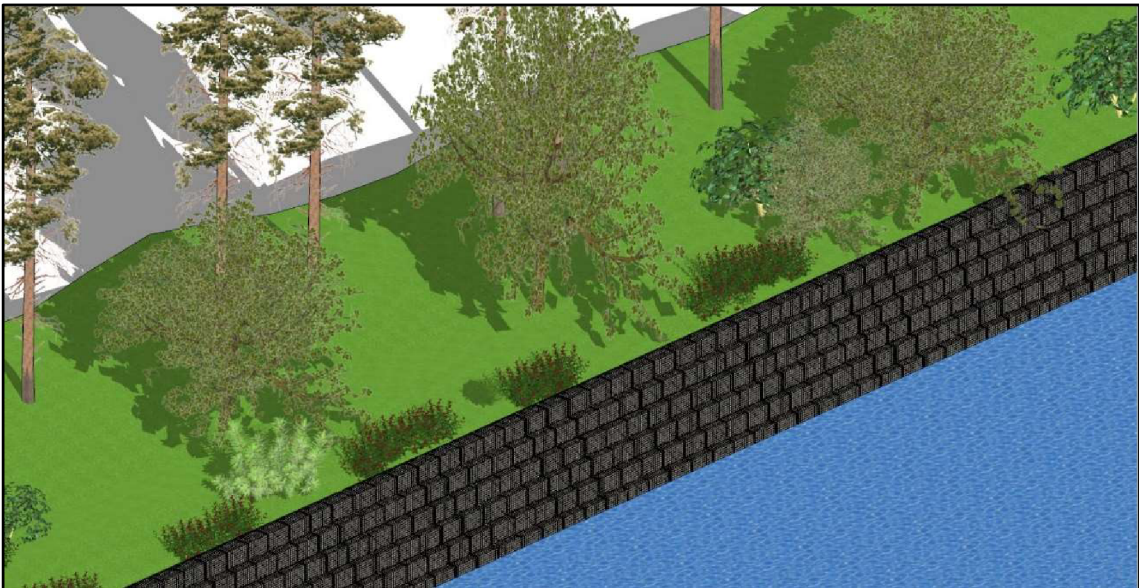
Konstrukce gabionu o rozměrech 1,5x1,0x1,0 m se bude skládat z gabionového koše a výplně – kameniva. Gabionový koš je ze svařované sítě o průměru 4 mm s povrchovou úpravou ze slitiny zinku a hliníku. Tato úprava zpomaluje korozi konstrukce. Sítě jsou k sobě spojovány pomocí spojovacích spirál nebo C sponami. Velikost oka v navržené síti je 10x5 cm. Gabionový koš je vyplněn kvalitním kamenivem s nízkou nasákavostí. V tomto případě bylo zvoleno lomové, drcené kamenivo frakce 50-200 mm. Součástí konstrukce gabionu jsou také vymežovací háčky, které fixují protilehlé sítě vzájemně mezi sebou a zabraňují tak vyboulení stěny v důsledku tlaku výplně.

Z důvodu lepší manipulace během výstavby gabionové stěny bude odtěžená původní vrstva stěny abrazního srubu o tloušťce cca 1,0 m a po výstavbě konstrukce zde bude zpátky navracena a zhutněna.

Stejně jako monolitická opěrná zeď se také gabionová zeď hodí spíše do míst, kde by při dalším posunu břehové čáry mohlo dojít k ohrožení a poškození objektů nad hranou břehu.

Jedná se o technické opevnění břehu.

Schéma návrhu gabionové zdi je přílohou č. 11 této práce.



Obr. 3.3 Vizualizace gabionové zdi

3.4.3 Dřevěné kulatiny – verze 1

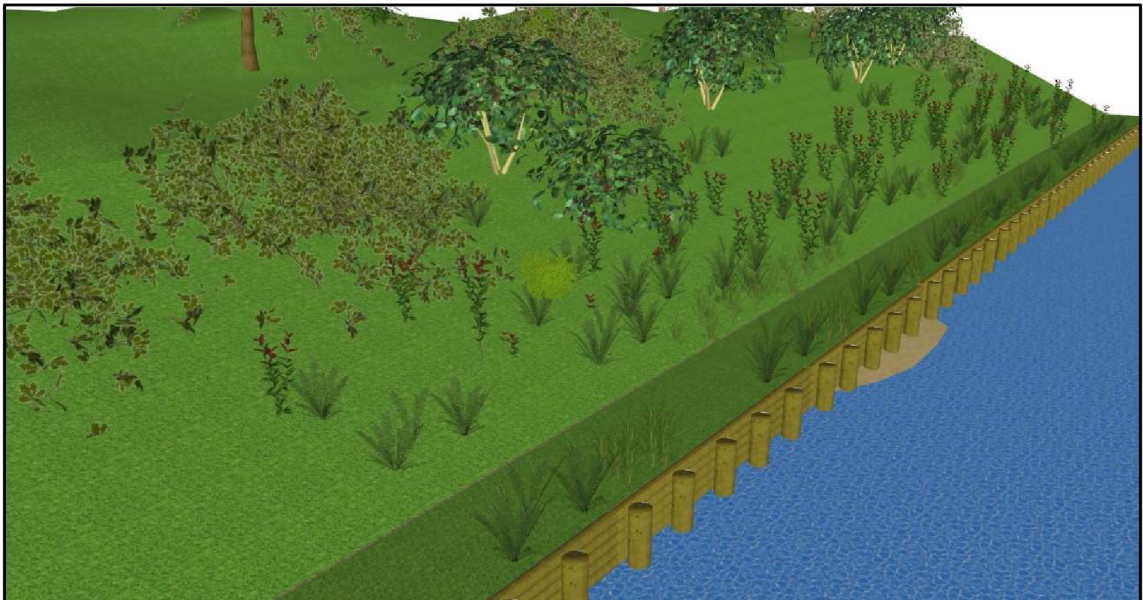
Základem tohoto opevnění břehu jsou dřevěné kulatiny o délce 2,5 m a průměru 300 mm, které budou ve vzdálenosti zhruba 4,0 m od paty abrazního srubu zabité do hloubky 1,5 m. Zbylá část bude vyčnívat nad zemí. Kulatiny budou do země zabity v rozestupu 1,0 m od sebe a budou napříč doplněny dřevěnou kulatinou o průměru 200 mm naskládanou na sebe.

Prostor mezi dřevěnou konstrukcí a patou abrazního srubu bude vyplněn zeminou, která bude předem odtěžena ze svahu nad abrazním srubem. Tato zemina bude zhutněna a oseta trávou. Tento prostor může sloužit rybářům a rekreaci.

Téměř od paty abrazního srubu bude svah upraven do sklonu 1:1,5 a zpevněn výsadbou vhodně zvolené doprovodné vegetace.

Jedná se o biotechnické opevnění břehu.

Schéma návrhu konstrukce z dřevěných kulatin je přílohou č. 12 této práce.



Obr. 3.4 Vizualizace dřevěných kulatin – verze 1

3.4.4 Dřevěné kulatiny – verze 2

Způsob provedení dřevěné konstrukce je stejný jako ve verzi 1. Prostor za dřevěnou konstrukcí bude již téměř od hrany konstrukce upraven ve sklonu 1:2 a bude osazen vegetačním doprovodem.

Jedná se o biotechnické opevnění břehu.

Schéma návrhu konstrukce z dřevěných kulatin je přílohou č. 13 této práce.



Obr. 3.5 Vizualizace dřevěných kulatin – verze 2

3.4.5 Stabilizace lomovým kamenivem

Kamenná pata bude vytvořena z lomového kamene o hmotnosti 200-300 kg až do výšky cca 2–3 m od úrovně nejčtenější hladiny. Návodní svah nově vysypaného lomového kameniva bude ve sklonu 1:1. Takový způsob opevnění dostatečně stabilizuje patu abrazního srubu a stane se úkrytem mnoha živočichů.

Jedná se o biotechnický způsob stabilizace.

Schéma návrhu stabilizace lomovým kamenivem je přílohou č. 14 této práce.



Obr. 3.6 Vizualizace stabilizace lomovým kamenivem

3.4.6 Kamenná stabilizační pata

Kamenná stabilizační pata z lomového kamene 200-500 mm je založena do předem vyhloubené rýhy o délce cca 3,2 m od paty abrazního srubu. Návodní svah kameniva bude ve sklonu cca 1:1,5. Kamenivo bude prosypáno zeminou a bude proloženo vrbovými prýty, které stabilizační patu ožíví.

Nad touto patou bude odtěžena část původního břehu a terén zde bude upraven do sklonu 1:2,5. Na nově upravený terén bude vysázený vegetační doprovod, který svým kořenovým systémem pomůže zpevnit břeh.

Jedná se o biotechnický způsob stabilizace.

Schéma návrhu kamenné stabilizační paty je přílohou č. 15 této práce.



Obr. 3.7 Vizualizace kamenné stabilizační paty

3.4.7 Stabilizace vrbovým porostem

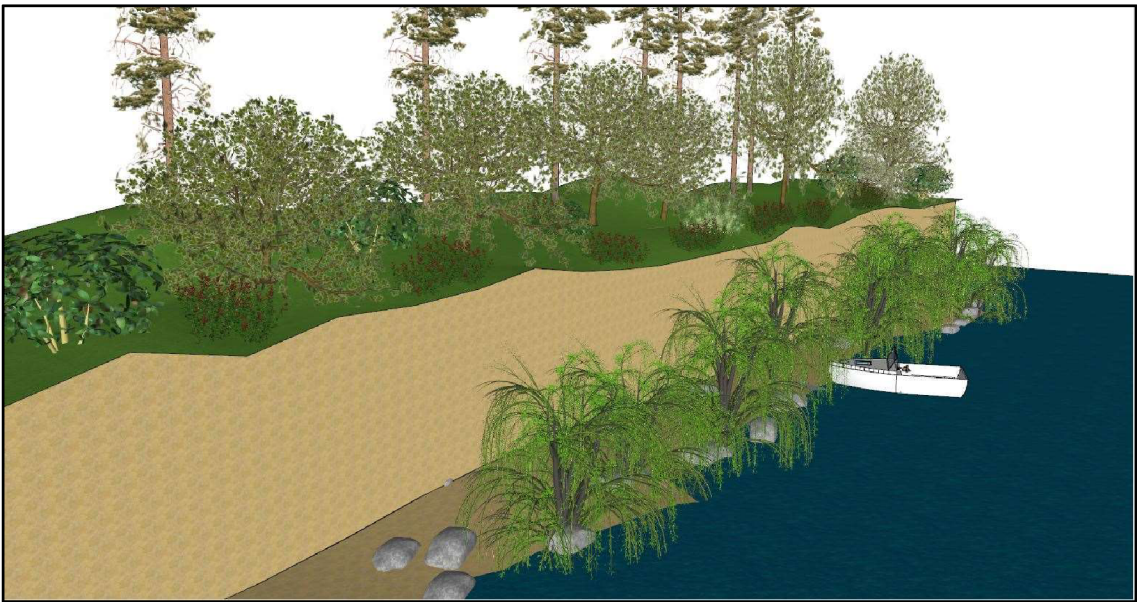
Vrbové porosty slouží jako vhodná stabilizace břehu proti působení vodní hladiny na patu abrazního srubu. V tomto případě se jedná asi o nejjednodušší a nejlevnější způsob stabilizace a je možné ho použít v téměř jakémkoliv případě. Nedojde zde sice ke stabilizaci již vzniklého abrazního srubu, ale pouze ke zastavení/zpomalení tvorby abrazního srubu.

