

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
FAKULTA STAVEBNÍ
KATEDRA HYDROMELIORACÍ



STUDIE PPO OBCE KBELANY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

FRANTIŠEK WÁGNER

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Adam Vokurka, Ph.D.

Konzultant: Ing. Adam Vokurka, Ph.D.

Květen 2018



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Wagner</u>	Jméno: <u>František</u>	Osobní číslo: <u>438390</u>
Zadávací katedra: <u>Hydromeliorací a krajinného inženýrství</u>		
Studijní program: <u>Stavební inženýrství</u>		
Studijní obor: <u>Vodní hospodářství a vodní stavby</u>		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: <u>Studie PPO obce Kbelany</u>
Název bakalářské práce anglicky: <u>Flood protection Study of Kbelany</u>

Pokyny pro vypracování:

Ve své bakalářské práci zpracujte studii návrhu PPO obce Kbelany. Na základě průzkumu lokality, stavu VT a stavu povodí jako celku navrhnete v rámci studie možná protipovodňová opatření. Průzkum lokality zaměřte na stav VT, velikost koryta, případné změny průtočných profilů a jejich kapacity. Na základě průzkumu vytipujte kritické profily a místa, stanovte jejich průtočné kapacity.

Kritické úseky VT či profily geodeticky zaměřte a na základě modelu HEC-RAS zpracujte základní výstupy - kapacity profilů, průběh hladin v profilech. V povodí navrhnete koncepční řešení PPO (v případě návrhu přírodních blízkých protipovodňových opatření /dále jen PBPO/ popište principy těchto opatření). Návrh prověřte výpočtem. Kritické úseky VT či profily geodeticky zaměřte a na základě modelu HEC-RAS zpracujte základní výstupy - kapacity profilů, průběh hladin v profilech. V povodí navrhnete koncepční řešení PPO. Návrh prověřte výpočtem. Součástí práce budou základní výkresy a schémata navržených opatření.

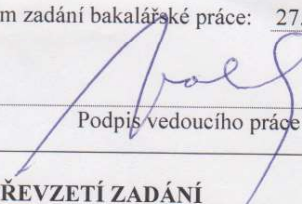
Při vypracování práce se dále řiďte pokyny dohodnutými na domluvených konzultacích s vedoucím.

Seznam doporučené literatury:

metodiky návrhu PBPO - MŽP, TNV a ČSN dle doporučení vedoucího

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Adam Vokurka, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 27.2.2018 Termín odevzdání bakalářské práce: 27.5.2018
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku


Podpis vedoucího práce

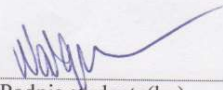

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

24.2.2018

Datum převzetí zadání


Podpis studenta(ky)

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně, a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Místo zpracování: Rokycany, Dne: 26.5.2018

Vypracoval: František Wágner

Poděkování

Moc bych chtěl tímto poděkovat panu Ing. Adamovi Vokurkovi, Ph.D. za jeho odborné rady a pomost při zpracování této práce. Navíc bych rád poděkoval panu Ing. Tomášovi Rauovi z podniku Lesy ČR, za poskytnuté podklady a odborné rady.

Anotace

Cílem této práce je nalezení a vypracování návrhu možných protipovodňových opatření obce Kbelany v okrese Plzeň - Sever, která byla v předešlých letech značně zasažena povodněmi. Nejprve byl proveden terénní průzkum, jehož účelem bylo zmapovat stávající stav vodstva v řešeném území. Na základě terénního průzkumu a dostupných podkladů řešeného území byly vypracovány 3 varianty možných protipovodňových opatření obce Kbelany. Varianty byly navrženy a ověřeny dle přiložených hydrotechnických výpočtů a byly mezi sebou porovnány.

Klíčová slova: průtočný profil, Kbelanský potok, koryto, protipovodňová opatření

Annotation

The aim of this work is to find and elaborate design for possible flood protection of the village of Kbelany district Plzeň – Sever, which was greatly affected by floods in the last years. Firstly, a terrain survey was conducted out to map the current state of the water in the solved territory. On the basic of the terrain survey and the available documentation of the solved territory are designed a total of three variants possible flood protection of the village of Kbelany. Variants are designed and verified according to the enclosed hydrotechnical calculatons and are compared with each other.

Key words: flow profile, Kbelanský stream, trough, flood protection

Seznam použitých zkratk

MVN – malá vodní nádrž

HOZ – hlavní odvodňovací zařízení

DN – světlost potrubí (zpravidla udávána v milimetrech)

Q_N – N – letý průtok

IDVT – Identifikátor vodního toku

ř. km – říční kilometr

m n.m. – nadmořská výška (metr nad mořem)

Q_{KAP} – kapacitní průtok

VT – vodní tok

Obsah

1. Úvod a cíle studie.....	9
2. Analýza území.....	10
2.1. Vymezení zájmového území	10
2.2. Morfologické poměry	11
2.3. Klimatické poměry	11
2.4. Hydrologické poměry	11
2.4.1. Vodní toky v povodí	13
2.4.2. Malé vodní nádrže v povodí	15
2.4.3. Hlavní odvodňovací zařízení (HOZ)	17
2.5. Geologické a půdní poměry.....	17
2.6. Sídla.....	20
2.7. Dopravní infrastruktura	20
2.8. Využití ploch	20
2.9. Průzkum řešeného území.....	20
2.9.1. Kbelanský potok	21
2.9.2. Hlavní odvodňovací zařízení (HOZ)	31
3. Teoretické předpoklady.....	39
3.1. Příčný profil toku.....	39
3.1.1. Tvar upraveného koryta – Otevřený, lichoběžníkový průřez jednoduchý.....	39
3.1.2. Tvar upraveného koryta – Uzavřený profil, vliv zaškrcení toku	39
3.2. Způsoby úprav toků.....	40
3.2.1. Stavební opevňování koryt	40
3.2.2. Vegetační opevňování svahů a břehů vodních toků	41
3.3. Ochranné hráze	41
3.4. Říční hydraulika	42
3.4.1. Otevřená koryta.....	42
3.4.2. Proudění propustky	45
3.4.3. Dimenzování průtočného profilu koryta.....	45
4. Návrh PPO obce Kbelany	46
4.1. Definování základních problémů.....	46
4.1.1. Zjištěné problémy ze získaných podkladů.....	46
4.1.2. Zjištěné problémy na základě terénního průzkumu	48
4.1.3. Kritická místa.....	49

