



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY

INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

NÁVRH TECHNICKÝCH VODOHOSPODÁŘSKÝCH A PROTIEROZNÍCH OPATŘENÍ PRO ELIMINACI POVODŇOVÝCH A EROZNÍCH ŠKOD V KATASTRÁLNÍM ÚZEMÍ OBCE HLINSKO U PŘEROVA

DESIGN OF TECHNICAL WATER MANAGEMENT AND ANTI-EROSION SOLUTIONS FOR THE ELIMINATION OF
FLOOD AND EROSION DAMAGE IN THE CADASTRAL AREA OF HLINSKO U PŘEROVA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Stanislav Špaček

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Stanislav Paseka, Ph.D.

BRNO 2024

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav vodního hospodářství krajiny
Student: **Bc. Stanislav Špaček**
Vedoucí práce: **Ing. Stanislav Paseka, Ph.D.**
Akademický rok: 2023/24
Studijní program: N0732A260025 Stavební inženýrství – vodní hospodářství a vodní stavby

Děkan Fakulty Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Návrh technických vodohospodářských a protierozních opatření pro eliminaci povodňových a erozních škod v katastrálním území obce Hlinsko u Přerova

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce bude navazovat na bakalářskou práci Studie krajinných opatření v katastrálním území obce Hlinsko (BP). Konkrétně budou navržena technická opatření vodohospodářská (retenční MVN) a protierozní (přehrážky) pro eliminaci povodňových a erozních škod v dané lokalitě, které vzešly z BP.

Cíle a výstupy diplomové práce:

Cílem diplomové práce je správně navrhnout technická opatření vodohospodářská a protierozní pro eliminaci povodňových a erozních škod v dané lokalitě. Konkrétně se student bude v diplomové práci zabývat návrhem retenční malé vodní nádrže a několika přehrážkami. Student k navrženým opatřením vypracuje podrobnou projektovou dokumentaci.

Seznam doporučené literatury a podklady:

TNV 75 2415. Scuhé nádrže. Praha: Sweco Hydroprojekt. Odvětvová technická norma vodního hospodářství, 2013.

ČSN 75 2410. Malé vodní nádrže. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.

Vokurka, Adam a Karel Zlatuška, ed. Technická doporučení pro hrazení bystřin a strží. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2020. ISBN 978-80-7434-557-9.

Doležal, P. Projekt vodního hospodářství krajiny – studijní opora. Brno: VUT v Brně, 2006.

Šálek, J., Mika, Z., Tresová, A. Rybníky a účelové nádrže, SNTL Praha, 1989

Vrána, K. Rybníky a účelové nádrže, ČVUT Praha, 2002.

Špaček, Stanislav. Studie krajinných opatření v katastrálním území obce Hlinsko. Brno, 2022. 102 s., 26 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce Ing. Stanislav Paseka, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku.

V Brně, dne 31. 3. 2023

L. S.

doc. Ing. Daniel Marton, Ph.D.
vedoucí ústavu

Ing. Stanislav Paseka, Ph.D.
vedoucí práce

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA, dr. H. c.
děkan

ABSTRAKT

Cílem této diplomové práce je provést návrh technických vodohospodářských a protierozních opatření v podobě suché nádrže a přehrážek v katastrálním území Hlinsko u Přerova. Byl též proveden návrh dvou zasakovacích průlehů. Všechny návrhy se skládají z textové a výkresové části. Textová část vždy obsahuje obecný popis daného technického opatření, dále konkrétní zasazení do zájmové lokality, potřebné hydrotechnické výpočty a popis navrženého technického řešení. Výkresová část zahrnuje podobu technických opatření a v případě suché nádrže i výkres sdruženého funkčního objektu a nově upravené zátopy.

KLÍČOVÁ SLOVA

Technická vodohospodářská a protierozní opatření, zasakovací průleh, protierozní přehrážka, suchá nádrž, návrhový průtok, kritické povodí, hydrotechnické výpočty, sdružený funkční objekt

ABSTRACT

The aim of this thesis is to design technical water management and anti-erosion measures in the form of a dry reservoir and dams in the cadastral area of Hlinsko u Přerova. The design of two seepage ditches was also carried out. All designs consist of a text and a drawing part. The text part always contains a general description of the technical measure, as well as its specific location in the area of interest, the necessary hydrotechnical calculations and a description of the proposed technical solution. The drawing part includes the form of the technical measures and, in the case of a dry reservoir, a drawing of the combined functional object and the newly modified flooded area.

KEYWORDS

Technical water management and anti-erosion measures, seepage ditch, anti-erosion dike, dry reservoir, design flow, critical catchment, hydrotechnical calculations, combined functional object

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŠPAČEK, Stanislav. *Návrh technických vodohospodářských a protierozních opatření pro eliminaci povodňových a erozních škod v katastrálním území obce Hlinsko u Přerova*. Brno, 2023. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí Ing. Stanislav Paseka, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Návrh technických vodohospodářských a protierozních opatření pro eliminaci povodňových a erozních škod v katastrálním území obce Hlinsko u Přerova* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 12. 01. 2024

Bc. Stanislav Špaček

autor

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval panu Ing. Stanislavu Pasekovi, Ph.D. za odborný přístup při častých konzultacích a pomoc v rámci řešení diplomové práce. Především děkuji za pomoc při práci s programem TRANSFORM_WAVE při výpočtu transformace povodňové vlny suché nádrže.

OBSAH

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | ÚVOD | 10 |
| 1.1 | Obsah a cíl práce..... | 10 |
| 2 | POUŽITÉ PROGRAMY | 11 |
| 2.1 | ArcMap..... | 11 |
| 2.2 | DesQ MAX..... | 11 |
| 2.3 | ATLAS DMT..... | 11 |
| 2.4 | AutoCad..... | 12 |
| 2.5 | MS Excel..... | 12 |
| 2.6 | SketchUp..... | 12 |
| 2.7 | TRANSFORM_WAVE..... | 12 |
| 3 | METODA KE STANOVENÍ POVRCHOVÉHO ODTOKU A STANOVENÍ KRITICKÝCH PROFILŮ | 13 |
| 3.1 | Metoda odtokových křivek CN..... | 13 |
| 3.2 | STANOVENÍ KRITICKÝCH PROFILŮ..... | 14 |
| 4 | POPIS ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ | 16 |
| 4.1 | Občanská a technická vybavenost..... | 16 |
| 4.2 | geomorfologické A Geologické poměry..... | 16 |
| 4.2.1 | Geomorfologické poměry..... | 16 |
| 4.2.2 | Geologické poměry..... | 17 |
| 4.2.3 | Pedologické poměry..... | 17 |
| 4.2.4 | Charakteristika bilancovaných hlavních půdních jednotek..... | 17 |
| 4.3 | Hydrologické poměry..... | 18 |
| 4.4 | Klimatické poměry..... | 19 |
| 4.4.1 | Srážkové poměry..... | 20 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 4.4.2 | Teplotní poměry | 20 |
| 4.4.3 | Větrné poměry | 21 |
| 4.5 | Sklonitostní poměry | 22 |
| 4.6 | Erozní poměry | 22 |
| 4.6.1 | Větrná eroze | 23 |
| 4.6.2 | Vodní eroze | 23 |
| 4.7 | Vlastnické poměry | 24 |
| 5 | NÁVRH ZASAKOVACÍCH PRŮLEHŮ | 25 |
| 5.1 | Zásady navrhování průleहů | 25 |
| 5.1.1 | Dimenzování protierozního průlehu | 27 |
| 5.2 | Samotný návrh zasakovacích průleहů | 29 |
| 5.2.1 | Zasakovací průleह č. 1 (ZP1) | 30 |
| 5.2.2 | Zasakovací průleह č. 2 | 32 |
| 6 | NÁVRH PŘEHRÁŽEK | 36 |
| 6.1 | Zásady navrhování přeHrážek | 36 |
| 6.1.1 | Navrhování tížných monolitických přeHrážek | 37 |
| 6.1.2 | Navrhování dřevěných přeHrážek | 37 |
| 6.2 | Samotný návrh přeHrážek | 38 |
| 6.3 | Návrh betonových přeHrážek | 38 |
| 6.3.1 | Poloha betonových přeHrážek | 40 |
| 6.3.2 | Charakteristika navržených betonových přeHrážek | 42 |
| 6.3.3 | Výpočet délky přelivu a hloubky vývaru | 43 |
| 6.3.4 | Vizualizace betonové přeHrážky | 47 |
| 6.4 | Návrh srubové přeHrážky | 50 |
| 6.4.1 | Poloha srubové přeHrážky | 51 |
| 6.4.2 | Charakteristika navržené srubové přeHrážky | 52 |
| 6.4.1 | Výpočet délky přelivu a ověření nepotřebnosti vývaru | 53 |
| 7 | SUCHÁ NÁDRŽ – OBECNÉ ZÁSADY NAVRHOVÁNÍ | 55 |
| 7.1 | Definice suché nádrže | 55 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 7.2 | Obecné informace o suchých nádržích | 55 |
| 8 | SUCHÁ NÁDRŽ – KONKRÉTNÍ TECHNICKÉ ŘEŠENÍ..... | 57 |
| 8.1 | Základní technické parametry nádrže | 57 |
| 8.2 | Hráz | 58 |
| 8.3 | Sdružený funkční objekt | 59 |
| 8.4 | Zátopa nádrže | 59 |
| 8.4.1 | Tůně..... | 60 |
| 9 | SUCHÁ NÁDRŽ – HYDROTECHNICKÉ VÝPOČTY | 62 |
| 9.1 | Stanovení převýšení hráze..... | 62 |
| 9.1.1 | Stanovení výšky výběhu vln | 62 |
| 9.2 | Charakteristické křivky nádrže..... | 64 |
| 9.3 | Sdružený funkční objekt | 65 |
| 9.3.1 | Spodní výpust..... | 65 |
| 9.3.2 | Bezpečnostní přeliv | 66 |
| 9.3.3 | Konsumpční křivka sdruženého objektu | 68 |
| 9.4 | Spadiště | 68 |
| 9.5 | Odpadní štola | 69 |
| 9.6 | Vývar | 70 |
| 9.7 | Transformace povodňové vlny | 72 |
| 9.7.1 | Zvolený způsob transformace | 72 |
| 9.7.2 | Vlastní transformace | 73 |
| 9.8 | Ověření neškodného odtoku | 77 |
| 9.8.1 | Ověření neškodného odtoku pro návrhový průtok Q_{100} | 78 |
| 9.8.2 | Ověření neškodného odtoku pro návrhový průtok Q_{50} | 81 |
| 9.8.3 | Ověření neškodného odtoku pro návrhový průtok Q_{20} | 83 |
| 9.8.4 | Zhodnocení kapacity stávajících odvodňujících opatření pro obě variantní řešení ochrany | 83 |
| 10 | VYHODNOCENÍ NAVRŽENÝCH OPATŘENÍ | 85 |

| | | |
|-------------|--|-----------|
| 10.1 | Opatření v rámci KP1 | 86 |
| 10.1.1 | Návrhový průtok Q_{100} | 86 |
| 10.1.2 | Návrhový průtok Q_{50} | 86 |
| 10.2 | Opatření v rámci KP2 | 87 |
| 10.2.1 | Návrhový průtok Q_{100} | 87 |
| 10.2.2 | Návrhový průtok Q_{50} | 87 |
| 10.3 | Opatření v rámci KP3 | 88 |
| 11 | ZÁVĚR | 89 |
| | SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY | 90 |
| | SEZNAM TABULEK | 93 |
| | SEZNAM OBRÁZKŮ | 94 |
| | SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK | 97 |
| | SEZNAM PŘÍLOH | 98 |

1 ÚVOD

V průběhu posledních let přicházejí s probíhající klimatickou změnou nejen déletrvající období sucha, ale i častější výskyt přívalových srážek. Na základě těchto srážek přichází intenzivnější povrchový odtok. Kvůli odtoku mohou být zaplavena a poškozena území s nedostatečnou a případně nekapacitní protipovodňovou ochranou.

Toto je případ i katastrálního území Hlinka u Přerova, které se s těmito problémy v současné době potýká. V případě výskytu intenzivnější srážky na území obce dochází ke kulminaci povrchového odtoku, který s sebou odnáší částice půdy.

Vzhledem k zájmu pana starosty obce byla zpracována bakalářská práce [1] zkoumající erozní a odtokové poměry v dané obci. Na základě výsledků této práce bylo zjištěno, že na většině erozně hodnotících plochách skutečně dochází k vyšší než přípustné erozi a povrchový odtok kumulující se v kritických bodech je často větší než kapacita odvodňujících prvků. Na základě těchto poznatků bylo doporučeno, aby obec požádala o provedení komplexních pozemkových úprav. Tak se později skutečně stalo a komplexní pozemkové úpravy byly v daném katastrálním území zahájeny 09.02.2023.

V bakalářské práci [1] byla také navržena organizační a agrotechnická opatření a nastíněna možnost zbudování technických opatření. V kombinaci s těmito opatřeními již dojde k potřebnému snížení plošné eroze na erozně hodnotících plochách s potřebným snížením povrchového odtoku.

V rámci diplomové práce dojde k navázání na bakalářskou práci [1] a navržení technických opatření včetně výpočtové a výkresové dokumentace. Cílem opatření bude ochrana před povodněmi, zachycení a sedimentace splavenin, zdržení a zadržení vody v krajině nebo i zmírnění účinků plošné eroze.

1.1 OBSAH A CÍL PRÁCE

Cílem práce je zpracování studie zasakovacích průlehů, přehrážek na toku a suché nádrže v katastrálním území Hlinsko u Přerova v Olomouckém kraji.

Práce bude obsahovat popis metody pro stanovení povrchového odtoku a programy použité při řešení práce. Dále charakteristiky zájmové lokality a poté již studii navržených technických opatření. Ta se bude skládat z textové a výkresové části. Textová část bude sestávat nejprve z vysvětlení pojmů a obecných charakteristik. Dále dojde ke konkrétnímu zasazení opatření do lokality, k odůvodnění návrhu a technickému řešení. Na závěr bude zhodnocen význam a efekt navržených opatření.

2 POUŽITÉ PROGRAMY

Pro zpracování odtokových poměrů a stanovení návrhového průtoku určeného k dimenzování suché nádrže, zasakovacích průlehů a přehrážek v zájmové lokalitě bylo využito dostupných školních verzí programů **ArcMap** a **DesQ-MAX**. Pro vytvoření návrhu samotných technických opatření byl použit program **Atlas DMT**. Následná úprava technických opatření a zpracování výkresů byly provedeny v programu **AutoCad**. K vytvoření vizualizace betonové přehrážky došlo v programu **SketchUp**. Výpočet transformace povodňové vlny u suché nádrže proběhl v programu **TRANSFORM_WAVE** a výpočet a tabelární zpracování výsledků se uskutečnily v programu **MS Excel**.

2.1 ARCMAP

Jedná se o centrální aplikaci ArcGIS Desktop, sloužící k vizualizaci dat a zobrazení výkresu mapy. ArcMap pracuje s vektorovými daty (body, linie, polygony atd.) a vytváří z nich vlastní datový formát shapefile (.shp). V kontextu práce bylo využito souřadného systému S-JTSK Krovak EastNorth (Systém Jednotné Trigonometrické Sítě Katastrální vycházející z Křovákova zobrazení). [2]

V případě diplomové práce byl uplatněn rastrový soubor digitálního modelu terénu (DMT) zasahující vybranou lokalitu. Model kopíruje skutečný zemský povrch, protože vychází ze skutečně naměřených dat (bodů) a interpolačně dotváří zbylá data (body). Tento model byl v ArcMapu vyhlazen pomocí funkce Fill, aby představoval přesnější a hydrologicky vhodnější podobu. Tento model byl následně použit jako výchozí podklad pro určení důležitých údajů pro výpočet návrhového průtoku daných povodí.

2.2 DESQ MAX

Hydrologický model DesQ byl vytvořen profesorem Františkem Hrádkem v roce 1997. Model je určen pro povodí do velikosti 10 km². V případě větších povodí lze povodí rozložit na subpovodí. K aplikaci modelu není potřeba znát údaje o průtocích a vodních stavech na drobných vodních tocích. Stačí znát údaje o přivalových deštích, které jsou v softwaru k dispozici pro několik stanic. Pro lokalitu Hlinsko byla využita data ze srážkoměrné stanice v Přerově. [3]

Model lze aplikovat na výpočet maximálních N-letých průtoků, průběhů a objemů povodňových vln vyvolaných přivalovými dešti kritické doby trvání. Také najde uplatnění při hodnocení dopadů hospodářské činnosti v povodí na srážko-odtokové procesy. [3]

2.3 ATLAS DMT

ATLAS DMT je program určený pro komplexní manipulaci s geografickými daty, jako jsou polohopisy, situační výkresy a výškopisy. Software disponuje širokou škálou nástrojů pro analýzy a výpočty, jako jsou například výpočty objemu nebo tvorba řezů terénu. [4]

Softwarový systém umožňuje vytvářet detailní modely reliéfu z extrémně rozsáhlých sad výškových dat, dosahující až 650 milionů bodů pro trojúhelníkový model a až 2,1 miliardy bodů pro bodový model. Základem těchto modelů je nepravidelná síť trojúhelníků. [4]

2.4 AUTOCAD

AutoCad je softwarová aplikace sloužící k technickému kreslení ve 2D, případně 3D. Uživatel je schopen vytvářet detailní technické výkresy, plány budov, návrhy strojů a zařízení, a též poskytuje prostředky pro precizní práci s rozměry, vrstvami a textem. [5]

2.5 MS EXCEL

MS Excel představuje program pro tabulkový výpočet vyvinutý společností Microsoft. Jeho hlavní funkcí je umožňovat uživatelům vytvářet, organizovat a manipulovat s daty v tabulkovém formátu, známém jako list. Excel umožňuje uživatelům pracovat s čísly, textem a formulemi, čímž umožňuje provádět různé výpočty, analýzy dat, grafické zobrazení, řazení a filtrování informací. [6]

2.6 SKETCHUP

Jedná se o profesionální 3D modelovací a návrhový software vyvinutý společností Trimble Inc. SketchUp je široce používán v architektonickém designu, interiérovém designu, stavebnictví, filmovém průmyslu, herním designu, strojírenství a mnoha dalších oborech. [7]

Program je ceněn pro své snadné použití a je ideální pro návrháře, architekty, inženýry a umělce, kteří potřebují rychle vytvářet 3D modely a vizualizace. Má také velkou podporu uživatelské komunity, což znamená, že existuje mnoho online zdrojů, výukových programů a diskusních fór, které uživatelům pomáhají zdokonalovat jejich dovednosti. [7]

2.7 TRANSFORM_WAVE

Poslední stěžejní program diplomové, TRANSFORM_WAVE [8], byl vyvinutý na Ústavu vodního hospodářství krajiny fakulty stavební VUT v Brně. Software aplikuje modifikovanou grafickou Klemešovu metodu za účelem výpočtu transformace povodňových vln. Systém rovněž užívá stochastickou metodu Monte Carlo pro zavádění vstupních nejistot. Program opakovaně přetváří povodňové vlny a vypočítává maximální výšky hladiny vody v nádrži, což je klíčové pro určení potřebného retenčního prostoru. [9]

3 METODA KE STANOVENÍ POVRCHOVÉHO ODTOKU A STANOVENÍ KRITICKÝCH PROFILŮ

V následujícím odstavci dochází k představení metody sloužící ke stanovení povrchového odtoku. Následuje vysvětlení stanovení kritických profilů.

3.1 METODA ODTOKOVÝCH KŘIVEK CN

Povrchový odtok jednotlivých povodí byl spočítán na základě metody čísel odtokových křivek CN. Na základě metody tedy došlo k výpočtu CN křivek, které byly v rámci jednotlivých povodí použity k výpočtu jednotlivých kulminačních průtoků.

Jedná se o postup, který přinesla do USA Služba pro ochranu půdy, SCS. Jde o model s relativně snadno dosažitelnými výsledky, ale dostatečně přesnými a praktickými k odhadování přímého odtoku způsobeného přivalovým deštěm na ploše menší než 10 km². [10]

Přímý odtok zahrnuje tok vody po povrchu a hypodermický odtok. Podíly těchto toků se určují pomocí čísel odtokových křivek, zkráceně CN. Hypodermický odtok se vyskytuje, když voda, která pronikne do půdy, stéká po povrchu málo propustné vrstvy a znovu se vynořuje na povrchu. Oproti tomu základní odtok zahrnuje vodu, jež proniká až k hladině podzemní vody a přispívá do toků. Tento základní odtok se objevuje brzy po prudkém dešti a ovlivňuje velikost povodňové vlny způsobené přivalovým srážkami. Hodnota CN tedy slouží i jako ukazatel pravděpodobnosti typu odtoku. Čím vyšší je hodnota CN, tím pravděpodobnější je, že se jedná o povrchový odtok. [10]

Hodnoty CN jsou determinovány hydrologickými charakteristikami půdy, vegetačním pokryvem, rozsahem nepropustných ploch, intercepčními schopnostmi a schopností povrchové retence. [10]

Objem přímého odtoku se odhaduje na základě předpokladu, že poměr objemu odtoku k celkovému objemu přivalové srážky je roven poměru množství zadržené vody v průběhu odtoku k maximálnímu možnému zadržení. Odtok začíná po počáteční ztrátě, která zahrnuje úbytek způsobený intercepčními schopnostmi, infiltrací a povrchovou retencí. Tato počáteční ztráta byla stanovena na 20 % maximální retence. [11]

Základní vztah pro určení **výšky přímého odtoku H_o** (pro $H_s \geq 0,2A$): [11]

$$H_o = \frac{(H_s - 0,2A)^2}{H_s + 0,8A} [mm] \quad (3.1)$$

Kde: H_o je přímý odtok [mm]

H_s úhrn návrhového deště [mm]

Potenciální retence A je dána vztahem: [11]

$$A = 25,4 \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) [mm] \quad (3.2)$$

Kde: CN je číslo odtokové křivky [-]

Objem přímého odtoku O_{PH} je dán vztahem: [11]

$$O_{pH} = 1000 \cdot Pp \cdot Ho \text{ [m}^3\text{]} \quad (3.3)$$

Kde: **Pp** je plocha povodí [km²]

Ho je přímý odtok (mm)

Pozn. Návrhový déšť byl určen na základě poskytnutých informací od Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) nebo alternativně mohly být využity hodnoty maximálních srážkových úhrnů za 24 hodin s předpokládanou četností výskytu pro nejbližší stanici ČHMÚ. [11]

V metodě odtokových křivek je kulminační (vrcholový) průtok vypočítáván prostřednictvím poměru počáteční akumulace k maximálnímu jednodennímu srážkovému úhrnu. [11]

Kulminační průtok Q se stanoví ze vztahu: [11]

$$Q = 0,00043 \cdot qpH \cdot Pp \cdot Ho \cdot f \text{ [m}^3 \cdot \text{s}^{-1}\text{]} \quad (3.4)$$

Kde: **qpH** je jednotkový kulminační průtok

Pp plocha v povodí [km²]

Ho výška odtoku [mm]

f opravný součinitel pro rybníky a mokřady

Doba doběhu a doba koncentrace

Doba doběhu představuje čas, který voda v povodí potřebuje k přesunu z jednoho místa na jiné. Je to část doby koncentrace, doby potřebné pro tok vody z nejbližšího hydraulického bodu v povodí do uzávěrového profilu povodí.

Doba koncentrace povrchového odtoku se spočítá jako součet časů potřebných pro odtok povrchové vody na úseku kratším než 100 metrů, času potřebného pro odtok soustředěného povrchového odtoku s nízkou hloubkou a času potřebného pro odtok v otevřeném korytu. [11]

3.2 STANOVENÍ KRITICKÝCH PROFILŮ

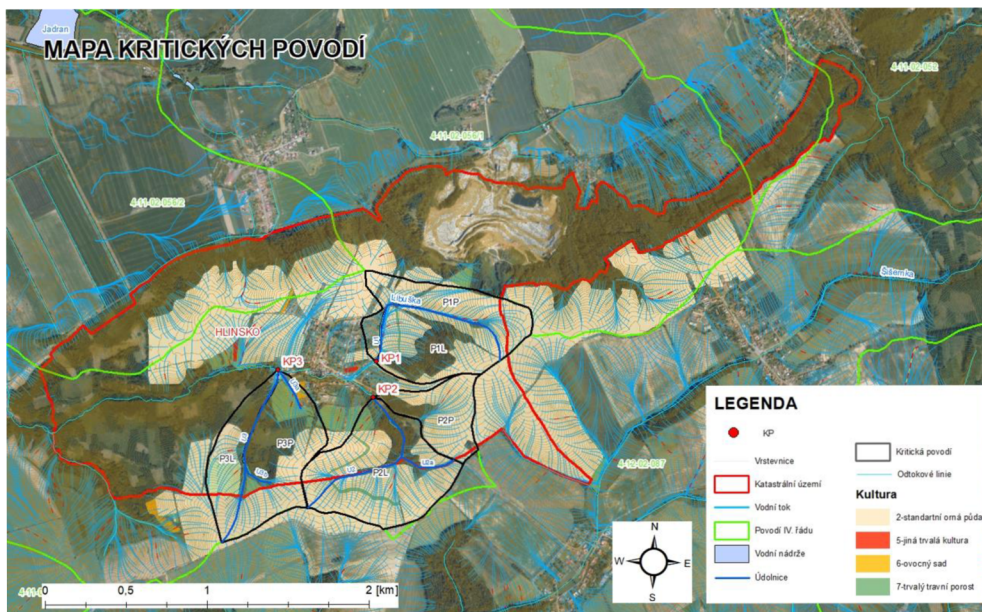
V místech, kde vnikají linie drah soustředěného odtoku do intravilánu, se stanovují tzv. kritické body (KB). To není však jediný předpoklad. O KB se dle metodického návodu pro identifikaci KB [12] jedná pouze v případě, jsou-li splněny následující čtyři podmínky: [12]

- Velikost přispívající plochy je 0,3-10,0 km²
- Průměrný sklon přispívající plochy je $\geq 3,5$ %
- Podíl plochy orné půdy v povodí je ≥ 40 %
- Ukazatel kritických podmínek $\geq 1,85$

Na základě těchto parametrů byly v bakalářské práci [1] určeny 3 KB. K nim byla dále vykreslena přispívající plocha, čímž došlo ke stanovení kritických profilů (KP).

V programu ArcMap byly stanoveny charakteristiky jednotlivých povodí, na základě kterých v programu DesQ byly určeny charakteristiky povrchového odtoku.

Všechna navrhovaná technická opatření v této práci se nacházejí v rámci jednotlivých tří povodí zpracovaných v bakalářské práci [1]. Jednotlivá data a informace o kritických profilech tak byla převzata z bakalářské práce [1].

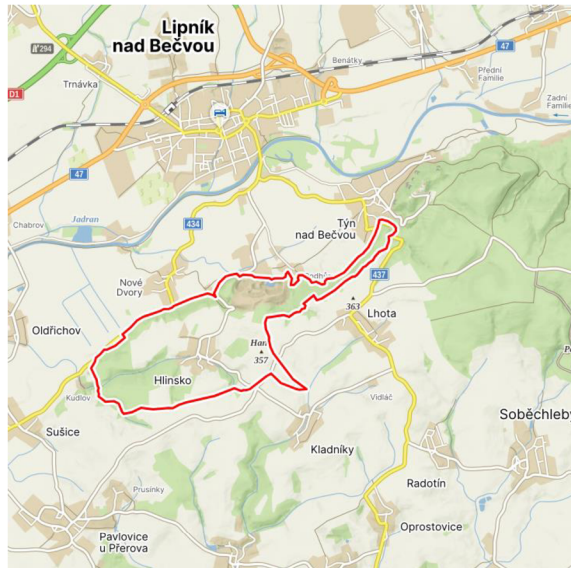


Obr. 1 Kritická povodí v rámci zájmového území [1]

4 POPIS ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

Informace ohledně zájmového území byly podrobně rozebrány v rámci bakalářské práce [1]. V diplomové práci došlo k zestručnění, v některých případech k doplnění nebo zaktualizování těchto informací.

Hlinsko se nachází v Olomouckém kraji a spadá do správní oblasti obce s rozšířenou působností Lipník nad Bečvou, která leží přibližně 5 kilometrů na sever od Hlinska. [13]



Obr. 2 Poloha katastrálního území Hlinsko u Přerova [14]

4.1 OBČANSKÁ A TECHNICKÁ VYBAVENOST

Jedná se o obec v okrese Přerov v Olomouckém kraji. Její katastrální výměra činí 502 ha a počet obyvatel je 241 k roku 2021.

V obci se nachází veřejný vodovod, kanalizace a obec je plynofikována. V obci se nachází požární nádrž a sbor dobrovolných hasičů obce. [15]

4.2 GEOMORFOLOGICKÉ A GEOLOGICKÉ POMĚRY

V následujících podkapitolách jsou rozebrány informace týkající se geomorfologických a geologických poměrů.

4.2.1 Geomorfologické poměry

Geomorfologicky zájmové území spadá do: [16]

- Alpsko-himalájského systému
- provincie Západní Karpaty
- subprovincie Vnější Západní Karpaty
- oblasti Západobeskydské podhůří
- celku Podbeskydská pahorkatina
- podcelku Maleník

Podcelek Maleník dále nemá žádné okrsky.

Geomorfologická část Maleník se nachází na jihozápadě Podbeskydské pahorkatiny. Na východě sousedí s Příborskou pahorkatinou, na severu s Moravskou bránou a na jihu s Kelčskou pahorkatinou. [16]

4.2.2 Geologické poměry

Podle taxonomické klasifikace půd v České republice se v oblasti tohoto katastru vyskytují půdní typy jako spraš a sprašová hlína. Jsou zde rovněž kamenité až hlinito-kamenité sedimenty, jílovité břidlice, droby a kamenitá písčito-hlinitá eluvia sedimentárních hornin spodního karbonu. [17]

4.2.3 Pedologické poměry

Dle půdní typologie taxonomického klasifikačního systému půd ČR jsou na území katastru charakteristickými půdními typy luvizem modální, luvizem slabě oglejená, luvizem oglejená, kambizem slabě oglejená a kambizem luvická. [18]

Převažujícími skupinami půdních typů jsou pseudogleje a luvizemě. V menší míře jsou poté na území katastru obsaženy i fluvizemě. [18]

4.2.4 Charakteristika bilancovaných hlavních půdních jednotek

BPEJ

Bonitovaná půdně ekologická jednotka slouží k hodnocení absolutní i relativní produkční schopnosti zemědělských půd a podmínek jejich nejučelnějšího využití. BPEJ je identifikována pětímístným kódem. První číslice označuje příslušnost k danému klimatickému regionu. Následující dvě číslice definují zařazení půdy do hlavní půdní jednotky klasifikační soustavy (HPJ). Čtvrté číslo specifikuje sklon a expozici ke světovým stranám ve vzájemné kombinaci. Pátá číslice popisuje hloubku půdy a obsah kamenitého materiálu v půdním profilu ve vzájemné kombinaci. Základní systém identifikuje 2140 kódů BPEJ, zatímco pro dalších 138 nově vymezených kódů je potřeba zhodnocení ekonomických charakteristik. Celkem existuje 2278 kódů BPEJ. [19]

HPJ

Hlavní půdní jednotka (HPJ) je sestavena jako agronomicky zaměřená jednotka, která spojuje různé genetické typy půd, jejich podtypy, zrnitost, hloubku, míru hydromorfizmu a topografické charakteristiky. Klasifikační systém bonitace obsahuje 78 HPJ, jenž se dělí do 13 základních skupin z hlediska geneticko-agronomických vlastností. [19]

Konkrétně v tomto zájmovém území se nachází **HPJ 14, 43, 48 a 58**. Jedná se o různé typy luvizemí, hnědozemí, kambizemí a fluvizemí.