V prostoru před patou abrazního srubu bylo navrženo vysázení vrb v pěti řadách za sebou. Tyto vrby, např. druhu *Salix fluviatilis*, budou sloužit jako vlnolam. Budou zde také doplněny kameny o váze cca 100-200 kg.

Vrba poříční (*Salix fluviatilis*) je keř, který vytváří souvislý vrbový metlovitý porost o výšce až 5 m. Výborně prokořeňuje půdu až do hloubky cca 20 cm a vytváří tak vodní koberec, který se může stát úkrytem mnohá živočichů. Této rostlině se velmi dobře daří i při zatopení o délce šesti měsíců. [9]

Jedná se o biologickou formu protiabrazního opatření.

Schéma návrhu stabilizace vrbovým porostem je přílohou č. 16 této práce.



Obr. 3.8 Vizualizace stabilizace vrbovým porostem

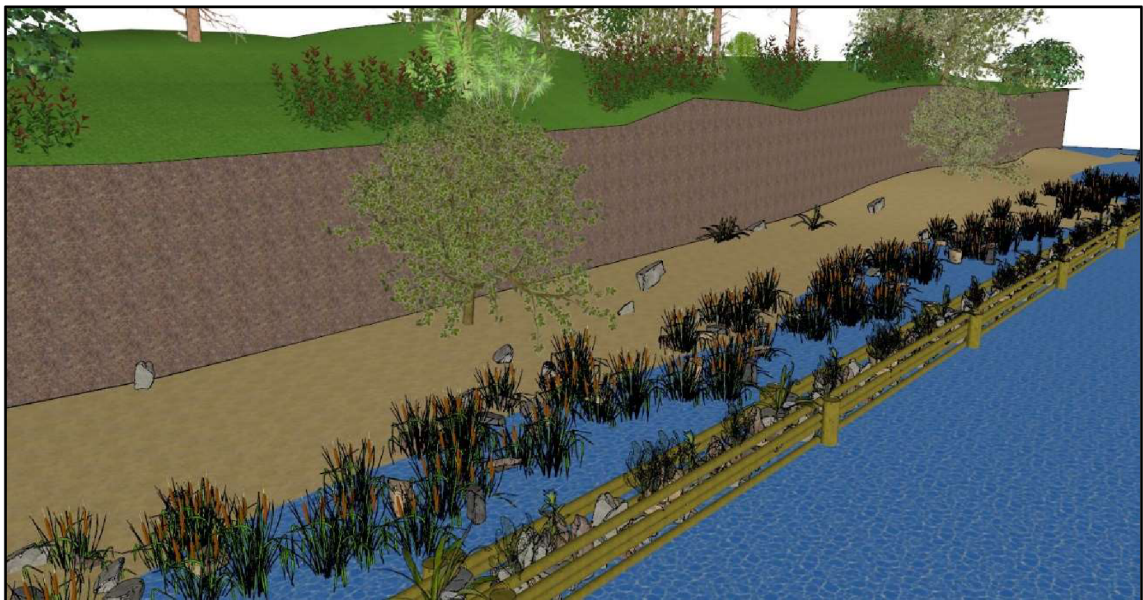
3.4.8 Vlnolam

Vlnolamy patří mezi aktivní ochranu, která chrání břeh před působením účinku vln.

Základem navrženého vlnolamu jsou dřevěné kůly ve dvou řadách o průměru 200 mm zabité v zemi ve vzdálenosti cca 5,0 m od paty abrazního srubu. Prostor mezi těmito kůly je vyplněn kamenným záhozem o velikosti 50-200 mm. Tento kamenný zához zde bude držet záplet z vrbových prutů. Horní část vlnolamu může být oživena vrbovými řízků. V prostoru mezi abrazním srubem a vlnolamem budou vysázeny rákosy.

Jedná se o biotechnickou formu opevnění břehu.

Schéma návrhu vlnolamu je přílohou č. 17 této práce.



Obr. 3.9 Vizualizace vlnolamu

3.5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Náklady na ochranu břehu před abrazií jsou zpracovány pro každou variantu. Výpočet nákladu je vypočítán na konkrétní profil ve výkresu, a to na délku 1 bm. Do výpočtu byly započítány pouze náklady na základní materiál a výkopové práce. Nebyly zde započítány náklady na dopravu, využití další mechanizace a lidských zdrojů. Ve výpočtu ceny se neuvažuje o využití místních materiálů. Ceny materiálů byly převzaty dle aktuální nabídky dostupné na internetových stránkách dodavatelů a jsou uvedeny včetně DPH. [48, 49, 50, 51, 52, 53, 54]

Monolitická opěrná zeď

| | |
|--|-------------------------|
| Vodostavební beton C 25/30 XC2, včetně výztuže | 2 330 Kč/m ³ |
| Přibližná cena za 1 m ³ zemních prací | 450 Kč |
| Podsyp základu | 360 Kč/m ³ |
| Kamenný stabilizační pohoz | 600 Kč/m ³ |
| <hr/> | |
| Potřeba betonu | 12,28 m ³ |
| Množství zemních prací | 12,95 m ³ |
| Podsyp základů | 1,02 m ³ |
| Kamenný stabilizační pohoz | 2,22 m ³ |
| <hr/> | |
| Celková cena za 1 bm monolitické opěrné zdi | 36 140 Kč |

Gabionová zeď

| | |
|--|------------------------|
| Gabionový koš 1,5x1,0x1,0 | 2 516 Kč/ks |
| Lomové kamenivo frakce 50 – 200 mm | 458 Kč/ m ³ |
| Přibližná cena za 1 m ³ zemních prací | 450 Kč |
| <hr/> | |
| Počet gabionových košů | 13 Ks |
| Množství kamene | 19,5 m ³ |
| Množství zemních prací | 10,5 m ³ |
| <hr/> | |
| Celková cena za 1 bm gabionové zdi | 46 364 Kč |

Dřevěné kulatiny – verze 1

| | |
|---|---------------------|
| Dřevěná kulatina Ø 200 mm, dl. 4 m | 586 Kč/ks |
| Dřevěná kulatina Ø 300 mm, dl. 2,5 m | 720 Kč/ks |
| Přibližná cena za 1 m ³ zemních prací | 450 Kč |
| Počet dřevěných kulatin Ø 200 mm | 2 ks |
| Počet dřevěných kulatin Ø 300 mm | 1 ks |
| Množství zemních prací | 30,8 m ³ |
| Celková cena za 1 bm konstrukce z dřevěných kulatin | 15 752 Kč |

Dřevěné kulatiny – verze 2

| | |
|---|---------------------|
| Dřevěná kulatina Ø 200 mm, dl. 4 m | 586 Kč/ks |
| Dřevěná kulatina Ø 300 mm, dl. 2 m | 720 Kč/ks |
| Přibližná cena za 1 m ³ zemních prací | 450 Kč |
| Počet dřevěných kulatin Ø 200 mm | 2 ks |
| Počet dřevěných kulatin Ø 300 mm | 1 ks |
| Množství zemních prací | 21,4 m ³ |
| Celková cena za 1 bm konstrukce z dřevěných kulatin | 11 522 Kč |

Stabilizace lomovým kamenivem

| | |
|--|-----------------------|
| Lomový kámen 200-300 kg | 600 Kč/m ³ |
| Přibližná cena za 1 m ³ zemních prací | 450 Kč |
| Množství lomového kamene | 2,0 m ³ |
| Množství zemních prací | 2,0 m ³ |
| Celková cena za 1 bm stabilizace lomovým kamenivem | 2 100 Kč |

Kamenná stabilizační pata

| | |
|--|------------------------|
| Lomový kámen do 200 kg | 600 Kč/ m ³ |
| Přibližná cena za 1 m ³ zemních prací | 450 Kč |
| Množství lomového kamene | 6,2 m ³ |
| Množství zemních prací | 10,4 m ³ |
| Celková cena za 1 bm kamenné stabilizační paty | 8 400 Kč |

Stabilizace vrbovým porostem

| | |
|---|----------|
| 1 rostlina <i>Salix fluviatilis</i> | 20 Kč/ks |
| Množství <i>Salix fluviatilis</i> | 5 ks/m |
| Celková cena za 1 bm výsadby <i>Salix fluviatilis</i> | 100 Kč |

Vlnolam

| | |
|------------------------------------|-----------------------|
| Cena rákosu | 10 Kč/ks |
| Kamenný zához | 460 Kč/m ³ |
| Dřevěná kulatina Ø 200 mm, dl. 4 m | 586 Kč/ks |
| Počet rákosu | 4 ks/m |
| Množství kamenného záhozu | 1,7 m ³ |
| Počet dřevěných kulatin | 1 ks/m |
| Celková cena za 1 bm vlnolamu | 1 408 Kč |

Ceny navrženého protiabrazního opatření se pohybují od 100 Kč až po téměř 50 000 Kč za bm konstrukce. Jako nejlevnější opatření se jeví stabilizace vrbovým porostem, která vychází zhruba na 100 Kč za bm. Dalším výhodným opatřením je vlnolam, jehož 1 bm vychází okolo 1 400 Kč a vzápětí stabilizace lomovým kamenivem za cenu okolo 2 100 Kč za 1 bm. Konstrukce, která je v tomto případě nejdražší, je opěrná zeď z gabionových košů a také monolitická opěrná zeď.

Při volbě protiabrazního opatření je potřeba brát v úvahu, jaký majetek bude konkrétní opatření chránit – zda se vysoké náklady konstrukce vyplatí v závislosti na ochráněném majetku nebo zda je vhodnější zvolit opatření, které bude mít nižší pořizovací náklady. Je nutné také přihlídnout k aktuální situaci využití území a zda je možné konkrétní opatření realizovat.