4.2. Návrh řešení.....	51
4.2.1. Varianta 1 – Obtok.....	52
4.2.2. Varianta 2 – Zkapacitnění kritických míst.....	56
4.2.3. Varianta 3 – Návrh suché nádrže	59
5. Závěr.....	64
6. Seznamy	65
6.1. Seznamy použité literatury a zdrojů informací.....	65
6.2. Seznam tabulek.....	66
6.3. Seznam obrázků.....	66
7. Přílohy	69

1. Úvod a cíle studie

Protipovodňová ochrana nebo také protipovodňová opatření slouží k úplné eliminaci povodní nebo alespoň k minimalizaci škod, které povodně způsobují. Tato opatření se snaží vodu co nejrychleji a nejbezpečněji odvést ze zastavěného území a rozlévají ji mimo toto území (tzn. ve vodních nádržích, nezastavěných údolních nivách atd.) [1]

Práce popisuje stávající stav Kbelanského potoka a hlavního odvodňovacího zařízení (dále HOZ), která se nacházejí v zájmovém území. Na základě terénního průzkumu a získaných hydrologických dat byly hydrotechnickými výpočty ověřeny stávající kapacitní průtoky jednotlivých částí vodního toku a HOZ. Zjištěné nekapacitní úseky a úseky, které jsou nevhodně upraveny, jsou označeny jako kritické. Se stupněm ochrany N dle TNV 75 2102 jsou navrženy celkem 3 varianty protipovodňových opatření. Úpravy a nové návrhy jsou ověřeny dle přiložených vzorců a jednotlivé varianty jsou mezi sebou porovnány.

Podklady pro řešení studie:

Topologické podklady:

- Základní vodohospodářská mapa 1: 50 000
- 1 :10 000 (ZM10), 2 mapové čtverce

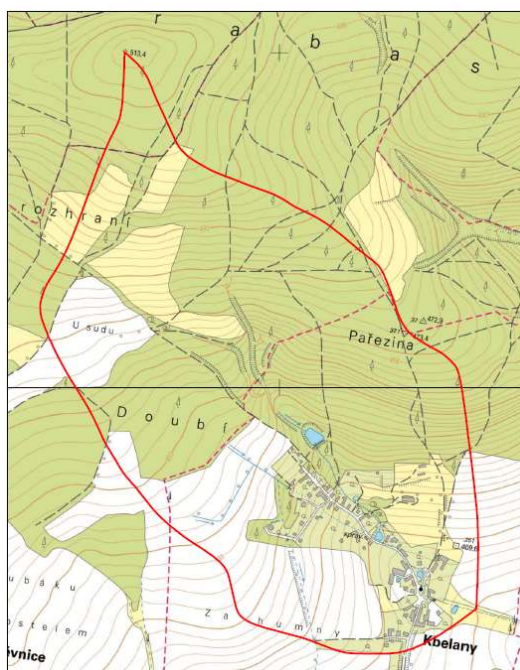
Podklady poskytnuté podnikem Lesy České Republiky, s.p.:

- Území podél Vejprnického a Lučního potoka – Studie protipovodňové ochrany.
- Vejprnický potok – studie protipovodňových opatření v povodí Hněvického, Kbelanského a Lučního potoka.

2. Analýza území

2.1. Vymezení zájmového území

Zájmová oblast se nachází v Plzeňském kraji, v okrese Plzeň – Sever (asi 18 km západně od Plzně). Rozprostírá se přes dvě katastrální území: Kbelany [740543], Hněvnice [638692]. Nachází se zde Kbelanský potok, který je levostranným přítokem Vejprnického potoka. Vejprnický potok (IDVT 13098000100) je pravostranným přítokem řeky Mže, do které se vlévá na jejím 2,5 ř.km ve výšce 305 m n.m. Délka tohoto potoka je 21,6 km, plocha povodí měří 77,6 km² a průměrný roční průtok při ústí činí 0,17 m³/s. Místo, kde se Kbelanský potok vlévá do Vejprnického potoka bude označeno ř.km 0,000. Rozsah řešeného území je od ř. km 6,540 (uzávěrový profil) až k ř.km 7,440 (pramenný vývěr). Délka řešeného úseku Kbelanského potoka je cca 900 m. Kbelanský potok zaujímá přibližně polovinu zájmového území. Vzniká důsledkem povrchového odtoku z okolních ploch lesa, protéká obcí Kbelany a pokračuje až k Vejprnickému potoku. Správcem vodního toku jsou Lesy ČR, s.p. IDVT je 131030000100. Na Kbelanském potoku se nacházejí v zájmovém území celkem čtyři malé vodní nádrže. Kromě Kbelanského potoka se zde nachází také hlavní odvodňovací zařízení, které sbírá vodu z přilehlých polí a lesů a slouží k odvedení této vody pryč od obce Kbelany. Plocha povodí zájmového území činí 1,33 km². Povodí s ohraničenou rozvodnicí a uzavěrovým profilem obce Kbelany znázorňuje přiložený obrázek 1.



Obrázek 1 - Zájmové území a jeho povodí

2.2. Morfologické poměry

V zájmovém území je velmi členitá morfologie terénu. Je zde nejvyšší bod povodí s nadmořskou výškou 513.4 m n.m., od kterého se rozvodnice rozbíhá až do uzávěrového profilu, kde rozvodnice povodí uzavírá. Uzávěrový profil povodí leží na vrstevnici 400 m n.m. Terén je svahován směrem k řešenému vodnímu toku (Kbelanský potok) a hlavnímu odvodňovacímu zařízení. Významnou část řešeného území tvoří intravilán obce Kbelany, přes který Kbelanský potok teče.

2.3. Klimatické poměry

Oblast kolem města Plzeň patří podle E. Quitta (1971) do teplé oblasti, které se dělí na 5 jednotek T1-T5, z nichž T5 je nejteplejší a nejsušší. V České republice se však vyskytují jen 2 tyto jednotky, a to jsou T2 a T4.

Zájmové území leží v klimatické oblasti T2. Následující tabulka uvádí klimatické charakteristiky oblasti.