HSP

Hydrologické skupiny půd jsou určeny podle schopnosti vstřebat vodu. Tyto skupiny jsou rozděleny do čtyř kategorií na základě minimální rychlosti, jakou půda nasaje vodu bez povrchového krytu po dlouhodobém nasycení. Tato schopnost infiltrace je ovlivněna různými faktory, jako jsou klimatické podmínky, avšak hlavně podmínky spojené s půdou, jako jsou její fyzikální charakteristiky, vlhkost, schopnost propustnosti vody a hloubka podzemní hladiny. [20]

V zájmovém území se vyskytují pouze **2 hydrologické skupiny půd**. Jedná se převážně o skupinu **C** a v jihovýchodní části území i o skupinu **B**. Jedná se o půdy s nízkou rychlostí infiltrace (0,05-0,10 mm/min) a půdy se střední rychlostí infiltrace (0,10-0,20 mm/min) i při úplném nasycení. [20]

4.3 HYDROLOGICKÉ POMĚRY

Území je odvodňováno čtyřmi vodními toky nebo liniemi, z nichž jeden je zároveň vedený jako odvodňovací zařízení. [21]

Jedná se o následující vodní toky:

1. Libuška

Libuška je říčkou přitékající z Hlinska přes Oldřichov do řeky Bečvy. Odvádí vodu z území mezi obcemi Sušice a Oldřichov a lesů ve východním směru, které rozdělují odvod povrchových vod mezi Bečvou a Moštěnkou. V zájmovém území se nenachází rybníky ani vodní nádrže (kromě zmíněné požární). [21]

Charakteristiky: [21]

- IDVT: 10192807
- Název toku: Libuška
- Správce: Povodí Moravy, s. p.
- Délka: 7 159 m

Pramen a část toku řeky Libušky se nachází na území KP2 a KB2 se nachází přímo na jejím toku.

2. IDVT – 10191914

Tato vodní linie ústí do toku řeky Libušky. Nejedná se o vodní tok, nemá stanoven žádný název ani správce. [21]

Celá se nachází v KP2.

3. Odvodňovací zařízení HMZ Hlinsko / IDVT – 10192951

V tomto případě se jedná zároveň o odvodňovací zařízení i vodní linii. Skládá se ze dvou úseků. Úsek, který vede od počátku intravilánu, pod místní komunikací a ústí do toku řeky Libušky je zatrubněn. Druhý úsek se podobá svodného příkopu. Propustek má DN 600. [21]

Nachází se na území KP1 a prochází KB1.

Charakteristiky: [21]

- Evidenční číslo NAV: 5080000026-11201000
- Název stavebního objektu: HMZ Hlinsko
- Typ stavby: OZ
- Rok výstavby: 1963
- Celková délka stavby: 1 138 m
- Délka otevřeného úseku stavby: 988 m
- Délka zatrubněného úseku stavby: 150 m
- IDVT: 10192951

4. Bezejmenný tok (IDVT – 10204994)

Tento vodní tok pramení a celý se nachází v KP3. Na jeho ústí do toku řeky Libušky se nachází KB3.

Charakteristiky: [21]

- IDVT: 10204994
- Název toku: bezejmenný tok
- V územní působnosti: Povodí Moravy
- Správce: Lesy ČR, s.p.
- Délka: 861 m



Obr. 3 Mapa vodních toků a vodních linií v zájmovém území [21]

4.4 KLIMATICKÉ POMĚRY

Dle mapy klimatických oblastí Československa (Quitt, 1971) leží popisované území v klimatické oblasti mírně teplé **MT10** a zároveň v blízkosti klimatických oblastí mírně teplé MT11 a teplé T2.

V klimatickém regionu **MT10** je charakteristické mírně teplé a krátké jaro, následované teplým, dlouhým a suchým létem. Podzim se vyznačuje mírně teplým a krátkým obdobím, zatímco zima je mírně teplá, velmi suchá a krátká. [22]

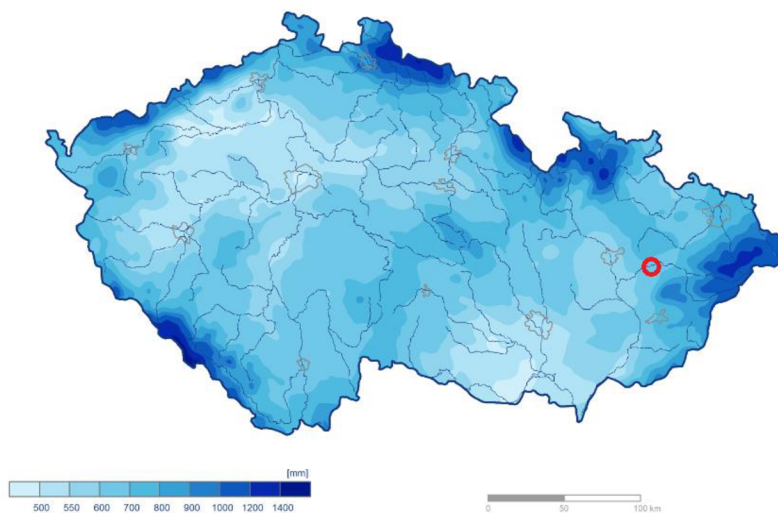
Region MT11 sdílí s regionem MT10 podobné charakteristiky. Zima je zde také mírně teplá, velmi suchá a krátká, s jen krátkým obdobím sněhové pokrývky. Podzim je mírně teplý a krátký, léto dlouhé, teplé a suché a jaro mírně teplé a krátké. [22]

Klimatický region T2 má relativně krátké, teplé až mírně teplé jaro. Léto je dlouhé, teplé a suché, podzim je poměrně krátký a teplý až mírně teplý. Zima se vyznačuje krátkou, suchou až velmi suchou dobou. Tento region se nachází v oblastech Polabí, Poohří, na Žatecku a v Mostecké pánvi. [22]

4.4.1 Srážkové poměry

Z údajů, které jsou poskytnuty ČHMÚ, lze z mapy obr. 4 získat údaje o průměrném ročním úhrnu srážek v období mezi léty 1991-2020. Mapa představuje aktualizaci oproti bakalářské práci [1], kde ještě tyto údaje nebyly zveřejněny. [23]

Průměrný roční úhrn srážek za období 1991 – 2020



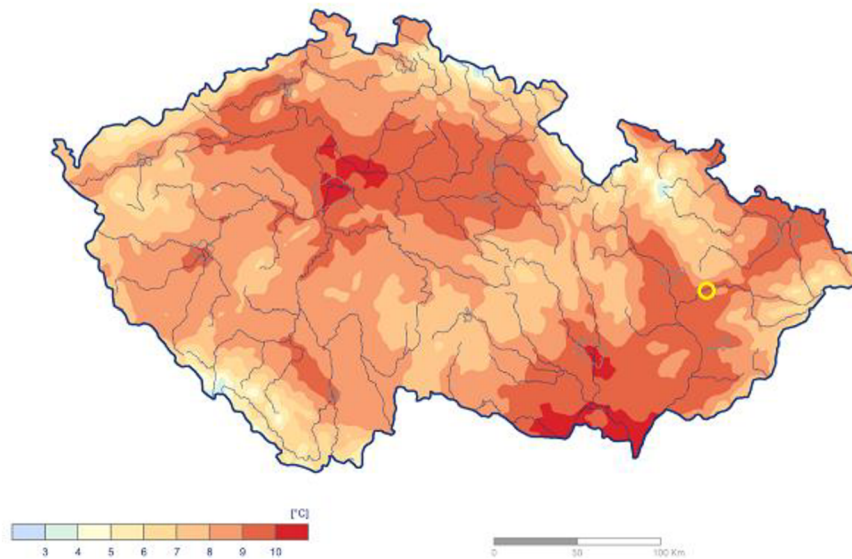
Obr. 4 Mapa průměrných ročních srážkových úhrnů ČR za období 1991-2020 s vyznačeným zájmovým územím [23]

Z mapy průměrných srážkových úhrnů za určité období vyplývá, že zkoumané území leží v pásmu s průměrným ročním srážkovým úhrnem přibližně 600-700 mm.

4.4.2 Teplotní poměry

Stejně jako u srážkových poměrů, tak i u průměrné roční teploty vzduchu byly ČHMÚ zveřejněny nové údaje pro období 1991-2020, vizualizované na obr. 5. [23]

Průměrná roční teplota vzduchu za období 1991 – 2020



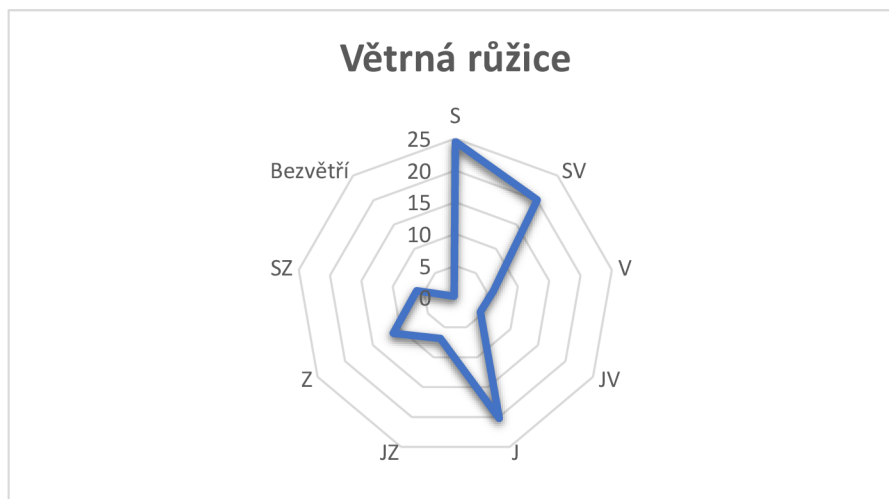
Obr. 5 Mapa průměrných roční teploty vzduchu ČR za období 1991-2020 s vyznačeným zájmovým územím [23]

Z mapy lze vyčíst, že průměrná roční teplota vzduchu v Hlinsku byla vyšší oproti průměru v ČR. V Hlinsku je průměrná teplota 9-10°.

4.4.3 Větrné poměry

Nově byly stanoveny také charakteristiky větrných poměrů pro rok 2022.

Z charakteristik větrných poměrů, naměřených v imisní stanici v Přerově, vyplývá, že převládající intenzita větru byla zpozorována na severu (24,51 %), jihu (20,23 %) a severovýchodě (20,05 %). [24] Obr. 6 a 7 tyto větrné poměry zobrazují.



Obr. 6 Poměr směru větrů v růžicovém typu grafu [24]

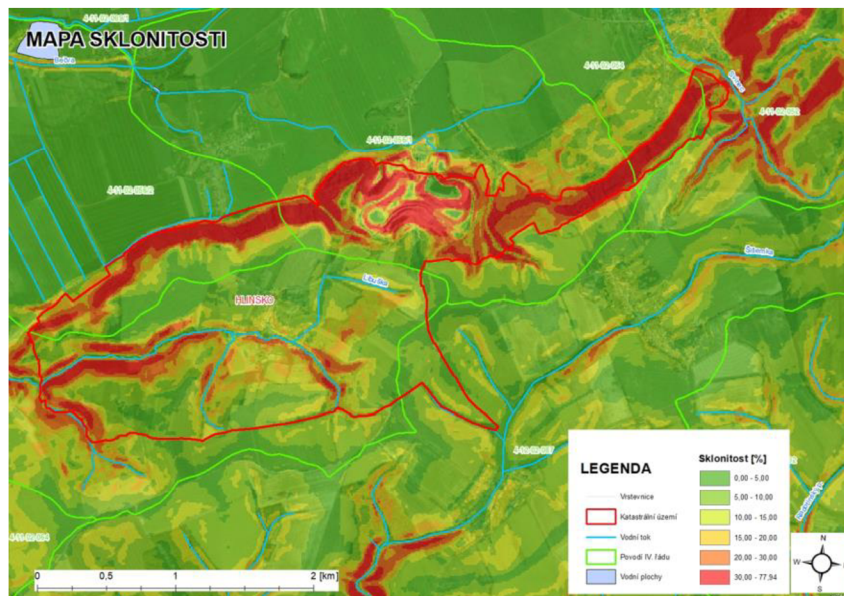


Obr. 7 Graf procentuálního zastoupení směru větru [24]

4.5 SKLONITOSTNÍ POMĚRY

V rámci bakalářské práce [1] byly v programu ArcMap stanoveny sklonitostní poměry obr. 8.

Z poměrů vyplývá, že terén Hlinska je členitý. Sklon v celém k. ú. nabývá hodnot od 0 % do necelých 78 %. Největší sklony nabývají kolem toku řeky Libušky a v severní části katastrálního území, kde se nacházejí lesy. [1]



Obr. 8 Mapa sklonitosti zájmového území [1]

4.6 EROZNÍ POMĚRY

Další podkapitoly se zaměřují konkrétně na větrnou a vodní erozi.

4.6.1 Větrná eroze

Dle mapy větrné eroze je zájmové území ohroženo zanedbatelně [25]. Avšak při průzkumu terénu a rozhovoru s místními obyvateli bylo zjištěno, že větrná eroze se dotýká nejvíce severní strany intravilánu, o čemž vypovídají i data z větrné růžice.

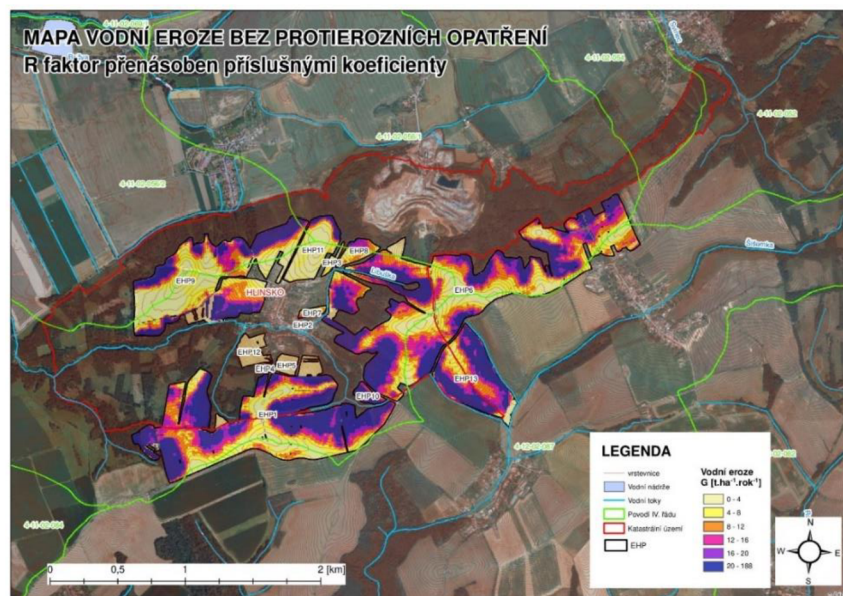
4.6.2 Vodní eroze

Bakalářská práce [1] se podrobně zabývala vodní erozí zájmového území a následným návrhem opatření.

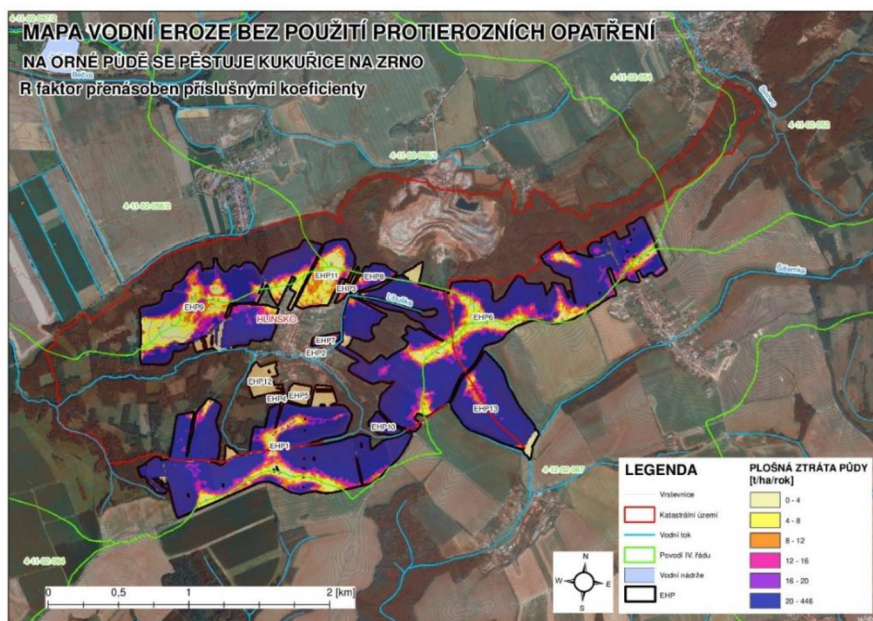
Lze konstatovat, že zájmové území je vodní erozí velice postiženo a na většině erozně hodnotících plochách (EHP) vyšla jeho hodnota nad $4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$. [1]

Na obr. 9 a obr. 10 jsou uvedeny 2 mapy vodní eroze bez navržených protierozních opatření. V prvním případě se jedná o erozi, která byla počítána tak, že hodnota C faktoru byla stanovena na základě klimatického regionu (v tomto případě jde o klimatický region 3, kde hodnota C faktoru pro ornou půdu je rovna hodnotě 0,254). Ve druhém případě jde o erozi, která byla počítána tak, že hodnota C faktoru se počítá za předpokladu, kdy se na veškeré orné půdě pěstuje kukuřice na zrna (hodnota C faktoru je poté rovna 0,61) a jedná se tedy o nejhorší možný scénář. Hodnota R faktoru je v obou případech přenásobena návrhovými koeficienty, které se pro větší část území rovnají hodnotě 1,414 a pro menší část území hodnotě 1,337. Návrhové koeficienty převážně zvedají výslednou erozi a zahrnují změny klimatu. Výsledky by tedy měly být reálnější. [1]

Konkrétní hodnoty plošné eroze na jednotlivých EHP se nacházejí v bakalářské práci [1].



Obr. 9 Mapa potenciální plošné ztráty půdy v zájmovém území (R faktor přenásoben příslušnými koeficienty) [1]



Obr. 10 Mapa potenciální plošné ztráty půdy v zájmovém území při pěstování kukuřice na zrno (R faktor přenásoben příslušnými koeficienty) [1]

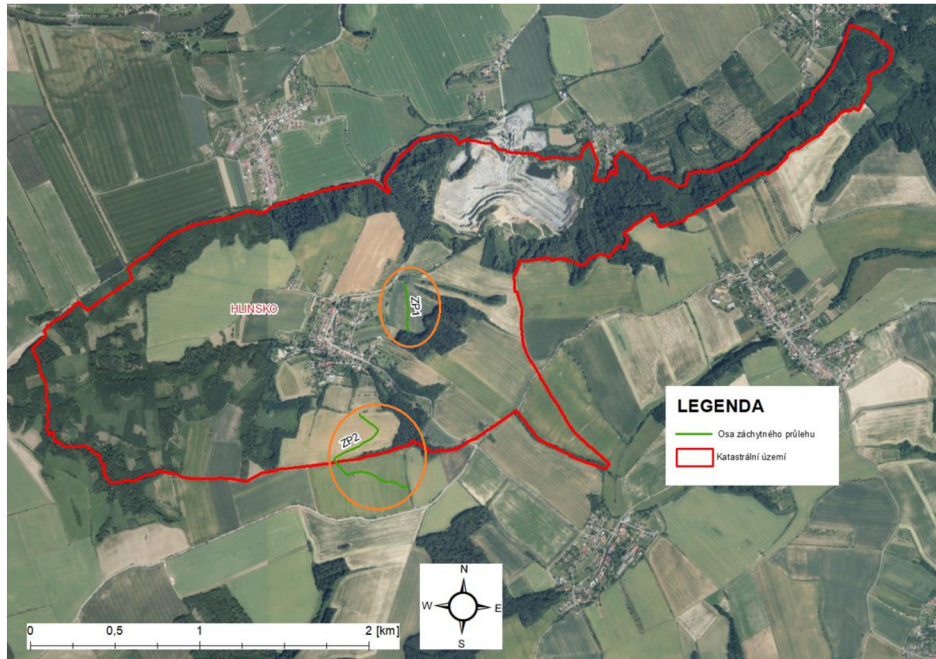
4.7 VLASTNICKÉ POMĚRY

Pozemky s ornou půdou, u kterých došlo k navržení technických opatření, ve většině případů vlastní anebo má v pronájmu jedna konkrétní osoba, která na nich též hospodaří. S touto osobou bylo jednáno v rámci bakalářské práce [1] při návrhu osevního postupu.

5 NÁVRH ZASAKOVACÍCH PRŮLEHŮ

Poloha průleहů již byla předběžně orientačně určena v rámci bakalářské práce [1]. V této práci byl návrh upraven a byla provedena textová i výkresová dokumentace.

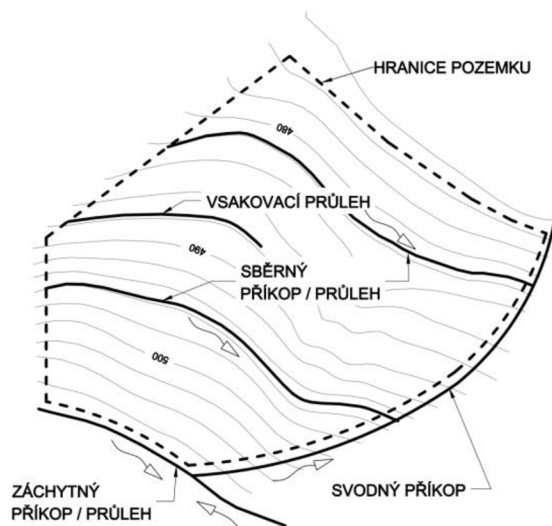
V zájmové lokalitě byly navrženy dva zasakovací průlehy (ZS).



Obr. 11 Poloha zasakovacích průleहů

5.1 ZÁSADY NAVRHOVÁNÍ PRŮLEHŮ

Protierozní průlehy, odvádějící nebo zasakovací, vykazují podobnost s příkopy, ovšem s tím rozdílem, že umožňují přejezd zemědělských strojů bez nutnosti vytváření speciálních propustků nebo hospodářských přejezdů. Tyto průlehy umožňují plynulý průjezd zemědělských strojů na svazích s úhlem sklonu 1:5 až 1:10. [26]



Obr. 12 Typy příkopů a průlehů dle jejich prostorového uspořádání [26]

Záchytný průleh se umísťuje na vrchní hranici chráněné oblasti, což může být rozhraní mezi lesním porostem a zemědělskými poli, obvodem obce nebo města, souborem izolovaných průmyslových nebo zemědělských budov, významnou komunikací, vodárenskou nádrží a podobně. Může však také sloužit jako hranice mezi dvěma sousedními pozemky, kdy odvádí vodu z výše položeného pozemku a zároveň funguje jako záchytný prvek pro nižší položený pozemek. Rozhodnutí o umístění záchytného příkopu závisí na lokálních podmínkách a možnostech přirozeného odvodu vody shromážděné v příkopu pomocí gravitace. [26]

Zasakovací průlehy by měly být situovány s ohledem na podobné principy jako sběrné či záchytné průlehy. Oproti odváděcím průlehům, které musí být tvarovány s určitým sklonem pro účinné odvodnění nahromaděné vody, je nezbytné, aby zasakovací průlehy byly navrženy s maximální vodorovností (podélný sklon by se měl blížit nule). [26]

Tab. 1 Charakteristika zasakovacích průlehů [27]

| | |
|---|---|
| ID opatření | TO-RPRU |
| Detailní typ | Zasakovací |
| Charakteristika | Bezodtoký zasakovací prvek s nulovým podélným sklonem. |
| A) Vliv na kvantitu vody | Zasakovací průleh zejména zvyšuje vsak vody do půdy, dále zpomaluje povrchový odtok, přerušuje délku svahu či dráhy odtoku a také dokáže zachytit odtok při vyšších srážkových úhrnech přívalových srážek. |
| B) Vliv na hydromorfologii toku | Zasakovací průleh má mírně pozitivní vliv na hydromorfologii vodních toků: brání vnosu jemných půdních částic a anorganických sedimentů do vodních toků, čímž pozitivně ovlivňuje velikostní strukturu sedimentu a životní prostředí vodních živočichů. |
| C) Vliv na kvalitu vody | Zlepšují vodní režim v půdě a omezují důsledky odnosu půdy erozními smyvy zasáknutím srážkových vod. |
| D) Vliv na vodní a vodu vázané ekosystémy | Zlepšují vodní režim v půdě a omezují důsledky eroze - pozitivní pro vodní organizmy. |
| E) Vliv opatření na krajinu a suchozemské ekosystémy | Zvýšení a posílení biodiverzity, zlepšení možností migrace živočichů, příznivý vliv na zadržení vody v krajině, protierozní funkce a v neposlední řadě zvýšení estetické hodnoty krajiny. |
| F) Socio-ekonomický dopad | Příznivý krátkodobý dopad na sociální oblast (možnost zapojení místní pracovní síly do výstavby technických opatření), z dlouhodobého hlediska jen příležitostná údržba. Realizace vede k omezení degradace půdy. |
| N) Ekonomické náklady na realizaci a údržbu | Je zde nutné vynětí pozemku z půdního fondu případně výkup pozemků, náklady na vyhotovení projektové dokumentace pro stavební povolení, realizace stavby, následná údržba (časté odtěžení sedimentu, údržba travního porostu a případné výsadby). |

5.1.1 Dimenzování protierozního průlehu

Protierozní průlehy odváděcí (záchytné, sběrné a svodné) se dimenzují na kulminační (maximální) průtok z návrhové srážky k místu, kde je příkop situován. Zasakovací průlehy se dimenzují na hodnotu objemu odtoku z návrhové srážky. [26]

Zasakovací průlehy musí být navrženy tak, aby zvládly obsáhnout množství vody, které se odvádí z plánovaného deště. Vzhledem k intenzitě, jakou se voda rychle odvádí během silného deště, se při určování průtoku vody nepočítá s tím, že voda pronikne do půdy nebo že dojde k odpařování z vodní hladiny v průlehu. [26]

Hodnoty návrhových objemů pro dimenzování zasakovacích průlehů je možno stanovit několika metodami. V tomto případě se vybrala metoda čísel odtokových křivek CN.

Technické parametry: [27]

- Sklon: 1:10 až 1:5
- Max. hloubka: 100 cm
- Min hloubka: 30 cm
- Na pozemcích se sklonem do 15 %

Dimenzování zasakovacího průlehu vychází z geometrie průlehu: [26]

$$V = b \cdot h + m \cdot h^2 \cdot L \text{ [m}^3\text{]}$$

(5.1)

Kde: V – objem průlehu [m³],

b – šířka průlehu [m],

h – hloubka dna průlehu pod úrovní terénu [m],

m – sklon svahů [-],

L – délka průlehu.

Zasakovací průlehy se neopevňují z důvodu snížení infiltrační schopnosti půdního profilu.

Je důležité znát dobu vsáknutí vody do půdního profilu. Mohl by totiž nastat případ takový, že by po srážce, která by naplnila zasakovací průlehu, přišla opětovná srážka. Tuto dobu lze orientačně stanovit ze vztahu: [26]

$$T = \frac{h}{(K \cdot 3600)} [\text{hod}] \quad (5.2)$$

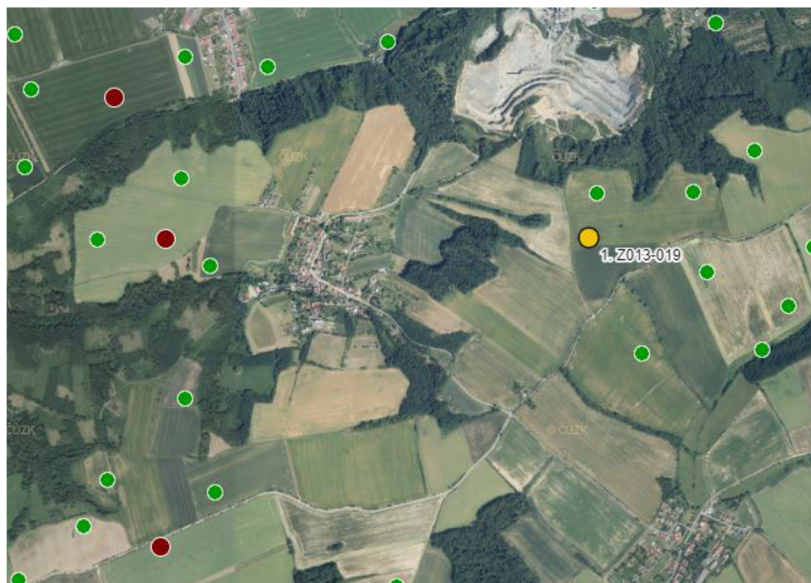
Kde: T – doba vsaku [hod],

h je hloubka vody ve zasakovacím průlehu [m],

K – nasycená hydraulická vodivost [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$].

Bude se však jednat pouze o stanovení orientační, protože výpočet nezahrnuje hladinu podzemní vody pod úrovní terénu a nasycení půdy z předchozích srážek. [26]

V tomto případě byla v nejbližší nalezené sondě dostupné v databázi Komplexního průzkumu půd (KPP) lokalizována písčitohlinitá až hlinitá půda. [27]



Obr. 13 Poloha sondy (sonda je vyznačena žlutě) [27]

Pro samotný návrh by však byl podstatný výsledek inženýrsko-geologického průzkumu.

Dále je vhodné v rámci ochrany průlehu navrhnout nad průlehem pás minimálně 5 metrů trvalého travního porostu.

5.2 SAMOTNÝ NÁVRH ZASAKOVACÍCH PRŮLEHŮ

V programu ArcMap byly metodou CN stanoveny odtokové poměry obou povodí nad zasakovacími průlehy. Následně byl v programu DesQ stanoven objem povodňové vlny nutný pro návrh průlehu.

Dalším krokem bylo provedení samotných návrhů průlehu v programu Atlas, a v programu AutoCad došlo k výkresovým úpravám.

Zasakovací průlehy se běžně navrhují na Q_5 až na Q_{20} . [26] V tomto případě však byl proveden návrh, který je kapacitní na Q_{100} . Návrh na tento průtok byl proveden, protože se jedná o zasakovací průleh. U těchto průlehu často nastává situace, že se průleh nepodaří zrealizovat přesně vodorovně, a tak v místě, kde je břehová hrana nejnižší, dochází k soustředěnému odtoku, což má za následek tvorbu erozních rýh. Navíc nebyl proveden geotechnický průzkum, tak se pojistka návrhu na Q_{100} jeví jako vhodná.