4 HYDROTECHNICKÉ VÝPOČTY

4.1 STANOVENÍ NEJČETNĚJŠÍ HLADINY $M_{N_{MAX}}$ [1]

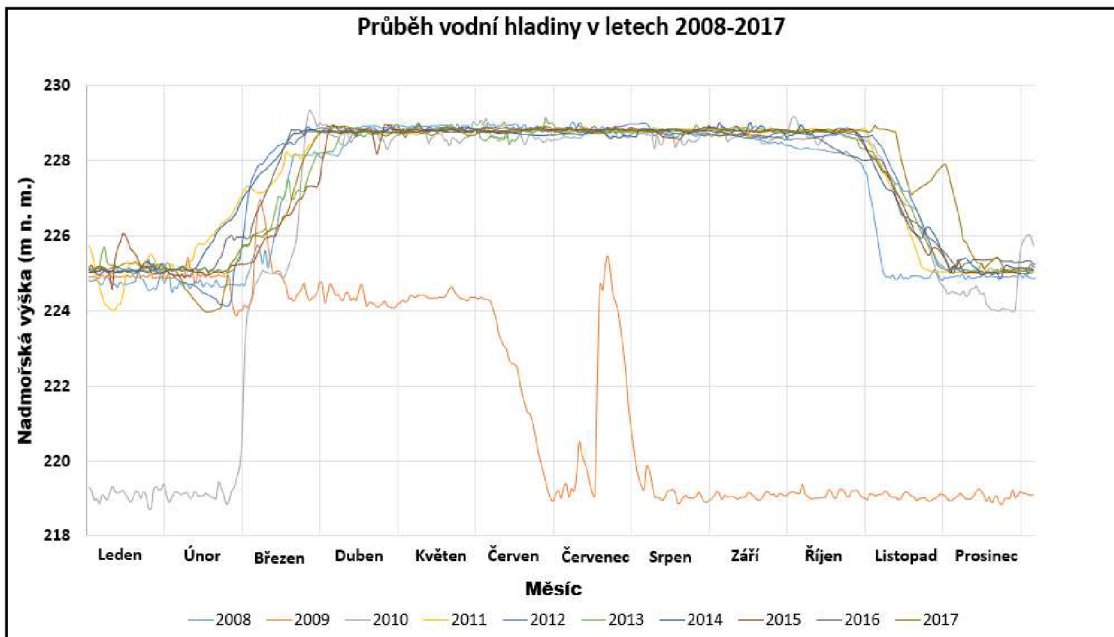
Pro sestavení diagramu četnosti hladin je potřeba shromáždit měření nadmořských výšek hladin za co nejdelší období. Ideální doba tohoto měření je alespoň 5-10 let. Dle zkušeností získaných dlouhodobým měřením a zpracováním naměřených výsledků [J. Linhart 1954], [B.A.Pyš kyn 1962], [S. Kratochvil 1969], [Lukáč M, Abaffy D. 1980], [Šlezinger 1989-1999] bylo prokázáno, že pravděpodobný počátek vzniku abraze se může projevit v blízkosti maximální hladiny nádrže. Pro určení počátku vzniku abraze je tedy podstatné určit maximální hladinu, která se ve sledovaném období vyskytuje nejčastěji.

Nejčtenější hladina $M_{n_{max}}$ se určí pomocí diagramu četnosti hladin v nádrži. Pro sestavení tohoto diagramu je potřebné dodržet následující postup:

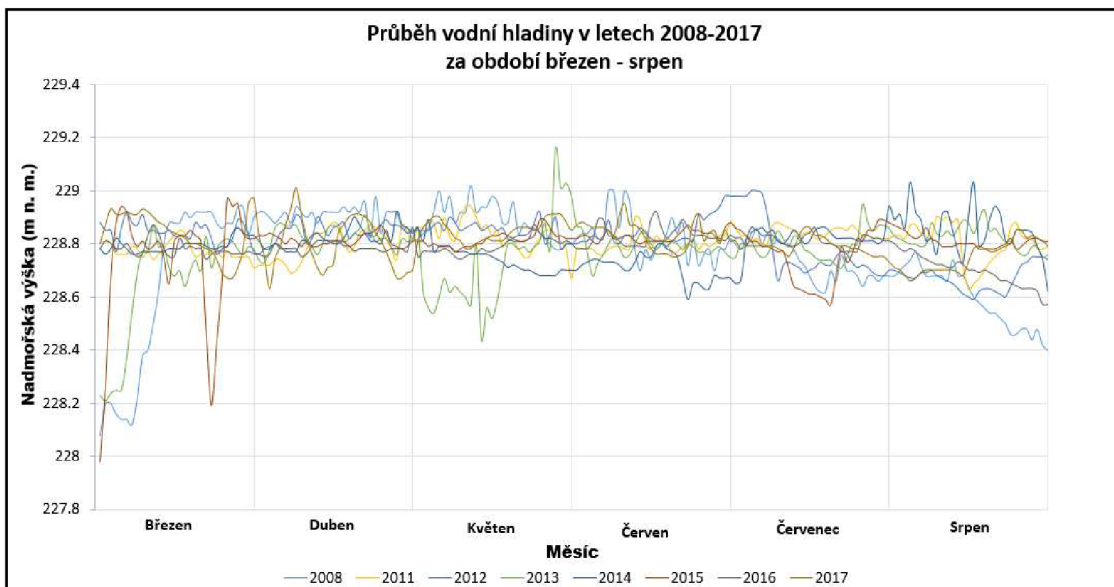
1. Shromáždění dat z denního měření úrovně hladiny za co nejdelší období. Je potřebné získat data alespoň za období 5, 10 či více let. Musíme brát v potaz typ nádrže.
2. Vynesení histogramů četnosti výskytu hladin za sledované období v jednotlivých letech.
3. Dále je potřeba si specifikovat pojem „rozhodující období“. Toto období se nejvhodněji určuje z předem sestrojeného grafu, který zobrazuje průběh hladin v jednotlivých letech. Zde vyčteme období setrvalých nejvyšších vodních stavů a stanovíme nejnižší a nevyšší hladinu ohraničující toto období.
4. Najdeme intervaly s nejčtenějším výskytem sledovaných hladin. Tyto intervaly jsou pak rozhodující závěrečném vyhodnocení četnosti výskytu za sledované období.
5. Najdeme střední hodnotu intervalu s nejčastějším výskytem hladiny. Tato hodnota se nazývá nejčtenější hladinou $M_{n_{max}}$.

Pro stanovení nejčtenější hladiny v této diplomové práci byla použita data poskytnutá společností Povodí Moravy, s.p. za sledované období 1. 1. 2008 – 31. 12. 2017, tedy období deseti let.

4.1.1 Průběh vodní hladiny ve sledovaném období



Graf 4.1 Průběh hladiny v údolní nádrži Brno za období 2008-2017



Graf 4.2 Průběh vodní hladiny v letech 2008-2018 v měsících březen-srpen*

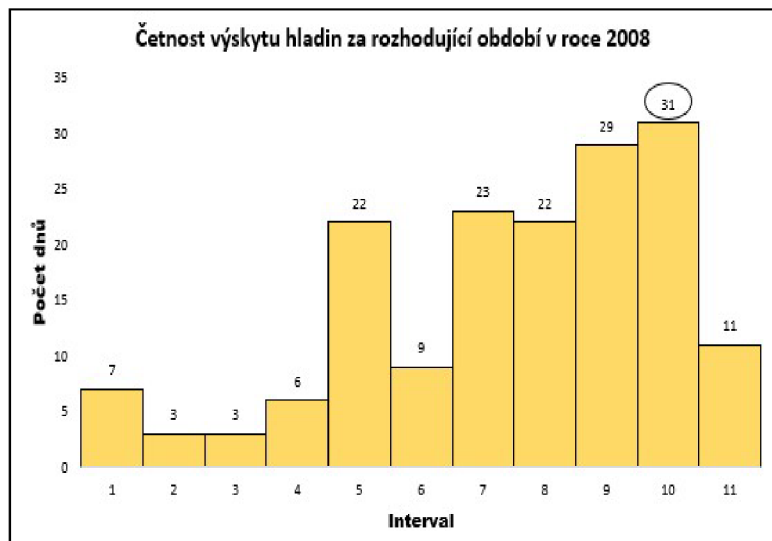
*Pro lepší přehlednost byly z grafu vyřazeny roky 2009 a 2010 z důvodu velké odlišnosti průběhu hladin. Tento průběh je zobrazen v grafu 1 – Průběh hladin v nádrži Brno v období 2008-2017.

4.1.2 Četnost výskytu hladin ve sledovaném období

Rok 2008

Tab. 4.1 Intervaly a četnosti hladin v roce 2008

| I | Interval m n. m. | Četnost |
|----|---------------------|---------|
| - | m n. m. | - |
| 1 | 228.46 - 228.5 | 7 |
| 2 | 228.51 - 228.55 | 3 |
| 3 | 228.56 - 228.6 | 3 |
| 4 | 228.61 - 228.65 | 6 |
| 5 | 228.66 - 228.7 | 22 |
| 6 | 228.71 - 228.75 | 9 |
| 7 | 208.76 - 228.8 | 23 |
| 8 | 228.81 - 228.85 | 22 |
| 9 | 228.86 - 228.9 | 29 |
| 10 | 228.91 - 228.95 | 31 |
| 11 | 228.96 - 229.0 | 11 |



Graf 4.3 Četnost hladin za rozhodující období v roce 2008

Rok 2009

Tab. 4.2 Intervaly a četnosti hladin v roce 2009

| I | Interval m n. m. | Četnost |
|----|---------------------|---------|
| - | m n. m. | - |
| 1 | 228.46 - 228.5 | 0 |
| 2 | 228.51 - 228.55 | 0 |
| 3 | 228.56 - 228.6 | 0 |
| 4 | 228.61 - 228.65 | 0 |
| 5 | 228.66 - 228.7 | 0 |
| 6 | 228.71 - 228.75 | 0 |
| 7 | 208.76 - 228.8 | 0 |
| 8 | 228.81 - 228.85 | 0 |
| 9 | 228.86 - 228.9 | 0 |
| 10 | 228.91 - 228.95 | 0 |
| 11 | 228.96 - 229.0 | 0 |



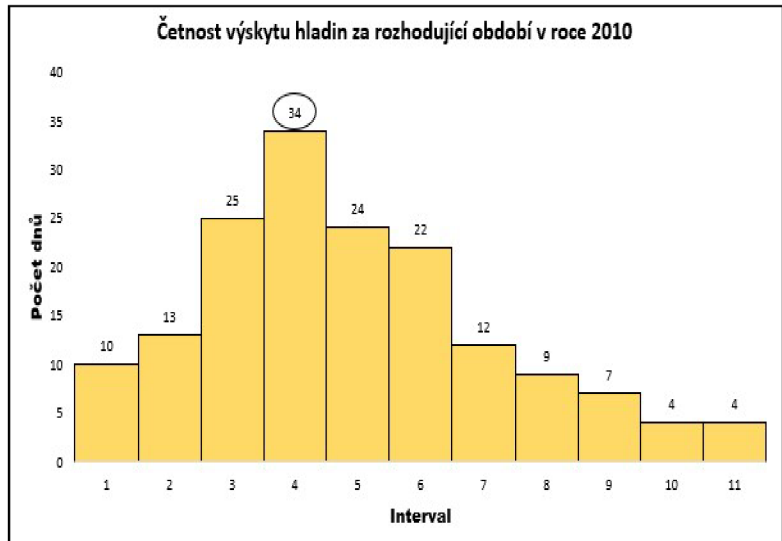
Graf 4.4 Četnost hladin za rozhodující období v roce 2009

Z důvodu velmi nízké hladiny nebyl rok 2009 do výpočtu zařazen. Hladina vody se v rozhodujícím období pohybovala nejčastěji v intervalu 224,2 – 225,0 m n. m. Ve sledovaném intervalu se hladina vody nepohybovala ani jednou.