Tabulka 1 - Klimatická oblast T2 [2]

klimatická charakteristika	T2
počet letních dní	50-60
počet dní s teplotou alespoň 10°C	160-170
počet mrazových dní	100-110
počet ledových dní	30-40
průměrná teplota v lednu	-2 až -3
průměrná teplota v dubnu	8 až 9
průměrná teplota v červenci	18 až 19
průměrná teplota v říjnu	7 až 9
počet dnů se srážkami alespoň 1 mm	90 - 100
srážkový úhrn ve vegetačním období mm	350 - 400
srážkový úhrn v zimním období mm	200 - 300
počet dnů se sněhovou příkrývkou	40 - 50
počet dní jasných	120 - 140
počet dní zatažených	40 -50

2.4. Hydrologické poměry

Aktuální hydrologické údaje od ČHMÚ jsou výchozím podkladem pro jakékoli návrhy protipovodňových opatření či projekty staveb na vodních tocích. Údaje jsou dodávány jako hodnoty neovlivněné, tj. není zahrnut vliv případných vodohospodářských nádrží v povodí toku. Ve smyslu normy ČSN 75 1400 (Hydrologické údaje povrchových vod) je platnost

hydrologických údajů omezena na dobu 5 let. Hydrologické údaje nejsou veličinou neměnnou. Mohou se měnit v souvislosti se změnami charakteru povodí. [3]

Pro účely této práce byly získány hydrologické údaje od ČHMÚ od podniku Lesy ČR. Údaje sloužily jako podklad pro zpracování studie s názvem: **Vejprnický potok – studie protipovodňových opatření v povodí Hněvického, Kbelanského a Lučního potoka**. Studie byla zpracována v roce 2016, a je stále v platnosti.

Přiložená tabulka předkládá hodnoty Q_N od ČHMÚ. Hodnoty jsou naměřeny v místě, které se nenachází v povodí. Nicméně leží v jeho těsné blízkosti. Plocha povodí zájmového území činí 1,33 km². Plocha povodí s hodnotami Q_N činí 2,18 km². Proto bylo nutné hodnoty pro výpočet upravit pomocí odtokových rovnic.

Tabulka 2 - Data Q n-letých pro plochu povodí $F = 2,18 \text{ km}^2$. [3]

N	1	2	5	10	20	50	100	třída
(m ³ .s ⁻¹)	1.51	2.07	3.03	3.91	4.93	6.49	7.85	IV

Odtokové rovnice:

$$Q_{100} = B \times F^a$$

$$\alpha = \frac{Q_N}{Q_{100}}$$

Kde je:

Q_{100} - průtok velké stoleté vody (m³/s)

Q_N - průtok N-leté vody (m³/s)

F - plocha povodí (km²)

B - parametr povodí

n - parametr povodí

a - exponent ($a = 1-n$)

Úkolem je zjistit hodnoty Q_N pro plochu povodí $F = 1,33 \text{ km}^2$. ($n=0,38$ dle charakteru území)

$$B = \frac{Q_{100}}{F^a} = \frac{7,85}{2,18^{(1-0,38)}} = 4,842$$

$$Q_{100} = 4,842 \times 1,33^{(1-0,38)} = 5,778$$

Distribuční koeficienty kvantilu α :

$$\alpha_1 = \frac{Q_1}{Q_{100}} = \frac{1,51}{7,85} = 0,1924$$

$$\alpha_2 = \frac{Q_2}{Q_{100}} = \frac{2,07}{7,85} = 0,2637$$

$$\alpha_3 = \frac{Q_5}{Q_{100}} = \frac{3,03}{7,85} = 0,386$$

$$\alpha_4 = \frac{Q_{10}}{Q_{100}} = \frac{3,91}{7,85} = 0,4981$$

$$\alpha_5 = \frac{Q_{20}}{Q_{100}} = \frac{4,93}{7,85} = 0,6280$$

$$\alpha_6 = \frac{Q_{50}}{Q_{100}} = \frac{6,49}{7,85} = 0,8268$$

Výpočet N-letých průtoků pro $F=1,33\text{km}^2$.

$$Q_1 = \alpha_1 \times Q_{100} = 0,1924 \times 5,778 = 1,11$$

$$Q_2 = \alpha_2 \times Q_{100} = 0,2637 \times 5,778 = 1,52$$

$$Q_5 = \alpha_3 \times Q_{100} = 0,3860 \times 5,778 = 2,23$$

$$Q_{10} = \alpha_4 \times Q_{100} = 0,4981 \times 5,778 = 2,88$$

$$Q_{20} = \alpha_5 \times Q_{100} = 0,6280 \times 5,778 = 3,62$$

$$Q_{50} = \alpha_6 \times Q_{100} = 0,8268 \times 5,778 = 4,78$$

Výsledkem je přiložená tabulka s hodnotami N-letých průtoků:

Tabulka 3 - Data Q n-letých pro plochu povodí $F = 1,33 \text{ km}^2$

N	1	2	5	10	20	50	100	třída
($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	1.11	1.52	2.23	2.88	3.63	4.78	5.778	IV

2.4.1. Vodní toky v povodí

V řešeném zájmovém území se nachází pouze zmiňovaný Kbelanský potok, který nemá žádné přítoky. Jedná se o drobný vodní tok, jehož správcem jsou Lesy ČR, s.t. oblast povodí Berounky, Plzeň.

2.4.1.1. Kbelanský potok

IDVT je 131030000100. Celková délka Kbelanského potoka je cca 7,440 km. Ř.km. 0,00 je místo, kde se Kbelanský potok vlévá z levé strany do Vejprnického potoka. Vejprnický potok (IDVT – 13098000100) je pravostranným přítokem řeky Mže, do které se vlévá na jejím 2,5

ř.km ve výšce 305 m n.m. Délka Vejprnického potoka je 21,6 km, plocha povodí měří 77,6 km² a průměrný roční přítok činí 0,17 m³/s. [1]

Vodní tok odvodňuje část zájmového území. Zbylou část odvodňuje HOZ. Pramen Kbelanského potoka nebyl nalezen. Vzhledem k velké členitosti terénu v okolí vzniku Kbelanského potoka, a vzhledem k velkým sklonům přilehlých lesních ploch se předpokládá, že vodní tok vzniká za působení dešťů, kdy se voda velmi rychle na toto místo stáhne. Nicméně předpokládaný pramenný vývěr Kbelanského potoka se dle mapového podkladu nachází v nadmořské výšce 440 m n.m. Délka řešené části vodního toku je 905 m k místu uzávěrového profilu s nadmořskou výškou 400 m n.m. Spád vybraného úseku Kbelanského potoka činí 40 m a průměrný sklon je 4,4 %.