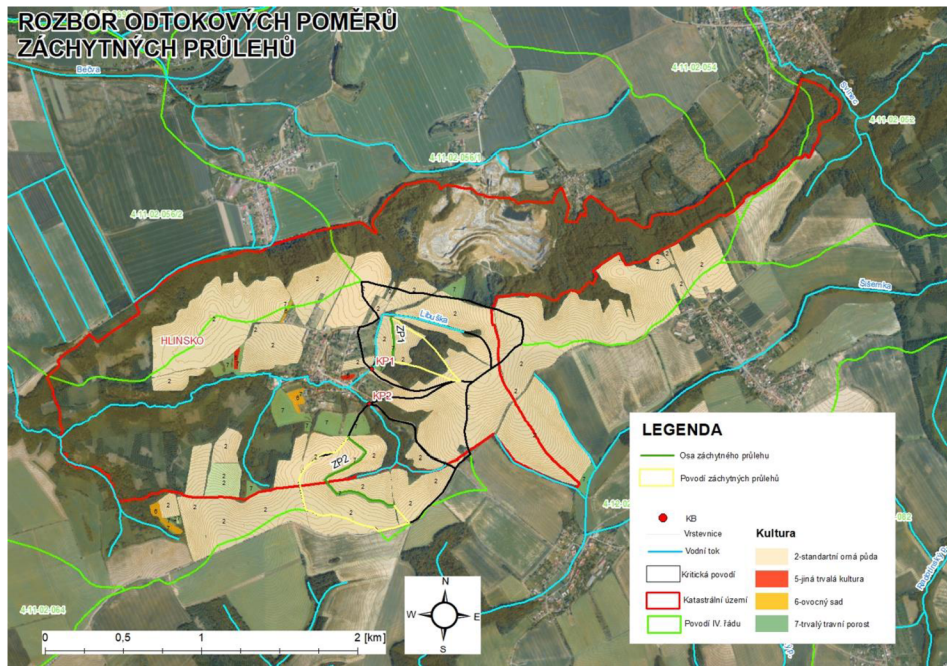
Nad oběma průlehy byl navržen pás trvalého travního porostu o šířce 10 m a oba průlehy budou z obou stran osázeny přírodní vegetací (stromy a keře). Dojde ke zmírnění větrné eroze a stromy mohou plnit funkci biokoridorů, které bývají řešeny v rámci komplexních pozemkových úprav.

Předpokládá se časté zanášení průlehu vodní erozí. Proto je doporučena pravidelná kontrola a čištění průlehu.

Průlehy plní funkci protierozní, kdy jsou erozně hodnotící plochy (EHP) průlehy rozděleny, což má vliv na výpočet erozního smyvu. Zároveň zachytí veškerý odtok při návrhovém průtoku Q_{100} . Tím dojde ke zmenšení kumulovanému průtoku v místech kritických bodů.

Byla spočtena i přibližná doba vsaku vody. Hodnota nasycené hydraulické vodivosti, potřebná pro výpočet, byla odvozena z přibližných hodnot pro písčitolinitou zeminu. Její hodnota byla odhadnuta na $1 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Pro přesné zatřídění zeminy by však bylo nutné provést inženýrsko-geologický průzkum.

Po konzultaci se zemědělci můžou být navrženy opevnění částí průlehu, kde bude docházet k přejezdům techniky.



Obr. 14 Návrh zasakovacích průlehů včetně 10metrových pásů trvalého travního porostu a příslušných povodí

5.2.1 Zasakovací průleh č. 1 (ZP1)

Zasakovací průleh č.1 byl navržen v KP1 obr. 14.

KP1

Charakteristiky daného povodí byly převzaty z bakalářské práce: [1]

- Plocha povodí: 0,495 [km²]
- Sklon: 8,73 [%]
- Nadmořská výška:
 - průměrná: 328, 61 m n.m.
 - nejnižší bod: 295,15 m n.m.
 - nejvyšší bod: 357,45 m n. m.
- Povrchový odtok:
 - **Objem přímého odtoku: 14 100 [m³]**
 - **Kulminační průtok Q₁₀₀: 5,18 [m³·s⁻¹]**
- Geologické jednotky: Smíšený sediment, kamenitý až hlinito-kamenitý sediment, spraš, sprašová hlína, kamenitá písčito-hlinitá eluvia
- Hlavní půdní jednotky: Kambizemě oglejené a glejové, hnědozemě luvické oglejené, fluvizemě glejové a oglejené na nivních uloženinách

Profil se rozléhá severovýchodním směrem od severovýchodní hranice obydlené části Hlinska. Přispívající půda je z 68 % orná půda a zbytek je tvořen převážně lesem. Odtok je situován ve svodném příkopu, který dále přechází v potrubí. Potrubí pokračuje jako propustek pod místní komunikací a ústí do toku řeky Libušky. [1]

Potrubí má **DN 600** a pakliže uvažujeme sklon potrubí 8 % vzhledem ke sklonu terénu, tak jeho kapacitní průtok vychází na **2,12 m³·s⁻¹**, což je bez návrhu opatření kapacitní pouze na návrhový průtok Q₁₀ (1,78 m³·s⁻¹). [1]

Obrázky příkopu i propustku jsou obsaženy v kapitole 9.7.2.

Aby došlo k odlehčení daného propustku v místě KB1, tak byl v daném kritickém povodí navržen zasakovací průleh v kombinaci se suchou nádrží. [1]

Navržený ZP1

Byly stanoveny charakteristiky samotného ZP1:

- Plocha povodí: 0,071 [km²]
- Sklon: 10,78 [%]
- CN: 81,54 (po zatravněné 10 m nad ZP)
- Délka údolnice: 0,479 [km]
- **Objem povodňové vlny k průlehu: 1600 [m³]**

Na základě objemu povodňové vlny byly stanoveny parametry průlehu.

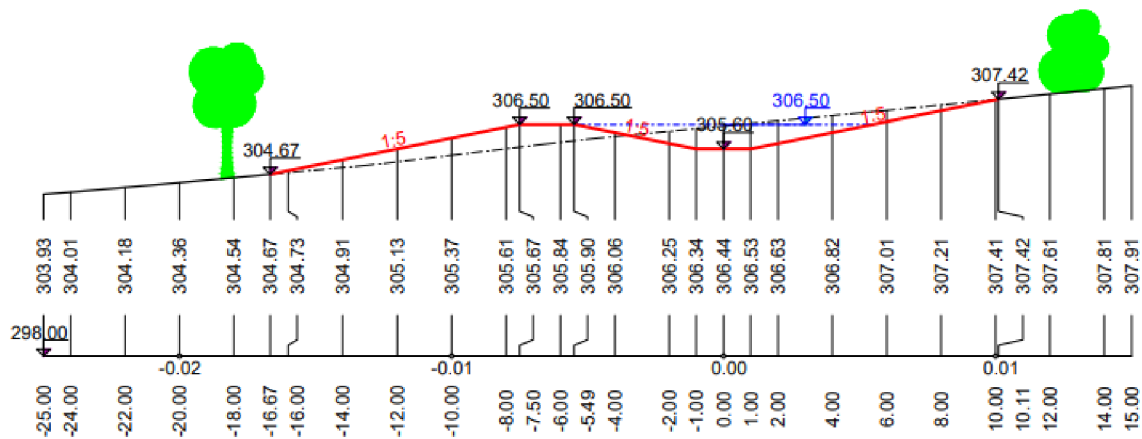
Tab. 2 Základní parametry ZP1

| Parametry průlehu ZP1 | | | |
|---------------------------------------|------------------------|--------|-------------------|
| Sklon svahu | svah 1:m | 5,0 | [-] |
| Šířka dna | b | 2,00 | [m] |
| Drsnost koryta | n | 0,033 | [-] |
| Výška koryta | h | 0,90 | [m] |
| Sklon | l | 0,0 | [-] |
| Plocha průřezu koryta | S | 5,85 | [m ²] |
| Délka průlehu | L | 285,5 | [m] |
| Celkový objem průlehu | V | 1670,1 | [m ³] |
| Objem povodňové vlny k průlehu | W _{p100} | 1600 | [m ³] |
| Procentuální zachycení povodňové vlny | V _{zachycený} | 104,4 | [%] |
| Přibližná doba vsaku | T | 250 | [hod] |

Dno ZP1 se nachází v nadmořské výšce **305,60 m n.m.** a úroveň maximální hladiny je v nadmořské výšce 306,50 m n.m. Úroveň dna i maximální hladiny jsou konstantní.

Takto navržený zasakovací průleh dokáže plně zachytit objem povodňové vlny W_{p100} svého povodí.

Zároveň byla stanovena orientační doba vsaku vody **T= 250 hodin**.



Obr. 15 Vybraný řez ZP1 v místě staničení 0,18 km

5.2.2 Zasakovací průleh č. 2

Zasakovací průleh se nachází v KP2 obr. 14. To bylo stanoveno v rámci bakalářské práce [1].

KP2

Charakteristiky daného povodí byly převzaty z bakalářské práce: [1]

- Plocha povodí: 0,662 [km²]
- Sklon: 9,42 [%]
- Nadmořská výška:
 - průměrná: 329,40 m n.m.
 - nejnižší bod: 290,39 m n.m.
 - nejvyšší bod: 356,58 m n. m.
- Povrchový odtok:
 - **Objem přímého odtoku:** 18 800 [m³]
 - **Kulminační průtok Q₁₀₀:** 3,32 [m³·s⁻¹]
- Geologické jednotky: Kamenitá písčito-hlinitá eluvia, kamenitý až hlinito-kamenitý sediment, spraš a sprašová hlína, droby
- Hlavní půdní jednotky: Kambizemě oglejené a glejové, hnědozemě luvické oglejené, fluvizemě glejové a oglejené na nivních uloženinách, luvizemě modální

Profil se rozléhá jihovýchodně od jihovýchodní hranice obydleného území Hlinsko. Přispívající půda je ze 74 % využívána jako orná půda a zbytek z větší části tvoří les. Samotný KB2 leží v korytě řeky Libušky, přičemž pravá část kritického profilu se do KP2 dostane propustky pod místní komunikací. Jeden se nachází u KB2 a druhý zhruba v polovině KP2. Voda, která proteče tímto propustkem však volně pokračuje dál v nestabilizovaném úseku a vzniká boční eroze obr. 19. [1]

V důsledku vzniku boční eroze byla navržena srubová přehrážka v místě, kde voda nestabilizovaně proudí z propustky, a zároveň je v tomto místě navržena stabilizace dna. V KP2 byl

také navržen zasakovací průleh č. 2. Díky zbudování zasakovacího průlehu dojde ke zlepšení odtokových poměrů, rozdělení EHP a následně i ke zlepšení erozních poměrů. [1]



Obr. 16 Místo KB2 [1]



Obr. 17 Propustek napojující povrchový odtok části KP2 do místa KB2



Obr. 18 Propustek pod místní komunikací napojující povrchový odtok části KP2 do toku řeky Libušky [1]



Obr. 19 Erodující území KP2 [1]

Navržený ZP2

Byly stanoveny charakteristiky samotného (ZP2):

- Plocha povodí: 0,169 [km²]
- Sklon: 5,53 [%]
- CN: 79,84 (po zatravněné 10 m nad ZP)
- Délka údolnice: 0,217 [km]
- **Objem povodňové vlny k průlehu: 5510 [m³]**

Na základě objemu povodňové vlny byly stanoveny parametry průlehu.

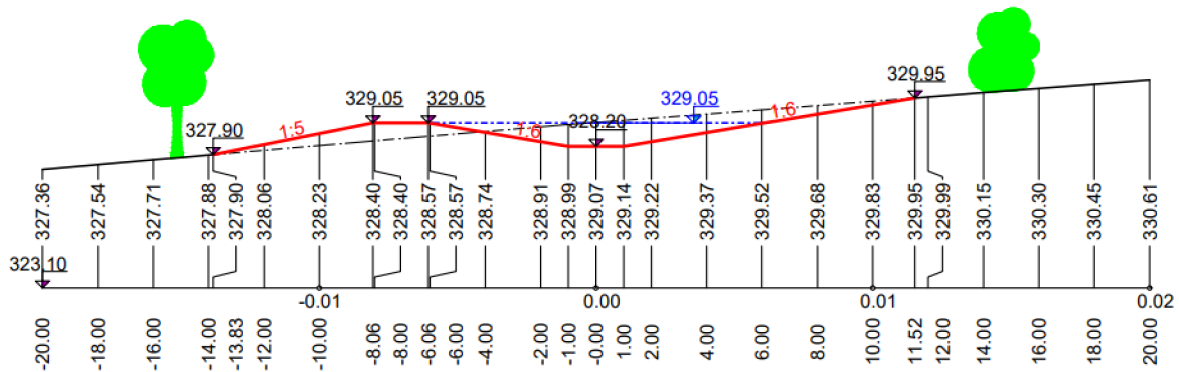
Tab. 3 Základní parametry ZP2

| Parametry ZP2 | | | |
|---------------------------------------|------------------------|--------|-------------------|
| Sklon svahu | svah 1:m | 6,0 | [-] |
| Šířka dna | b | 2,00 | [m] |
| Drsnost koryta | n | 0,033 | [-] |
| Výška koryta | h | 0,85 | [m] |
| Sklon | l | 0,0 | [-] |
| Plocha průřezu koryta | S | 6,04 | [m ²] |
| Délka průlehu | L | 971,9 | [m] |
| Celkový objem průlehu | V | 5865,1 | [m ³] |
| Objem povodňové vlny k průlehu | W _{p100} | 5510 | [m ³] |
| Procentuální zachycení povodňové vlny | V _{zachycený} | 106,4 | % |
| Přibližná doba vsaku | T | 236,1 | hod |

Dno ZP2 se nachází v nadmořské výšce 328,20 m n.m. a úroveň maximální hladiny je v nadmořské výšce **329,20 m n.m.** Úroveň dna i maximální hladiny jsou konstantní.

Takto navržený zasakovací průleh dokáže plně zachytit objem povodňové vlny W_{p100}.

Zároveň byla stanovena orientační doba vsaku vody **T= 236,1** hodin.

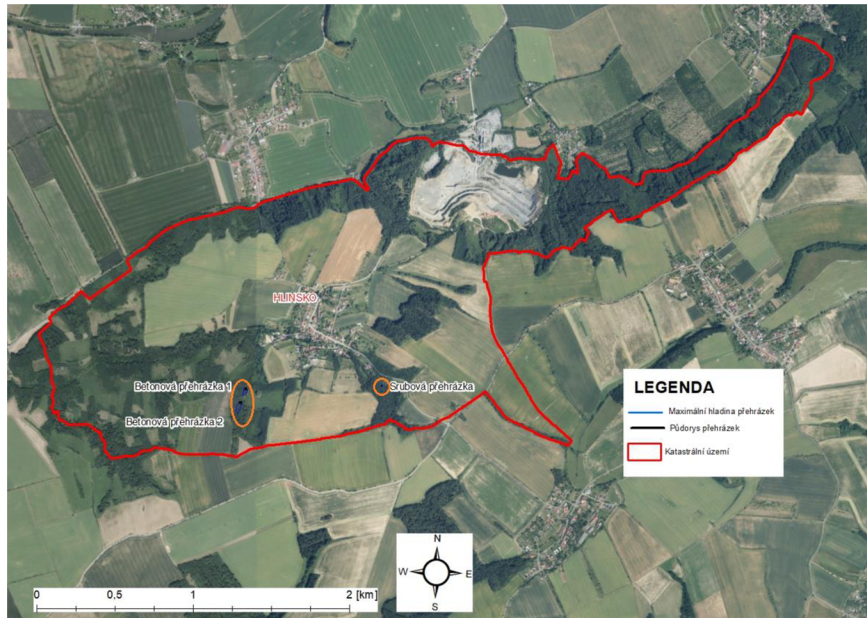


Obr. 20 Vybraný řez ZP2 v místě staničení 0,25 km

6 NÁVRH PŘEHRÁŽEK

Poloha přehrážek již byla předběžně orientačně určena v rámci bakalářské práce [1]. V této práci došlo k úpravě návrhu a byla provedena textová i výkresová dokumentace.

V zájmové lokalitě byly navrženy dvě monolitické betonové přehrážky (BP) a jedna srubová přehrážka (SP).



Obr. 21 Poloha přehrážek

6.1 ZÁSADY NAVRHOVÁNÍ PŘEHRÁŽEK

Přehrážky jsou konstrukce postavené příčně v drahách soustředěného odtoku, kde vrchol přehrážky je výše než dno toku. Tyto stavby mají větší spád než stupně, obvykle 2 až 5 metrů, ale v extrémních případech mohou dosahovat i přes 10 metrů, zejména v horských oblastech. Jejich účelem je stabilizovat tok vody a mohou sloužit jako ochrana před erozí. Mohou také zabraňovat pohybu a šíření splavenin, což je užitečné při řízení povodňových situací. Tím, že zadržují částice unášené vodou, pomáhají při zachytávání sedimentů, zejména během období vysokých vodních stavů. [28]

Pokud jde o jejich konstrukční provedení, přehrážky jsou navrhovány s různými statickými principy. Mohou být vytvořeny jako objekty s plochým profilem, tížně vyvážené konzoly, monolitické konstrukce, obloukové útvary nebo obloukové struktury s těžišťovým účinkem, a také jako svíslé deskové nosníky. Každý typ má své vlastní statické vlastnosti a je zvolen podle konkrétních potřeb a podmínek na místě. [28]

Tvary přelivů bývají obvykle lichoběžníkové, miskovité, zaoblené, šikmé, nebo i obdélníkové. Jejich schopnost propustit vodu je navrhována tak, aby vyhovovala požadovanému průtoku (vždy je nutné zohlednit důsledky průtoku Q_{100}). [28]

U návrhu přehrážek musí být dodrženo nepřekročení mezního stavu únosnosti. Přehrážka musí být jako tuhé těleso stabilní z hlediska posunutí, překlopení a nadzdvihnutí vzlakem. Dále nesmí dojít k usmýknutí většího celku včetně zeminy, únosnost základové zeminy musí být dostačující a nesmí docházet k inicializaci vnitřní eroze v podloží stupně nebo podél něj. [28]

Při navrhování podjezí spádových objektů je potřeba dbát na to, že třeba energie bystřínného proudění, která vzniká dopadem vodního paprsku do podjezí, se musí dostatečně utlumit. V případě převodu proudění na proudění říční v trati pod objektem je třeba využít k utlumení vodní energie vodního skoku. Když v dolní trati nastává bystřínné proudění, tak jako nejvhodnější způsob tlumení energie se jeví účinné zdrsnění podjezí v jeho dně i v jeho svazích. [28]

6.1.1 Navrhování tížných monolitických přehrážek

Tělesa takovýchto objektů nebývají přerušena svislými dilatačními spárami. V důsledku jejich zavázání do břehů vzniká trojrozměrné působení. Těleso je složeno ze svislých konzol, které přenášejí zatížení do základů, a z vodorovných nosníků, které přenášejí zatížení do svahů. Jejich navrhování je vhodné do úzkých profilů, kde se uplatní statické působení vodorovných trámů. Předpokládá se dokonalé monolitické provedení tělesa přepážky. [28]



**Obr. 22 Příklad betonové retenční přehrážky s průceznými otvory ve dvou úrovních.
(průcezná otvory i přeliv jsou tvořeny pískovcovými bloky) [28]**

6.1.2 Navrhování dřevěných přehrážek

Dřevěné přehrážky mají životnost většinou kolem 15 let. Po uplynutí této doby se musí opravit, případně nahradit. Existuje několik typů dřevěných přehrážek. Může se jednat o přehrážky povalové, srubové jednostěnné nebo srubové dvoustěnné s kamennou výplní. [28]

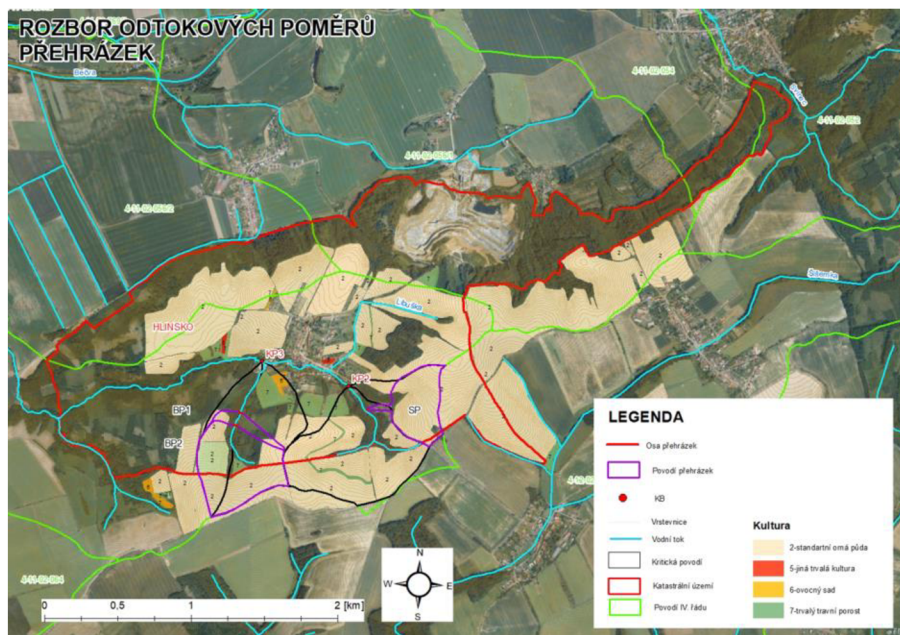


Obr. 23 Příklad soustavy konsolidačních srubových přehrážek ze srubové kulatiny [28]

6.2 SAMOTNÝ NÁVRH PŘEHRÁŽEK

Pan starosta obce Hlinsko nás upozornil, že na území lesa v KP3 dochází při povodních k velkému odnosu splavenin a větví. Ty se poté dostávají na místní komunikaci a do intravilánu z důvodu nedostatečné kapacity koryta v místě KP3. Z tohoto důvodu byly v místě KP3 navrženy 2 betonové přehrážky.

Dále byla navržena i jedna srubová přehrážka v KP2. Nad přehrážkou je navržena stabilizace koryta z důvodu neustáleného odtoku vody z propustku nad ní a vzniku boční eroze a erozních rýh, jak již bylo popsáno v předchozí kapitole.

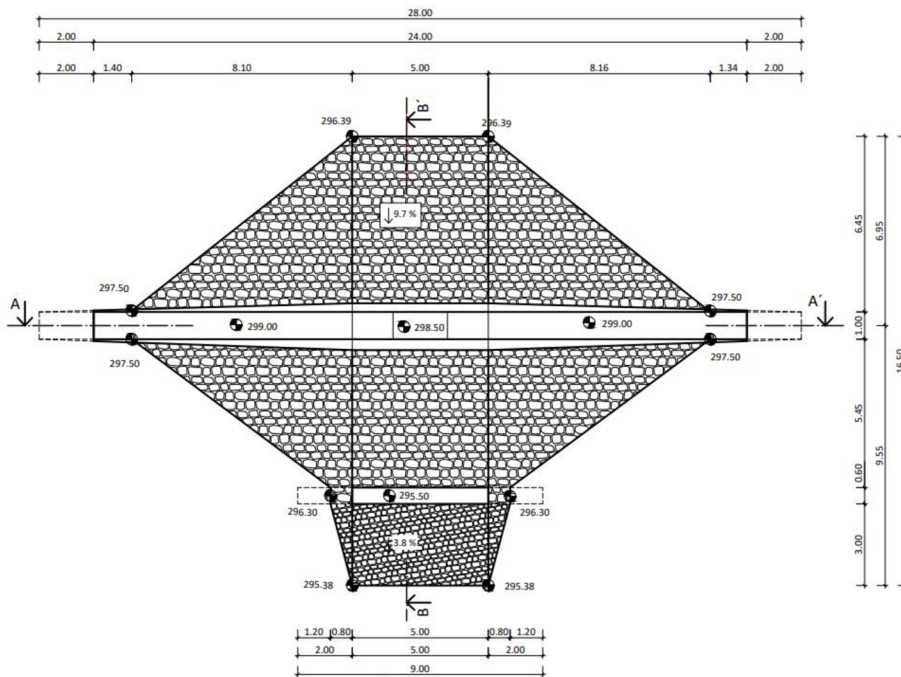


Obr. 24 Příslušná povodí přehrážek

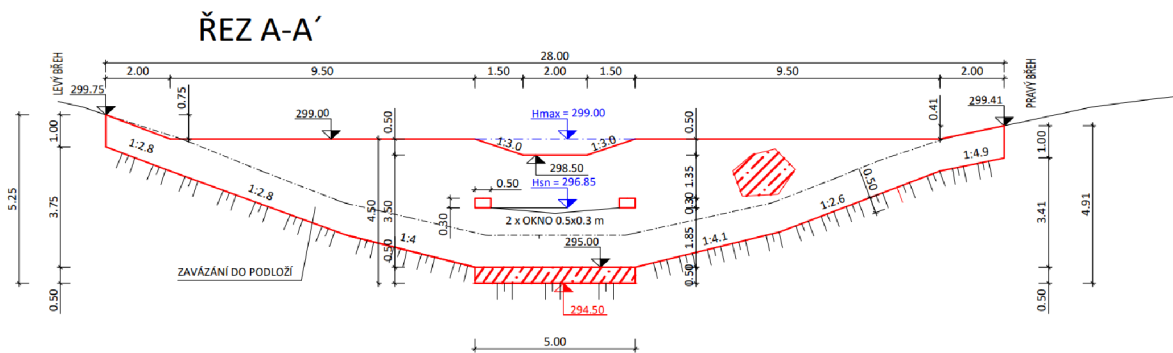
6.3 NÁVRH BETONOVÝCH PŘEHRÁŽEK

Na základě výpočtů kapacity přelivu, rozměrů vývaru a zasazení do stávající krajiny byly navrženy 2 monolitické betonové přehrážky. V textové části této práce bude pro představu ukázka výkresu

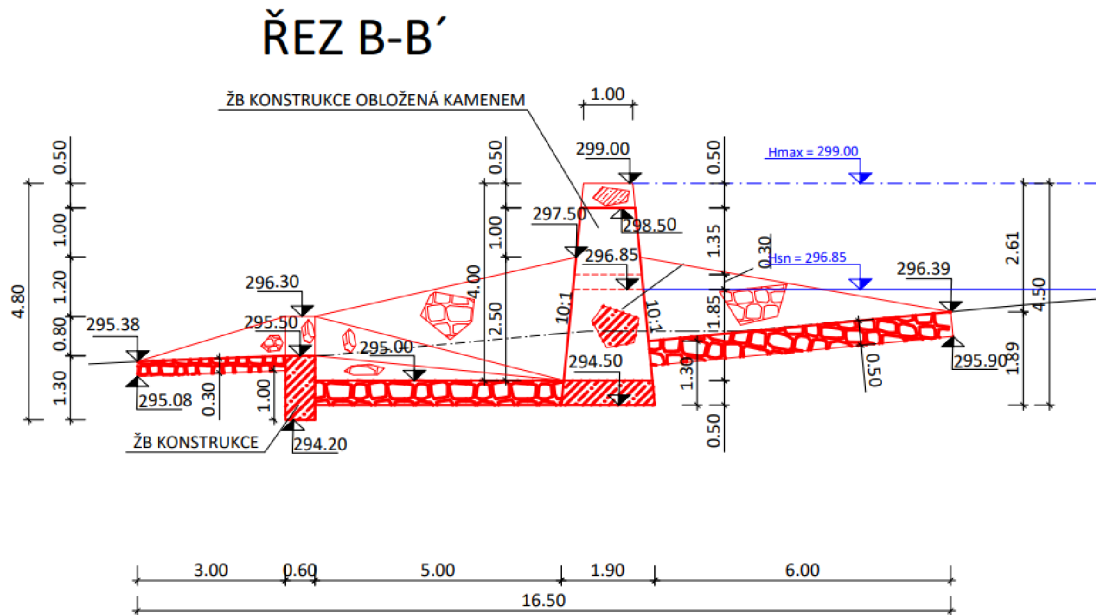
pouze betonové přehrážky 1, protože jsou si obě přehrážky velice podobné. Na obě se však lze podívat ve výkresové dokumentaci v rámci příloh 3 – Betonové přehrážky.



Obr. 25 Půdorys betonové přehrážky 1



Obr. 26 Vzorový podélný řez betonové přehrážky 1



Obr. 27 Vzorový říční řez betonové přehrážky 1

6.3.1 Poloha betonových přehrážek

Betonové přehrážky se nachází na území KP3, které je zobrazeno na obr. 24.

KP2

Charakteristiky daného povodí byly převzaty z bakalářské práce: [1]

- Plocha povodí: 0,497 [km²]
- Sklon: 9,86 [%]
- Nadmořská výška:
 - průměrná: 321,81 m n.m.
 - nejnižší bod: 276,51 m n.m.
 - nejvyšší bod: 3546,88 m n. m.
- Povrchový odtok:
 - **Objem přímého odtoku:** 10 500 [m³]
 - **Kulminační průtok Q₁₀₀:** 2,01 [m³·s⁻¹]
- Geologické jednotky: Spraš a sprašová hlína, kamenito-písčito-hlinitá eluvia, kamenitý až hlinito-kamenitý sediment, jílovité břidlice
- Hlavní půdní jednotky: Fluvizemě glejové a oglejené, kambizemě oglejené a glejové, hnědozemě luvické a oglejené, luvizemě modální

Kritický profil č. 3 se rozléhá jižním směrem od západní hranice intravilánu Hlinsko. Přispívající půda je z 50 % využívána jako orná půda a zbytek je převážně tvořen lesy nebo loukami. [1]

Odtok přispívající plochy je situován v záchytném příkopu, který přechází v propustek a zároveň záchytný žlab. Propustek následně ústí do toku řeky Libušky. [1]



Obr. 28 Území koryta, nad kterým byl vytvořen návrh betonových přehrážek [1]



Obr. 29 Záchytný žlab, do kterého proudí soustředěný odtok KP3. Žlab následně přechází v příkop. Zároveň se jedná o území KB3 [1]

Následný propustek, který navazuje na příkop na obrázku, má **DN 500** a přibližný sklon **8 %**. Jeho kapacitní průtok tedy vychází na **1,31 m³·s⁻¹**. Propustek je tedy vhodný pouze na návrhový průtok **Q₂₀ = 1,12 m³·s⁻¹**. Ani záchytný příkop se nejeví jako dostačující. Při jeho rozměrech (b= 600, B= 1700 a h= 800) a přibližném sklonu **1 %** je taktéž vyhovující pouze na Q₂₀ při kapacitním průtoku **1,25 m³·s⁻¹**. [1]

Aby nedocházelo k přílišnému zaplavování propustku a příkopu sedimenty a větvemi stromů, a tím se nezhoršovala jeho průtočnost, byla navržena soustava dvou betonových přehrážek. Tyto přehrážky v rámci podélného řezu disponují 2 obdélníkovými otvory. Tyto otvory budou

za předpokladu nepropustného podloží hrázky udávat stálé nadržení přehrážek. Při povodni tak dojde ke zpomalení odtoku, kdy voda bude postupně dosahovat úrovně bezpečnostního přelivu.

Je tedy zapříčiněno zpomalení doby dotoku vody do KB3 a tím i částečné zmenšení jeho kulminačního průtoku. Zároveň se sníží odnos sedimentů a splavenin pod korytem. Toto však není hlavní funkcí přehrážek, přehrážka je navržena hlavně jako protierozní opatření.

Při respektování navržených organizačních a agrotechnických opatření stanovených v bakalářské práci dojde ke zkapacitnění současného propustku i průlehu. Hodnota **Q100** se po návrhu PEO změní na hodnotu **1,29 m³·s⁻¹**. Propustek již tedy bude zkapacitněn a záchytný příkop téměř také. [1].

6.3.2 Charakteristika navržených betonových přehrážek

Obě navržené přehrážky jsou tížné monolitické a každá má 2 obdélníkové průřezné otvory, které v podstatě udávají hladinu trvalého nadržení přehrážky.

Jedná se o retenční přehrážky, které primárně slouží k zastavení chodu splavenin a k jejich akumulaci.