Rok 2010

Tab. 4.3 Intervaly a četnosti hladin v roce 2010

| I | Interval | Četnost |
|----|-----------------|---------|
| - | m n. m. | - |
| 1 | 228.46 - 228.5 | 10 |
| 2 | 228.51 - 228.55 | 13 |
| 3 | 228.56 - 228.6 | 25 |
| 4 | 228.61 - 228.65 | 34 |
| 5 | 228.66 - 228.7 | 24 |
| 6 | 228.71 - 228.75 | 22 |
| 7 | 208.76 - 228.8 | 12 |
| 8 | 228.81 - 228.85 | 9 |
| 9 | 228.86 - 228.9 | 7 |
| 10 | 228.91 - 228.95 | 4 |
| 11 | 228.96 - 229.0 | 4 |

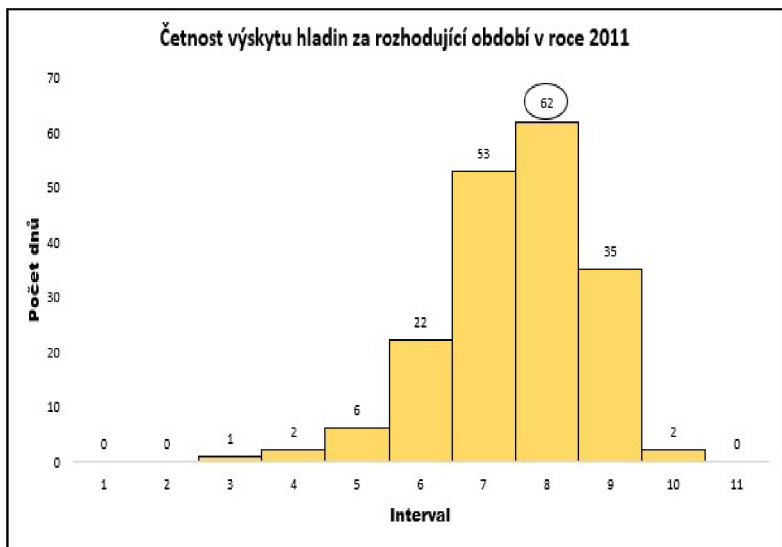


Graf 4.5 Četnost hladin za rozhodující období v roce 2010

Rok 2011

Tab. 4.4 Intervaly a četnosti hladin v roce 2011

| I | Interval | Četnost |
|----|-----------------|---------|
| - | m n. m. | - |
| 1 | 228.46 - 228.5 | 0 |
| 2 | 228.51 - 228.55 | 0 |
| 3 | 228.56 - 228.6 | 1 |
| 4 | 228.61 - 228.65 | 2 |
| 5 | 228.66 - 228.7 | 6 |
| 6 | 228.71 - 228.75 | 22 |
| 7 | 208.76 - 228.8 | 53 |
| 8 | 228.81 - 228.85 | 62 |
| 9 | 228.86 - 228.9 | 35 |
| 10 | 228.91 - 228.95 | 2 |
| 11 | 228.96 - 229.0 | 0 |

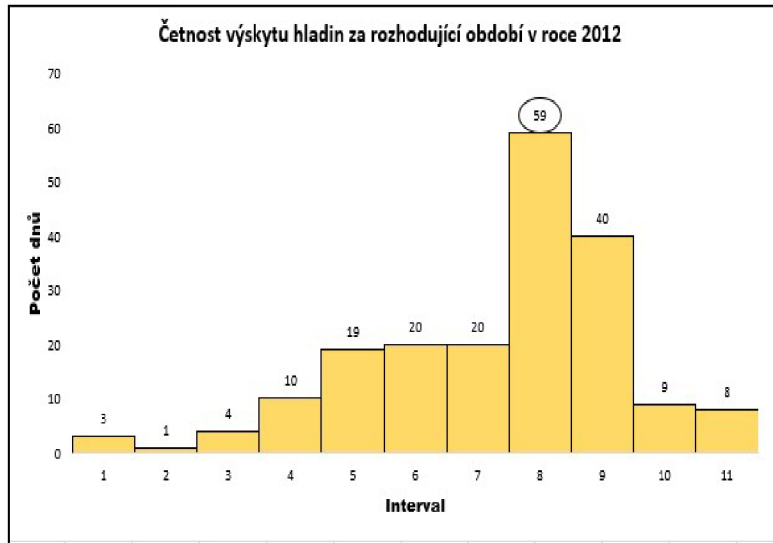


Graf 4.6 Četnost hladin za rozhodující období v roce 2011

Rok 2012

Tab. 4.5 Intervaly a četnosti hladin v roce 2012

| I | Interval | Četnost |
|----|-----------------|---------|
| - | m n. m. | - |
| 1 | 228.46 - 228.5 | 3 |
| 2 | 228.51 - 228.55 | 1 |
| 3 | 228.56 - 228.6 | 4 |
| 4 | 228.61 - 228.65 | 10 |
| 5 | 228.66 - 228.7 | 19 |
| 6 | 228.71 - 228.75 | 20 |
| 7 | 208.76 - 228.8 | 20 |
| 8 | 228.81 - 228.85 | 59 |
| 9 | 228.86 - 228.9 | 40 |
| 10 | 228.91 - 228.95 | 9 |
| 11 | 228.96 - 229.0 | 8 |

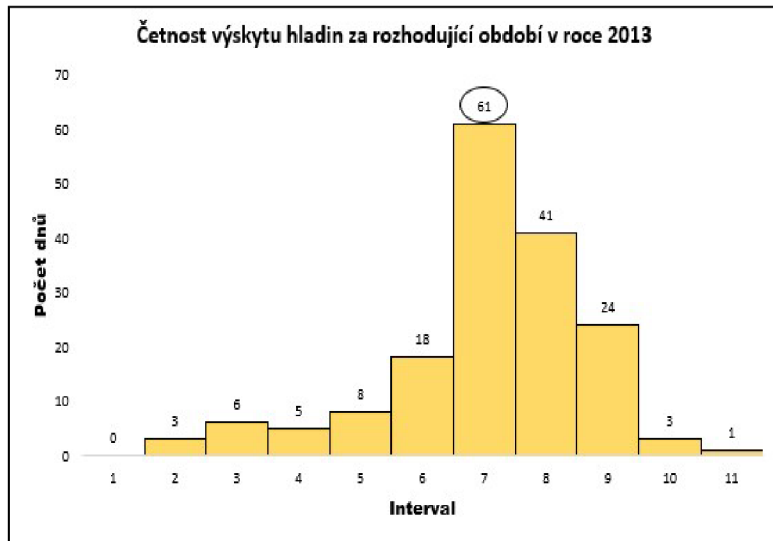


Graf 4.7 Četnost hladin za rozhodující období v roce 2012

Rok 2013

Tab. 4.6 Intervaly a četnosti hladin v roce 2013

| I | Interval | Četnost |
|----|-----------------|---------|
| - | m n. m. | - |
| 1 | 228.46 - 228.5 | 0 |
| 2 | 228.51 - 228.55 | 3 |
| 3 | 228.56 - 228.6 | 6 |
| 4 | 228.61 - 228.65 | 5 |
| 5 | 228.66 - 228.7 | 8 |
| 6 | 228.71 - 228.75 | 18 |
| 7 | 208.76 - 228.8 | 61 |
| 8 | 228.81 - 228.85 | 41 |
| 9 | 228.86 - 228.9 | 24 |
| 10 | 228.91 - 228.95 | 3 |
| 11 | 228.96 - 229.0 | 1 |

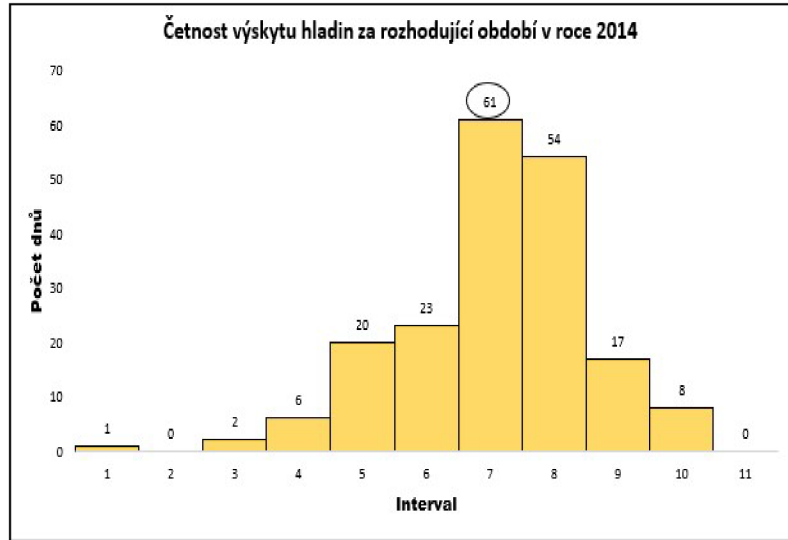


Graf 4.8 Četnost hladin za rozhodující období v roce 2013

Rok 2014

Tab. 4.7 Intervaly a četnosti hladin v roce 2014

| I | Interval | Četnost |
|----|-----------------|---------|
| - | m n. m. | - |
| 1 | 228.46 - 228.5 | 1 |
| 2 | 228.51 - 228.55 | 0 |
| 3 | 228.56 - 228.6 | 2 |
| 4 | 228.61 - 228.65 | 6 |
| 5 | 228.66 - 228.7 | 20 |
| 6 | 228.71 - 228.75 | 23 |
| 7 | 208.76 - 228.8 | 61 |
| 8 | 228.81 - 228.85 | 54 |
| 9 | 228.86 - 228.9 | 17 |
| 10 | 228.91 - 228.95 | 8 |
| 11 | 228.96 - 229.0 | 0 |

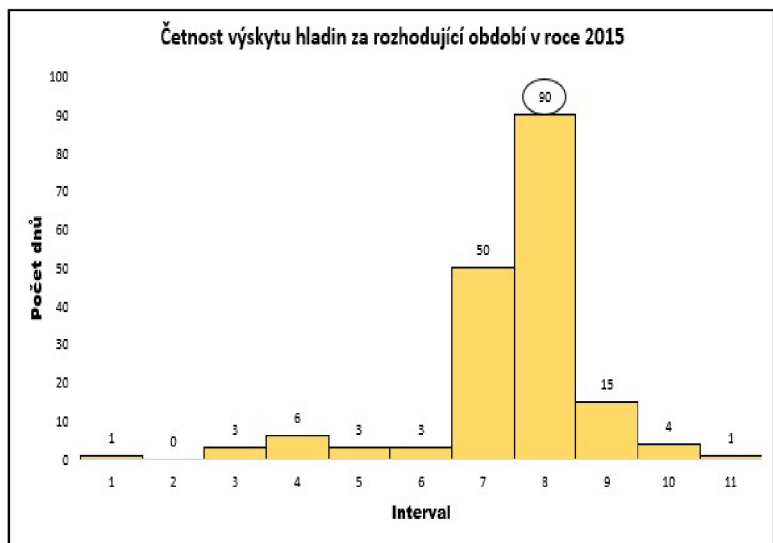


Graf 4.9 Četnost hladin za rozhodující období v roce 2014

Rok 2015

Tab. 4.8 Intervaly a četnosti hladin v roce 2015

| I | Interval | Četnost |
|----|-----------------|---------|
| - | m n. m. | - |
| 1 | 228.46 - 228.5 | 1 |
| 2 | 228.51 - 228.55 | 0 |
| 3 | 228.56 - 228.6 | 3 |
| 4 | 228.61 - 228.65 | 6 |
| 5 | 228.66 - 228.7 | 3 |
| 6 | 228.71 - 228.75 | 3 |
| 7 | 208.76 - 228.8 | 50 |
| 8 | 228.81 - 228.85 | 90 |
| 9 | 228.86 - 228.9 | 15 |
| 10 | 228.91 - 228.95 | 4 |
| 11 | 228.96 - 229.0 | 1 |