Vodní tok teče převážně jihovýchodním směrem. Pramenný vývěr vzniká v zalesněném území, kterým pak i protéká. Vodní tok těsně před MVN č.1 vtéká do přírodně vytvořeného mokřadu. Při naplnění mokřadu o hloubce cca 1,5 m, přetéká voda troubou o průměru DN 150 mm do MVN č.1. Z nádrže vodní tok pokračuje odtokem z požeráku, spodní výpustí vyústěnou pod nádrží. Spodní výpust' nádrže, která má průměr DN 300 mm, je neudržovaná (zanesená, porostlá mechem). Vodní tok dále pokračuje v nezastavěném území a před štěrkovou cestou, která se nachází před prvními pozemky s rodinnými domy, se zatrubní do DN cca 300 mm. Toto místo na první pohled působí velmi rizikově. Je patrné, že kapacita propustku není dostatečná což dokazují fotografie povodní z předešlých let a voda „vypláchne“ příslušné pozemky. Koryto se po provedení v troubě přes pozemky otevírá, ale hned se opět zatrubní do většího propustku o průměru DN 500 mm. Propustek vede pod příslušnou komunikací. Při překonání komunikace se koryto opět otevírá a obtéká MVN č. 2. Z mapového podkladu by koryto toku mělo pokračovat přímo do MVN č.2. Tento stav však neodpovídá skutečnosti a koryto MVN č. 2 obtéká, ale částečně je do ní i napojené. Při větších průtocích je tedy možné část průtoku odvést do MVN č.2. Po obtečení MVN č. 2, se zatrubní VT do trouby o průměru DN 500 mm a pokračuje v troubě pod hlavní komunikací jihovýchodním směrem, až cca 15 m před MVN č. 3, před kterou se otevírá a protéká přes tuto nádrž. Jako odtok z MVN č. 3 se koryto zatrubní do DN 500 mm a pokračuje v této troubě, dokud nepřekoná zastavěné území. Vodní tok pokračuje v otevřeném korytě lichoběžníkového tvaru. V místě, kde protéká Kbelanský potok kolem MVN č.4, je zajištěn bodový odběr do MVN č. 4 za pomoci malého stavítka, kterým dojde k dostatečnému vzduť hladiny, které pak využívá soukromník MVN č.4 jako její přítok. Koryto vodního toku pak pokračuje dále v lichoběžníkovém průtočném profilu a vytéká z povodí zájmového území.

2.4.2. Malé vodní nádrže v povodí

2.4.2.1. MVN č. 1

Malá vodní nádrž č. 1 se nachází v horní části vodního toku v nezastavěném území na okraji lesa a má oválný půdorysný tvar. Do nádrže je zajištěn přítok z přírodně vytvořeného mokřadu nad nádrží za pomoci trouby o průměru DN 150 mm. Trouba se nachází ve výšce cca 1,5 m ode dna mokřadu. Hráz mezi mokřadem a MVN č. 1 je přibližně 4 m vysoká. Je zřejmé, že za povodňových situací tento průměr trouby nestačí a hráze se přelévá. Hlavním účelem této nádrže je částečné zachycení objemu vody za povodňových situací. MVN č. 1 nemá bezpečnostní přeliv, odtok z nádrže je zajištěn za pomoci klasického otevřeného, betonového, dvoudlužového požeráku. Trouba spodní výpusti je betonová a má průměr DN 300 mm. Hráz je provedena jako zemní sypaná hráze.

2.4.2.2. MVN č.2

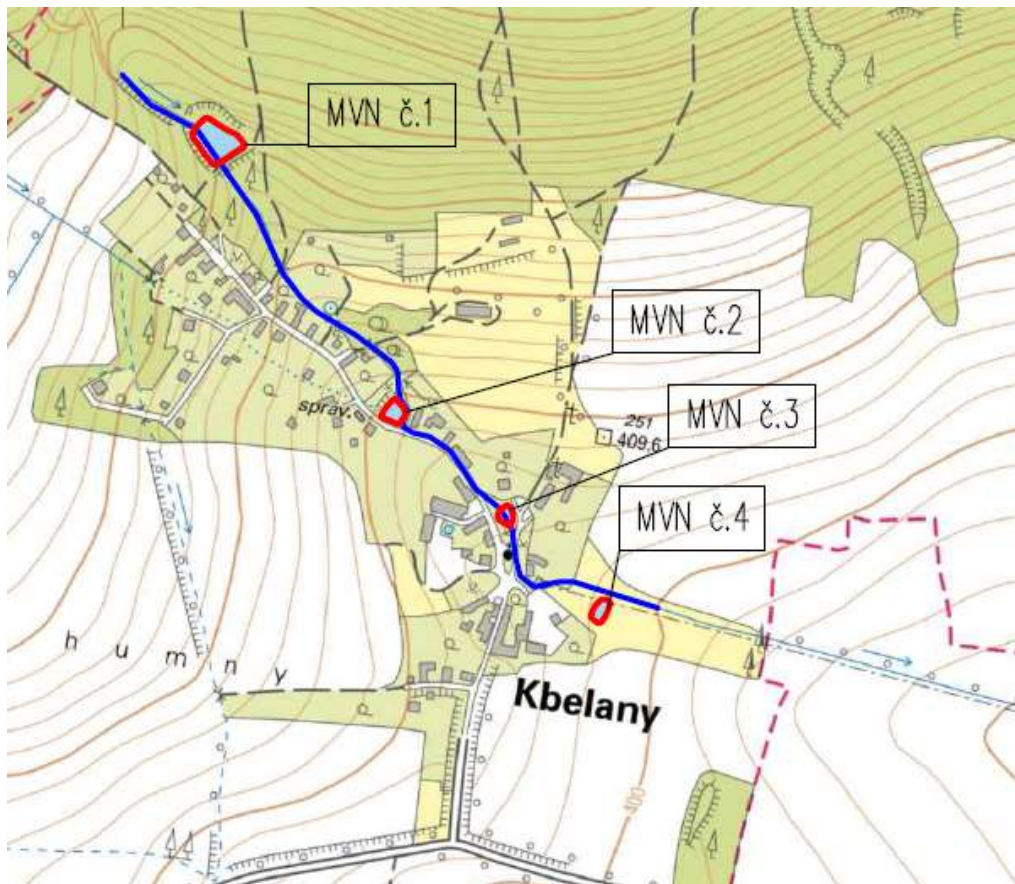
Malá vodní nádrž č. 2 se nachází v intravilánu obce Kbelany, má kosočtvercový půdorys a je neprůtočná. Vzhledem k charakteru nádrže je patrné, že její původní účel byl odběr vody pro hasičské účely. Při dnešním pohledu na nádrž je zřejmé, že tento účel již neplní. Nádrž je neudržovaná, zarostlá, ale hlavně bez vody. Kbelanský potok sice nádrž obtéká, ale koryto se asi 3 m před nádrží rozděluje na dvě větve. Větev, která vede část průtoku do této nádrže má dno koryta cca o 0,3 m výše, než je dno hlavního směru vodního toku. Tato odbočka však bude za povodňových situací problémem, jelikož nádrž nemá žádný bezpečnostní přeliv ani spodní výpust'. Proto bude docházet po jejím naplnění k přelítí hráze a rozlítí vody do okolí. Vnitřní stěny nádrže jsou provedeny z prostého betonu. Nádrž nemá žádný bezpečnostní přeliv ani spodní výpust'.