Zvolení tížných monolitických přehrážek bylo opodstatněno velikostí přehrážky, kdy při délce koruny 28 metrů již není snadná realizace z přírodních materiálů, a zároveň velice výhodnému statickému účinku přehrážky, která je schopná čelit trojrozměrného působení zatížení.

Vývar, dno koryta před korunou hrázek a navazující opevnění svahů, je provedeno záhozem z rovnaniny z lomového kamene. Lomový kámen váží 200 kg a více. Vývar a navazující svah je takto navržen za účelem tlumení vodní energie vzniklé přepadem vody přes přelivnou konstrukci.

Opevnění dna koryta a jeho svahů před korunou hráze je takto navrženo za účelem usnadnění čištění lesních nánosů a sedimentů, které se budou před korunou přehrážek přirozeně hromadit.

Za vývarem je navržen železobetonový nosník o rozměrech 1,30 x 0,60 x 9,00 m, který chrání vývar před posunutím.

Za železobetonovým nosníkem je také navrženo zpevnění dna koryta a jeho svahů pohozením rovnaniny z lomového kamene. Lomový kámen váží 80 kg a více. Toto opevnění je koncipováno tak, aby zpevnilo koryto za železobetonovým nosníkem a přirozeně navázalo na terén.

Koruna hráze je široká 1 m a po celé své svislé délce se rozšiřuje v mírném sklonu 10:1.

Případně je možné celou přehrážku z důvodu estetického charakteru a přirozenějšího začlenění do krajiny obložit obkladem např. z hrubého rádkového zdiva.

Tab. 4 Charakteristiky betonové přehrážky 1

| Betonová přehrážka 1 | | |
|---|------|-----|
| Délka koruny hráze | 28 | [m] |
| Šířka hráze v koruně | 1 | [m] |
| Svah návodního a vzdušního líce | 10:1 | [-] |
| Výška hráze (ode dna zpevněného toku na návodní straně) | 3,2 | [m] |
| Výška hráze (ode dna vývaru) | 4 | [m] |

| Betonová přehrážka 1 | | |
|---|-----------|----------|
| Rozměry průřezných otvorů | 0,5 x 0,3 | [m] |
| Délka vývaru | 5 | [m] |
| Délka opevnění dna za vývarem | 3 | [m] |
| Délka opevnění dna před hrází | 6 | [m] |
| Kóta Hsn (spodní hrana průřezných otvorů) | 296,85 | [m n.m.] |
| Kóta max. hladiny | 299,00 | [m n.m.] |
| Kóta dna vývaru | 295,00 | [m n.m.] |
| Kóta dna přelivu | 298,50 | [m n.m.] |

Tab. 5 Charakteristiky betonové přehrážky 2

| Betonová přehrážka 2 | | |
|---|-----------|----------|
| Délka koruny hráže | 28 | [m] |
| Šířka hráže v koruně | 1 | [m] |
| Svah návodního a vzdušního líce | 10:01 | [-] |
| Výška hráže (ode dna zpevněného toku na návodní straně) | 3,2 | [m] |
| Výška hráže (ode dna vývaru) | 4 | [m] |
| Rozměry průřezných otvorů | 0,5 x 0,3 | [m] |
| Délka vývaru | 5 | [m] |
| Délka opevnění dna za vývarem | 3 | [m] |
| Délka opevnění dna před hrází | 6 | [m] |
| Kóta Hsn (spodní hrana průřezných otvorů) | 302,35 | [m n.m.] |
| Kóta max. hladiny | 304,50 | [m n.m.] |
| Kóta dna vývaru | 300,50 | [m n.m.] |
| Kóta dna přelivu | 304,00 | [m n.m.] |

6.3.3 Výpočet délky přelivu a hloubky vývaru

Výpočet byl stanoven dle technického doporučení pro hrazení bystřin a strží vydaného ČSSI – Českou společností krajinných inženýrů [28].

Označení jednotlivých členů pro tyto výpočty bylo voleno stejně jako v metodice [28].

Betonové přehrážky 1 i 2 mají velice podobné rozměry i hodnotu návrhového průtoku, proto byly jejich přelivy i vývary nadimenzovány stejně.

Výpočet délky přelivu: [28]

$$b_0 = b - 0,2 \cdot y_p \text{ [m]}$$

(6.1)

Kde: b_0 – účinná délka přelivné hrany [m],

b – délka přelivné hrany [m],

y_p – tloušťka přelivného paprsku (m).

$$Q = M \cdot (b_0 + 0,8 \cdot m \cdot E_p) \cdot E_p^{1,5} [m^3 \cdot s^{-1}]$$

(6.2)

Kde: Q – Kapacita přelivu $m^3 \cdot s^{-1}$,

M – součinitel přepadu [-],

b_0 – účinná délka přelivné hrany [m],

m – pořadnice sklonu boků přelivu [-],

E_p – energetický horizont k přelivné hraně [m].

Tab. 6 Tabulka součinitele přepadu M :

| $\frac{t}{y_p}$ | 0,500 | 0,667 | 0,778 | 0,889 | 1,000 | 1,500 | 2,000 | 3,000 | > 3,000 |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| μ | 0,630 | 0,615 | 0,596 | 0,576 | 0,555 | 0,525 | 0,495 | 0,480 | 0,451 |
| M | 1,860 | 1,816 | 1,760 | 1,701 | 1,639 | 1,550 | 1,461 | 1,417 | 1,330 |

Tvar i z něho vycházející kapacita přelivu byly záměrně vybrány tak, že se přeliv od své přelivné hrany (2 m) rozšiřuje ve sklonu 1:3 a horní hrana přelivu tak kopíruje koryto vývaru, což má i estetický charakter. V tab. 7 je ověřena jeho kapacita na návrhové průtoky.

Tab. 7 Výpočet kapacity přelivu betonových přehrázek

| Výpočet kapacity přelivu | | | |
|---|-----------|------|----------------------|
| Tloušťka přelivného paprsku | y_p | 0,5 | [m] |
| Délka přelivné hrany | b | 2 | [m] |
| Účinná délka přelivné hrany | b_0 | 1,9 | [m] |
| Šířka koruny hráze v místě přelivné hrany | t | 1,1 | [m] |
| Pořadnice sklonu boků přelivu | m | 3 | [-] |
| Podíl šířky hráze a výšky přelivu | t/y_p | 2,20 | [-] |
| Energetický horizont k přelivné hraně | E_p | 0,54 | [m] |
| Rychlost vody) | v | 0,85 | $[m \cdot s^{-1}]$ |
| Součinitel přepadu | M | 1,45 | [-] |
| Kapacita přelivu | Q_{KAP} | 1,82 | $[m^3 \cdot s^{-1}]$ |
| Skutečný průtok povodí BP 1 $[m^3]$ | Q_{100} | 1,22 | $[m^3 \cdot s^{-1}]$ |
| Skutečný průtok povodí BP 2 $[m^3]$ | Q_{100} | 1,12 | $[m^3 \cdot s^{-1}]$ |

Na základě navržených rozměrů byla stanovena kapacita přelivu na $1,82 m^3 \cdot s^{-1}$. Skutečný kulminační průtok v povodí BP 1 je $Q_{100} = 1,22 m^3 \cdot s^{-1}$ a v povodí BP2 $Q_{100} = 1,12 m^3 \cdot s^{-1}$. Kapacita přelivu je tedy dostatečná na dané návrhové průtoky.

Následně bylo přistoupeno k **návrhu vývaru**. Konkrétně bylo zapotřebí stanovit jeho **délku a hloubku**.

Výpočet délky vývaru: [28]

$$L_v = L_p + L_s [m] \quad (6.3)$$

Kde: L_v – délka vývaru [m],

L_p – délka doskoku vodního paprsku [m],

L_s – délka vodního skoku [m].

Výpočet hloubky vývaru: [28]

$$d = 1,2 \cdot y_2 - y_d [m] \quad (6.4)$$

Kde: d – hloubka vývaru [m],

y_2 – druhá hloubka vodního skoku [m],

y_d – hloubka vody v trati pod stupněm [m].

Pozn. Při výpočtu nebyla u „ d “ počítána takováto rezerva, ale hloubka vývaru byla vypočítána jako 1,05 násobek hloubky spodní vody, od kterého je odečtena voda v trati pod stupněm.

Pomocné výpočty

Výpočet délky vývaru: [28]

$$L_p = 1,65 \sqrt{y_p \cdot (s + d + 0,32 \cdot y_p)} [m] \quad (6.5)$$

Kde: L_p – délka doskoku vodního paprsku [m],

y_p – tloušťka přelivného paprsku [m],

s – spád objektu [m],

d – hloubka vývaru [m].

Výpočet výšky vodního skoku: [28]

$$A_s = y_2 - y_1 [m] \quad (6.6)$$

Kde: A_s – výška vodního skoku [m],

y_2 – druhá hloubka vodního skoku [m],

y_1 – první hloubka vodního skoku [m].

Výpočet první hloubky vodního skoku: [28]

$$y_1 = \frac{0,235 \cdot q}{d_H} [m] \quad (6.7)$$

Kde: y_1 – první hloubka vodního skoku [m],

Q – měrný průtok vody [$m^2 \cdot s^{-1}$],

d_H – rozdíl hladin nad a pod stupněm [m].

Výpočet druhé hloubky vodního skoku: [28]

$$y_2 = 0,5 \cdot y_1 \cdot (A - 1) [m] \quad (6.8)$$

Kde: y_2 – druhá hloubka vodního skoku [m],

y_1 – první hloubka vodního skoku [m],

A – parametr [-].

Výpočet parametru A: [28]

$$A = \sqrt{1 + 8 \cdot M^2} [m] \quad (6.9)$$

Kde: A – parametr [-],

M – parametr [-].

Výpočet parametru M: [28]

$$M = 0,319 \cdot q \cdot y_1^{-1,5} [m] \quad (6.10)$$

Kde: M – parametr,

Q – měrný průtok vody [$m^2 \cdot s^{-1}$],

y_1 – první hloubka vodního skoku [m].

Výpočet délky vodního skoku: [28]

$$L_s = 4,8 \cdot A_s [m] \quad (6.11)$$

Kde: L_s – délka vodního skoku [m],

A_s – výška vodního skoku (m).

Tab. 8 Parametry přehrážek potřebné pro výpočet délky a hloubky vývaru

| Návrh hloubky a šířky vývaru | | | |
|----------------------------------|-------|-------|-----|
| Tloušťka přelivného paprsku | y_p | 0,435 | [m] |
| Spád objektu | s | 3 | [m] |
| Rozdíl hladin nad a pod stupněm | d_h | 3,27 | [m] |
| Hloubka vody v trati pod stupněm | y_d | 0,17 | [m] |

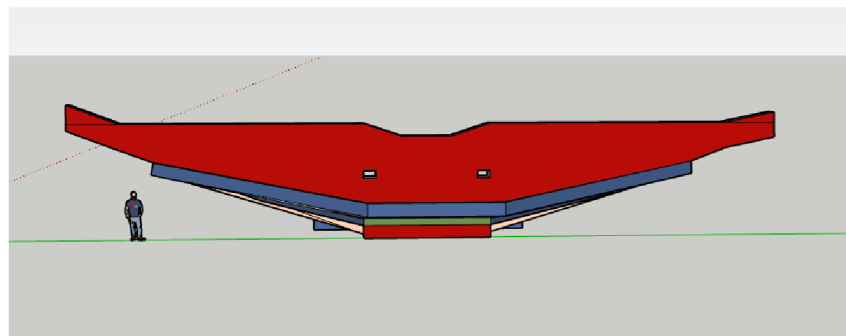
Na základě těchto parametrů a potřebných vztahů byla vypočtena první hloubka vodního skoku $y_1 = 0,04 \text{ m}$ a druhá hloubka vodního skoku $y_2 = 0,64 \text{ m}$. Hloubka vývaru byla navržena na $d = 0,5 \text{ m}$. Délka doskoku vodního paprsku $L_p = 2,08 \text{ m}$ a délka doskoku vodního paprsku $L_s = 2,90 \text{ m}$. Výsledná **délka vývaru** byla navržena na **5 m**.

Hloubka vývaru závisí především na hloubce vody v korytě za vývarem. Jelikož bylo ponecháno původní koryto, byl na základě příčných řezů toku a jeho podélného sklonu určen jeho průměrný sklon 6,0 %, šířka dna 5 m a sklony svahů 1:3. Hloubka vody v tomto korytě je rovna $y_d = 0,17 \text{ m}$.

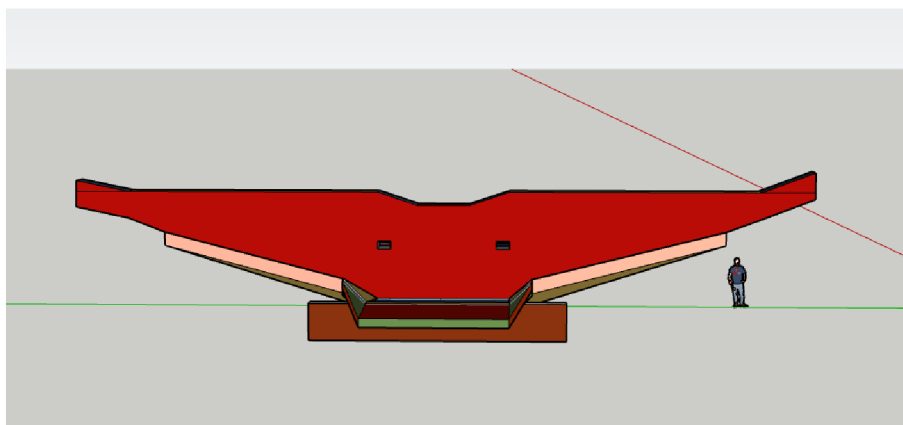
Dno vývaru u všech přehrážek (u srubové přehrážky se jedná o koryto za přepadem) bylo navrženo z kamenné rovnániny z lomového kamene o váze 200 kg. Tyto kameny mohou tlumit průtok až o rychlosti $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Přepadající voda u žádné přehrážky této rychlosti nedosáhne.

6.3.4 Vizualizace betonové přehrážky

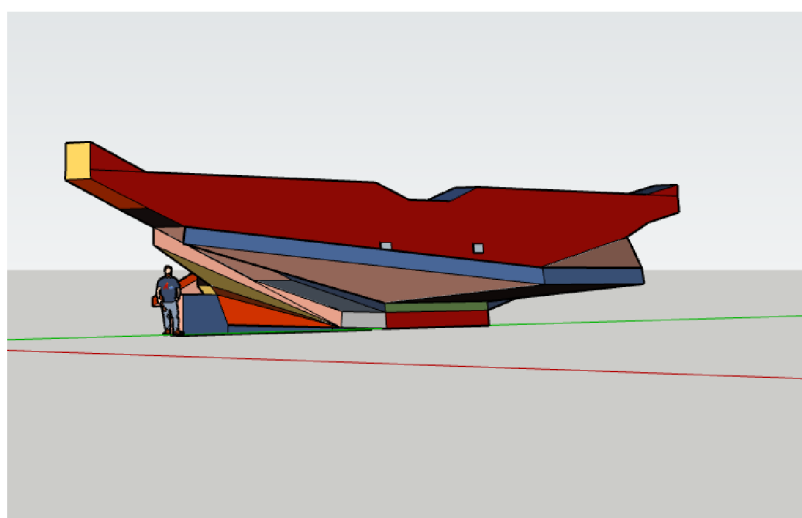
Na základě výkresové dokumentace byla provedena vizualizace betonové přehrážky v programu SketchUp.



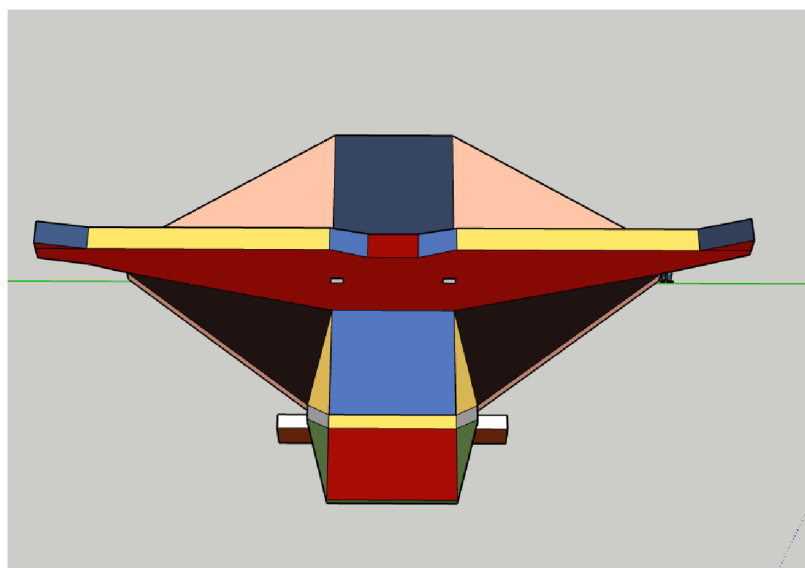
Obr. 30 Pohled po směru toku



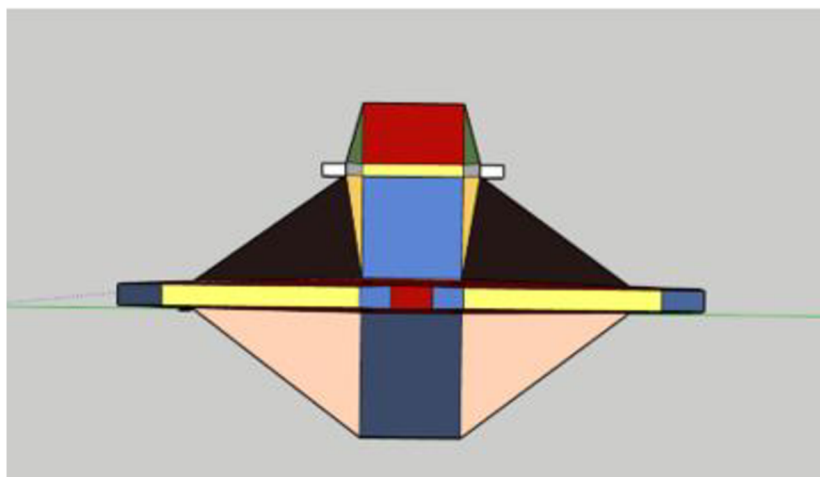
Obr. 31 Pohled proti směru toku



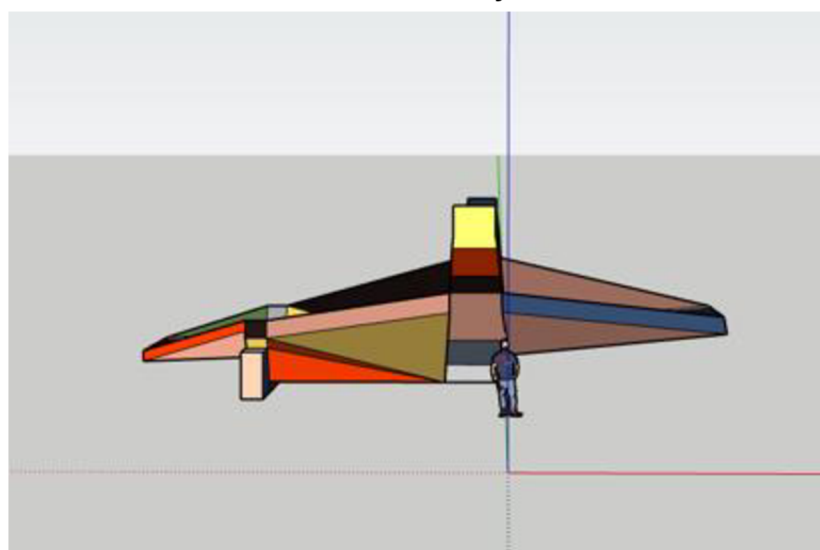
Obr. 32 Boční pohled i zespodu



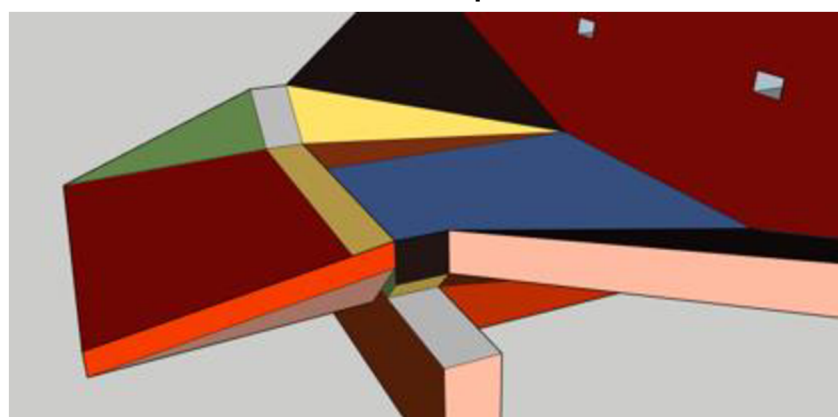
Obr. 33 Pohled shora



Obr. 34 Půdorys



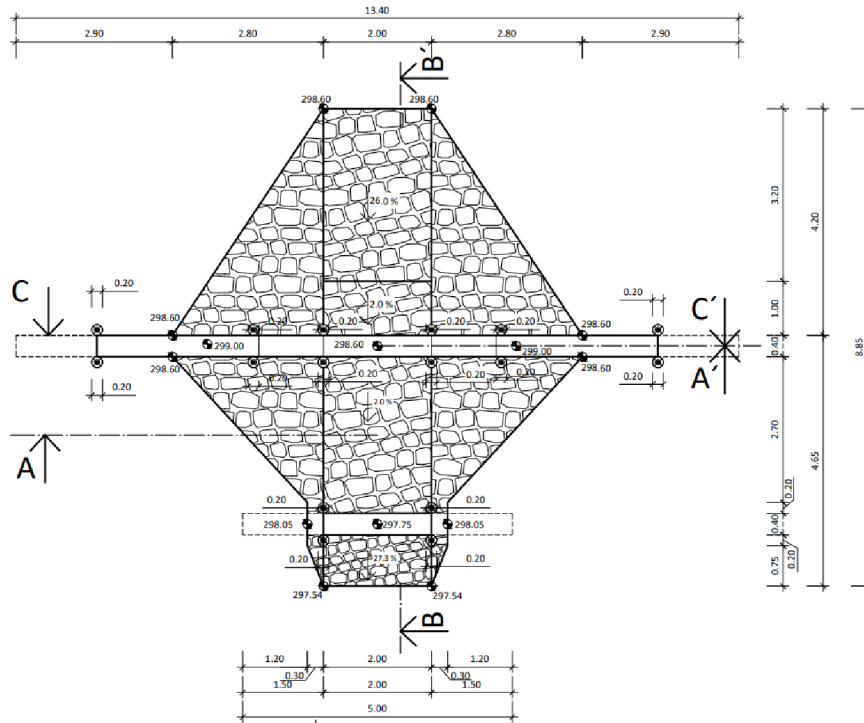
Obr. 35 Boční pohled



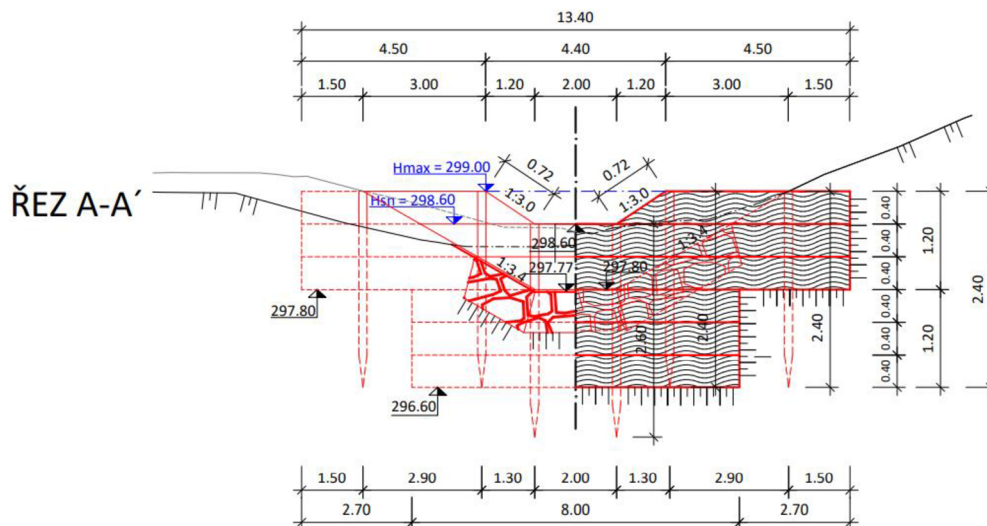
Obr. 36 Detail na vývar přehrážky

6.4 NÁVRH SRUBOVÉ PŘEHRÁŽKY

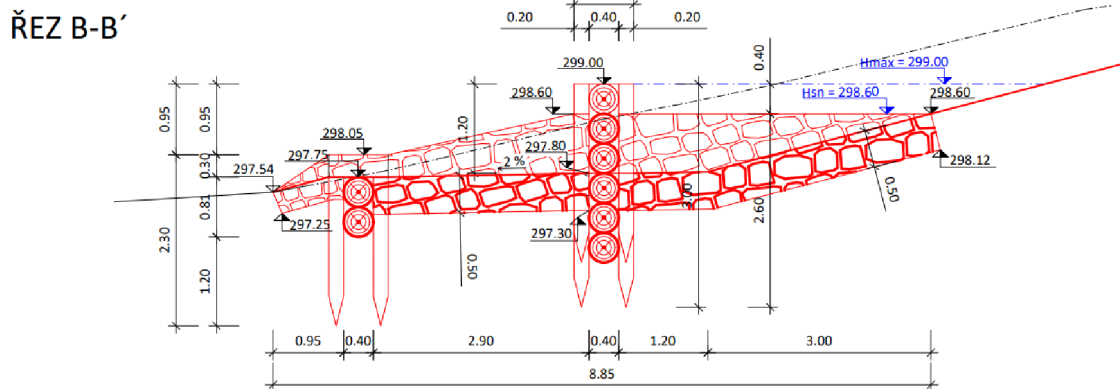
Na základě výpočtů kapacity přelivu, rozměrů vývaru a zasazení do stávající krajiny byla navržena srubová přehrážka:



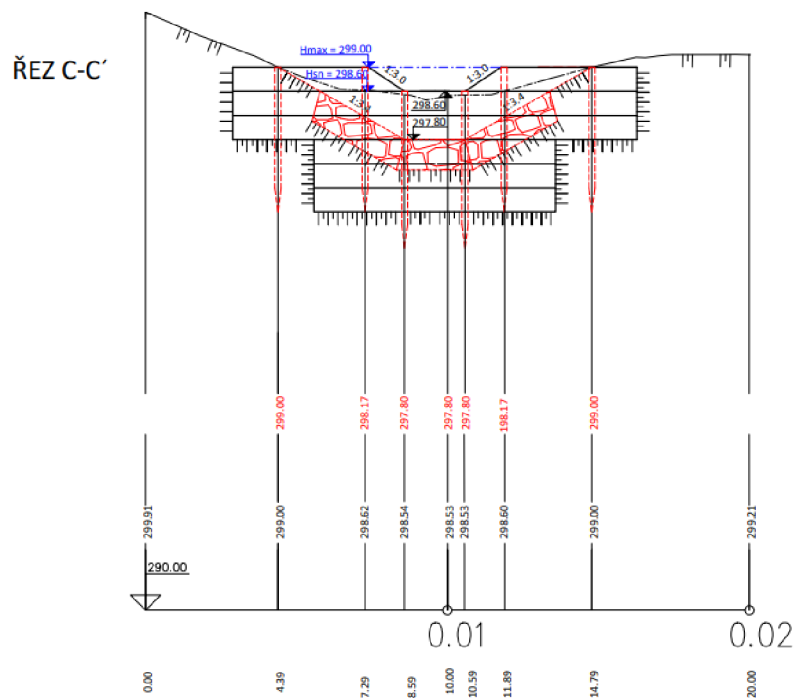
Obr. 37 Půdorys srubové přehrážky



Obr. 38 Vzorový podélný řez srubové přehrážky



Obr. 39 Vzorový příčný řez srubové přehrážky



Obr. 40 Příčný řez srubové přehrážky

6.4.1 Poloha srubové přehrážky

Přehrážka se nachází v KP2 obr. 24, které bylo stanoveno v bakalářské práci [1].

Jak již bylo popsáno, voda, která protéká propustkem pod místní komunikací, nenaváže na stabilizované koryto, ale volně pokračuje dál za vzniku rýhové eroze. Z tohoto důvodu byla doporučena stabilizace koryta a navržena srubová přehrážka.

6.4.2 Charakteristika navržené srubové přehrážky

Jedná se o srubovou jednostěnnou konsolidační přehrážku sloužící ke stabilizaci koryta, k zabránění výmolné činnosti a ke stabilizaci svahů úbočí a k vázání splavenin.

Zvolení srubové přehrážky bylo určeno menším průtokem povodí přehrážky, menší velikostí koruny hráze a výborným začleněním do okolí, protože přehrážka se nachází v lese. Z tohoto důvodu nebude problém ani doprava dřevěného materiálu a materiál může být použit z lokálních zdrojů.

Samotná hráz se skládá ze 7 kuláčů s průměrem 0,40 m. První dva kuláče tvoří korunu hráze a jsou přerušeny vytvořeným přelivem. Každý z nich má délku 4,50 m před skosením. Skosení je provedeno ve sklonu 1:3, aby byl dodržen lichoběžníkový tvar přelivu. Následují další dva kuláče dlouhé 13,40 m a další 3 kuláče dlouhé 8,00 m.

Dno koryta za i před korunou hráze a navazující opevnění svahů je provedeno záhozem z rovnániny z lomového kamene. Lomový kámen váží 200 kg a více. Opevnění dna koryta a jeho svahů je takto navrženo za účelem usnadnění čištění lesních nánosů a sedimentů, které se budou před korunou přehrážky přirozeně hromadit.

Za zpevněným dnem za přehrážkou je navržen srubový nosník dlouhý 5 m s průměrem 0,4 m. Nosník zamezuje kamenivu v posunutí.

Za srubovým nosníkem je také navrženo zpevnění dna koryta a jeho svahů pohozen rovnániny z lomového kamene. Lomový kámen váží 80 kg a více. Toto opevnění je navrženo tak, aby zpevnilo koryto za srubovým nosníkem a přirozeně navázalo na stávající terén.

Tab. 9 Charakteristiky srubové přehrážky

| Srubová přehrážka | | |
|---|--------|----------|
| Délka koruny hráze | 13,4 | [m] |
| Průměr kuláče v koruně hráze | 0,4 | [m] |
| Výška hráze (ode dna zpevněného toku na návodní straně) | 1,2 | [m] |
| Výška hráze (ode dna vývaru) | 1,2 | [m] |
| Délka zpevněného dna v podjezí (po srubový nosník) | 2,9 | [m] |
| Délka opevnění dna za vývarem | 0,95 | [m] |
| Délka opevnění dna před hrází | 4,2 | [m] |
| Kóta Hsn (kóta přelivu) | 298,60 | [m n.m.] |
| Kóta max. hladiny | 299,00 | [m n.m.] |
| Kóta zpevněného dna v podjezí u hráze | 297,80 | [m n.m.] |
| Sklon dna v podjezí | 2 | [%] |

6.4.1 Výpočet délky přelivu a ověření nepotřebnosti vývaru

Pro stanovení kapacity přelivu byla použita Dubuatova rovnice přepadu: [29]

$$Q = \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot b_0 \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot h^3 \quad [m^3 \cdot s^{-1}] \quad (6.12)$$

Kde: Q – kapacitní průtok [$m^3 \cdot s^{-1}$],

b_0 – účinná šířka přelivu [m],

g – gravitační zrychlení [$m \cdot s^{-2}$],

h – výška přepadového paprsku [m],

μ – součinitel přepadu [-].