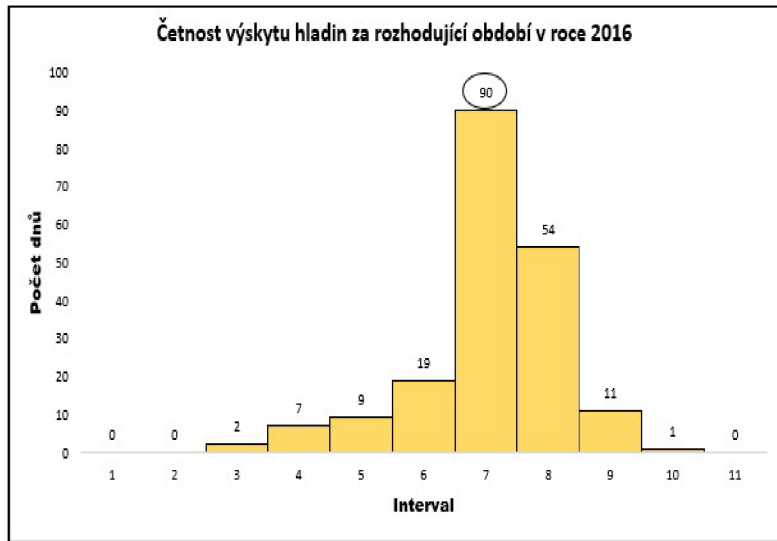


Graf 4.10 Četnost hladin za rozhodující období v roce 2015

Rok 2016

Tab. 4.9 Intervaly a četnosti hladin v roce 2016

| I | Interval | Četnost |
|----|-----------------|---------|
| - | m n. m. | - |
| 1 | 228.46 - 228.5 | 0 |
| 2 | 228.51 - 228.55 | 0 |
| 3 | 228.56 - 228.6 | 2 |
| 4 | 228.61 - 228.65 | 7 |
| 5 | 228.66 - 228.7 | 9 |
| 6 | 228.71 - 228.75 | 19 |
| 7 | 208.76 - 228.8 | 90 |
| 8 | 228.81 - 228.85 | 54 |
| 9 | 228.86 - 228.9 | 11 |
| 10 | 228.91 - 228.95 | 1 |
| 11 | 228.96 - 229.0 | 0 |

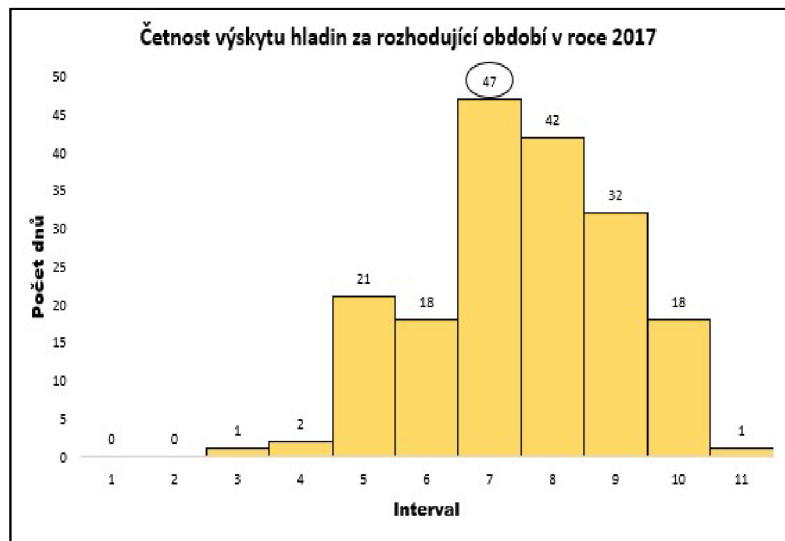


Graf 4.11 Četnost hladin za rozhodující období v roce 2016

Rok 2017

Tab. 4.10 Intervaly a četnosti hladin v roce 2017

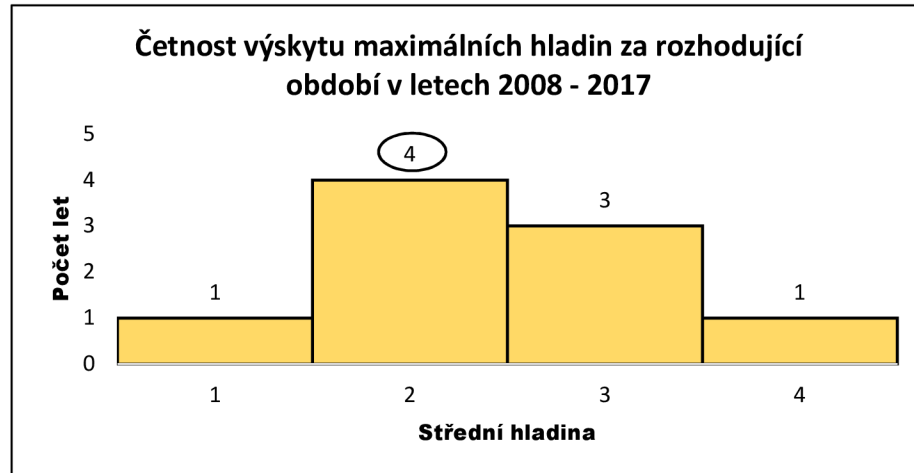
| I | Interval | Četnost |
|----|-----------------|---------|
| - | m n. m. | - |
| 1 | 228.46 - 228.5 | 0 |
| 2 | 228.51 - 228.55 | 0 |
| 3 | 228.56 - 228.6 | 1 |
| 4 | 228.61 - 228.65 | 2 |
| 5 | 228.66 - 228.7 | 21 |
| 6 | 228.71 - 228.75 | 18 |
| 7 | 208.76 - 228.8 | 47 |
| 8 | 228.81 - 228.85 | 42 |
| 9 | 228.86 - 228.9 | 32 |
| 10 | 228.91 - 228.95 | 18 |
| 11 | 228.96 - 229.0 | 1 |



Graf 4.12 Četnost hladin za rozhodující období v roce 2017

Tab. 4.11 Přiblížení intervalu

| I | Interval | Střední hladina | Četnost |
|---|-----------------|-----------------|---------|
| - | m n. m. | - | - |
| 1 | 228.61 - 228.65 | 228.63 | 1 |
| 2 | 208.76 - 228.8 | 228.78 | 4 |
| 3 | 228.81 - 228.85 | 228.83 | 3 |
| 4 | 228.91 - 228.95 | 228.93 | 1 |



Graf 4.13 Četnost výskytu maximálních hladin za rozhodující období v letech 2008 - 2017

V rámci této práce bylo zpracováno celkem 3651 hodnot. Tyto hodnoty udávají výšku hladiny v období 1.01.2008 – 31.12.2017 v intervalu 223,97 – 229,33 m n. m. Po vynesení grafu, který zobrazuje průběh hladin v jednotlivých dnech během celého roku, bylo určeno rozhodující období. Rozhodující období bylo vymezeno na šest měsíců, konkrétně březen-srpen, kdy se hladina nádrže pohybovala nejčastěji v intervalu 228,46 – 229,2 m n. m. V tomto období byl pomocí diagramu četnosti hladin stanoven interval hladin, který se v daném roce vyskytuje nejčastěji. Z těchto intervalu pak byla vybrána střední hladina, která se ve sledovaném období vyskytovala nejčastěji.

Na údolní nádrži Brno se nejčastěji vyskytuje hladina 228,78 m n. m. Tato hladina byla tedy zvolena jako nejčetnější hladina $Mn_{max} = 228,78 \text{ m n. m.}$

Nejvyšší a nejnižší hladiny v letech v letech 2008–2017

Tab. 4.12 Tabulka nejvyšších a nejnižších hladin v letech 2008-2017

| Rok | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 |
|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Minimální hladina [m n. m.] | 224.50 | 218.86 | 218.72 | 224.02 | 224.12 | 224.96 | 224.89 | 224.59 | 224.93 | 223.97 |
| Maximální hladina [m n. m.] | 229.02 | 226.96 | 229.33 | 228.94 | 229.00 | 229.16 | 229.03 | 228.97 | 228.92 | 229.01 |

4.2 STANOVENÍ NÁVRHOVÉ VÝŠKY VLNY

Nejčastěji se vyskytující vítr na údolní nádrži Brno je vítr jihovýchodní, proto byl zvolen jako výchozí pro následující výpočet. Rychlost tohoto větru se dle kap. 1.12 pohybuje v intervalu 10 až 20 ms⁻¹, do výpočtu byla zavedená hodnota w_{10v} = 15 ms⁻¹. [1]

Při stanovení návrhové výšky vlny je nutné určit efektivní délku rozběhu větru L_{ef}.

4.2.1 Určení efektivní délky rozběhu větru – L_{ef} [10,11]

Výpočet byl proveden dle ČSN 75 0255

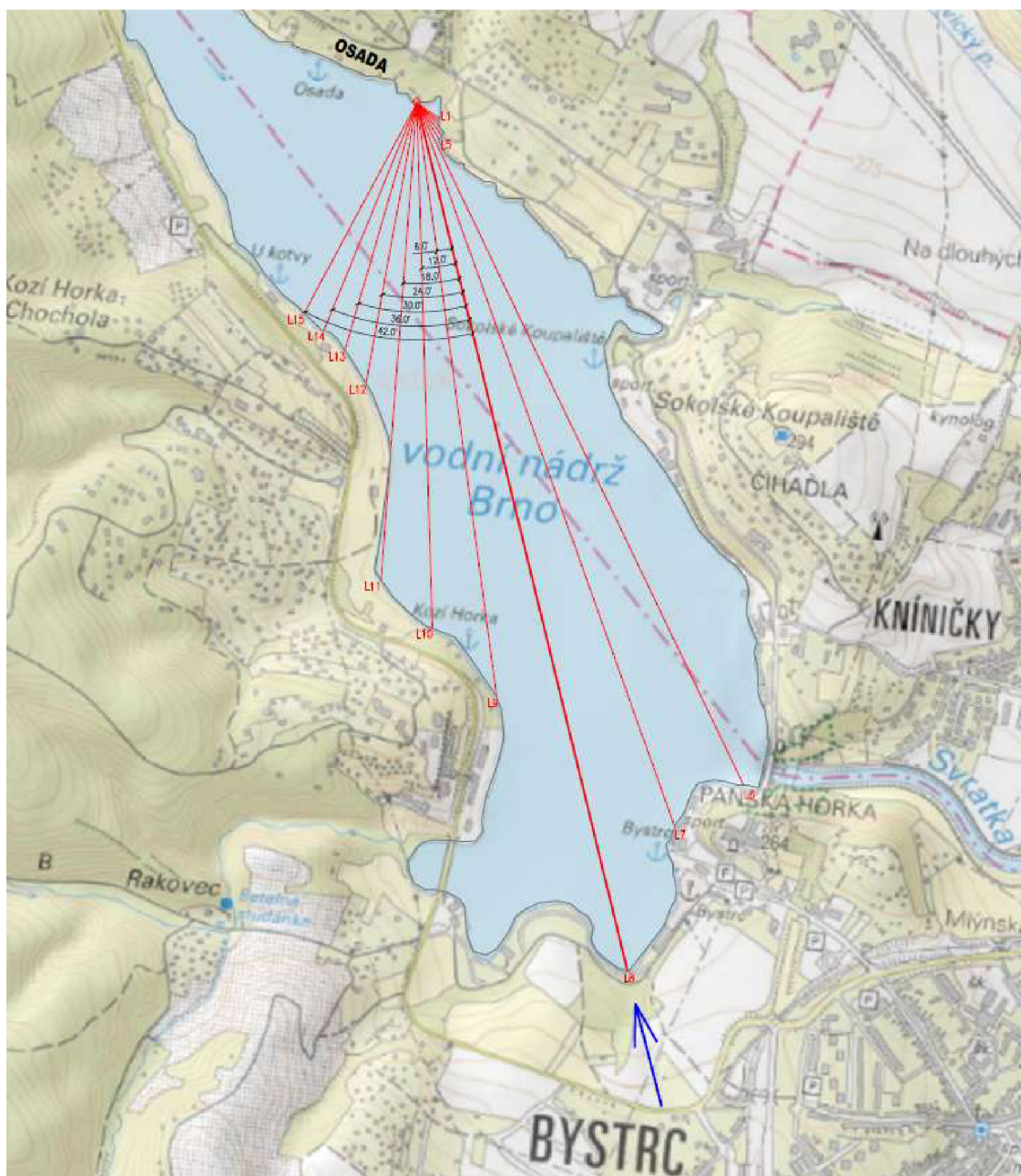
Při stanovení efektivní délky rozběhu větru vycházíme z předpokladu, že vítr vane v hlavním směru a zhruba v úhlu 45° na obě strany. Efektivní délku rozběhu větru pak stanovíme vynesemím 15 radiál, vycházejících ze sledovaného bodu v intervalech 6° od střední radiály. Střední radiála je totožná s hlavním směrem větru.