2.4.2.3. MVN č. 3.

Malá vodní nádrž č. 3 se nachází též v intravilánu obce Kbelany a v těsné blízkosti MVN č. 2. Koryto Kbelanského potoka se cca 15 m před nádrží otevírá v koryto lichoběžníkového až miskovitěho průtočného profilu. Nádrž má oválný půdorys a po estetické stránce působí velmi pozitivně. Koryto přítoku, dno i svahy nádrže nejsou nijak opevněné. Břehy nádrže mají sklon cca 1:1 a jsou oseté travním semenem. Nádrž se na konci zužuje a odtok je sveden do trouby o velikosti DN 500 mm. Nádrž nemá žádný bezpečnostní přeliv a odtok je zajištěn již zmíněným zatrubněním.

2.4.2.4. MVN č. 4

Malá vodní nádrž č. 4., které se nachází při pravém břehu Kbelanského potoka, je v soukromém vlastnictví, a z toho důvodu k ní není zajištěn volný přístup. Majitel využívá Kbelanský potok jako přítok do MVN č.4, za pomoci vzduší vody stavítkem jako bodový odběr. Nádrž má charakter okrasného jezírka a není nijak opevněna.



Obrázek 2- Výřez z Mapy, modře je znázorněn Kbelanský potok a červeně MVN

2.4.3. Hlavní odvodňovací zařízení (HOZ)

Hlavní odvodňovací zařízení (dále HOZ), odvodňuje jižnější část zájmového území. Odvádí vodu z přilehlých polí a lesů. Jedna část odvádí vodu od obce Kbelany a druhá část se napojuje na zatrubnění Kbelanského potoka. HOZ se nachází jižně od Kbelanského potoka.

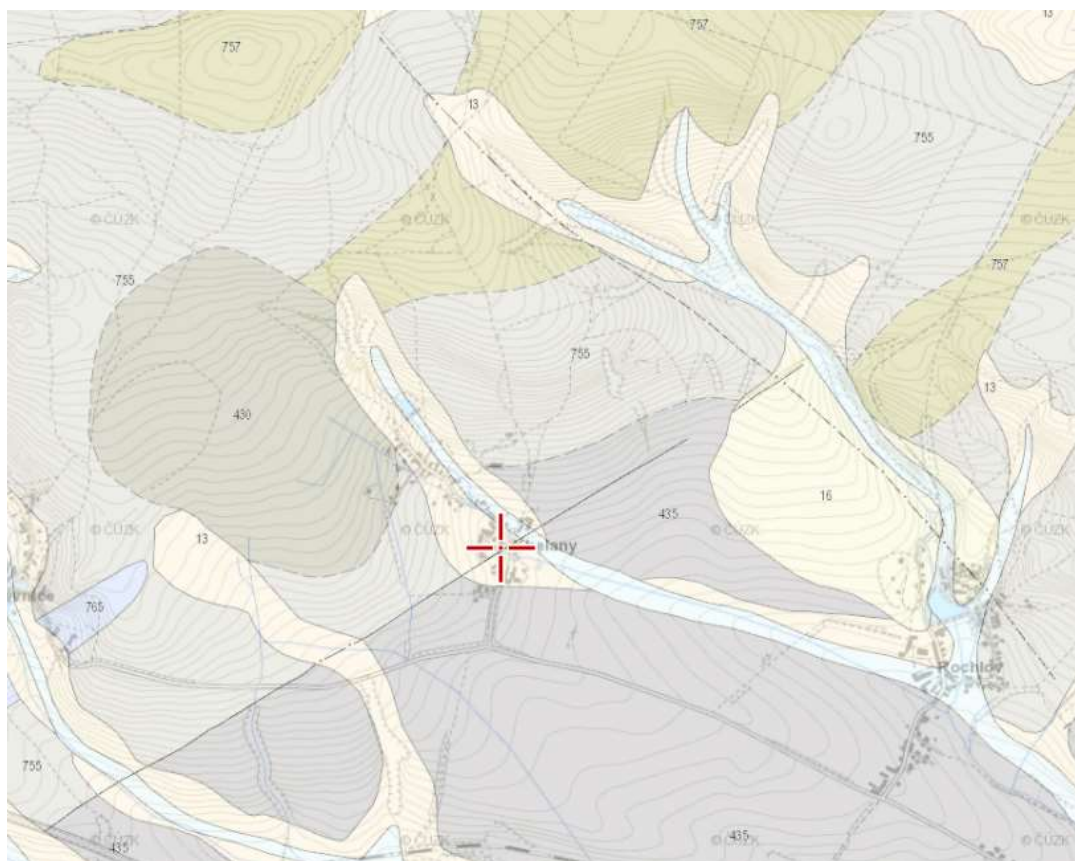
Na okraji lesa v jižní části zájmového území leží příkop, do kterého je odváděna voda z lesa. Příkop má lichoběžníkový průtočný profil a je vyspádován do jednoho místa, na které je kolmo napojen hlavní příkop, který směřuje jižním až jihovýchodním směrem. V délce cca 5,0 m vede v otevřeném korytě lichoběžníkového tvaru, poté se zatrubňuje do propustku o průměru DN 500 mm. Propustek je dlouhý cca 5,0 m a je zde umístěn proto, aby mohli jednotlivé stroje přejíždět z jednoho pole na druhé. Za propustkem se koryto otevírá. Příkop má lichoběžníkový průtočný profil. Délka této části je přibližně 180,0 m. Průtočný profil je prorostlý stromy, křovinami a jsou v něm napadány balvany. Přibližně ve 100,0 m délky příkopu se z pravé strany připojuje vedlejší příkop, který se připojuje kolmo, jižním až jihovýchodním směrem a odvodňuje pole k němu přilehlé. Vedlejší příkop má lichoběžníkový průtočný profil o celkové délce cca 280 m. Hlavní příkop po celkové délce cca 190 m odbočuje z jihovýchodního směru na směr jižní. Průtočný profil hlavního příkopu HOZ se postupně rozšiřuje a odvádí vodu od obce Kbelany. V místě odbočení hlavního příkopu by měla být část vody odváděna stejným směrem, jakým vedl hlavní příkop před odbočením. V rozporu s mapovými podklady je tato část přerušena a cca 10 m za tímto přerušением se objevuje koryto výrazně menší průtočné kapacity, podobného tvaru. Tento příkop pokračuje jihovýchodním směrem k obci Kbelany, kde se cca po 320,0 m délky spojí s potrubím Kbelanského potoka.