Tento vzorec byl však upraven dle vzorce na výpočet přelivu betonové přehrážky, aby odpovídal lichoběžníkovému tvaru přelivu.

Pro stanovení součinitele přepadu byla použita rovnice dle Kramera pro výpočet přepadu u přelivu se zaoblenou korunou: [30]

$$\mu_P = 1,02 - \frac{1,015}{\frac{h}{r} + 2,08} + \left[0,04 \cdot \left(\frac{h}{r} + 0,19 \right)^2 + 0,0223 \right] \cdot \frac{r}{s} \quad [-] \quad (6.13)$$

Kde: μ – součinitel přepadu [-],

r – poloměr zaoblení koruny [m],

h – tloušťka přelivného paprsku [m],

s – hloubka před přelivem [m].

Tvar i z něho vycházející kapacita přelivu byly záměrně vybrány tak, že přelivná hrana kopíruje šířku dna podjezí (2 m) a následně se rozšiřuje ve sklonu 1:3.

Tab. 10 Výpočet kapacity přelivu srubové přehrážky

| Návrh rozměrů přelivu | | | |
|-----------------------------------|-----------------------|------|-----------|
| Součinitel přepadu | μ_{KRAMER} | 0,82 | [-] |
| Šířka přelivu | b | 2,00 | [m] |
| Účinná šířka přelivu | b_0 | 1,92 | [m] |
| Výška přepadového paprsku | h | 0,40 | [m] |
| Poloměr zakřivení přepadové hrany | r | 0,20 | [m] |
| Hloubka před přelivem | s | 0,80 | [m] |
| Kapacita přelivu | Q | 1,77 | [m^3] |
| Skutečný průtok povodí | Q | 1,15 | [m^3] |

Na základě těchto rozměrů byla stanovena kapacita přelivu $Q = 1,77 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Skutečný průtok povodí srubové přehrážky je roven $Q_{100} = 1,15 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Přeliv je tedy stejně jako u betonové přehrážky navržen jako kapacitní na Q_{100} a zároveň esteticky vhodný.

Výpočet kritické hloubky

Kritickou hloubku bylo nutné znát z důvodu návržení vývaru v případě potřeby přechodu z bystřinného do laminárního proudění v dolním korytě.

Vztah pro výpočet kritické hloubky: [29]

$$h_k = \sqrt[3]{\frac{\alpha \cdot Q^2}{g \cdot b^2}} \text{ [m]}$$

(6.14)

Kde: Q – návrhový průtok [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

b – šířka spadiště [m]

α – Coriolisovo číslo [-],

g – tíhové zrychlení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$].

Kritická hloubka byla stanovena na základě znalostí rozměrů upraveného koryta v podjezí **$h_k = 0,32 \text{ m}$** . Hloubka vody v dolním korytě byla určena jako **$h_d = 0,31 \text{ m}$** . Lze tedy učinit předpoklad o **bystřinném proudění**.

Výpočet parametrů délky doskoku a délky nerovnoměrného proudění nebyl stanoven z důvodu opevnění svahů i dna podjezí až k hraně toku řeky Libušky, do které se vtok bude následně vlévat. V místě tohoto nátoku by také mohlo dojít k jejímu opevnění kamenným záhozem.

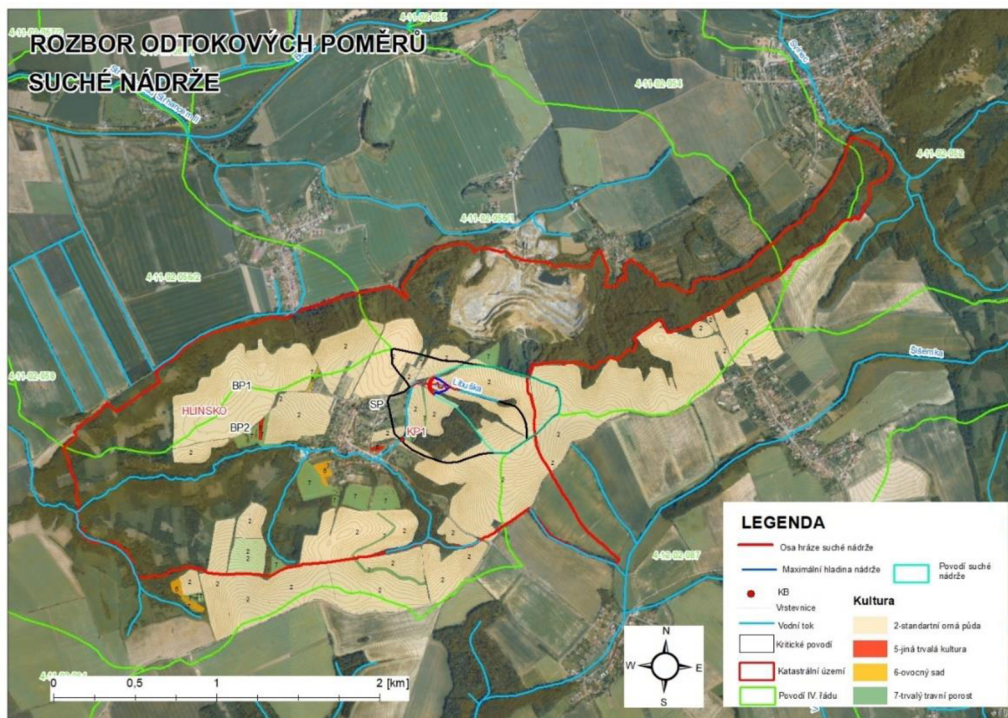
Bylo tedy navrženo zpevněné dno z kamenné rovnaniny o hmotnosti kamene alespoň 200 kg v délce 2,9 m až po zavazovací nosník.

Za přepadem došlo k nastínění lichoběžníkového koryta z kamenné rovnaniny s šířkou dna 2 m, sklonem 2,0 %, drsností 0,04 a průměrným sklonem svahů 1:2,25.

7 SUCHÁ NÁDRŽ – OBECNÉ ZÁSADY NAVRHOVÁNÍ

Byla navržena jedna suchá nádrž na území KP1 severozápadně od intravilánu.

Poloha suché nádrže již byla předběžně orientačně určena v bakalářské práci [1]. V této práci byl návrh upraven a byla provedena textová i výkresová dokumentace.



Obr. 41 Situační umístění hráze včetně jejího povodí

7.1 DEFINICE SUCHÉ NÁDRŽE

Dle TNV 75 2415 [31], což je norma určená pro navrhování suchých nádrží a posuzování jejich účinků, se suchou nádrží neboli poldrem rozumí vodní nádrž určená k ochraně před účinky povodní, ve které je celkový objem nádrže téměř shodný se součtem ovladatelného a neovladatelného ochranného prostoru. Plní retenční funkci a snižuje povodňový průtok ve vodním toku. Může mít v poměru k celkovému objemu zanedbatelné stálé nadržení, které plní krajinnotvornou či ekologickou funkci. [31]

7.2 OBECNÉ INFORMACE O SUCHÝCH NÁDRŽÍCH

Dle normy TNV 75 2415 [31] je hlavním účelem suché nádrže zadržování vody při povodni, a tím zmenšování vybraných N-letých průtoků. Prostor zátopy se smí lesnický i zemědělsky využít. Návrh suché nádrže vychází z komplexního posouzení poměrů v povodí nádrže. [31]

Hlavním předmětem návrhu a posouzení nádrže je: [31]

- Objem nádrže
- Hráz nádrže
- Funkční zařízení
- Úprava a možnost využití území v prostoru zátopy
- Vazba na technické a jiné vybavení
- Zásady manipulace
- Přínos k ochraně území

Základním podkladem pro návrh nádrže je průzkum území, které má být chráněno. Důležité je stanovení neškodného průtoku v intravilánech sídel. Není dovoleno vysazování dřevin na hrázi a v okolí jejích objektů. Hráze vodních nádrží jsou nejčastěji sypané. S ohledem na místní podmínky a dostupnost materiálů však dále mohou být použity i betonové, zděné, kombinované anebo vyztužené násypy. [31]

Co se týká zón u sypaných hrází, tak na **homogenní hráz** se výborně hodí například hlinitý nebo jílovitý štěrk. Na **těsnicí část** se opět hodí nejlépe jílovitý štěrk (pozor však na navětralé části) a jílovitý písek. Na **stabilizační část** je nejlepší použít dobře i špatně zrněný štěrk. [31]

8 SUCHÁ NÁDRŽ – KONKRÉTNÍ TECHNICKÉ ŘEŠENÍ

V rámci bakalářské práce [1] byly stanoveny hodnoty návrhového průtoku KP1, pod který spadá i povodí suché nádrže.

Za suchou nádrží voda dále ustáleně odtéká do již zbudovaného příkopu a následně propustkem pod místní komunikací do toku řeky Libušky (IDVT: 10192807, Správce: Povodí Moravy). [21]

Suchá nádrž však též stejně jako přehrážky a zasakovací průlehy má vliv na snížení plošné eroze, a to tím, že zpomalí a stabilizuje odtok. Dalším důvodem návrhu suché nádrže je snížení nepříznivých účinků sucha pozdržením vody v krajině a nalezení vhodné lokality pro její zbudování.

Návrh byl proveden dle normy o suchých nádržích **TNV 75 2415** [31], která vychází z normy **ČSN 75 2410** [32] o malých vodních nádržích.

Dle informačního systému melioračních staveb bylo zjištěno, že na území návrhu suché nádrže i zasakovacích průlehů se nachází stavby dle Zemědělské vodohospodářské správy (ZVHS). Konkrétně se jedná o podzemní odvodnění. [33]



Obr. 42 Umístění stávajícího podzemního odvodnění na území suché nádrže a ZP [33]

Podzemní odvodnění by muselo být během realizace suché nádrže v místě hráze zcela odstraněno a v rámci výstavby zasakovacích průlehů by mohlo být v případě lokalizace zaústěno do průlehu.

8.1 ZÁKLADNÍ TECHNICKÉ PARAMETRY NÁDRŽE

Základní technické parametry nádrže jsou:

Dle účelu:

Ochranná vodní nádrž

Typ nádrže:

Suchá nádrž

| | |
|---|------------------------|
| Objem vody (při max. hladině): | 7386,43 m ³ |
| Plocha vody (při max. hladině): | 4143,15 m ² |
| Kóta koruny hráze: | 310,40 m n. m. |
| Kóta max. hladiny: | 310,10 m n. m. |
| Objem násypu hráze (včetně zavazovacího zámku): | 2203,43 m ³ |
| Objem výkopu v zátopě (včetně koryta): | 2924,58 m ³ |
| Objem násypu v zátopě: | 698,5 m ³ |
| Délka hráze: | 132,05 m |
| Šířka nádrže: | 3 m |
| Sklon návodního líce: | 1:3 |
| Sklon vzdušního líce: | 1:2 |
| Maximální výška hráze: | 3,4 m |

Vzhledem k velikosti nádrže, velikostem N-letých průtoků a očekávaného potenciálního zařazení do **IV. Kategorie** vodního díla dle **ČSN 75 2935** [34] (norma zabývající se bezpečností vodních děl při povodních), kde se očekávají nízké škody hypotetické havárie vodního díla, byla nádrž dimenzována na návrhový průtok $Q_{100} = 2,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

8.2 HRÁZ

Došlo k návrhu sypané homogenní hráze lichoběžníkového tvaru. Materiál hráze by byl těžen v prostoru budoucí zátopy. Rozdíl množství výkopu při navržené zátopě (po odečtení násypu v zátopě) a množství násypu hráze se tedy v návrhu blíží nule. V práci nebyl proveden geotechnický průzkum, ale v návrhu se očekává, že by se na základě nejbližší nalezené sondy dostupné v KPP [33] jednalo o **písčitou hlínu (MS)**. Tato zemina je v normě ČSN 75 2410 [32] hodnocena jako vhodná pro homogenní hráz. Koruna hráze leží na kótě **310,4 m n. m.**

Sklon svahů byl pro návodní líc stanoven na **1:3** a pro vzdušní líc na **1:2**. Orientační sklon návodního líce je u této zeminy v normě [32] sice doporučen na 1:3,3, jedná se však o suchou nádrž s hrází menší než 4 m. a v tomto případě je možné sklon návodního líce upravit až na hodnotu 1: (x - 0,5).

Předpokládaná délka hráze je **132,05 m** a její max. výška činí **3,4 m**. Šířka koruny dosahuje **3 m** a převýšení koruny hráze nad max. hladinu se rovná **0,3 m**. Koruna je vyspádována směrem do nádrže ve sklonu 1 %.

V místě založení hráze je nutné sejmut ornici alespoň v tloušťce **0,5 m**. Hráz je dále zavázána do podloží zavazovacím zámkem o šířce **3 m**, výšce **1 m** a sklonem svahů **1:1**. Zámek dále prochází pod celou hrází.

Na návodní straně je vystaveno opevnění v podobě stabilizační kamenné patky.

Na vzdušní straně hráze je zbudován patní drén, který slouží k odvodu prosáklé vody tělesem hráze. Drén se skládá z perforované PVC trubky **DN 200**, obsypané drceným kamenivem a dále

dobře propustným hrubozrnným materiálem. Patní drén chrání filtrační vrstva. Pata návodního svahu se opevní kamenným pohozem.

Na návodním i vzdušním líci je v tloušťce **0,2-0,3 m** provedeno ohumusování a osetí travní směsí.

Koruna hráze je navržena jako nepojízdná. K hrázi se lze dopravit po místní polní cestě. Koruna hráze se váže přímo ke kraji této cesty.

8.3 SDRUŽENÝ FUNKČNÍ OBJEKT

Sdružený funkční blok spojuje dohromady spodní výpust a bezpečnostní přeliv. Část spodní výpusti předchází část bezpečnostního přelivu. Jedná se o otevřený typ spodní výpusti, která je s hrázi spojena pochozí lávkou osazenou zábradlím. Výška spodní výpusti měří 3,4 m. Výpust je osazena drážkami pro případné umístění dluží. Součástí spodní výpusti jsou i drážky, ve kterých se nachází hrubé česle sloužící k zabránění vtoku hrubých nečistot do jejího otvoru. Spodní výpust je navržena z železobetonu, opatřená kovovými stupadly. Průtok vody se ze spodní výpusti následně dostává do spadiště kruhovým otvorem s **DN 400**. Otvor funguje jako škrceň pro zajištění neškodného odtoku vody z nádrže.

Následuje železobetonový bezpečnostní přeliv, částečně zapuštěný do hráze. Skládá se ze 2 přelivných hran s půlkruhovým tvarem ležících naproti sobě. Koruna přelivné hrany se nachází na kótě **309,80 m n.m.** a poloměr jejího zakřivení dosahuje **0,3 m**. Dále se stěny bezpečnostního přelivu rozšiřují v poměru **1:10**. Přepadová výška při návrhovém průtoku $Q_{100} = 2,50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ činí **0,3 m**. Každá přelivná hrana je dlouhá **3,75 m**. Vzájemně jsou od sebe vzdáleny 1,6 m, což odpovídá šířce spadiště, do kterého voda přepadá.

Spadiště je dlouhé **3,75 m** a začíná na kótě **307, 0 m n. m.** Má navržený podkritický sklon dna **0,5 %**. Dále spadiště přechází v odpadní štolu, která má rozměry **1,6 m x 1,6 m** a je dlouhá **14,83 m** při sklonu **2,0 %**. Spadiště sestává z železobetonu. Mocnost stěn a dna činí **0,5 m** a mocnost stropu dosahuje **0,3 m**.

Na odpadní štolu navazuje vývar sloužící k tlumení energie. Jeho dno leží na kótě **305,73 m n. m.** Vývar je navržený s bočním rozšířením oproti skluzu. Jeho šířka je **2,0 m**, hloubka **0,65 m**, tloušťka **0,40 m** a jeho délka **6,30 m**. Následuje upravené koryto s opevněním dna v délce **7,00 m**.

Pod celou konstrukcí sdruženého objektu je navržena přehutnělá základová zemina s předpokládanou účinností hutnění **0,5 m**.

8.4 ZÁTOPA NÁDRŽE

V současné době je prostor zátopy převážně využíván jako orná půda, s jedním liniovým pásmem stromů podél údolnice a pásmem stromů, který postupně přechází v les za hranicí zátopy.

V tomto prostoru se předpokládá odebrání materiálu na stavbu hráze. Dno bude vyspádováno směrem k odvodňovacímu korytu, které bude vyspádováno směrem k hrázi. Koryto bude lichoběžníkového tvaru s šířkou dna **2,0 m** výškou **1,0 m** a sklonem svahů **1:2**. Situační směr koryta je navržen jako přírodě blízký a připomíná meandrující řeku.

V rámci zátopy byly dále navrženy **4 tůně**.

8.4.1 Tůň

Tůň se dá nazývat prohlubeň v terénu zaplavená vodou nebo i hlubší a klidná část jinak dynamického vodního toku. Tůně na rozdíl od rybníků nejsou vzduté účinkem hráze a nedisponují žádnými technickými objekty – nejsou tedy vypustitelné. [35]

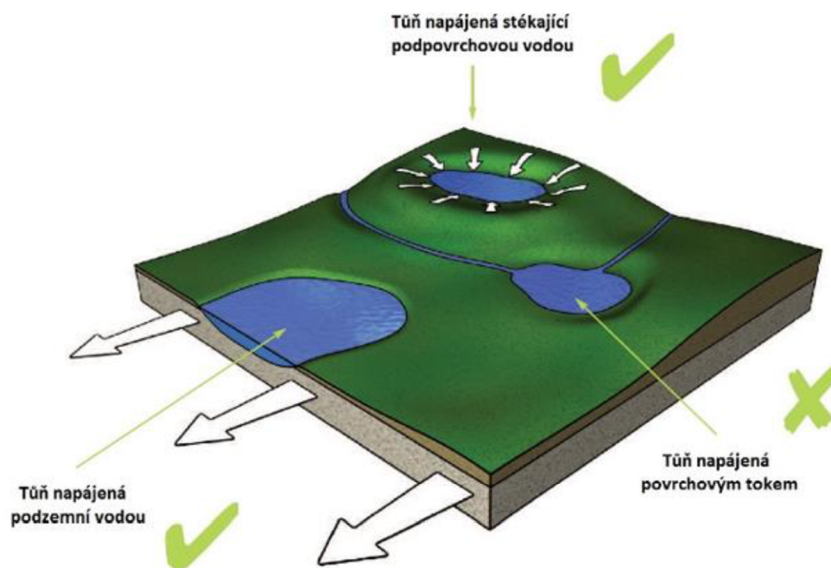
Nejčastějším účelem budování tůní v krajině bývá: [36]

- Rozšíření dostupnosti kvalitních vodních biotopů v krajině
- Rozmanitější nabídka tůní v krajině
- Posílení a podpora místních populací specifických živočichů
- Posílení a podpora místních populací rostlin vázaných na odkryté dno malých tůní

Výběr vhodného místa by měl podléhat především biologickým průzkumům, vhodnému hydrologickému režimu, a když se jedná o tůně určené pro podporu konkrétního druhu, je vhodné posoudit potenciál lokality z hlediska biotických i abiotických podmínek pro daný druh. Základem při návrhu tůní je zajištění dostatku vody. [36]

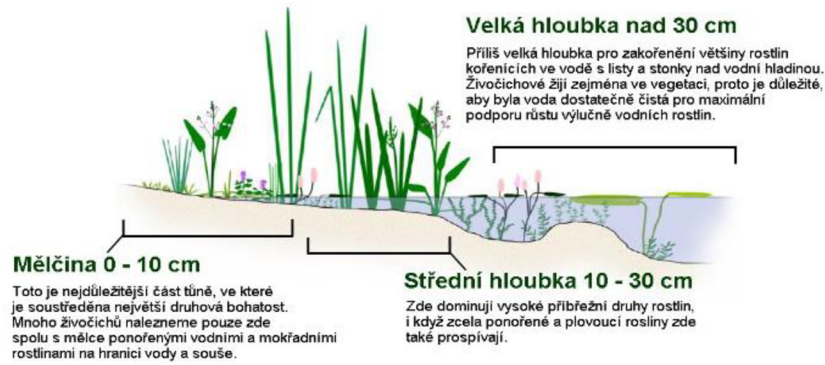
Existují 3 hlavní způsoby zásobování vodou: [36]

- a) Povrchová voda
- b) Podzemní voda
- c) Voda z vodního toku



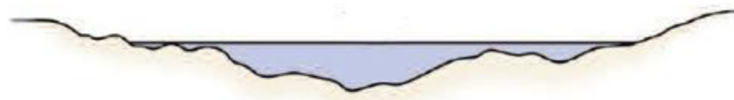
Obr. 43 Tři druhy tůní dle jejich zásobování vodou [36]

Základní předpoklad tůní je prostorová i hloubková členitost a případné zajištění litorální zóny. [36]



Obr. 44 Vzor pro návrh břehů tůní [37]

Hloubka normálních tůní dosahuje výšky do 1 m a ideální sklon představuje 1:10. [37]



Obr. 45 Vzorový řez tůní [36]

Tůně by též měly být ideálně budovány tak, aby byly navzájem propojené podmáčenými plochami a tůňkami. Zánik tůně je způsoben především kumulací materiálu. Doporučuje se nechat tůně postupně úplně zanést a vytvořit nové. Tento postup je vhodný z důvodu postupné migrace živočichů žijících v tůních. [36]

Základním předpokladem trvalé existence tůní je jejich obnova. [36]

Před vlastní realizací tůní se doporučuje vyhotovit jednoduchý zákres počtu a velikosti tůní. Tato podmínka byla v rámci práce dodržena a tůně jsou zakresleny v příloze 5.A – Podrobná situace – suché nádrže. [36]

Celkově byly navrženy 4 tůně:

- **Tůň 1** – Plocha při maximální hladině: 180,9 m², maximální hloubka 0,9 m.

U této tůně byl zakreslen též příčný řez v rámci řezu PF 2 v příloze 5.D – Příčné řezy tělesem hráze – suché nádrže.

- **Tůň 2** – Plocha při maximální hladině: 117,4 m²
- **Tůň 3** – Plocha při maximální hladině: 233,1 m²
- **Tůň 4** – Plocha při maximální hladině: 184,0 m².

Všechny navržené tůně by se měly skládat z mělčiny, střední hloubky a velké hloubky tůně.

9 SUCHÁ NÁDRŽ – HYDROTECHNICKÉ VÝPOČTY

Další podkapitoly se zabírají především hydrotechnickými výpočty souvisejícími se suchou nádrží.

9.1 STANOVENÍ PŘEVÝŠENÍ HRÁZE

Nádrž byla navržena tak, aby došlo k využití maximálního potenciálu nádrže na zachycení povodňové vlny. Nádrž tedy nemá přímou korunu hráze, ale koruna se přirozeně stáčí tak, aby měla vypouklý tvar směrem ke vzdušnému líci hráze a zachytila tím pádem větší objem vody. Výška hráze byla stanovena tak, aby přirozeně navázala na okraj polní cesty a bylo možno se tak k hrázi bezpečně dopravit. Výšku převýšení hráze od bezpečnostního přelivu bylo však nutné posoudit dle ČSN 75 2410 [32] z následujících hledisek: [32]

- Vliv větrových vln,
- typ konstrukční řešení hráze z hlediska odolnosti při přelití,
- konstrukční řešení a umístění těsnícího prvku hráze,
- předpokládané sedání tělesa hráze a podloží,
- ochranu tělesa hráze.

Jedná se o hráz homogenní. Těsnící prvek je tedy celá hráz, jejíž koruna bude na základě výpočtu výběhu větrových vln převýšena o 0,3 m, jak dokládá výpočet v kapitole 9.1.1.

9.1.1 Stanovení výšky výběhu vln

Stanovení výšky výběhu vln bylo provedeno dle normy ČSN 75 0255 [38] (Norma zabývající se výpočtem účinků vln na stavby na vodních nádržích a zdržích).

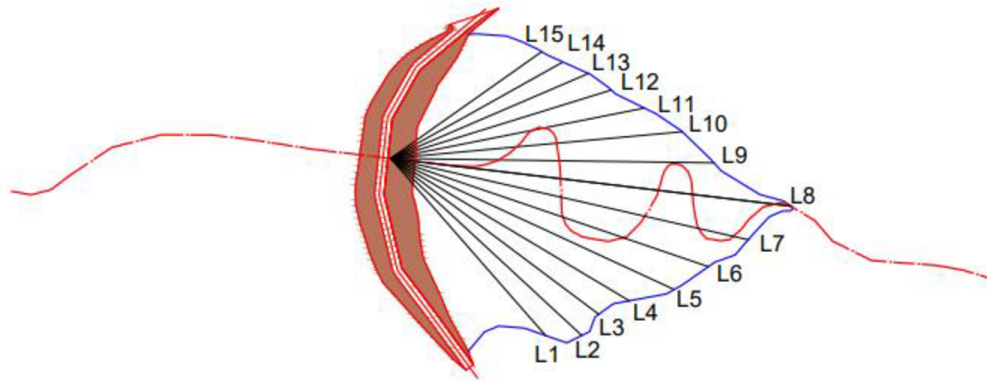
Pro výpočet výšky výběhu vln je nutné znát efektivní délku výběhu vln L_{ef} . Norma ČSN 75 0255 [38] uvádí, že vítr přenáší energii na hladinu vody ve všech směrech v rozpětí úhlu 90° s osou shodnou s hlavním směrem větru. Efektivní délka rozběhu se stanoví z 15 radiál tak, že střední radiála je stejná s hlavním směrem větru a z každé strany se nakreslí zbylých sedm radiál po intervalu 6° . [38]

Efektivní délka rozběhu vln se následně spočte ze vzorce: [38]

$$L_{ef} = \frac{\sum L_i \cdot \cos^2 \varphi_i}{\sum \cos \varphi_i} \quad [m] \quad (9.1)$$

Kde: L_i – délka radiály [m],

φ – úhel, který daná radiála svírá s hlavním směrem větru [$^\circ$].



Obr. 46 Schéma směru a délky rozběhu vln v nádrži

Tab. 11 Stanovení délek jednotlivých radiál

| OZN | Délka L [m] | ϕ [stupně] | $\cos \phi$ | $L \cdot \cos \phi^2$ |
|------|-------------|-----------------|-------------|-----------------------|
| L1 | 72,82 | 42 | 0,74 | 40,22 |
| L2 | 80,64 | 36 | 0,81 | 52,78 |
| L3 | 80,50 | 30 | 0,87 | 60,38 |
| L4 | 86,05 | 24 | 0,91 | 71,81 |
| L5 | 96,72 | 18 | 0,95 | 87,48 |
| L6 | 103,96 | 12 | 0,98 | 99,47 |
| L7 | 113,54 | 6 | 0,99 | 112,30 |
| L8 | 124,89 | 0 | 1,00 | 124,89 |
| L9 | 100,13 | 6 | 0,99 | 99,04 |
| L10 | 90,69 | 12 | 0,98 | 86,77 |
| L11 | 80,12 | 18 | 0,95 | 72,47 |
| L12 | 71,53 | 24 | 0,91 | 59,70 |
| L13 | 66,65 | 30 | 0,87 | 49,99 |
| L14 | 61,12 | 36 | 0,81 | 40,00 |
| L15 | 57,28 | 42 | 0,74 | 31,63 |
| Suma | | | 13,51 | 1088,92 |

Na základě těchto hodnot vyšla efektivní délka rozběhu vln $L_{ef} = 80,60$ m.

Rychlost větru byla dále stanovena z větrové mapy pro dobu opakování 100 let. Její hodnota činí $w_{10z} = 26,20$ m·s⁻¹. [39]

Tuto hodnotu je dále třeba přenásobit koeficientem k, aby hodnota odpovídala rychlosti větru nad vodní hladinou. Koeficient k je v tomto případě roven **1,08**. Hodnota byla zjištěna z tabulky nacházející se v normě [38]. Rychlost větru nad vodní hladinou w_{10v} je tedy rovna **28,30** m·s⁻¹. [38]

Následně je potřeba určit výšku vlny h_{0c} , periodu vlny T_{0c} a délku vlny λ_{0c} . Hodnoty se odečítají z příslušných grafů nacházejících se v normě [38] a délka vlny se spočítá na základě vztahu: [38]

$$\lambda = 1,56 \cdot T_c^2 \quad (9.2)$$

V hloubkovém pásmu byly tedy stanoveny následující hodnoty:

Výška vlny h = 0,286 m,

Perioda vlny T = 1,649 s,

Délka vlny λ = 4,243 m.

Aby však byl naplněn předpoklad, že se vlny tvoří v hloubkovém pásmu, musí být splněna podmínka $0,5 < \frac{H}{\lambda}$, kde H je střední hloubka nádrže. Ta se vypočte jako podíl objemu nádrže ku její ploše. [38]

V tomto případě je střední hloubka nádrže rovna hodnotě **1,78 m**. Když se tato hodnota podělí délkou vlny, výsledná hodnota odpovídá číslu **0,420**, což je menší hodnota než **0,5**. Podmínka tedy není splněna a předpoklad, že se vlny tvoří v hloubkovém pásmu, je tímto vyvrácen.

Je však splněna podmínka, že se vlny tvoří v mělkém pásmu: $0,05 < \frac{H}{\lambda} < 0,5$. [38]

Při výpočtu vln v mělkém pásmu se postupuje velice podobně, jen jsou z příslušných grafů v normě odečteny hodnoty pro tvorbu vln v mělkém pásmu. [38]

Jen délka vlny λ se určuje iteračně ze vztahu: [38]

$$\lambda = 1,56 \cdot T_c^2 \cdot \operatorname{tgh} \frac{2 \cdot \pi \cdot H}{\lambda} \quad (9.3)$$

V mělkém pásmu byly nově vypočteny následující hodnoty:

Výška vlny h = 0,261 m,

Perioda vlny T = 1,486 s,

Délka vlny λ = 3,210 m.

Výsledná hodnota bezpečného převýšení hráze, po připočtení bezpečnostní rezervy, ale zároveň při chtěném dosažení max. možné kapacity nádrže, byla stanovena na **0,3 m**.

9.2 CHARAKTERISTICKÉ KŘIVKY NÁDRŽE

Jedná se o batygrafické křivky vyjadřující závislost mezi hloubkou vody, objemem vody v nádrži a plochou hladiny. Konkrétní hloubce vody tedy vždy odpovídá konkrétní objem vody a plocha hladiny. [29]

Křivky byly určeny z digitálního modelu terénu postihujícího oblast zátopy v programu Atlas DMT.