$$L_{ef} = \frac{\sum_{i=1}^{15} L_i \times \cos^2 \varphi_i}{\sum_{i=1}^{15} \cos \varphi_i} \quad (4.1)$$

L_i.....délka i-té radiály (m),

Φ.....úhel, který svírá i-tá radiála s hlavním směrem větru (6, 12, 18, 24, 30, 36, 42°).

Schéma pro výpočet délky radiál větru



Obr. 4.1 Schéma určení délky radiál (příloha č. 2)

Tab. 4.13 Tabulka délek a úhlu radiál pro JV vítr

| | L_i | φ_i | $\cos \varphi_i$ | $L_i \cdot \cos^2 \varphi_i$ |
|----------------------|---------------|-------------|------------------|------------------------------|
| | [m] | [°] | [-] | [-] |
| L ₁ | 62.0 | 42 | 0.743 | 34.240 |
| L ₂ | 64.6 | 36 | 0.809 | 42.281 |
| L ₃ | 73.1 | 30 | 0.866 | 54.825 |
| L ₄ | 93.5 | 24 | 0.914 | 78.032 |
| L ₅ | 96.8 | 18 | 0.951 | 87.556 |
| L ₆ | 1720.7 | 12 | 0.978 | 1646.319 |
| L ₇ | 1746.9 | 6 | 0.995 | 1727.813 |
| L₈ | 2030.5 | 0 | 1.000 | 2030.540 |
| L ₉ | 1362.0 | 6 | 0.995 | 1347.119 |
| L ₁₀ | 1194.9 | 12 | 0.978 | 1143.248 |
| L ₁₁ | 1086.9 | 18 | 0.951 | 983.110 |
| L ₁₂ | 648.0 | 24 | 0.914 | 540.798 |
| L ₁₃ | 584.9 | 30 | 0.866 | 438.675 |
| L ₁₄ | 558.7 | 36 | 0.809 | 365.674 |
| L ₁₅ | 542.2 | 42 | 0.743 | 299.438 |
| | | Σ | 13.511 | 10819.668 |

Dosazení do vzorce:

$$L_{ef} = \frac{\sum_{i=1}^{15} L_i \times \cos^2 \varphi_i}{\sum_{i=1}^{15} \cos \varphi_i} = \frac{10\,819,668}{13,511} = 800,809 \text{ m} \quad (4.2)$$

Efektivní délka rozběhu větru je $L_{ef} = 800,81 \text{ m}$.

Skutečná rozběhová dráha větru v přímém směru je $L = 2030,54 \text{ m}$.

Po porovnání těchto hodnot plyne, že $L_{ef} < L$ tedy $800,81 \text{ m} < 2030,54 \text{ m}$. Do dalších výpočtů bude tedy zahrnuta skutečná délka rozběhové dráhy větru $L = 2030,54 \text{ m}$.

4.2.2 Stanovení návrhové výšky vlny [10]

Návrhovou výšku vlny h_n stanovíme ze vztahu:

$$h_n = 0,0026 \cdot \frac{W_{10}^{1,06} \cdot L^{0,47}}{g^{0,53}} \quad (4.3)$$

W_{10} návrhová rychlost větru (m/s),

Lskutečná délka rozběhové dráhy větru (m),

gtíhové zrychlení (m/s^2).

Vstupní hodnoty

Návrhová rychlost JV větru pro údolní nádrž Brno

$$W_{10} = 15 \text{ m/s}$$

Skutečná délka rozběhové dráhy větru

$$L = 2030,54 \text{ m}$$

Tíhové zrychlení

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$h_n = 0,0026 \cdot \frac{15^{1,06} \cdot 2030,54^{0,47}}{9,81^{0,53}} = 0,49048 \text{ m} \quad (4.4)$$

Výška návrhové vlny je $h_n = 0,49 \text{ m}$.

4.2.3 Určení hodnoty „nahnání“ hladiny větrem [10]

„Nahnání“ vody ve směru větru je mnohdy nepatrné, projevuje se zvýšením úrovně hladiny v řádech milimetrů až v jednotkách centimetrů. Toto „nahnání“ je způsobeno díky mírnému hromadění vody v oblasti protilehlých břehů nádrže ve směru větru.

Hodnotu nachýlení hladiny stanovíme ze vztahu:

$$\Delta H = k_w \cdot \frac{w_{10}^2 \cdot L_{ef}}{g \cdot H} \cdot \cos \delta \quad (4.5)$$

k_wsoučinitel závislý na rychlosti větru – pro $w_{10v} < 20 \text{ m/s}^{-1}$ platí $2,1 \cdot 10^{-6}$,

w_{10v} rychlost větru ve výši 10 m nad hladinou vody (m/s),

L_{ef}efektivní délka rozběhu větru (je-li $L_{ef} < L$, bereme místo L_{ef} hodnotu L – skutečnou délku rozběhu větru (m),

gtíhové zrychlení (m/s^2),

H hloubka vody v nádrži (m),

δ úhel mezi podélnou osou nádrže a směrem větru ($^\circ$).

Vstupní hodnoty

| | |
|--|---------------------------|
| Součinitel závislý na rychlosti větru | $k_w = 2,1 \cdot 10^{-6}$ |
| Návrhová rychlost JV větru pro údolní nádrž Brno | $W_{10} = 15 \text{ m/s}$ |
| Skutečná délka rozběhu větru | $L = 2030,54 \text{ m}$ |
| Tíhové zrychlení | $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ |
| Hloubka vody v nádrži | $H = 10 \text{ m}$ |
| Úhel mezi podélnou osou nádrže a směrem větru | $\delta = 23,7^\circ$ |

$$\Delta H = 0,0000021 \cdot \frac{15^2 \cdot 2030,54}{9,81 \cdot 10} \cdot \cos 23,7 = 0,00896 \text{ m} \quad (4.7)$$

Výška „nahnání“ hladiny větrem je $\Delta H = 0,00896 \text{ m}$.

4.2.4 Určení střednice vlny h_0 [10]

Za předpokladu sinusového profilu vlny můžeme střednici vlny ztotožnit s hladinou v klidu. V tomto případě neuvažujeme o žádném převýšení oproti této hladině. Hodnota střednice vlny je tedy $h_0 = 0 \text{ m}$.

4.2.5 Stanovení výšky paty nejvýše položeného abrazního srubu V_a [10]

Aby byla zajištěna stabilita břehu, je nutné určit výšku potenciální nebo již vzniklé paty abrazního srubu. V této oblasti by mělo být provedeno nejsilnější opevnění břehů.

K určení paty nejvýše položeného abrazního srubu je potřeba znalost především nejčtetnější hladiny v nádrži a výška návrhové vlny. Dle předpokládané teorie se pata abrazního srubu bude posunovat až k abrazní terminantě, kde se ve svém postupu zastaví. Břeh před touto abrazní terminantou bude dlouhodobě porušován a erodován do té doby, než se sklon svahu ustálí v závislosti na úhlu vnitřního tření zeminy.

Pata nejvýše položeného abrazního srubu určíme ze vztahu:

$$V_a = Mn_{max} + \frac{h_n}{2} + h_0 + \Delta H \quad (4.8)$$

V_aNadmořská výška paty abrazního srubu (m n. m.)

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

$h_n/2$poloviční výška návrhové vlny (m)

h_0střednice vlny (m)

ΔHvýška nahnání hladiny větrem (m)

Vstupní hodnoty

| | |
|-------------------------------|------------------------------|
| Nejčtenější hladina | $Mn_{\max} = 228,78$ m n. m. |
| Poloviční výška návrhové vlny | $h_n/2 = 0,49/2$ m |
| Střednice vlny | $h_0 = 0$ m |
| Výška nahnání hladiny větrem | $\Delta H = 0,00896$ m |

$$V_a = 228,78 + \frac{0,49}{2} + 0 + 0,00896 = 229,034 \text{ m n. m.} \quad (4.9)$$

Pata nejdříve položeného abrazního srubu je $V_a = 229,034$ m n. m.

4.2.6 Stanovení sklonu abrazní plošiny a abrazní terminanty A_T a bodu maximalního ústupu B_T [10]

Sklon abrazní plošiny lze získat dvěma způsoby:

- Podrobným geodetickým zaměřením příčných profilů,
- Orientačně z grafu, stanovením sklonu abrazní plošiny dle Pyškina. Tento způsob lze použít pouze pro homogenní materiál.

V této práci byl získán sklon abrazní plošiny podrobným geodetickým zaměřením příčných profilů.

Ve spodní části svahu je břeh tvořen hrubými nestejnoprannými středně ulehlými vrstvami štěrku s příměsí písku. Hodnota $\varphi_1 = 40^\circ$. Zhruba ve výšce jednoho metru od paty abrazního srubu až téměř k horní hraně břehu se nachází sprašová hlína. Hodnota $\varphi_2 = 22^\circ$. Průsečík hodnoty úhlu vnitřního tření zeminy a terénu je přibližný bod ústupu břehové čáry B_T .