2.5. Geologické a půdní poměry

Zájmové území leží v soustavě Poberounské subprovincie v celku Plzeňská pahorkatina. Spadá do soustavy Českého masivu. Nachází se zde Kenozoikum (kvartér), Paleozoikum, Proterozoikum (Neoproterozoikum).

V oblasti kolem Kbelanského potoka se převážně nacházejí nivní sedimenty a kamenitý až hlinito-kamenitý sediment. V místech, kde se rozprostírá HOZ jsou převážně pískovce a jílovce. Severně od Kbelanského potoka jsou břidlice a droby.

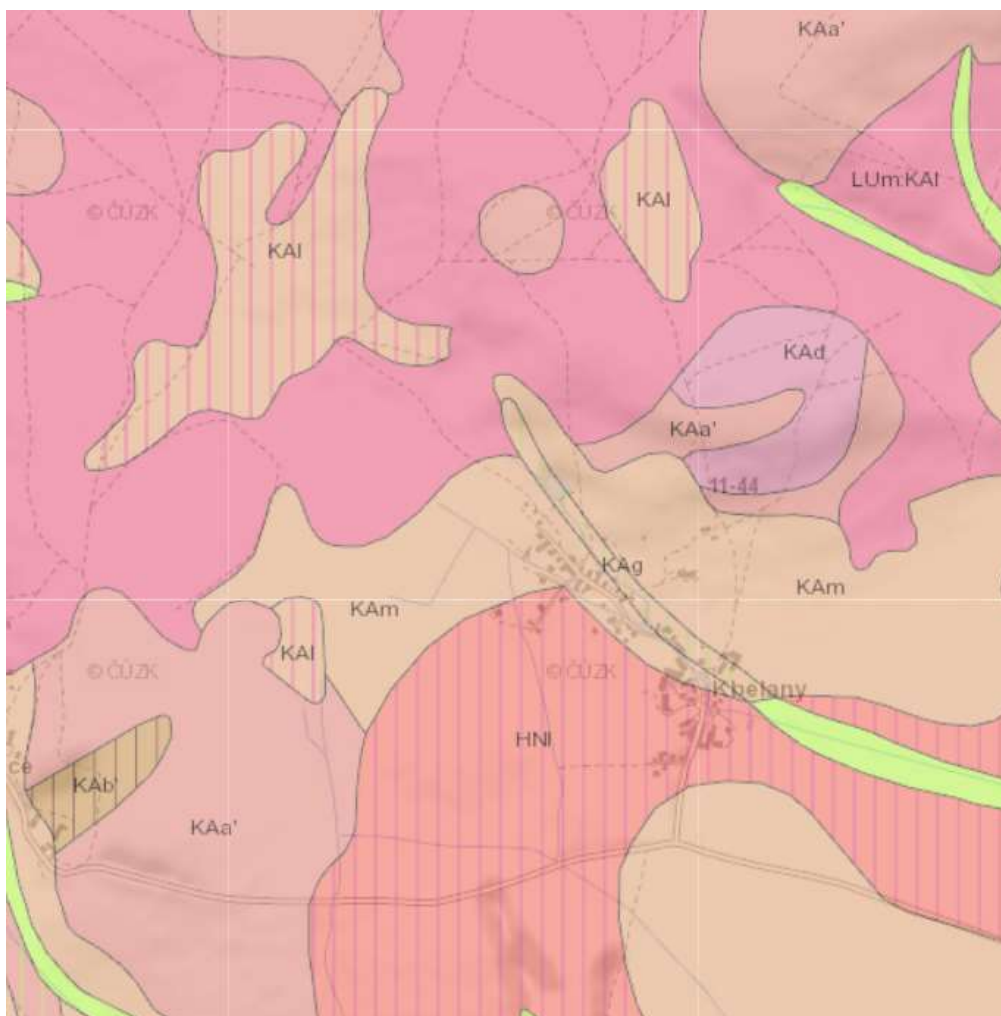
Následující obrázek zobrazuje výřez z Geologické mapy zájmového území.



Obrázek 3 - Výřez z Geologické mapy zájmového území (Zdroj: www.mapy.geology.cz) [4]

Legenda: (13) – kamenitý až hlinito-kamenitý sediment; (430) – pestrobarevné pískovce, arkózovité pískovce, valounové pískovce a slepence, jílovce, prachovce; (755) - fylitická břidlice a droby; (757) – fylitické droby a břidlice; (6) – nivní sediment

Půdní poměry: V oblasti vodního toku se nachází kambizem modální a kambizem oglejená, v severní části zájmového území luvizem modální a kambizen luvická a v jižní části fluvizem modální a hnědozem luvická.