Tab. 12 Zatopené plochy a objemy v závislosti na výšce vody v nádrži

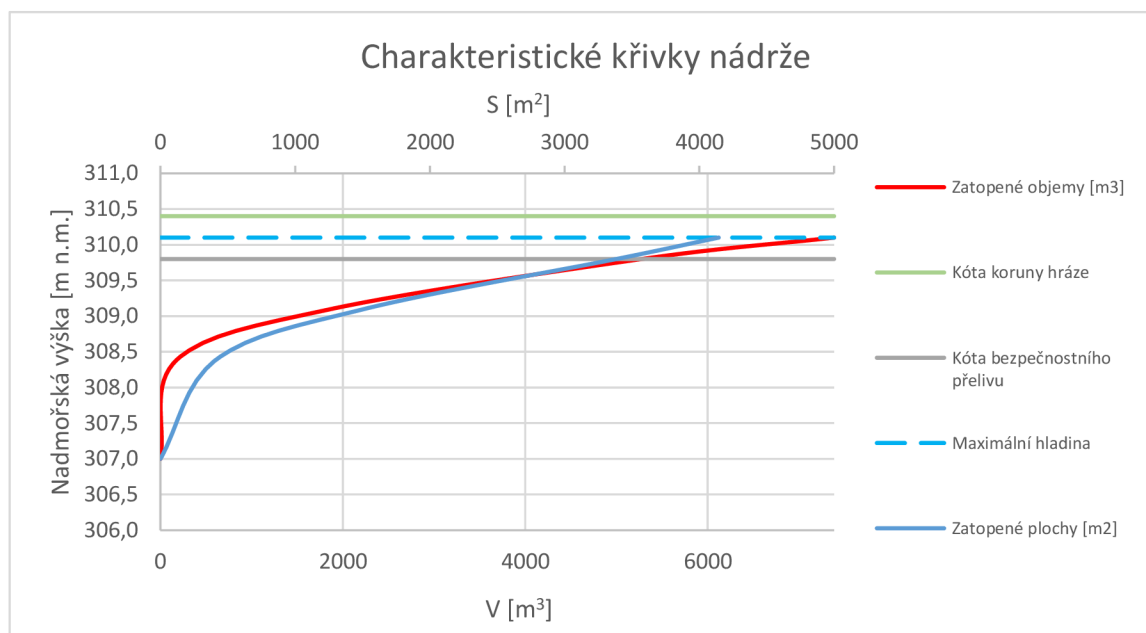
| | Nadm. výška | h | S | V |
|-------------------|-------------|-----|--------|--------|
| | 307,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | 308,4 | 1,4 | 421,7 | 190,7 |
| | 309,1 | 2,1 | 1514,1 | 1875,1 |
| Hladina BP | 309,8 | 2,8 | 3385,4 | 5279,9 |
| Maximální hladina | 310,1 | 3,1 | 4143,2 | 7386,4 |

Kde: h – výška vody v nádrži [m],

S – Obsah hladiny vody pro jednotlivé výšky vody v nádrži [m²],

V – Objem vody pro jednotlivé výšky vody v nádrži [m³].

Jelikož se jedná o suchou nádrž, nevzniká zde žádné trvalé nadržení. Po hranu bezpečnostního přelivu zachytí nádrž objem vody **5279,9 m³**. Po maximální hladinu, která se nachází o 0,3 m výše, zachytí nádrž objem vody **7386,4 m³**, což zároveň představuje max. objem nádrže.



Obr. 47 Charakteristické křivky nádrže

9.3 SDRUŽENÝ FUNKČNÍ OBJEKT

Tento typ objektu sestává ze spojení spodní výpusti, bezpečnostního přelivu se dvěma souběžnými přepradovými hranami, odpadní štoly a vývaru.

9.3.1 Spodní výpust

Spodní výpust sestává z železobetonového objektu, který sahá ode dna nádrže až po výšku hráze. S hrází je spojen pochozí lávkou opatřenou zábradlím. Její světlá šířka činí **1,6 m x 1,0 m** a je

opatřena žebříkovými stupadly. Se spadištěm je spojena stěnou o mocnosti **0,40 m**, ve které se u dna nachází otvor **DN 400**.

Dle normy TNV 75 2415 [31] musí mít profil spodních výpustí minimální **DN 800**, což má zajišťovat průleznost potrubí pro údržbu, revize, odstraňování splavenin atd. Vtok do spodní výpusti však může mít menší rozměry k zajištění potřebného neškodného průtoku. [31]

Při výpočtu konsumpční křivky spodní výpusti byl její průtok počítán dle vztahu pro výtok ponořeným otvorem ve svislé stěně: [29]

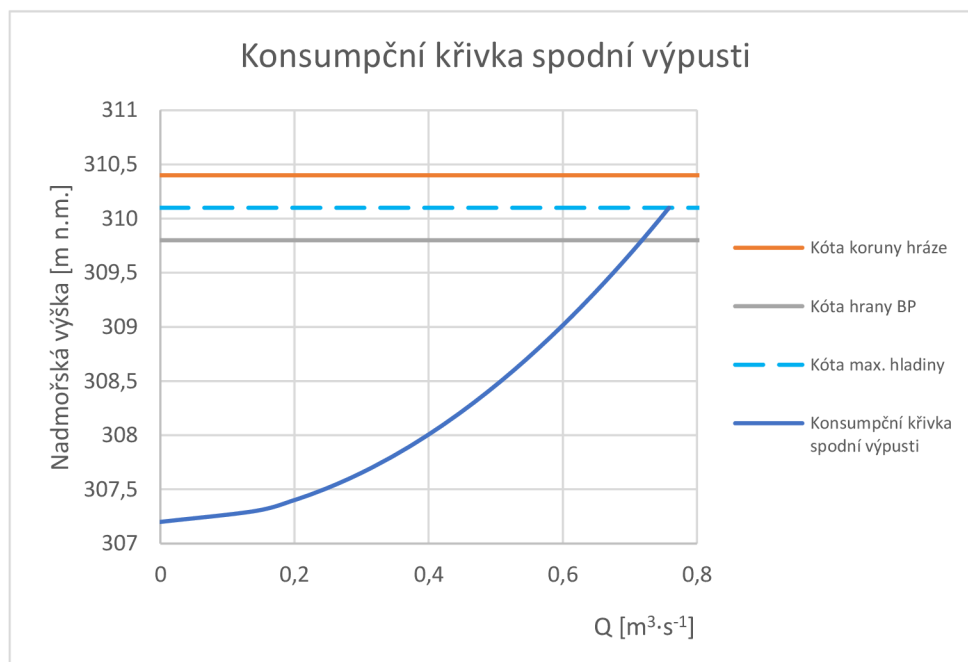
$$Q = S_v \cdot \mu \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \quad [m^3 \cdot s^{-1}] \quad (9.4)$$

Kde: H – výška vody v nádrži od osy otvoru spodní výpustě [m],

μ – výtokový součinitel (v tomto případě je roven 0,80) [-],

S_v – obsah otvoru spodní výpustě [m].

Výpočet konsumpční křivky začíná na kótě 307,20 m n.m. Tedy v ose spodní výpusti.



Obr. 48 Konsumpční křivka spodní výpusti

Při určování hodnoty výtokového součinitele μ byly brány v úvahu součinitele místní ztráty, které v tomto případě představuje vtok přes ostrou hranu a vliv česlí.

9.3.2 Bezpečnostní přeliv

Bylo nutné stanovit délku přelivné hrany. K tomuto účelu byla použita rovnice pro výpočet přepadu přes přelivnou plochu.

Rovněž jako v případě srubové přehrážky byla využita Duboatova úprava rovnice přepadu: [29]

$$Q = \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot b_0 \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot h^{\frac{3}{2}} \quad [m^3 \cdot s^{-1}]$$

(9.5)

- b_0 – účinná šířka přelivu [m],
- g – gravitační zrychlení [$m \cdot s^{-2}$],
- h – výška přepadového paprsku [m],
- μ – součinitel přepadu [-].

Součinitel přepadu byl spočten podle stejného vztahu jako v případě přepadu přes přeliv srubové přehrážky z rovnice 6.13.

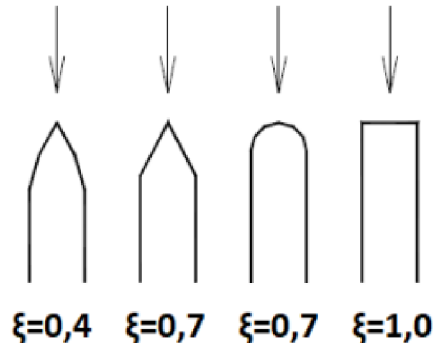
Bezpečnostní přeliv je dimenzován na návrhový průtok $Q_{100} = 2,50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, poloměr zaoblení přepadové hrany přelivu $r = 0,30 \text{ m}$, výšku vzduť vody $h_0 = 0,30$. Na základě těchto parametrů byla spočtena pracovní délka přelivné hrany $b_0 = 7,37 \text{ m}$.

Z rovnice přepadu byl odvozen vztah pro výpočet pracovní šířky přelivné hrany. Tu bylo nutno zvětšit o vliv kontrakcí dle: [29]

$$b = b_0 + 0,1 * n * \xi * h_0 [m]$$

(9.6)

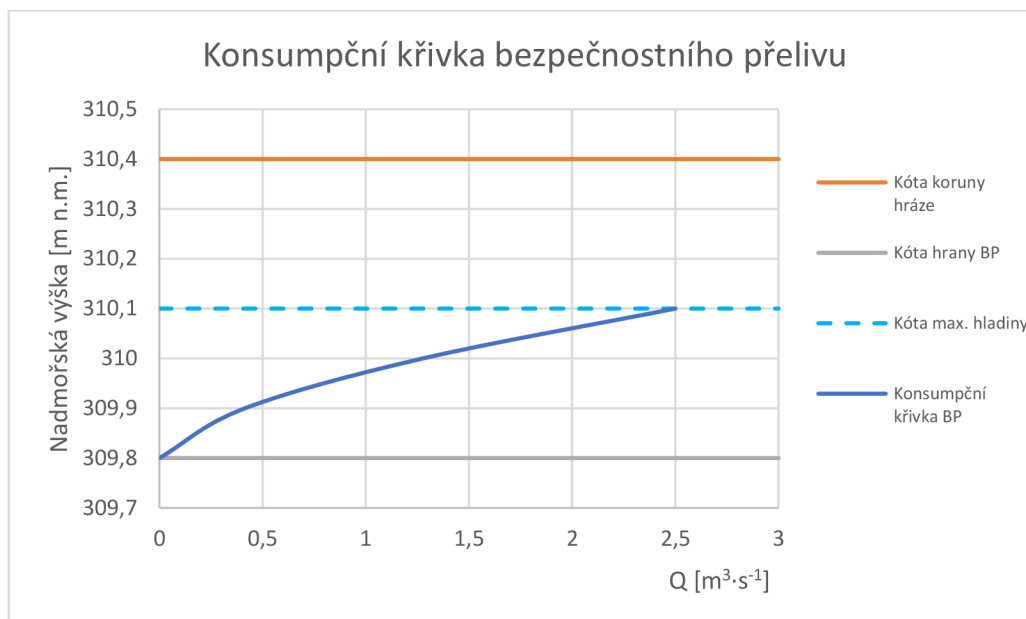
- Kde: ξ – součinitel boční kontrakce [-],
- N – počet kontrakcí [-],
- h_0 – výška vzduť vody [m].



Obr. 49 Součinitel vtoku ξ pro různé úpravy vtoku [40]

V tomto případě jsou hrany proti směru toku pravouhle situované a součinitel kontrakce činí $\xi = 1,0$. Dochází k navržení 2 přepadových hran, ohraničených z obou svých stran. Počet kontrakcí tedy vychází $n = 4$.

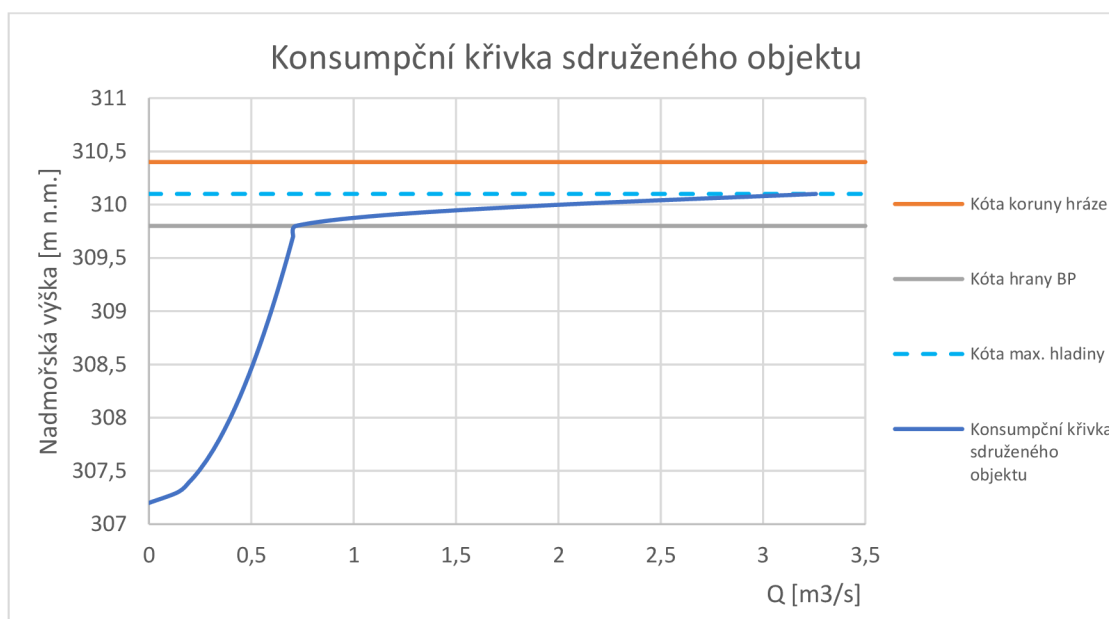
Na základě těchto parametrů a vypočtené pracovní délky přelivné hrany je skutečná délka přelivné hrany vypočtena a její hodnota vychází na $b = 7,50 \text{ m}$. Přeliv má 2 přelivné hrany z nichž každá měří $3,75 \text{ m}$.



Obr. 50 Konsumpční křivka bezpečnostního přelivu

9.3.3 Konsumpční křivka sdruženého objektu

Konsumpční křivka celého sdruženého objektu byla získána vynesemím křivky spodní výpusti. Poté, co hodnoty začaly dosahovat nadmořské výšky bezpečnostního přelivu, došlo k součtu jednotlivých hodnot konsumpčních křivek výpusti a přelivu pro jednotlivé výškové úrovně.



Obr. 51 Konsumpční křivka sdruženého objektu

9.4 SPADIŠTĚ

Voda se do spadiště (navrženého jako železobetonová monolitická konstrukce) dostává buď spodní výpustí nebo přepadem přes přelivnou hranu bezpečnostního přelivu. Dále odtéká odpadní štolou

do vývaru, který ztlumí její energii. Dále proudí do upraveného koryta, které přejde ve stávající svodný příkop podél pozemní komunikace.

Na základě rozměrů spadiště, které bylo dimenzováno na $Q_{100} = 2,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ se šířkou $b_{sp} = 1,6 \text{ m}$ a délkou $L_{sp} = 3,75 \text{ m}$, byla spočtena kritická hloubka, stejně jako u srubové přehrážky dle rovnice 6.14.

Kritická hloubka po dosazení do vztahu vychází $h_k = 0,63 \text{ m}$. Na základě této hloubky byl odvozen i kritický sklon dna $0,71 \%$. Ve spadišti byl zvolen podkritický sklon dna, a to $0,5 \%$.

Zároveň je splněna podmínka, kdy poměr délky a šířky spadiště by měl být větší než **2**. V tomto případě vychází poměr na **2,34**. Současně je též splněna podmínka, že šířka spadiště má být větší než čtyřnásobek výšky přepadového paprsku ($1,6 > 1,2$). Také dochází ke splnění předpokladu, že výška spadiště $h_s = 2,8 \text{ m}$ je větší než dvojnásobek kritické hloubky $h_k = 1,26 \text{ m}$. Lze tedy učinit předpoklad, že nedojde k ovlivnění spadiště spodní vodou.

9.5 ODPADNÍ ŠTOLA

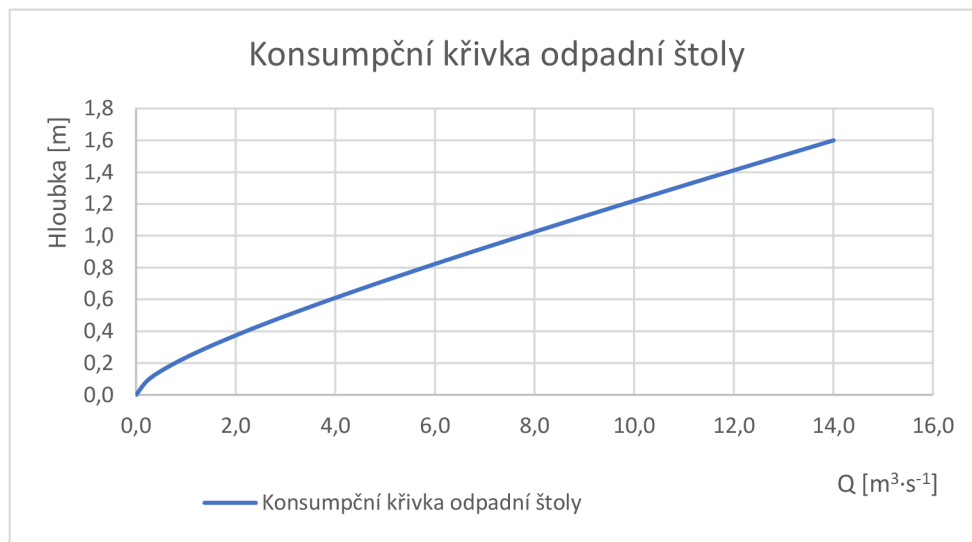
Odpadní štola přímo navazuje na spadiště a převádí vodu pod tělesem hráze.

Stejně jako u spadiště byla navržena šířka i výška štoly na **1,6 m**. Štola má tedy čtvercový průřez. Sklon má **2 %**. Je navržený jako nadkritický, aby došlo k bystrinnému proudění.

Dále byla dodržena podmínka dle doporučení Hydroprojektu [41], aby byla výška štoly alespoň 1,8násobek kritické hloubky na konci spadiště. V tomto případě musí být tedy výška větší než **1,13 m**. [41]

Dále byla splněna podmínka, aby štola byla schopná převést alespoň dvojnásobek Q_n , v tomto případě $5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. [29]

Byl proveden výpočet kapacity skluzu užitím Darcyho vztahů: [40]



Obr. 52 Konsumpční křivka odpadní štoly

Vzhledem k rozměrům skluzu a dodržení podmínky kapacity štoly se předpokládá proudění o volné hladině

9.6 VÝVAR

Vývar slouží k tlumení energie vody, aby nedošlo k poškození koryta pod hrází a případného ohrožení celé hráze.

Tvar vývaru a navazujícího koryta je potřeba dimenzovat tak, aby následovalo mírné vzduť vodního skoku. Pro ověření velikosti vzduť se počítá druhá vzájemná výška vodního skoku, užitím následujících vztahů, pro výpočet dalších údajů: [40]

Výpočet specifického průtoku: [40]

$$q = \frac{Q}{b} [m^2 \cdot s^{-1}] \quad (9.7)$$

Kde: q – specifický průtok [$m^2 \cdot s^{-1}$],

Q – návrhový průtok [$m^3 \cdot s^{-1}$]

b – šířka přelivné hrany [m].

Výpočet přítokové rychlosti vody:

$$v_0 = \frac{Q}{S} [m \cdot s^{-1}] \quad (9.8)$$

Kde: v_0 – přítoková rychlost vody [$m \cdot s^{-1}$],

Q – návrhový průtok [$m^3 \cdot s^{-1}$],

S – průtočná plocha [m^2].

Výpočet rychlostní výšky: [40]

$$k = \frac{\alpha \cdot v_0^2}{2g} [m] \quad (9.9)$$

Kde: k – rychlostní výška [m],

α – Coriolisovo číslo,

g – tíhové zrychlení [$m \cdot s^{-2}$].

Výpočet energie přepadající vody: [40]

$$E_0 = s + h_n + k [m] \quad (9.10)$$

Kde: E_0 – energie přepadající vody

s – výška přelivu nad dolním dnem [m],

h_h – výška hladiny nad horním dnem [m],

K – rychlostní výška [m].

Výpočet první vzájemné hlouky: [40]

$$h_1 = \frac{q}{\varphi \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (E_0 - h_1)}} \quad [m]$$

(9.11)

Kde h_1 – první vzájemná hloubka [m] (určená iteračně),

φ – rychlostní součinitel vyjadřující ztrátu energie [-],

g – tíhové zrychlení [$m \cdot s^{-2}$],

q – specifický průtok [$m^2 \cdot s^{-1}$],

E_0 – energie přepadající vody [m].

Výpočet druhé vzájemné hloubky: [40]

$$h_2 = \frac{h_1}{2} \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{8 \cdot \beta \cdot q^2}{g \cdot h_1^3}} \right] \quad [m]$$

(9.12)

Kde: h_2 – druhá vzájemná hloubka [m],

h_1 – první vzájemná hloubka [m],

β – součinitel hybnosti (Boussinesqovo číslo) [-],

q – specifický průtok [$m^2 \cdot s^{-1}$],

g – tíhové zrychlení [$m \cdot s^{-2}$].

Výchozími veličinami pro výpočet byly návrhový průtok $Q_n = 2,50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, výška horní vody $h_h = 0,44 \text{ m}$, šířka přelivné hrany $b = 1,60 \text{ m}$, výška přelivu nad dolním dnem $s = 0,30 \text{ m}$ a spočtená výška dolní vody $h_d = 0,64 \text{ m}$.

Tab. 13 Výpočet vývaru

| Q [$m^3 \cdot s^{-1}$] | q | h [m] | v_0 [$m \cdot s^{-1}$] | k | E_0 | $h_c^{(1)}$ [m] | $h_c^{(2)}$ [m] | $h_c^{(3)}$ [m] | h_1 [m] | h_2 [m] | h_d [m] | σ |
|-------------------------------|-------|------------|-------------------------------|-------|-------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------|--------------|--------------|----------|
| 2,5 | 1,563 | 0,436 | 3,584 | 0,655 | 2,041 | 0,260 | 0,278 | 0,280 | 0,280 | 1,201 | 0,640 | 1,074 |

Míra vzdutí, což je podíl součtu hloubky spodní vody s hloubkou navrženého vývaru podělená druhou hloubkou vodního skoku, by měl vycházet v rozmezí hodnot **1,05 – 1,10**. [40]

Abyste byla tato podmínka splněna, byla navržena hloubka vývaru **$d = 0,65 \text{ m}$** . V tomto případě vychází míra vzdutí **$\sigma = 1,074$** a podmínka je tedy splněna. Vývar byl navržen s rozšířením oproti odpadní štolé z **1,6 m** na **2,0 m**.

Vývar se ve sklonu 30° svažuje za hranou přelivu až do vzdálenosti **1,65 m**. Následuje druhá část vývaru dlouhá **4,65 m**. Vývar tedy celkově měří **6,30 m**.

Vzdálenost vývaru byla ověřena na základě těchto vztahů: [42]

Výpočet délky doskoku vodního paprsku: [42]

$$L_1 = 0,45 \cdot \gamma \cdot \cos\gamma \cdot \sqrt{s + d + 0,5 \cdot h_h} \text{ [m]}$$

(9.13)

Kde: L_1 – délka doskoku vodního paprsku [m],

γ – úhel mezi sklonem koryt oddělenými přelivnou hranou [°],

s – výška přelivu nad dolním dnem [m],

d – hloubka vývaru [m],

h – výška horní vody [m].

Výpočet délky vodního skoku: [42]

$$L_2 = K \cdot (h_2 - h_1) \text{ [m]}$$

(9.14)

Kde: L_2 – délka vodního skoku [m],

K – součinitel závislý na poměru $\frac{h_2}{h_1}$ [-],

h_2 – druhá vzájemná hloubka [m],

h_1 – první vzájemná hloubka [m].

Vzdálenost vyšla $L_1 = 1,36 \text{ m}$, $L_2 = 4,61 \text{ m}$. Délka vývaru byla i s menší rezervou finálně navržena na **6,30 m**. Tloušťka vývaru byla určena na $t_d = 0,40 \text{ m}$. Délka opevnění kamenným záhozem byla stanovena v délce **7,00 m** a kopíruje tak vzdálenost, po kterou se koryto za vývarem rozšiřuje ze sklonu **1:1** na sklon **1:3**.

Koryto za vývarem, ze kterého byla spočtena hloubka dolní vody h_d bylo navrženo tak, že se postupně rozšiřuje na daný sklon **1:3**, šířka jeho dna dosahuje **2 m** a jeho podélný sklon vychází na **0,5 %**. V případě potřeby, může být toto koryto rozšířeno na sklon 1:5 a může být využíváno jako přejezdný průleh pro zemědělskou techniku.

9.7 TRANSFORMACE POVODŇOVÉ VLNY

Pro ověření neškodných průtoků byla provedena transformace povodňové vlny.

9.7.1 Zvolený způsob transformace

Transformace byla provedena užitím programu TRANSFORM_WAVE [8].

Program stanoví transformaci povodňových vln na základě modifikované grafické Klemešovy metody. [9]

Tato metoda pracuje s následující upravenou diferenciální rovnicí: [9]

$$Q\Delta t - O\Delta t = \Delta V \tag{9.15}$$

Kde: Q – přítok vody do nádrže (přítok je funkcí času) [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$],

O – odtok vody z nádrže (odtok je funkcí času [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$],

V – objem zadržené vody v nádrži [m^3].

Při reálné povodni se hodnoty přítoku a odtoku za časový interval spojitě mění. Klemešova metoda však pracuje se zjednodušením, při kterém plynulé křivky přítoku a odtoku nahrazuje stupňovitými čarami, jejichž stupně jsou průsečíky střednic časových intervalů. Přítok a odtok jsou tedy zobrazovány okamžitými hodnotami. [9]

Program pracuje se stejnými rovnicemi pro výpočet kapacity spodní výpusti a kapacity bezpečnostního přelivu, které byly použity pro jejich návrh v této práci. [9]

Hlavními vstupy, na základě kterých byla počítána transformace, jsou: [9]

- Hydrogram povodně
- Křivky zatopených objemů (informace o batygrafii nádrže)
- Informace o spodních výpustích (počet, průměr, výtokový součinitel...)
- Informace o bezpečnostním přelivu (šířka, výška, součinitel přepadu...)
- Krok výpočtu
- Počáteční stav vody v nádrži (u suché nádrže je tento stav roven 0)
- Případná manipulace spodní výpusti (v tomto případě není)

9.7.2 Vlastní transformace

V této kapitole je provedena transformace návrhových průtoků Q_{100} a Q_{50} .

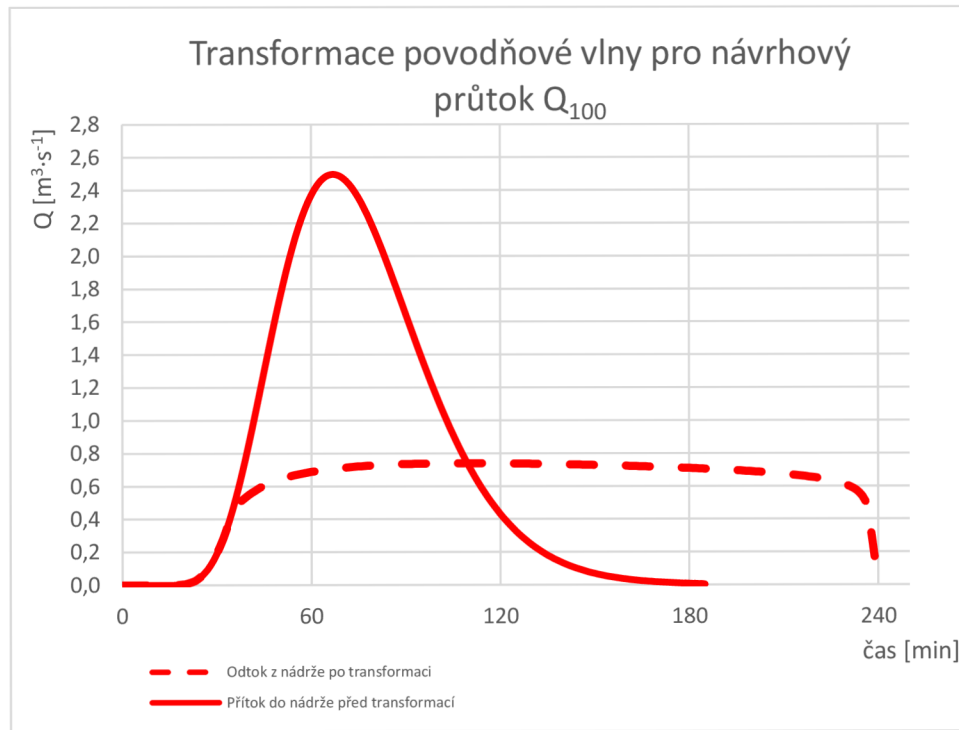
Transformace návrhového průtoku Q_{100}

Z tab. 14 je možné vyčíst velikosti jednotlivých průtoků stanovených v rámci KP1. Průtoky jsou určeny na základě návrhové průtoky KP1 Q_{100} .

Tab. 14 Dílčí průtoky stanovené z návrhového průtoky Q_{100} v KP1

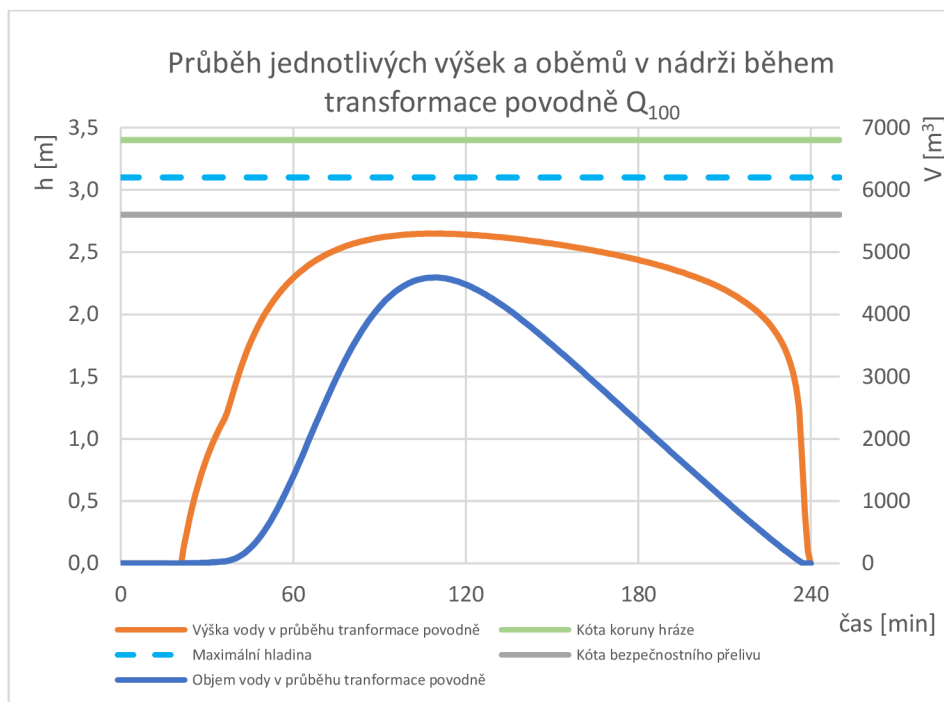
| Jednotlivé průtoky v rámci KP1 | | |
|--|------|--------------------------------------|
| Návrhový průtok nádrže | 2,50 | [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$] |
| Průtok transformovaný | 0,74 | [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$] |
| Návrhový průtok zbylého povodí | 1,64 | [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$] |
| Přítok povodí zachyceného ZP1 | 0,72 | [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$] |
| Návrhový přítok do KB1 (po pouze technických opatření) | 2,30 | [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$] |
| Návrhový přítok do KB1 (po uplatnění technických opatření a PEO) | 1,87 | [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$] |

| Jednotlivé průtoky v rámci KP1 | | |
|---|------|------------------------------------|
| Návrhový přítok do KB1 před uplatněním technických opatření | 5,18 | [m ³ .s ⁻¹] |



Obr. 53 Transformace povodňové vlny pro návrhový průtok Q_{100}

Z grafu na obr. 53 je možné vyčíst průběh povodňové vlny před i po transformaci návrhového průtoku povodí suché nádrže Q_{100} .