5 FOTODOKUMENTACE



Obr. 5.1 Rekreační objekt [foto: L. Skřížala, září 2018]



Obr. 5.2 Abrazní srub a stávající vegetace na břehu [foto: L. Skřížala, březen 2018]



Obr. 5.3 Rekreační objekt nad abrazním srubem [foto: L. Skřížala, březen 2018]



Obr. 5.4 Kaverna v patě abrazního srubu [foto: L. Skřížala, březen 2018]



Obr. 5.5 Rekreační objekty a pozvolný přístup k vodě [foto: L. Skřížala, březen 2018]



Obr. 5.6 Protiabrazní opatření provedené v minulosti [foto: L. Skřížala, březen 2018]



Obr. 5.7 Drátokamenná matrace [foto: L. Skřížala, březen 2018]



Obr. 5.8 Srovnání velikosti člověka a abrazního srubu [foto: L. Skřížala, březen 2018]

6 ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo navrhnutí stabilizace břehů na údolní nádrži Brno, konkrétně v oblasti „Osada“. Před návrhem opatření bylo nutné seznámit se s aktuálním stavem, a to pomocí osobních návštěv, během kterých byly břehy zaměřeny a byla vytvořena fotodokumentace.

Diplomová práce je členěna na průvodní zprávu, teorii vzniku abraze, technickou zprávu, hydrotechnické výpočty, fotodokumentaci a přílohovou část.

Obsahem průvodní zprávy je popis základních technických a správních údajů vodního díla, geologické a hydrologické údaje povodí řeky Svratky a údolní nádrže Brno, informace o průmyslu, lesnictví, požadavcích na odběr vody, lodní dopravě atd.

V části „teorie vzniku abraze“ je popsána základní teorie, která popisuje příčinu vzniku abraze, teorie k posouzení rozsahu abraze a druhy protiabrazního opatření.

V technické zprávě byla stručně popsána zájmová oblast a aktuální stav břehů v této oblasti. Dále zde bylo navrženo celkem osm možností protiabrazního opatření jako je například monolitická opěrná zeď, gabionová zeď, oživená kamenná rovnánina, vlnolam atd. Závěrem této zprávy je technicko-ekonomické zhodnocení navrženého opatření.

V hydrotechnických výpočtech byla určena nejčtenější hladina za sledované období 1. 1. 2008 – 31. 12. 2017 $M_{n_{max}} = 228,78$ m n. m., byla určena efektivní délka rozběhu větru $L_{ef} = 800,81$ m, byla určena výška návrhové vlny na $h_n = 0,49$ m a následně pak stanovena výška paty nejvýše položeného abrazního srubu $V_a = 229,034$ m n. m. Hydrotechnické výpočty jsou nezbytné pro určení prognózy ústupu břehové čáry B_T a předchází k určení správného protiabrazního opatření.

Obsahem fotodokumentace jsou fotografie vytvořené během návštěvy zájmové lokality.

V přílohové části jsou zpracované příčné řezy s vynesáním bodu maximálního ústupu B_T , situace s naznačením odhadovaného ústupu břehové čáry, schémata protiabrazního opatření a jejich vizualizace.

V diplomové práci bylo navrženo celkem osm způsobů protiabrazního opatření v zájmové lokalitě. Při volbě protiabrazního opatření je potřeba vzít v úvahu, jaký majetek bude konkrétní opatření chránit – zda se vysoké náklady konstrukce vyplatí v závislosti na ochráněném majetku nebo zda je vhodnější zvolit opatření, které bude mít nižší pořizovací náklady. Je nutné také přihlídnout k aktuální situaci využití území a zda je možné konkrétní opatření realizovat.

7 ZDROJE INFORMACÍ

7.1 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] ŠLEZINGR, Miloslav. *Břehová abraze: příspěvek k problematice zajištění stability břehů*. Brno: Zdeněk Novotný, 2003. ISBN 80-865-1075-1.
- [2] ŠLEZINGR, Miloslav. *Brněnská přehrada a lidé kolem ní*. Brno: Vysoké učení technické, 1998. ISBN 80-214-1127-9.
- [3] ČERMÁK, Miroslav. *Svratka: hydrologická studie*. Brno: Krajský národní výbor, 1950.
- [4] OLIVOVÁ, Lenka. *Tematický atlas Jihomoravského kraje*. 3. vydání. Brno: Jihomoravský kraj, 2017. ISBN 978-80-7393-471-2.
- [5] *Souhrnná zpráva o vývoji jakosti povrchových vod v povodí Moravy ve dvouletí 2016–2017*. Brno: Povodí Moravy, s.p., 2018.
- [6] FIALA, Petr, MARA, Robert, ed. *Lodní doprava na Brněnské přehradě 1946-2006*. Praha: Dopavní vydavatelství Malkus, 2006. ISBN 80-903-0129-0.
- [7] HOLÝ, Miloš. *Eroze a životní prostředí*. Praha: České vysoké učení technické, 1994. ISBN 80-010-1078-3.
- [8] NOVÁK, Ladislav, Marie IBLOVÁ a Václav ŠKOPEK. *Vegetace v úpravách vodních toků a nádrží*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1986. Ochrana životního prostředí.
- [9] ŠLEZINGR, Miloslav. *Základy projektové činnosti - obrazový přehled návrhů stabilizace břehů pomocí břehové armatury*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2013. ISBN 978-80-7375-833-2.
- [10] ŠLEZINGR, Miloslav. *Břehová abraze - možnosti stabilizace břehů: Bank erosion - possible ways of bank stabilization : monografie*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2011. Folia Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis. ISBN 978-80-7375-566-9.
- [11] Norma: ČSN 75 0255. *Výpočet účinků vln na stavby na vodních nádržích a zdržích*. Praha : Český normalizační institut, 1988. 32 s.

7.2 INTERNETOVÉ ZDROJE

- [12] *Internetová encyklopedie města Brna* [online]. 2018 [cit. 2018-12-10]. Dostupné z: https://encyklopedie.brna.cz/home-mmh/?acc=profil_domu&load=990
- [13] Informační leták VD Brno. *Povodí Moravy* [online]. Brno, 2012 [cit. 2018-12-11]. Dostupné z: <http://www.pmo.cz/cz/uzitecne/vodni-dila/brno/>
- [14] Brno Kníničky. *Skupina ČEZ* [online]. [cit. 2018-12-11]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektřiny/obnovitelne-zdroje/voda/brno-knínicky.html>
- [15] Významné řeky. *Povodí Moravy* [online]. Brno [cit. 2018-12-16]. Dostupné z: <http://www.pmo.cz/cz/uzitecne/vyznamne-vodni-toky/>
- [16] Stavby a průtoky na vodních tocích. *Povodí Moravy* [online]. Brno, 2018 [cit. 2018-12-17]. Dostupné z: <http://www.pmo.cz/portal/sap/cz/index.htm>
- [17] Protipovodňová opatření JMK 2007. *Jihomoravský kraj* [online]. [cit. 2018-12-17]. Dostupné z: https://www.kr-jihomoravsky.cz/archiv/ozp/protipovodnova_opatreni_jmk_2007/
- [18] Hladiny vody v nádržích. *Povodí Moravy* [online]. Brno, 2018 [cit. 2018-12-16]. Dostupné z: <http://www.pmo.cz/portal/nadrze/cz/index.htm>
- [19] *Boskovická brázda* [online]. 2018 [cit. 2018-12-16]. Dostupné z: <https://www.boskovickabrazda.cz/>
- [20] PECKA, Tomáš. Brněnská přehrada - Osada. *Geologické lokality* [online]. 2011 [cit. 2018-12-17]. Dostupné z: <http://lokality.geology.cz/3294>
- [21] *Geologická mapa 1:500 000* [online]. [cit. 2018-12-17]. Dostupné z: http://www.geology.cz/app/ciselniky/lokalizace/show_map.php?mapa=g500&y=599412&x=1159316&r=40000
- [22] Charakteristika zájmového území. *Moravský Krumlov SO ORP Moravský Krumlov* [online]. [cit. 2018-12-17]. Dostupné z: https://www.edpp.cz/orpmk_charakteristika-zajmoveho-uzemi/
- [23] Aktuální stav ledu na Brněnské přehradě. *Brněnská přehrada a okolí* [online]. Brno, 2018 [cit. 2018-12-17]. Dostupné z: <http://www.prygl.net/php/stav-ledu.php>
- [24] *Mapy.cz* [online]. [cit. 2018-12-17]. Dostupné z: <https://mapy.cz>
- [25] *Veřejný registr půdy LPIS* [online]. 2018 [cit. 2018-12-17]. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/app/lpisext/lpis/verejny2/plpis/>
- [26] *Jinačovický zpravodaj* [online]. Jinačovice, 2014 [cit. 2018-12-17]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/16106586-Vazeni-obcane-prave-ctete-prvni-vydani-jinacovickeho-zpravodaje-rozhodli-j sme-se-pro-tuto-formu-abychom-vas-lepe-informovali-o-deni-v-obci.html>
- [27] Vegetační stupně střední Evropy. *Biogeografie* [online]. 2010 [cit. 2018-12-17]. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/1431/jaro2010/Z0005/18118868/index_VS.html

- [28] Smíšenost v porostech. *Geoportál* [online]. [cit. 2018-12-17]. Dostupné z: <http://geoportal.uhul.cz/mapy/mapylhpovyst.html>
- [29] Přírodní park Podkomorské lesy. *Obec Moravské Knínice* [online]. [cit. 2018-12-17]. Dostupné z: <https://www.moravskekninice.cz/turistika?oid=5827103&nid=534&action=detail&id=11>
- [30] Přírodní park Baba. *Turistika.cz* [online]. [cit. 2018-12-17]. Dostupné z: <https://www.turistika.cz/mista/prirodni-park-baba/detail>
- [31] CHKO Žďárské vrchy. *Regionální pracoviště Správa CHKO Žďárské vrchy* [online]. Žďár nad Sázavou [cit. 2018-12-17]. Dostupné z: <http://zdarskevrchy.ochranaprirody.cz/>
- [32] TV-ADams.wz.cz. *Seznam vodních elektráren na Svatce* [online]. [cit. 2018-12-17]. Dostupné z: <http://tv-adams.wz.cz/seznamy/morava/svatka-mve.html>
- [33] Odběry a vypouštění. *EAGRI* [online]. [cit. 2018-12-17]. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/voda/aplikace/odbery-a-vypousteni.html>
- [34] ÚV Pisárky. *Brněnské vodárny a kanalizace, a.s.* [online]. [cit. 2018-12-17]. Dostupné z: <http://www.bvk.cz/o-spolecnosti/zasobovani-pitnou-vodou/uv-pisarky/>
- [35] Historie laboratoře vodohospodářského výzkumu. *Laboratoř vodohospodářského výzkumu* [online]. [cit. 2018-12-17]. Dostupné z: <https://www.fce.vutbr.cz/vst/lvv/historie.html>
- [36] Odběry a vypouštění. *EAGRI* [online]. [cit. 2018-12-17]. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/voda/aplikace/odbery-a-vypousteni.html>
- [37] Zdravotní rizika kontaktu se sinicemi. *U lékaře* [online]. 2008 [cit. 2018-12-17]. Dostupné z: <https://www.ulekare.cz/clanek/zdravotni-rizika-kontaktu-se-sinicemi-3314>
- [38] Za zhoršením kvality vody v brněnské přehradě stojí extrémní počasí. *Povodí Moravy* [online]. 2018 [cit. 2018-12-17]. Dostupné z: <http://www.pmo.cz/cz/media/tiskove-zpravy/za-zhorsenim-kvality-vody-v-brnenske-prehrade-stoji-extremni-pocasi/>
- [39] Brněnská přehrada - Prýgl. *Kudyznudy.cz* [online]. [cit. 2018-12-17]. Dostupné z: <http://www.kudyznudy.cz/Aktivity-a-akce/Aktivity/Brnenska-prehrada.aspx>
- [40] PLÁŽE BRNĚNSKÉ PŘEHRADY. *Hotel Brno Maximus Resort* [online]. [cit. 2018-12-17]. Dostupné z: <https://www.maximus-resort.cz/sport-aktivity-brno/vylety-brno-a-okoli/plaze-brnenske-prehrady/>
- [41] Ryby v Brněnské přehradě. *Brněnská přehrada, jak ji neznáte* [online]. [cit. 2018-12-17]. Dostupné z: <http://stezka.nesehnuti.cz/5.htm>
- [42] Svatka 5 Brněnská přehrada. *Vranka.cz* [online]. [cit. 2018-12-17]. Dostupné z: <https://www.vranka.cz/reviry/detail/585>
- [43] Lodní doprava. *Brněnská přehrada* [online]. Brno [cit. 2018-12-17]. Dostupné z: https://www.brnenskaprehrada.cz/p_doprav.html