Obrázek 4 - Výřez z Půdní mapy zájmového území (Zdroj: www.mapy.geology.cz) [4]

Legenda: KAm – kambizem modální; KAg – kambizem oglejená; LUm – luzizem modální; Kai – kambizem luvická; HNI – hnědozem luvická; FLm – fluvizem modální

Kambizem (KA) je typ půdy, patřící do skupiny kambisolů. Jedná se o nejrozšířenější půdní typ na území České republiky, který byl dříve nazýván hnědou (lesní) půdou a je považován za poměrně úrodnou půdu.

Luzizem (LU) je typ půdy, patřící do skupiny luvisolů. Vyskytují se zejména v nížinných a pahorkatinných oblastech. Jsou dobře zásobeny živinami, hůře vodou (sušší oblasti). Vyskytují se v rovinných terénech, na plochých úpatích svahů apod., nejvýše do 600 m n. m. Jsou náchylné k erozi.

Hnědozem (HN) je typ půdy, patřící do skupiny luvisolů. Hnědozemě jsou obvykle hluboké až velmi hluboké půdy. Patří k nejlepším obilnářským půdám s vysokou agronomickou hodnotou.

Fluvizem (FL) je typ půdy, patřící do skupiny fluvisolů. Fluvizemě jsou mladé – současné půdy bez výrazné stratigrafie půdního profilu, vznikaly na plochách pravidelně podléhajících záplavám. Proto je jejich výskyt omezen na bezprostřední blízkosti vodních toků. Agronomická hodnota spočívá ve skutečnosti, že mají velmi příznivý vodní režim a jsou půdami vhodnými pro blízkost zdrojů vody pro závlahy. [5]

2.6. Sídla

Rozsah řešeného území se rozprostírá na dvě katastrální území. Jedná se o k. ú. Kbelany [740543] a k. ú. Hněvnice [638692]. V zájmovém území se nachází obec Kbelany. Dle internetových stránek mají Kbelany 100 obyvatel a katastrální výměru 6,88 km².

Kbelany jsou malou obcí, která spadá pod Městský úřad Nýřany. Kbelany mají půdorys protáhlý od severo-západu k jihovýchodu a kopírují tím tvar Kbelanského potoka.

2.7. Dopravní infrastruktura

V zájmovém území je vedena silnice III. třídy s označením 2037, na kterou se připojují jiné místní a účelové komunikace, které obsluhují jednotlivé nemovitosti. Silnice 2037 má obdobný směr jako Kbelanský potok a v obci Kbelany je i ukončena. V jižní části pod obcí Kbelany je tato silnice napojena na silnici III. třídy s označením 2035. Asi 1,5 km jižně od obce Kbelany se nachází dálnice D5.

2.8. Využití ploch

Vzhledem k velkým sklonům v zájmovém území je již od historických dob výrazně větší zastoupení lesnický využívaných ploch nad zemědělsky obhospodařovanými plochami.

2.9. Průzkum řešeného území

Terénní průzkum řešeného území byl proveden během 2 dnů. První průzkum provedený 17.3.2018, byl zaměřen na Kbelanský potok a MVN, druhý průzkum ze dne 25.3.2018, byl zaměřen na nejasnosti ohledně Kbelanského potoka a na hlavní odvodňovací zařízení. Předmětem průzkumů bylo zjistit, v jakém stavu se Kbelanský potok, HOZ, MVN nacházejí a zda tento stav odpovídá mapovému podkladu, který poskytl ČZÚK. Skutečný stav pak byl detailně prozkoumán, popsán, a nakonec byla vytipována místa, která by mohla působit problémy za povodňových situací.

Následující detailní popis je rozdělen na 2 části.

2.9.1. Kbelanský potok

Délka Kbelanského potoka v zájmovém území je cca 900 m. Vodní tok je rozdělen na několik úseků dle ř.km., které budou podrobně vyznačeny v přiloženém mapovém podkladu.

Úsek 1: ř.km 6,540– 6,635. Ř.km 6,540 je uzávěrový profil povodí. Koryto vodního toku je otevřené, má lichoběžníkový průtočný profil o šířce ve dně cca 0,75 m, se sklonem svahů 1:1 o hloubce cca 0,75 -1,00 m. Opevnění koryta svahu je provedeno jako vegetační. Úsek je dlouhý cca 95 m a jeho průměrný podélný sklon je cca 2,8 %. V místě ř.km 6,595 se po pravém břehu vodního toku nachází MVN č.4., kde dochází ke vzdutí hladiny za pomoci stavítka, z důvodu zajištění přítoku do nádrže. Rozdíl hladin mezi hladinou nad stavítkem a pod stavítkem byl v době terénního průzkumu přibližně 0,6 m.



Obrázek 5- Pohled na koryto v.t. – úsek 1



Obrázek 6 - Pohled na stavítko ř.km. 6,595 05

Úsek 2: V ř.km 6,635 – 6,750. Koryto vodního toku vede v troubě o průměru DN 500 mm. Délka zatrubnění je cca 115 m a průměrný sklon toku je 1,4 %.

Úsek 3: ř.km 6,750 – 6,790. V ř.km 6,750 se koryto vodního toku otevírá. Před ním se nachází MVN č. 3., přes kterou vodní tok protéká. Délka nádrže ve směru toku je cca 20 m. Vodní tok vede cca 15 m před nádrží v přírodním, otevřeném korytě. Koryto má lichoběžníkový až miskovitý průtočný profil se šířkou ve dně cca 0,5 m. Břehy jsou cca 0,5 m hluboké a mají pozvolný sklon (cca 1:1,5 až 1:2). Délka úseku je cca 40 m.



Obrázek 7- Pohled na MVN č.3.



Obrázek 8 - Přítok Kbelanského potoka do MVN č.3.