Obr. 54 Průběh jednotlivých výšek a objemů v nádrži během transformace povodňové vlny návrhového průtoku Q_{100}

Z grafu na obr. 54 lze vyčíst průběh jednotlivých výšek hladin a objemů v nádrži během transformace.

Maximální výška vody během povodně je stanovena na **2,65 m**. Nedojde tedy k přelítí bezpečnostního přelivu nacházejícího se ve výšce **2,8 m** ode dna spodní výpusti.

Transformace návrhového průtoku Q_{50}

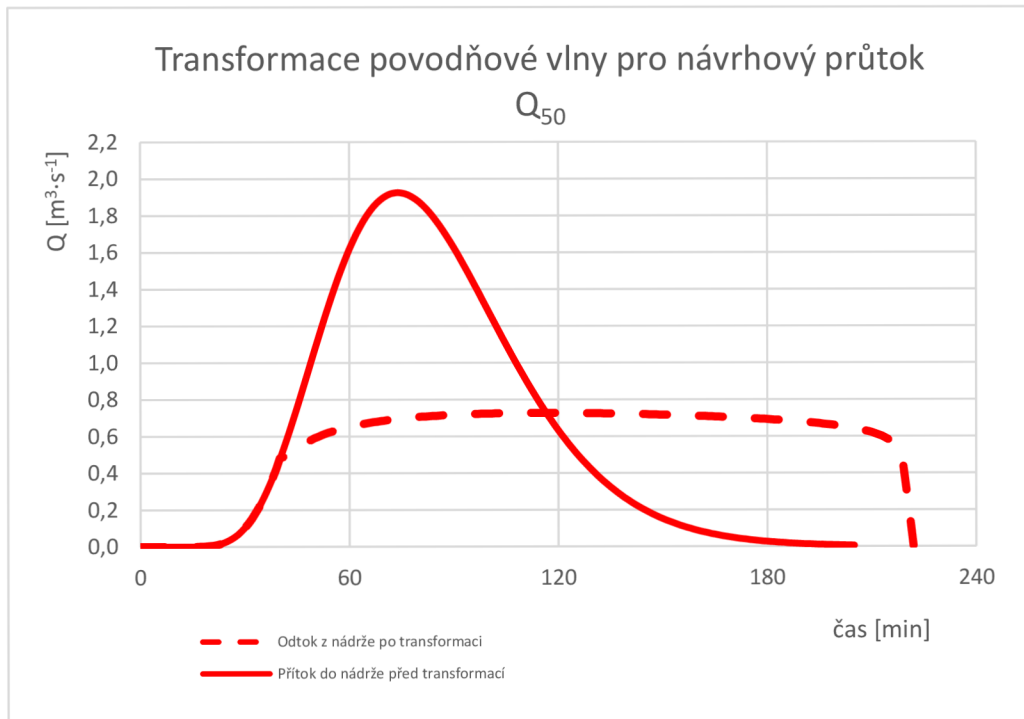
Následně byla provedena transformace návrhového průtoku Q_{50} a byly vytvořeny grafické výstupy na stejném principu jako v případě návrhového průtoku Q_{100} .

Z tab. 15 je možné vyčíst velikosti jednotlivých průtoků stanovených v rámci KP1. Průtoky jsou určeny na základě návrhové průtoku KP1 Q_{50} .

Tab. 15 Dílčí průtoky stanovené z návrhového průtoku Q_{50} v KP1

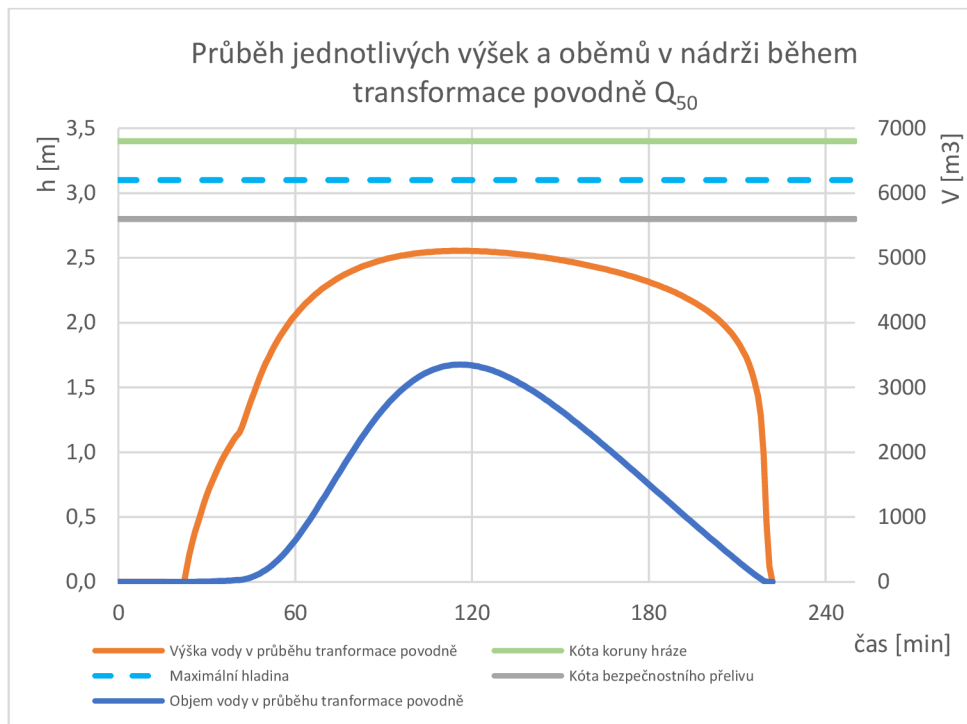
| Jednotlivé průtoky v rámci KP1 pro Q_{50} | | |
|---|------|------------------------------------|
| Návrhový průtok nádrže | 1,92 | $[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$ |
| Průtok transformovaný | 0,73 | $[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$ |
| Návrhový průtok zbylého povodí | 1,26 | $[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$ |
| Průtok povodí zachyceného ZP1 | 0,56 | $[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$ |
| Návrhový přítok do KB1 (po uplatnění transformace i účinků ZP1) | 1,91 | $[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$ |

| Jednotlivé průtoky v rámci KP1 pro Q_{50} | |
|---|---|
| Návrhový přítok do KB1 před uplatněním technických opatření | 3,99 [m ³ .s ⁻¹] |



Obr. 55 Transformace povodňové vlny pro návrhový průtok Q_{50}

Z grafu na obr. 55 je možné vyčíst průběh povodňové vlny před i po transformaci návrhového průtoku povodí suché nádrže Q_{50} .



Obr. 56 Průběh jednotlivých výšek a objemů v nádrži během transformace povodňové vlny návrhového průtoku Q_{50}

Maximální výška vody při maximálním průtoku je stanovena na **2,55 m**. Opětovně tedy nedojde k přelití bezpečnostního přelivu.

9.8 OVĚŘENÍ NEŠKODNÉHO ODTOKU

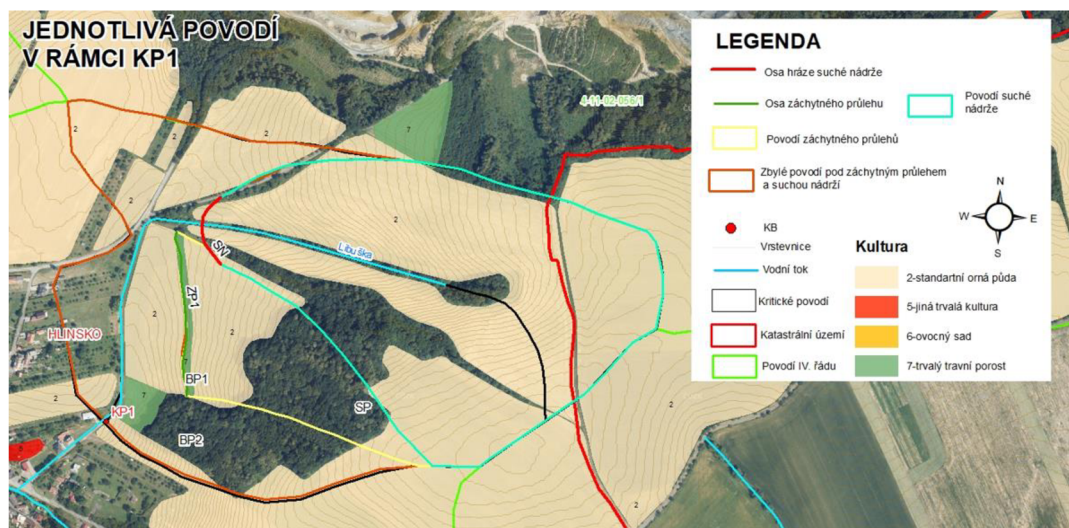
Poté, co voda při povodni proteče sdruženým objektem a upraveným korytem za vývarem, postupně doteče do stávajícího koryta (svodný příkop). Voda následně směřuje do stávajícího propustku (místo, ve kterém propustek navazuje na stávající svodný příkop, je zároveň místo KB1).

Do místa KB1 však doteče ještě „zbylé povodí“, které v povodí KP1 nezachytí nově navržený svodný příkop. Jeho průtok navíc není transformován suchou nádrží.

Na základě toho bylo provedeno ověření neškodného průtoku, a to pro **dvě variantní řešení**.

Jak již bylo uvedeno, tak současná odvodňovací opatření v podobě svodného příkopu a následného propustku nejsou kapacitní na kulminační průtok povodí KP1. V **první variantě řešení** bylo tedy provedeno porovnání kapacity stávajících opatření v místě KB1 pouze pro navržená technická opatření v této práci a **ve druhé variantě řešení** byl proveden návrh technických opatření navržených v této práci v kombinaci s organizačními a agrotechnickými protierozními opatřeními (PEO) vytvořenými v bakalářské práci [1].

Při návrhu se uvažuje, že v místě povodí nádrže není realizováno PEO. Proto se průběh transformace v nádrži před a po návrhu PEO nemění.



Obr. 57 Povodí suché nádrže, zasakovací průlehu a zbylého povodí, která jsou součástí KP1

9.8.1 Ověření neškodného odtoku pro návrhový průtok Q_{100}

Doba přítoku vody ze suché nádrže do KB1 při návrhovém průtoku Q_{100}

Z Chézyho vztahů pro výpočet průtoku v otevřeném korytě bylo stanoveno, že celková doba, za kterou transformovaný průtok dotече do KB1 je **4 minuty a 23 s**.

(Voda dotече do stávajícího koryta za 1 minutu a 17 s a následně za 3 minuty a 6 vteřin dotече do místa KB1).

Křivka znázorňující přítok do KB1 (obr. 58 a 59) tedy znázorňuje součet průtoku zbylého povodí a o 4 minuty a 23 s zpožděného transformovaného průtoku suchou nádrží.

Doba dotoku se při této transformaci prodlouží na celkový čas **245 minut**.

Transformovaný průtok odtéká ze suché nádrže upraveným korytem, které navazuje na koryto stávající. V tomto místě je přítok do stávajícího koryta roven $Q = 0,74 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. V korytě je však už v tuto chvíli naakumulovaný průtok z části zbylého povodí, jak je možné si ověřit v příloze 1.B – Rozbor odtokových poměrů. Následně průtok vody v korytě pokračuje až do místa **KB1**, a zde je návrh rozdělen na dvě varianty.

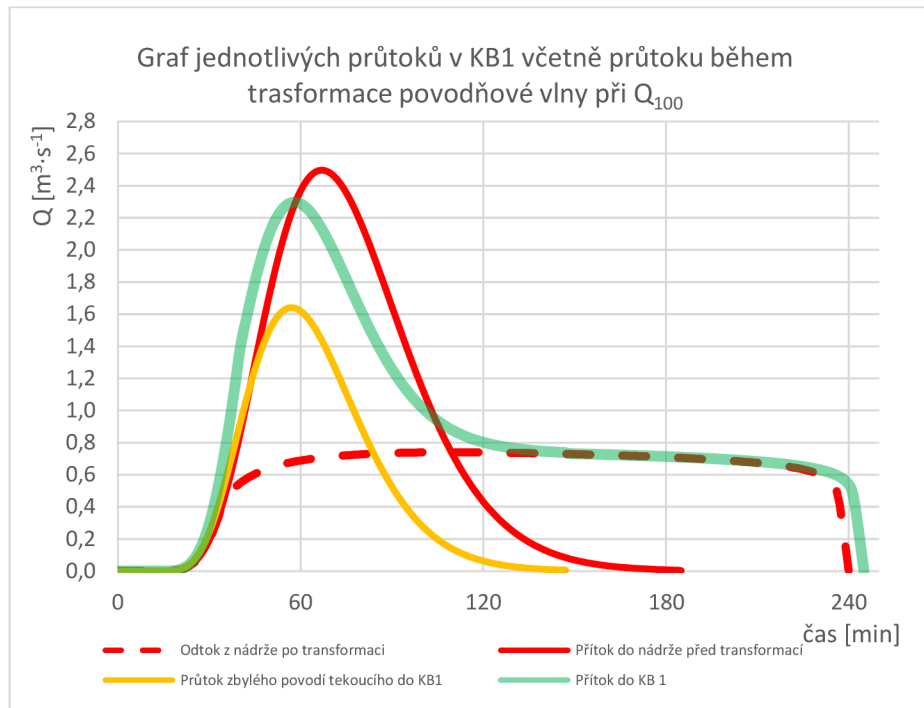
Variantu technických opatření bez PEO

Při uvažování první varianty je v místě KB1 návrhový průtok $2,30 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (jedná se o největší průtok odpovídající křivce pro přítok do KB1 v grafu na obr. 58). Koryto je však kapacitní pouze na $1,65 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Je tedy, minimálně v rámci území KB1, doporučeno jeho zkapacitnění. Může se tak stát například rozšířením sklonu svahů na **1:1,5**. Kapacita bude poté odpovídat $2,37 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Když se však ještě jeho dno rozšíří na **1 m** v kombinaci s rozšířením sklonu svahů na **1:1,5**, bude jeho kapacita $2,54 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a vznikne tak i bezpečnostní rezerva. Rozšíření stávajícího koryta by neměl být vzhledem k prostorovému uspořádání problém. Mohlo by tak být učiněno při pravidelné údržbě, kdy je koryto zbavováno erozních nánosů.

Dále voda pokračuje propustkem **DN 600** s přibližným sklonem **8 %**. Maximální kapacita takového propustku je $2,12 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, tato kapacita stejně jako u svodného příkopu není vyhovující. Když se však propustek zvětší na **DN 800**, jeho kapacita bude, při daném sklonu a předpokládané

drsnosti $n = 0,012$ rovna $4,53 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Propustek v tomto případě již bude kapacitní s velikou rezervou.

Jelikož v tomto případě nebyla u propustku splněna podmínka neškodného průtoku za nádrží, byla provedena transformace povodňové vlny i pro Q_{50} .

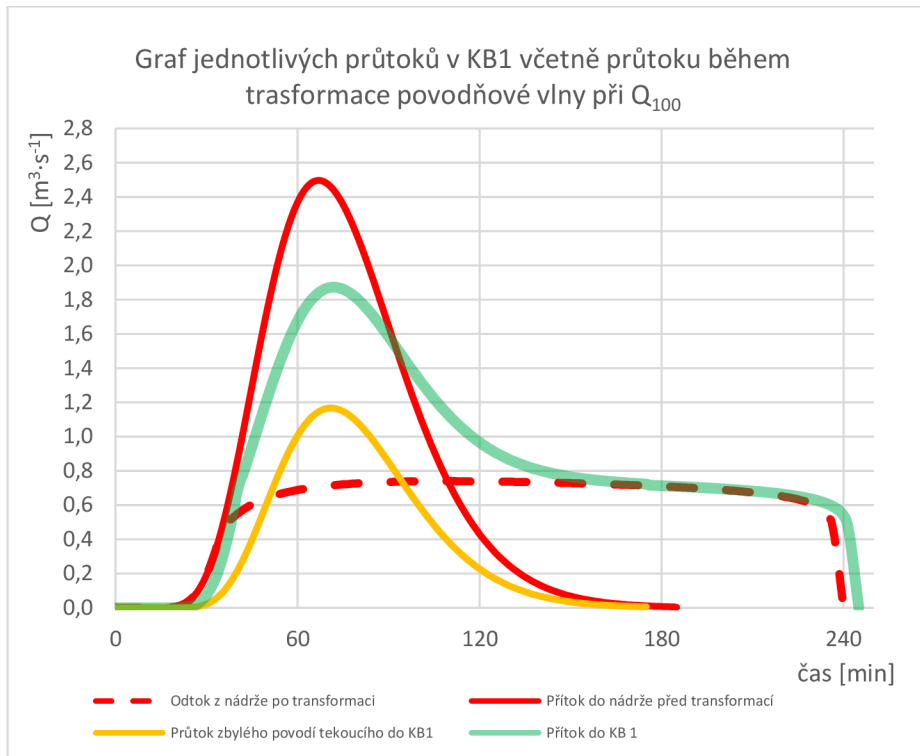


Obr. 58 Transformace povodně doplněná průběhem průtoku zbylého povodí a přítokem do KB1 při návrhovém průtoku Q_{100} – Návrh pouze technických opatření

Varianta technických opatření v kombinaci s PEO

V místě KB1, při uvažování technických opatření v kombinaci s PEO, je návrhový průtok $1,87 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Koryto tedy není kapacitní ani při této variantě a je doporučeno jeho rozšíření a zbavení se tak erozních nánosů.

Propustek již v rámci této varianty kapacitní je.



Obr. 59 Transformace povodně doplněná průběhem průtoku zbylého povodí a přítokem do KB1 při návrhovém průtoku Q_{100} – Návrh technických opatření i PEO



Obr. 60 Svodný příkop v místě KB1 ($b=0,9$ m, $B=1,6$ m, $h=0,55$ m, přibližné $i=3$ %) [1]



Obr. 61 Potrubí DN 600 v místě KB1 [1]

9.8.2 Ověření neškodného odtoku pro návrhový průtok Q_{50}

Doba přítoku vody ze suché nádrže do KB1 při návrhovém průtoku Q_{50}

Celková doba zpoždění, za kterou doběhne transformovaný průtok do místa KB, je skoro totožná jako při návrhovém průtoku Q_{100} , protože transformovaný průtok při Q_{100} a při Q_{50} je velmi podobný.

Doba zpoždění je v tomto případě **4 minuty a 25 s.** (Voda doteče do stávajícího koryta za 1 minutu a 18 s a následně za 3 minuty a 7 vteřin doteče do místa KB1).

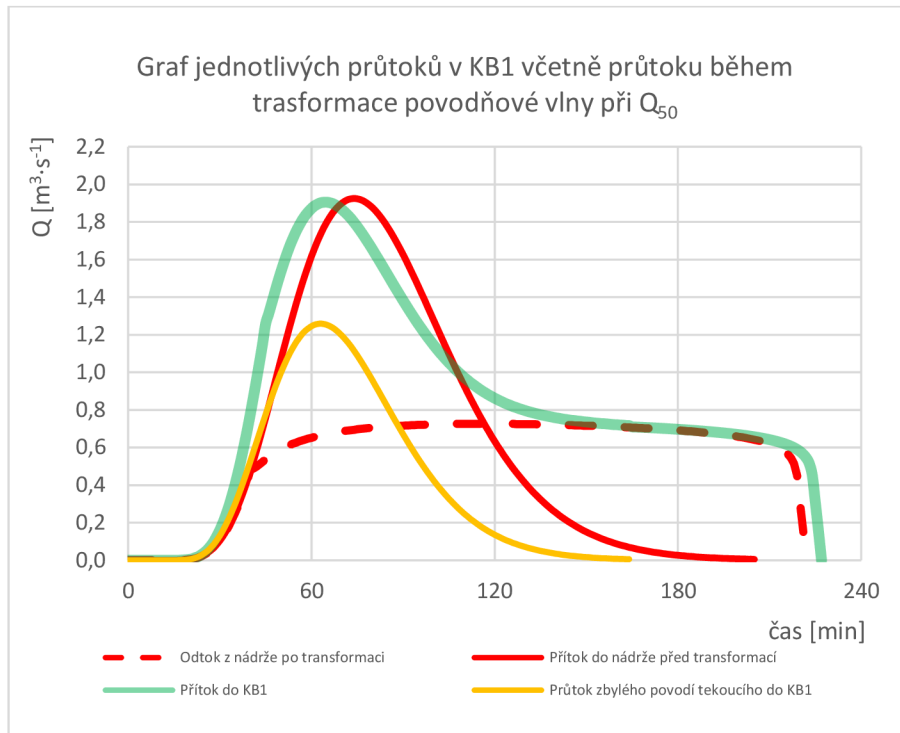
Doba dotoku se v tomto případě prodlouží na **227 minut**

Varianta technických opatření bez PEO

Při posuzování neškodného odtoku v rámci varianty návrhu **technických opatření bez PEO** je v tomto případě uvažován, v místě KB1, návrhový průtok **$1,91 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$** . Kapacita koryta však činí **$1,65 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$** . Koryto je tedy i v tomto případě nekapacitní. Jeho zkapacitnění může být provedeno například tak, že se rozšíří sklon svahů na 1:1. Kapacita bude poté odpovídat **$1,98 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$** . Když se však ještě jeho dno rozšíří na 1 m v kombinaci s rozšířením sklonu svahů na 1:1 bude jeho kapacita **$2,15 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$** a vznikne tak i bezpečnostní rezerva.

Kapacita následného propustku činí **$2,12 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$** . Propustek je v tomto případě vyhovující.

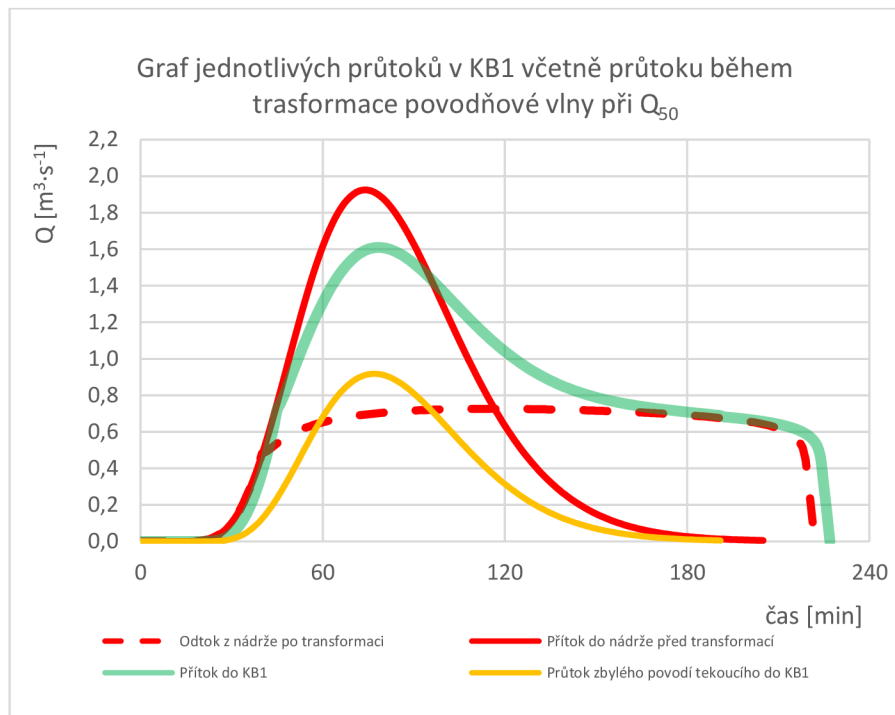
Dochází tedy ke splnění kapacity neškodného průtoku pro návrhový průtok Q_{50} v případě rozšíření stávajícího svodného příkopu.



Obr. 62 Transformace povodně doplněná průběhem průtoku zbylého povodí a přítokem do KB1 při návrhovém průtoku Q_{50} – Návrh pouze technických opatření

Varianta technických opatření v kombinaci s PEO

Při posuzování varianty návrhu technických opatření v kombinaci s PEO je návrhový průtok $1,69 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ v místě KB1. Koryto již je téměř kapacitní.



Obr. 63 Transformace povodně doplněná průběhem průtoku zbylého povodí a přítokem do KB1 při návrhovém průtoku Q_{50} – Návrh technických opatření i PEO

9.8.3 Ověření neškodného odtoku pro návrhový průtok Q_{20}

Varianta technických opatření bez PEO

V rámci varianty **technických opatření bez PEO** návrhový průtok zbylého povodí činí **$0,85 m^3 \cdot s^{-1}$** . Při předpokladu, že transformovaný průtok suché nádrže nebude větší než **$0,73 m^3 \cdot s^{-1}$** , jako je tomu v případě návrhového průtoku Q_{100} , nebude průtok v KB1 při Q_{20} větší než **$1,58 m^3 \cdot s^{-1}$** . Stávající koryto je kapacitní na návrhový průtok **$1,65 m^3 \cdot s^{-1}$** . Podmínka kapacity by tím pádem byla splněna.

Varianta technických opatření v kombinaci s PEO

U varianty **návrhu technických opatření v kombinaci s PEO** je průtok zbylého povodí **$0,63 m^3 \cdot s^{-1}$** . Průtok v KB1 tedy nebude větší než **$1,36 m^3 \cdot s^{-1}$** . Podmínka kapacity je zde splněna také.

Podmínka kapacity již je splněna pro obě varianty, proto již nebyly provedeny ověření pro menší návrhové průtoky.

9.8.4 Zhodnocení kapacity stávajících odvodňujících opatření pro obě variantní řešení ochrany

Varianta technických opatření bez PEO

Při uvažování varianty návrhu pouze **technických opatření bez PEO** pro návrhový průtok Q_{100} nebude kapacitní stávající svodný příkop ani stávající propustek. Výměna stávajícího propustku je však výrazně finančně náročnější, než zkapacitnění stávajícího svodného příkopu (a to třeba během

pravidelné údržby). Proto vznikla i varianta v kombinaci s PEO, která byla následně vytvořena i pro návrhové průtoky Q_{50} a Q_{20} .

Pro návrhový průtok Q_{50} již stávající propustek vyhoví, svodný příkop by však musel být zkapacitněn.

Pro odhadnutý návrhový průtok Q_{20} by již vyhověla obě stávající opatření.

Varianta technických opatření v kombinaci s PEO

Variantě návrhu **technických opatření v kombinaci s PEO** pro návrhový průtok Q_{100} vyhoví stávající propustek, nestačí však na stávající svodný příkop.

Pro návrhový průtok Q_{50} bude téměř dostatečná i kapacita svodného příkopu.

A pro odhadnutý návrhový průtok Q_{20} stejně jako u návrhu technických opatření bez PEO vyhoví svodný příkop i propustek.

Tab. 16 Kapacita stávajících opatření na průtok v KB1 po návrhu nových opatření

| Návrhový průtok | Stávající opatření - Propustek | | Stávající opatření - Příkop | |
|-----------------|--------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| | Pouze technická opatření | Kombinace technických opatření a PEO | Pouze technická opatření | Kombinace technických opatření a PEO |
| Q_{100} | Nevyhoví | Vyhoví | Nevyhoví | Nevyhoví |
| Q_{50} | Vyhoví | Vyhoví | Nevyhoví | Nevyhoví |
| Q_{20} | Vyhoví | Vyhoví | Vyhoví | Vyhoví |

10 VYHODNOCENÍ NAVRŽENÝCH OPATŘENÍ

Všechny tři typy navrhovaných opatření budou mít vliv především na zmírnění účinků plošné eroze a povrchového odtoku.

Vliv na povrchový odtok mají primárně navržené zasakovací průlehy a suchá nádrž. Navržené přehrážky pomohou odtok též zpomalit, ale primárně jsou navrženy za účelem zachycení splavenin a lesní eroze.

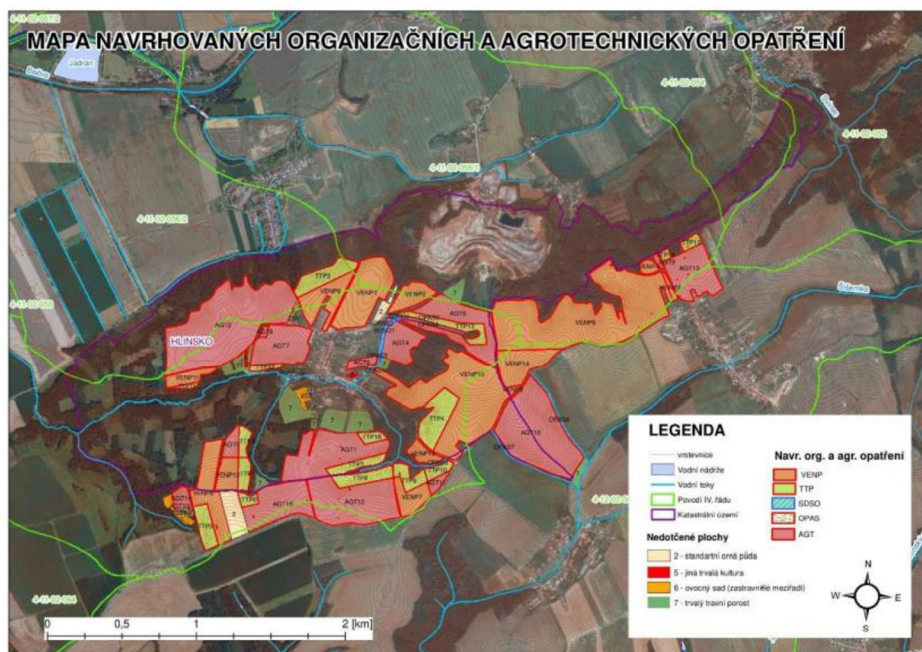
Hodnoty povrchového odtoku jsou ve všech třech kritických povodích ještě nižší, bude-li do výpočtů započten návrh PEO zhotovený v bakalářské práci [1]. V důsledku návrhu PEO se sníží i hodnoty CN křivek, které mají vliv na výpočet, a tedy i snížení kulminačního průtoku.

Protierozní opatření se skládají z: [1]

- Návrhu území trvalých travních porostů (TTP),
- Vymezení míst s vyloučením erozně nebezpečných plodin (VENP),
- Míst vhodných pro použití agrotechnických opatření (AGT),
- Stabilizace drah soustředěného odtoku (SDSO),
- Ochranného vodního pasu podél vodního toku (OPAS).

Podrobné informace a konkrétní způsob návrhu je obsažen v bakalářské práci [1].

V této kapitole bude představeno porovnání povrchového odtoku před návrhem jakýchkoli opatření, poté pouze po návrhu technických opatření navržených v této práci a následně po návrhu technických opatření v kombinaci s organizačními a agrotechnickými PEO navrženými v bakalářské práci [1].



Obr. 64 Mapa navrhovaných PEO [1]

Návrhy však v žádné variantě neuvažují návrh PEO v povodí suché nádrže.

10.1 OPATŘENÍ V RÁMCI KP1

Pro rychlou orientaci a porovnání údajů o snížení účinku povrchového odtoku pro návrhové průtoky Q_{100} a Q_{50} slouží přiložené tabulky.

Technickými opatřeními v tomto povodí jsou suchá nádrž a ZP1.