- [44] Přehled lodí. *Dopravní podnik města Brna* [online]. [cit. 2018-12-17]. Dostupné z: <https://www.dpmb.cz/cs/lodni-doprava-prehled-lodi>
- [45] Jízdní řád. *Dopravní podnik města Brna* [online]. [cit. 2018-12-17]. Dostupné z: <https://www.dpmb.cz/cs/lodni-doprava-prehled-lodi>
- [46] Osada. *Brněnská přehrada a okolí* [online]. Brno, 2005 [cit. 2018-12-18]. Dostupné z: <http://www.prygl.net/rejstrik/osada.php>
- [47] Mapa. *Geoportál* [online]. 2018 [cit. 2018-12-18]. Dostupné z: <https://geoportal.gov.cz/web/guest/map>
- [48] Ceník drceného kameniva. *ROSA, s.r.o.* [online]. 2018 [cit. 2018-12-18]. Dostupné z: <https://www.rosa.cz/cenik-drceneho-kameniva.php>
- [49] Ceník betonových směsí. *Stemro s.r.o.* [online]. 2018 [cit. 2018-12-18]. Dostupné z: <https://www.stemro.cz/soubory-ke-stazeni?download=1:cenik-betonu>
- [50] Výkopové práce – ceník. *CenikRemesel.cz* [online]. 2018 [cit. 2018-12-18]. Dostupné z: <https://www.cenikremesel.cz/vykopove-prace-cenik/>
- [51] Ceník gabionových košů a příslušenství. *Domys* [online]. 2018 [cit. 2018-12-18]. Dostupné z: <http://www.domys-eshop.cz/>
- [52] Opracovaná kulatina - Frézovaná kulatina. *Dřevoprovoz* [online]. 2018 [cit. 2018-12-18]. Dostupné z: <http://onlineshopy.com/eshop/drevoproz>
- [53] *Salix fluviatilis* (Vrba říční). *Lesoskolky* [online]. 2018 [cit. 2018-12-18]. Dostupné z: <https://lesoskolky.cz/nase-nabidka/salix-fluviatilis-vrba-ricni.html>
- [54] *Phragmites australis* (Rákos obecný). *Rostliny.net* [online]. [cit. 2018-12-18]. Dostupné z: http://www.rostliny.net/rostlina/Phragmites_australis#.XBi4hGj0mUk

SEZNAM TABULEK

| | |
|---|----|
| Tab. 1.1 N-leté průtoky [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$] | 14 |
| Tab. 1.2 M-denní průtoky [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$] | 14 |
| Tab. 1.3 N-leté průtoky [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$] | 15 |
| Tab. 1.4 M-denní průtoky [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$] | 15 |
| Tab. 4.1 Intervaly a četnosti hladin v roce 2008 | 54 |
| Tab. 4.2 Intervaly a četnosti hladin v roce 2009 | 54 |
| Tab. 4.3 Intervaly a četnosti hladin v roce 2010 | 55 |
| Tab. 4.4 Intervaly a četnosti hladin v roce 2011 | 55 |
| Tab. 4.5 Intervaly a četnosti hladin v roce 2012 | 56 |
| Tab. 4.6 Intervaly a četnosti hladin v roce 2013 | 56 |
| Tab. 4.7 Intervaly a četnosti hladin v roce 2014 | 57 |
| Tab. 4.8 Intervaly a četnosti hladin v roce 2015 | 57 |
| Tab. 4.9 Intervaly a četnosti hladin v roce 2016 | 58 |
| Tab. 4.10 Intervaly a četnosti hladin v roce 2017 | 58 |
| Tab. 4.11 Přiblížení intervalu | 59 |
| Tab. 4.12 Tabulka nejvyšších a nejnižších hladin v letech 2008-2017 | 59 |
| Tab. 4.13 Tabulka délek a úhlu radiál pro JV vítr | 62 |

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|--|----|
| Obr. 1.1 Geologická mapa okolí přehrady..... | 17 |
| Obr. 1.2 Půdní druhy..... | 18 |
| Obr. 1.3 Mapa půdních typů..... | 19 |
| Obr. 1.4 Quittova klasifikace..... | 20 |
| Obr. 1.5 Průměrný roční úhrn srážek..... | 21 |
| Obr. 1.6 Průměrné teploty v lednu a červenci..... | 21 |
| Obr. 1.7 Zemědělské plochy v okolí údolní nádrže Brno..... | 23 |
| Obr. 1.8 Složení lesních porostů | 24 |
| Obr. 1.9 MVE Kníničky | 25 |
| Obr. 1.10 Loď Stuttgart v přístavišti 21. 9. 2013 | 29 |
| Obr. 2.1 Schéma vývoje abraze břehů..... | 32 |
| Obr. 3.1 Vymezení zájmové oblasti..... | 39 |
| Obr. 3.2 Vizualizace monolitické opěrné zdi..... | 41 |
| Obr. 3.3 Vizualizace gabionové opěrné zdi..... | 42 |
| Obr. 3.4 Vizualizace dřevěných kulatin – verze 1..... | 43 |
| Obr. 3.5 Vizualizace dřevěných kulatin – verze 2..... | 44 |
| Obr. 3.6 Vizualizace oživeného kamenného záhozu..... | 45 |
| Obr. 3.7 Vizualizace kamenné stabilizační paty..... | 46 |
| Obr. 3.8 Vizualizace stabilizace vrbovým porostem..... | 47 |
| Obr. 3.9 Vizualizace vlnolamu..... | 48 |
| Obr. 4.1 Schéma určení délky radiál..... | 61 |
| Obr. 5.1 Rekreační objekt | 66 |
| Obr. 5.2 Abrazní srub a stávající vegetace ve břehu | 66 |
| Obr. 5.3 Rekreační objekt nad abrazním srubem..... | 66 |
| Obr. 5.4 Kaverna v patě abrazního srubu | 67 |
| Obr. 5.5 Rekreační objekty a pozvolný přístup k vodě..... | 67 |
| Obr. 5.6 Protiabrazní opatření provedené v minulosti | 67 |
| Obr. 5.7 Drátokamenná matrace | 68 |
| Obr. 5.8 Srovnání velikosti člověka a abrazního srubu..... | 68 |

SEZNAM GRAFŮ

| | |
|--|----|
| Graf 4.1 Průběh hladiny v údolní nádrži Brno za období 2008-2017..... | 53 |
| Graf 4.2 Průběh vodní hladiny v letech 2008-2018 v měsících březen-srpen*..... | 53 |
| Graf 4.3 Četnost hladin za rozhodující období v roce 2008..... | 54 |
| Graf 4.4 Četnost hladin za rozhodující období v roce 2009..... | 54 |
| Graf 4.5 Četnost hladin za rozhodující období v roce 2010..... | 55 |
| Graf 4.6 Četnost hladin za rozhodující období v roce 2011..... | 55 |
| Graf 4.7 Četnost hladin za rozhodující období v roce 2012..... | 56 |
| Graf 4.8 Četnost hladin za rozhodující období v roce 2013..... | 56 |
| Graf 4.9 Četnost hladin za rozhodující období v roce 2014..... | 57 |
| Graf 4.10 Četnost hladin za rozhodující období v roce 2015..... | 57 |
| Graf 4.11 Četnost hladin za rozhodující období v roce 2016..... | 58 |
| Graf 4.12 Četnost hladin za rozhodující období v roce 2017..... | 58 |
| Graf 4.13 Četnost výskytu maximálních hladin za rozhodující období v letech 2008-2017..... | 59 |

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

| | | |
|--------------------|------------------------------------|--|
| ΔH | [m] | nahnání hladiny větrem |
| δ | [°] | úhel mezi podélnou osou nádrže a směrem větru |
| φ | [°] | úhel vnitřního tření zeminy |
| φ_i | [°] | úhel mezi hlavním směrem větru a i-tou radiálou |
| A_T | | abrazní terminanta |
| B.p.v. | | Balt po vyrovnání |
| BSK ₅ | | biochemická spotřeba kyslíku |
| B_T | | bod maximálního ústupu břehové čáry |
| BVak a.s. | | Brněnské vodovody a kanalizace, akciová společnost |
| Cos | | cosinus |
| ČOV | | čistírna odpadních vod |
| ČSN | | československá státní norma |
| g | [m.s ⁻²] | tíhové zrychlení |
| H | [m] | hloubka vody v nádrži |
| h_0 | [m] | návrhová výška vlny |
| h_n | | |
| CHSK _{Cr} | | chemická spotřeba kyslíku dichromanovou metodou |
| k_w | | součinitel závislý na rychlosti větru |
| L | [m] | skutečná rozběhová délka větru v přímém směru |
| L_{ef} | [m] | efektivní délka rozběhu větru |
| m n. m. | | metry nad mořem |
| m_{Nmax} | [m n. m.] | nejčtenější hladina |
| MT | | mírně teplý |
| MVE | | malá vodní elektrárna |
| N-NH ₄ | | amoniakální dusík |
| N-NO ₃ | | dusičnanový dusík |
| pH | | vodíkový exponent |
| Q100 | [m ³ .s ⁻¹] | n-letý průtok |
| Q355d | [m ³ .s ⁻¹] | m-denní průtok |
| Ř. km | | říční kilometr |
| s.p. | | státní podnik |
| SVP | | směrný vodohospodářský plán |

| | | |
|------------------|----------------------|--|
| T | | teplý |
| V _a | [m n. m.] | nadmořská výška paty abrazního srubu |
| VD | | vodní dílo |
| W ₁₀ | [m.s ⁻¹] | rychlost větru ve výšce 10 m nad hladinou vody |
| W _{10v} | [m.s ⁻¹] | rychlost větru ve výšce 10 m nad hladinou vody |

SEZNAM PŘÍLOH

1. Situace širších vztahů
2. Délka rozběhu vlny
3. Přehledná situace
4. Řez 1 – řez 4
5. Řez 5 – řez 8
6. Řez 9 – řez 12
7. Řez 13 – řez 16
8. Řez 17 – řez 20
9. Řez 21 – řez 24
10. Řez 25 – řez 27
11. Monolitická opěrná zeď
12. Gabionová zeď
13. Dřevěné kulatiny – verze 1
14. Dřevěné kulatiny – verze 2
15. Stabilizace lomovým kamenivem
16. Kamenná stabilizační pata
17. Stabilizace vrbovým porostem
18. Vlnolam
19. Vizualizace