ZP1 funguje převážně jako lokální ochrana v rámci KP1, na celkový objem v celém KP1 nemá příliš velký vliv. Převážně ztvárňuje ochranu proti erozní činnosti. V rámci povodí totiž erozi přeruší a na erozně hodnotících plochách (EHP) tedy dojde ke snížení plošné eroze. To již bylo řešeno v rámci bakalářské práce [1]. V povodí však dojde i k určitému snížení objemu, díky zpomalení odtoku a zachycení povodí ZP1.

Suchá nádrž sníží kulminační průtok převážně jeho zpomalením během transformace povodně.

Ověření neškodného odtoku bylo provedeno v kapitole 9.7.2.

10.1.1 Návrhový průtok Q_{100}

Tab. 17 Změny kulminačního průtoku Q_{100} v KP1 po návrhu opatření

| Označení povodí | Plocha povodí [km ²] | Kulminační průtok Q_{100} [m ³ .s ⁻¹] | | |
|-----------------|----------------------------------|--|--------------------------------|--------------------------------------|
| | | Návrh opatření | | |
| | | Před návrhem opatření | Po návrhu technických opatření | Po návrhu technických opatření a PEO |
| KP1 | 0,495 | 5,18 | 2,3 | 1,87 |

Dochází k výraznému snížení odtoku v rámci obou typů opatření. Při uvažování návrhu pouze technických opatření nastává snížení kulminačního průtoku při návrhovém průtoku Q_{100} o **2,88 m³.s⁻¹**. Při uvažování doplnění těchto opatření i o PEO na orné půdě dojde ke snížení průtoků o **3,31 m³.s⁻¹**.

10.1.2 Návrhový průtok Q_{50}

Tab. 18 Změny kulminačního průtoku Q_{50} v KP1 po návrhu opatření

| Označení povodí | Plocha povodí [km ²] | Kulminační průtok Q_{50} [m ³ .s ⁻¹] | | |
|-----------------|----------------------------------|---|--------------------------------|--------------------------------------|
| | | Návrh opatření | | |
| | | Před návrhem opatření | Po návrhu technických opatření | Po návrhu technických opatření a PEO |
| KP1 | 0,495 | 3,99 | 1,91 | 1,69 |

Nemalé snížení kulminačního průtoku nastává i při návrhovém průtoku Q_{50} . Při uvažování návrhu pouze technických opatření dochází ke snížení kulminačního průtoku o **2,08 m³·s⁻¹**. Pokud se však tato opatření doplní i o PEO, na orné půdě se objevuje snížení průtoku o **2,30 m³·s⁻¹**.

10.2 OPATŘENÍ V RÁMCI KP2

Pro porovnání jsou i zde v tabulkách přiloženy údaje o snížení účinku povrchového odtoku pro návrhové průtoky Q_{100} a Q_{50} .

Technickými opatřeními v tomto povodí jsou srubová přehrážka a ZP2.

Přehrážka zde plní převážně protierozní funkci. Kumuluje splaveniny a zastavuje lesní erozi. ZP2 zde, stejně jako ZP1 v KP1, funguje jako protierozní opatření. Vzhledem k nemalému zachycenému objemu však zmenší celkový kulminační průtok KP2, což zapříčiní zmenšení erozního smyvu a umenšení vodní eroze lesní půdy.

Je též navržena úprava koryta před přehrážkou, aby tak došlo k zamezení rýhové eroze a zároveň k stabilizaci odtoku vody pod stávajícím propustkem, který vede pod místní komunikací a nezanedbatelně tak rozšiřuje celkové povodí přehrážky.

V následujících tabulkách jsou obsaženy údaje o snížení odtoku v rámci KB2.

10.2.1 Návrhový průtok Q_{100}

Tab. 19 Změny kulminačního průtoku Q_{100} v KP2 po návrhu opatření

| Označení povodí | Plocha povodí [km ²] | Kulminační průtok Q_{100} [m ³ ·s ⁻¹] | | |
|-----------------|----------------------------------|--|--------------------------------|--------------------------------------|
| | | Návrh opatření | | |
| | | Před návrhem opatření | Po návrhu technických opatření | Po návrhu technických opatření a PEO |
| KP2 | 0,66 | 3,32 | 2,40 | 1,29 |

Při uvažování návrhu pouze technických opatření dochází ke snížení kulminačního průtoku při návrhovém průtoku Q_{100} o **0,92 m³·s⁻¹**. Při uvažování doplnění těchto opatření i o PEO na orné půdě nastává snížení kulminačního průtoku o **2,03 m³·s⁻¹**.

10.2.2 Návrhový průtok Q_{50}

Tab. 20 Změny kulminačního průtoku Q_{50} v KP2 po návrhu opatření

| Označení povodí | Plocha povodí [km ²] | Kulminační průtok Q ₅₀ [m ³ .s ⁻¹] | | |
|-----------------|----------------------------------|--|--------------------------------|--------------------------------------|
| | | Návrh opatření | | |
| | | Před návrhem opatření | Po návrhu technických opatření | Po návrhu technických opatření a PEO |
| KP2 | 0,66 | 2,57 | 1,85 | 1,03 |

Návrh pouze technických opatření vede ke snížení kulminačního průtoku při uvažování návrhového průtoku Q₅₀ o **0,72 m³.s⁻¹**. V případě doplnění těchto opatření i o PEO na orné půdě dochází ke snížení průtoku o **0,54 m³.s⁻¹**.

10.3 OPATŘENÍ V RÁMCI KP3

V rámci KB3 je navržena soustava dvou betonových přehrážek.

Betonové přehrážky disponují dvěma obdélníkovými průceznými otvory, které se nachází zhruba uprostřed podélného profilu přehrážek. Díky tomu nedochází k trvalému nadržení přehrážek až po jejich přeliv, ale pouze po tyto otvory. Z toho důvodu se zpomalí doba doběhu povodí přehrážek i výsledný povrchový odtok.

Přehrážky však jsou navrženy na přání pana starosty především za účelem zachycení splavenin a vodní eroze lesní půdy.

V rámci návrhu přehrážek dochází k návržení stabilizace koryta před přehrážkami. Díky tomuto opatření pak bude snadnější pravidelná údržba a čištění přehrážek.

V bakalářské práci [1] je navržena organizační a agrotechnická PEO na orné půdě i v tomto povodí a při jejich aplikaci se prakticky zkapacitní záchytný průleh a propustek v místě KB3.

11 ZÁVĚR

Cílem práce bylo vypracování návrhu technických vodohospodářských a protierozních opatření pro eliminaci erozních škod v rámci katastrálního území Hlinsko u Přerova.

V rámci této práce byl představen popis metody CN křivek pro stanovení povrchového odtoku a programy použité v rámci řešení práce. Dále byl proveden rozbor charakteristik zájmové lokality a představena studie navržených vodohospodářských a protierozních opatření – a to zasakovacích průleहů, přehrážek a suché nádrže.

Byly navrženy 2 zasakovací průlehy, soustava 2 betonových přehrážek, srubová přehrážka a suchá nádrž.

Všechny navržená opatření byla navržena na základě terénního průzkumu a digitálního modelu terénu. V poloze navržených opatření však nebyl vyhotoven inženýrsko-geologický průzkum. V dalších stupních projektové dokumentace by však bylo nutné tento průzkum vyhotovit a výsledný návrh dle jeho výsledků upřesnit.

V rámci návrhu zasakovacích průleहů je učiněn předpoklad, že se nacházejí na propustném podloží, aby voda mohla zasakovat. ZP1 byl navržen se sklony svahu 1:5, šířkou dna 2 m a výškou 0,9 m. Jeho délka je 285,5 m a zachycený objem činí 1 600 m³. ZP2 má sklony svahu 1:6, šířku dna 2 m a výšku 0,85 m. Jeho délka je 971,9 m a zachycený objem činí 5 510 m³. Podélný profil dna ZP má nulový sklon a u ZP1 leží dno na kótě 305,60 m n.m. a u ZP2 na kótě 328,20 m n.m. Oba ZP byly navrženy tak, aby zachytily celý svůj objem povodňové vlny při návrhovém průtoku Q_{100} .

V rámci návrhu přehrážek byla navržena soustava dvou betonových a jedné srubové. Betonové byly navrženy tak, že každá má 2 obdélníkové otvory v rámci podélného řezu. U všech přehrážek byl navržen bezpečnostní přeliv a spočtena jeho kapacita. Následně byl v případě betonových přehrážek proveden návrh a výpočet vývaru. Hráz srubové přehrážky je tvořena 7 kuláči o průměru 0,4 m. Koruna hráze u BP1 leží na kótě 299 m n.m. u BP2 na kótě 304,50 m n.m. a u SP na kótě 299 m n.m.

Suchá nádrž byla navržena o maximálním objemu vody při H_{\max} 7 386 m³ a plochou vodní hladiny 4 143 m². Byl učiněn předpoklad, že hráze bude vystavěna z písčité hlíny (MS), která bude odebrána v zátopě. Hráz suché nádrže byla řešena jako homogenní s korunou v nadmořské výšce 310,40 m n.m.

Byl též proveden návrh sdruženého funkčního objektu. Jedná se o otevřenou spodní výpust, jejíž vtok je chráněn hrubými česlemi. Následuje spadiště, do kterého voda přitéká ze spodní výpusti kruhovým otvorem DN 400 nebo přepadá přes bezpečnostní přeliv, který je dimenzován na Q_{100} . Spadiště dále pokračuje odpadní štolou s čtvercovým průřezem o rozměrech 1,6 x 1,6 m a navrženým vývarem. Byl též spočten objem násypu hráze 2 203 m³ a objem výkopu v zátopě 2 226 m³.

Závěrem bylo učiněno vyhodnocení navržených technických opatření. Bylo stanoveno, že navržené technické objekty dokáží značně zpomalit a zmírnit účinky povrchového odtoku i plošné eroze. Když se tato technická opatření vhodně zkombinují s navrženými organizačními a agrotechnickými protierozními opatřeními navrženými v bakalářské práci [1], dojde k potřebnému snížení odtoku i plošné eroze v jednotlivých kritických povodích. Celkový návrh učiněný v této i v bakalářské práci [1] by mohl sloužit jako podklad při projekční činnosti v řešení plánu společných zařízení v rámci komplexních pozemkových úprav prováděných v zájmovém území.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ŠPAČEK, Stanislav. Studie krajinných opatření v katastrálním území obce Hlinsko. Brno, 2022. 102 s., 26 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce Ing. Stanislav Paseka, Ph.D.
- [2] What is ArcMap? *ARCGIS DESKTOP* [online]. [cit. 2024-01-11]. Dostupné z: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/map/main/what-is-arcmap-.htm>
- [3] Desq - MaxQ. Vybrané kapitoly z hydrologie [online]. [cit. 2024-01-10]. Dostupné z: http://hydro.upol.cz/?page_id=17%C2%A8
- [4] ATLAS. *ATLAS DMT* [online]. [cit. 2024-01-10]. Dostupné z: <https://www.atlasltd.cz/dmt/>
- [5] Autodesk AutoCAD. *Autodesk* [online]. [cit. 2024-01-10]. Dostupné z: <https://www.autodesk.cz/products/autocad/overview?term=1-YEAR&tab=subscription&plc=ACDIST>
- [6] Microsoft Excel. *Microsoft* [online]. [cit. 2024-01-10]. Dostupné z: <https://www.microsoft.com/cs-cz/microsoft-365/excel>
- [7] SketchUp. *Trimble* [online]. [cit. 2024-01-10]. Dostupné z: <https://sketchup.cz/>
- [8] PASEKA, S.; MARTON, D. Program Transform_wave pro transformace povodňových vln v podmínkách nejistot. In *SBORNÍK PŘÍSPĚVKŮ PROCEEDINGS Juniorstav 2019*. Brno: ECON publishing, s. r. o., 2019. s. 335-340. ISBN: 978-80-86433-71-4.
- [9] PASEKA, S. Optimální návrh zásobního objemu nádrže v podmínkách nejistot. In *Zborník súťažných prác mladých odborníkov*. Bratislava: Slovenský hydrometeorologický ústav, 2019. s. 1-14. ISBN: 978-80-99929-03-7.
- [10] DUMBROVSKÝ, Miroslav a Rudolf MILERSKI. Vodní hospodářství krajiny II. Brno, 2005.
- [11] JANEČEK, Miroslav, a kol. Ochrana zemědělské půdy před erozí. Powerprint, 2012. ISBN 978-80-87415-42-9.
- [12] Metodický návod pro identifikaci KB. Povodňový informační systém (POVIS) [online]. [cit. 2024-01-10]. Dostupné z: http://www.povis.cz/mzp/KB_metodicky_navod_identifikace.pdf
- [13] *Obec Hlinsko* [online]. [cit. 2024-01-10]. Dostupné z: <https://www.obec-hlinsko.cz/>
- [14] *Mapy* [online]. [cit. 2024-01-10]. Dostupné z: [mapy.cz](https://www.mapy.cz/)
- [15] Hlinsko (okres Přerov). *RIS - Regionální informační servis* [online]. [cit. 2024-01-10]. Dostupné z: <https://www.risy.cz/cs/vyhledavace/uzemi/569267-hlinsko>
- [16] Maleník. *Moravské-Karpaty* [online]. [cit. 2024-01-10]. Dostupné z: <http://moravske-karpaty.cz/prirodni-pomery/geomorfologie/malenik/>
- [17] Česká geologická služba. Ministerstvo životního prostředí [online]. [cit. 2024-01-10]. Dostupné z: <https://mapy.geology.cz/geocr50/>
- [18] Česká geologická služba. Ministerstvo životního prostředí [online]. [cit. 2024-01-10]. Dostupné z: <https://mapy.geology.cz/pudy/>

- [19] Ekatalog BPEJ. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy [online]. [cit. 2024-10-01]. Dostupné z: <https://bpej.vumop.cz/>
- [20] Hydrologické charakteristiky. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy [online]. [cit. 2024-10-01]. Dostupné z: https://www.vumop.cz/sites/default/files/20130529_katalogmap_hydrologicke_charakteristiky.pdf
- [21] Správcovství vodních toků. *Vodohospodářský informační portál VODA* [online]. [cit. 2024-01-10]. Dostupné z: <https://www.voda.gov.cz/?page=spravcovstvi-vodnich-toku-mapa>
- [22] Klimatické oblasti dle Evžena Quitta (1971). Moravské-Karpaty [online]. [cit. 2024-01-10]. Dostupné z: <http://moravske-karpaty.cz/prirodnipomery/klima/klimaticke-oblasti-dle-e-quitta-1971/>
- [23] Mapy charakteristiky klimatu. Český hydrometeorologický ústav [online]. [cit. 2024-01-10]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mapycharakteristik-klima>
- [24] Větrná růžice na imisních stanicích. Český hydrometeorologický ústav [online]. [cit. 2024-01-10]. Dostupné z: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/tab_roc/2022_enh/pollution_wrose/wrose_MPRRA_CZ.html
- [25] Půda v mapách. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy [online]. [cit. 2024-01-10]. Dostupné z: <https://mapy.vumop.cz/>
- [26] KADLEC, Václav a kol. *NAVRHOVÁNÍ TECHNICKÝCH PROTIEROZNÍCH OPATŘENÍ*. Praha. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, České vysoké učení technické v Praze, 2014.
- [27] *Katalog přírodě blízkých opatření pro zadržetí vody v krajině*. Praha. Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka, 2018.
- [28] VOKURKA, Adam, a Karel ZLATUŠKA. *Technická doporučení hrazení bystrin a strží*. Česká společnost krajinných inženýrů ČSSI.
- [29] DOLEŽAL, Petr: Rybníky a účelové nádrže (Modul 01). Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2007.
- [30] OUHEL, Jan. *Návrh suché nádrže Neznašovy na Drnovém potoce*. Praha, 2020. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, fakulta stavební, katedra hydrotechniky.
- [31] *TNV 75 2415 Suché nádrže*. Sweco Hydroprojekt, 2013.
- [32] ČSN 75 2410 Malé vodní nádrže. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [33] Informační systém melioračních staveb. *Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy* [online]. [cit. 2024-01-11]. Dostupné z: <https://meliorace.vumop.cz/?core=app>
- [34] ČSN 75 2935 Posuzování bezpečnosti vodních děl při povodních. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [35] Definice tůně. *Mokřady* [online]. [cit. 2024-01-11]. Dostupné z: <https://mokrady.wbs.cz/Definice-tune.html>

-
- [36] Budování nových tůní. *Mokřady* [online]. [cit. 2024-01-11]. Dostupné z: <https://mokrady.wbs.cz/budovani-novych-tuni.html>
- [37] Hloubka a úroveň vodní hladiny. *Mokřady* [online]. [cit. 2024-01-11]. Dostupné z: <https://mokrady.wbs.cz/Hloubka-a-uroven-vodni-hladiny.html>
- [38] ČSN 75 0255 Výpočet účinků vln na stavby na vodních nádržích a zdržích. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1988.
- [39] Mapa extrémních nárazů větru ve výšce 10 m nad povrchem. *Ústav fyziky atmosféry* [online]. [cit. 2024-01-11]. Dostupné z: <http://vitr.ufa.cas.cz/extremni-vitr/>
- [40] JANDORA, Jan a Jan Šulc: *Hydraulika (Modul 01)*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2006
- [41] HYDROPROJEKT Navrhování sdružených objektů zemních hrází do výšky 15 m: typizační směrnice stavebního objektu Praha: Hydroprojekt, 1981.
- [42] Jan Stoklas *Návrh hráze údolní malé vodní nádrže*. Brno, 2019. 58 s., 8 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce Ing. Miroslav Špano, Ph.D.

SEZNAM TABULEK

| | |
|---|----|
| Tab. 1 Charakteristika zasakovacích průlehub [27]..... | 27 |
| Tab. 2 Základní parametry ZP1 | 31 |
| Tab. 3 Základní parametry ZP2 | 35 |
| Tab. 4 Charakteristiky betonové přehrážky 1 | 42 |
| Tab. 5 Charakteristiky betonové přehrážky 2 | 43 |
| Tab. 6 Tabulka součinitele přepadu M:..... | 44 |
| Tab. 7 Výpočet kapacity přelivu betonových přehrázek | 44 |
| Tab. 8 Parametry přehrážek potřebné pro výpočet délky a hloubky vývaru | 46 |
| Tab. 9 Charakteristiky srubové přehrážky | 52 |
| Tab. 10 Výpočet kapacity přelivu srubové přehrážky | 53 |
| Tab. 11 Stanovení délek jednotlivých radiál | 63 |
| Tab. 12 Zatopené plochy a objemy v závislosti na výšce vody v nádrži | 65 |
| Tab. 13 Výpočet vývaru | 71 |
| Tab. 14 Dílčí průtoky stanovené z návrhového průtoku Q_{100} v KP1 | 73 |
| Tab. 15 Dílčí průtoky stanovené z návrhového průtoku Q_{50} v KP1 | 75 |
| Tab. 16 Kapacita stávajících opatření na průtok v KB1 po návrhu nových opatření | 84 |
| Tab. 17 Změny kulminačního průtoku Q_{100} v KP1 po návrhu opatření | 86 |
| Tab. 18 Změny kulminačního průtoku Q_{50} v KP1 po návrhu opatření | 86 |
| Tab. 19 Změny kulminačního průtoku Q_{100} v KP2 po návrhu opatření | 87 |
| Tab. 20 Změny kulminačního průtoku Q_{50} v KP2 po návrhu opatření | 87 |

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|---|----|
| Obr. 1 Kritická povodí v rámci zájmového území [1] | 15 |
| Obr. 2 Poloha katastrálního území Hlinsko u Přerova [14]..... | 16 |
| Obr. 3 Mapa vodních toků a vodních linií v zájmovém území [21] | 19 |
| Obr. 4 Mapa průměrných ročních srážkových úhrnů ČR za období 1991-2020 s vyznačeným zájmovým územím [23]..... | 20 |
| Obr. 5 Mapa průměrných roční teploty vzduchu ČR za období 1991-2020 s vyznačeným zájmovým územím [23]..... | 21 |
| Obr. 6 Poměr směru větrů v růžicovém typu grafu [24] | 21 |
| Obr. 7 Graf procentuálního zastoupení směru větru [24] | 22 |
| Obr. 8 Mapa sklonitosti zájmového území [1] | 22 |
| Obr. 9 Mapa potenciální plošné ztráty půdy v zájmovém území (R faktor přenásoben příslušnými koeficienty) [1]..... | 23 |
| Obr. 10 Mapa potenciální plošné ztráty půdy v zájmovém území při pěstování kukuřice na zrno (R faktor přenásoben příslušnými koeficienty) [1]..... | 24 |
| Obr. 11 Poloha zasakovacích průlehů | 25 |
| Obr. 12 Typy příkopů a průlehů dle jejich prostorového uspořádání [26] | 26 |
| Obr. 13 Poloha sondy (sonda je vyznačena žlutě) [27] | 28 |
| Obr. 14 Návrh zasakovacích průlehů včetně 10metrových pásů trvalého travního porostu a příslušných povodí..... | 30 |
| Obr. 15 Vybraný řez ZP1 v místě staničení 0,18 km | 32 |
| Obr. 16 Místo KB2 [1] | 33 |
| Obr. 17 Propustek napojující povrchový odtok části KP2 do místa KB2 | 33 |
| Obr. 18 Propustek pod místní komunikací napojující povrchový odtok části KP2 do toku řeky Libušky [1]..... | 34 |
| Obr. 19 Erodující území KP2 [1] | 34 |
| Obr. 20 Vybraný řez ZP2 v místě staničení 0,25 km | 35 |
| Obr. 21 Poloha přehrážek | 36 |
| Obr. 22 Příklad betonové retenční přehrážky s průřeznými otvory ve dvou úrovních. (průřezné otvory i přeliv jsou tvořeny pískovcovými bloky) [28] | 37 |
| Obr. 23 Příklad soustavy konsolidačních srubových přehrážek ze srubové kulatiny [28] | 38 |

| | |
|--|----|
| Obr. 24 Příslušná povodí přehrážek..... | 38 |
| Obr. 25 Půdorys betonové přehrážky 1..... | 39 |
| Obr. 26 Vzorový podélný řez betonové přehrážky 1 | 39 |
| Obr. 27 Vzorový říční řez betonové přehrážky 1 | 40 |
| Obr. 28 Území koryta, nad kterým byl vytvořen návrh betonových přehrážek [1] | 41 |
| Obr. 29 Záchytný žlab, do kterého proudí soustředěný odtok KP3. Žlab následně přechází v příkop. Zároveň se jedná o území KB3 [1]..... | 41 |
| Obr. 30 Pohled po směru toku | 47 |
| Obr. 31 Pohled proti směru toku..... | 48 |
| Obr. 32 Boční pohled i zespodu..... | 48 |
| Obr. 33 Pohled shora | 48 |
| Obr. 34 Půdorys | 49 |
| Obr. 35 Boční pohled | 49 |
| Obr. 36 Detail na vývar přehrážky | 49 |
| Obr. 37 Půdorys srubové přehrážky | 50 |
| Obr. 38 Vzorový podélný řez srubové přehrážky | 50 |
| Obr. 39 Vzorový příčný řez srubové přehrážky | 51 |
| Obr. 40 Příčný řez srubové přehrážky | 51 |
| Obr. 41 Situační umístění hráze včetně jejího povodí | 55 |
| Obr. 42 Umístění stávajícího podzemního odvodnění na území suché nádrže a ZP [33] | 57 |
| Obr. 43 Tři druhy tůní dle jejich zásobování vodou [36] | 60 |
| Obr. 44 Vzor pro návrh břehů tůní [37] | 61 |
| Obr. 45 Vzorový řez tůní [36] | 61 |
| Obr. 46 Schéma směru a délky rozběhu vln v nádrži | 63 |
| Obr. 47 Charakteristické křivky nádrže..... | 65 |
| Obr. 48 Konsumpční křivka spodní výpusti..... | 66 |
| Obr. 49 Součinitel vtoku ξ pro různé úpravy vtoku [40] | 67 |
| Obr. 50 Konsumpční křivka bezpečnostního přelivu | 68 |
| Obr. 51 Konsumpční křivka sdruženého objektu | 68 |
| Obr. 52 Konsumpční křivka odpadní štoly | 69 |

| | |
|--|----|
| Obr. 53 Transformace povodňové vlny pro návrhový průtok Q_{100} | 74 |
| Obr. 54 Průběh jednotlivých výšek a objemů v nádrži během transformace povodňové vlny návrhového průtoku Q_{100} | 75 |
| Obr. 55 Transformace povodňové vlny pro návrhový průtok Q_{50} | 76 |
| Obr. 56 Průběh jednotlivých výšek a objemů v nádrži během transformace povodňové vlny návrhového průtoku Q_{50} | 77 |
| Obr. 57 Povodí suché nádrže, zasakovací průlehu a zbylého povodí, která jsou součástí KP1 | 78 |
| Obr. 58 Transformace povodně doplněná průběhem průtoků zbylého povodí a přítokem do KB1 při návrhovém průtoku Q_{100} – Návrh pouze technických opatření | 79 |
| Obr. 59 Transformace povodně doplněná průběhem průtoků zbylého povodí a přítokem do KB1 při návrhovém průtoku Q_{100} – Návrh technických opatření i PEO | 80 |
| Obr. 60 Svodný příkop v místě KB1 ($b= 0,9$ m, $B= 1,6$ m, $h= 0,55$ m, přibližné $i= 3$ %) [1]..... | 80 |
| Obr. 61 Potrubí DN 600 v místě KB1 [1] | 81 |
| Obr. 62 Transformace povodně doplněná průběhem průtoků zbylého povodí a přítokem do KB1 při návrhovém průtoku Q_{50} – Návrh pouze technických opatření..... | 82 |
| Obr. 63 Transformace povodně doplněná průběhem průtoků zbylého povodí a přítokem do KB1 při návrhovém průtoku Q_{50} – Návrh technických opatření i PEO | 83 |
| Obr. 64 Mapa navrhovaných PEO [1]..... | 85 |

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

| | |
|-------|---|
| ZP | Zasakovací průleh |
| BP | Betonová přehrážka |
| SP | Srubová přehrážka |
| SN | Suchá nádrž |
| KB | Kritický bod |
| KP | Kritický profil |
| BPEJ | Bonitovaná půdně ekologická jednotka |
| HPJ | Hlavní půdní jednotka |
| HSP | Hydrologická skupina půd |
| DMT | Digitální model terénu |
| PEO | Protierozní opatření |
| TTP | Trvalý travní porost |
| VENP | Vyloučení erozně nebezpečných plodin |
| AGT | Agrotechnická opatření |
| SDSO | Stabilizace drah soustředěného odtoku |
| OPAS | Ochranný vodní pás podél vodního toku |
| k. ú. | Katastrální území |
| EHP | Erozně hodnotící plocha |
| CN | Číslo odtokové křivky (Curve number) |
| USLE | Univerzální rovnice pro výpočet dlouhodobé ztráty půdy (Universal soil loss equation) |
| ČHMÚ | Český hydrometeorologický ústav |
| ZVHS | Zemědělská vodohospodářská správa |

SEZNAM PŘÍLOH

1 - SITUAČNÍ VÝKRESY

1.A PŘEHLEDNÁ SITUACE

1.B ROZBOR ODTOKOVÝCH POMĚRŮ

2 - ZÁCHYTNÉ PRŮLEHY

ZÁCHYTNÝ PRŮLEH č. 1

2.Aa PODROBNÁ SITUACE – ZÁCHYTNÉHO PRŮLEHU č.1

2.Ba PODÉLNÝ PROFIL – ZÁCHYTNÉHO PRŮLEHU č. 1

2.Ca PŘÍČNÉ PROFILY – ZÁCHYTNÉHO PRŮLEHU č. 1

ZÁCHYTNÝ PRŮLEH č. 2

2.Ab PODROBNÁ SITUACE – ZÁCHYTNÉHO PRŮLEHU č. 2

2.Bb PODÉLNÝ PROFIL – ZÁCHYTNÉHO PRŮLEHU č. 2

2.Cb PŘÍČNÉ PROFILY – ZÁCHYTNÉHO PRŮLEHU č. 2

3 - BETONOVÉ PŘEHRÁŽKY

3.A PODROBNÁ SITUACE – BETONOVÝCH PŘEHRÁŽEK

3.F PODÉLNÝ PROFIL ZÁTOPOU – BETONOVÝCH PŘEHRÁŽEK

BETONOVÁ PŘEHRÁŽKA č. 1

3.Ba VZOROVÝ PODÉLNÝ A PŘÍČNÝ ŘEZ – BETOVÉ PŘEHRÁŽKY č. 1

3.Ca PŮDORYS – BETONOVÉ PŘEHRÁŽKY č. 1

3.Da PŘÍČNÝ ŘEZ – BETONOVÉ PŘEHRÁŽKY č. 1

3.Ea PODÉLNÝ ŘEZ OSOU – BETONOVÉ PŘEHRÁŽKY č. 1

3.Ga PŘÍČNÉ ŘEZY ZÁTOPOU – BETONOVÉ PŘEHRÁŽKY č. 1

BETONOVÁ PŘEHRÁŽKA č. 2

3.Bb VZOROVÝ PODÉLNÝ A PŘÍČNÝ ŘEZ – BETOVÉ PŘEHRÁŽKY č. 2

3.Cb PŮDORYS – BETONOVÉ PŘEHRÁŽKY č. 2

3.Db PŘÍČNÝ ŘEZ – BETONOVÉ PŘEHRÁŽKY č. 2

3.Eb PODÉLNÝ ŘEZ OSOU – BETONOVÉ PŘEHRÁŽKY č. 2

3.Gb PŘÍČNÉ ŘEZY ZÁTOPOU – BETONOVÉ PŘEHRÁŽKY č. 2

4 - SRUBOVÁ PŘEHRÁŽKA

- 4.A PODROBNÁ SITUACE – SRUBOVÉ PŘEHRÁŽKY
- 4.B VZOROVÝ PODÉLNÝ A PŘÍČNÝ ŘEZ – SRUBOVÉ PŘEHRÁŽKY
- 4.C PŮDORYS – SRUBOVÉ PŘEHRÁŽKY
- 4.D PŘÍČNÝ ŘEZ – SRUBOVÉ PŘEHRÁŽKY
- 4.E PODÉLNÝ ŘEZ OSOU – SRUBOVÉ PŘEHRÁŽKY
- 4.F PODÉLNÝ ŘEZ ZÁTOPOU – SRUBOVÉ PŘEHRÁŽKY
- 4.G PŘÍČNÉ ŘEZY ZÁTOPOU – SRUBOVÉ PŘEHRÁŽKY

5 - SUCHÁ NÁDRŽ

- 5.A PODROBNÁ SITUACE – SUCHÉ NÁDRŽE
- 5.B VZOROVÝ PŘÍČNÝ ŘEZ HRÁZÍ – SUCHÉ NÁDRŽE
- 5.C PODÉLNÝ ŘEZ HRÁZÍ – SUCHÉ NÁDRŽE
- 5.D PŘÍČNÉ ŘEZY TĚLESEM HRÁZE – SUCHÉ NÁDRŽE
- 5.E PODÉLNÝ ŘEZ A PŮDORYS SDRUŽENÉHO OBJEKTU – SUCHÉ NÁDRŽE
- 5.F PŘÍČNÉ ŘEZY SDRUŽENÉHO OBJEKTU – SUCHÉ NÁDRŽE
- 5.G PODÉLNÝ ŘEZ OSOU TOKU – SUCHÉ NÁDRŽE
- 5.H PŘÍČNÉ ŘEZY ZÁTOPOU – SUCHÉ NÁDRŽE