Obrázek 9 - Pohled na propustek v ř.km 6,790

Úsek 4: ř.km 6,790 – 6,925. Koryto vodního toku vede v troubě o průměru DN 500 mm. Délka zatrubnění je cca 135 m. Průměrný sklon úseku je 1,8 %. V ř.km 6,915 se pravděpodobně spojuje zatrubněný vodní tok a HOZ. Spoj bude nejspíše tvaru Y, tato informace však není dohledatelná, jedná se pouze o předpoklad.



Obrázek 10 - Propustek DN 500 mm, v ř.km 6,790



Obrázek 11 - Pohled na propustek z hráze MVN č.2., ř.km 6,925

Úsek 5: ř.km 6,925 – 6,980. V ř.km 6,925 - 6,960 vodní tok obtéká MVN č.2. v otevřeném, neupraveném korytě. Koryto má šířku ve dně cca 0,4 m. Koryto vodního toku je v tomto úseku velmi zanesené. V ř.km 6,960 se koryto rozdvojuje, část MVN č.2. obtéká po levé straně a část průtoku je odvedena do nádrže. Délka úseku je cca 55 m a průměrný sklon je 2,8 %.



Obrázek 12 - Koryto v.t. pod MVN č.2.



Obrázek 13 - MVN č.2., Kbelanský potok se nachází za nádrží.

Úsek 6: ř.km 6,980 – 6,990. Koryto vodního toku vede v troubě o průměru DN 500 mm. Propustek zde slouží jako převedení vody pod komunikací. Délka úseku je cca 10 m.



Obrázek 14 - Propustek DN 500 mm, ř.km 6,980

Úsek 7: ř.km. 6,990 – 6,992 5. V úseku je malá „laguna“, odkud voda teče z menšího propustku o průměru DN 250 mm do propustku většího průměru DN 500. Laguna má oválný tvar, je dlouhá cca 2,5 m a široká cca 1,0 m.



Obrázek 15 - Propustek DN 500 mm, ř.km 6,990



Obrázek 16 - Propustek DN 250 mm, ř.km 6,992 5

Úsek 8: ř.km 6,992 5 – 7,150. Vodní tok je veden v troubě o průměru DN 300 mm a vede přes pozemky s rodinnými domy. Tento úsek je dlouhý cca 157,5 m a sklon úseku je cca 5,1 %. V ř.km 7,150, kde je koryto zatrubněno do DN 300 mm, není provedeno vtokové čelo. Vtok je zanešený a DN trouby na první pohled nekapacitní.



Obrázek 17 - Pohled na zaústění v.t., ř.km 7,150



Obrázek 18 - Detailnější pohled na zaústění, ř.km 7,150

Úsek 9: ř.km 7,150 – 7,280. Vodní tok vede v otevřeném korytě. Koryto nemá žádný specifický průtočný profil, má přírodě blízký charakter. V prostoru koryta je velké množství překážek, jako jsou náletové dřeviny, popadané větve apod. V ř.km 7,150 -7,165 je levý břeh koryta opevněn trapézovým plechem, který zde má navíc účel zkapacitnění průtočného profilu. Celý úsek je dlouhý cca 130 m a sklon úseku je cca 5,3 %.



Obrázek 19 - Opevnění v.t. trapézovým plechem, ř.km 7,150 -7,165



Obrázek 20 - Zarostlý průtočný profil v.t. – úsek 9

Úsek 10: ř.km 7,280 – 7,350. V tomto úseku vede vodní tok přes MVN č.1. V ř.km 7,280 je vyústění spodní výpusti nádrže. Spodní výpust' má průměr DN 300 mm. V ř.km 7,350 je

přítok do MVN č.1. z mokřadu troubou o průměru DN 150 mm, který vede skrz hráz nádrže.
Úsek je dlouhý cca 70 m.



Obrázek 21- Pohled zespoda na hráz MVN č.1, znázorněna spodní výpusť z nádrže.



Obrázek 22- Pohled na MVN č.1.



Obrázek 23 - Trouba z mokřadu do MVN č.1., DN 150 mm, ř.km 7,350

Úsek 11: ř.km 7,350 – 7,375. Vodní tok vede přes přirozeně vytvořený mokřad, který se nachází před MVN č. 1. (směrem po vodě). Uprostřed mokřadu vede malá rybníční stoka. Voda musí mokřad naplnit až do výšky cca 1,5 m ode dna mokřadu, až tehdy voda začne protékat troubou do MVN č. 1. Mokřad má oválný tvar, je velmi zanesený náletovými dřevinami a popadanými větvemi. Délka mokřadu je cca 25 m.



Obrázek 24 - Pohled na rybníční stoku mokřadu

Úsek 12: ř.km 7,375 – 7,440. Koryto vodního toku je v celém úseku otevřené, má přirozeně vytvořený oválný až miskovitý průtočný profil a není nijak opevněné. V ř.km 7,440, ani nikde poblíž nebyl nalezen pramenný vývěr. Kbelanský potok zřejmě reaguje na atmosférické

srážky a stahuje vodu z přilehlého území. Voda se zde zdržuje i po období dešťů. Úsek je dlouhý cca 65 m a jeho průměrný podélný sklon je cca 6,4 %.



Obrázek 25 - Koryto v.t. – úsek 12



Obrázek 26 - Území nad úsekem 12

2.9.2. Hlavní odvodňovací zařízení (HOZ)

Hlavní odvodňovací zařízení odvodňuje jižnější část zájmového území a odvádí vodu od obce Kbelany. Rozprostírá se v jižní části povodí, jižně od Kbelanského potoka. K podrobnému popsání je HOZ rozdělena na 5 větví.

Větev 1: Voda z přilehlého lesa je svedena do příkopu při okraji lesa. Příkop má lichoběžníkový průtočný profil o šířce ve dně cca 0,50 m s hloubkou svahů cca 0,5 – 0,7 m. Sklon svahů je přibližně 1:1. Příkop je neudržovaný a zarostlý křovinami. Větev 1 je dlouhá

cca 350 m a je vyspádována do jednoho bodu, odkud se na ní kolmo napojuje Větev 2. Místo napojení viz. mapový podklad v příloze č.2 této práce.



Obrázek 27 - Příkop při okraji lesa.

Větev 2: Je kolmo napojena na Větev 1 a vede jihovýchodním směrem. Pro snazší orientaci je pro Větev 2 použito staničení. Místo napojení Větve 2 se rovná 0,00 m.

0–5 m: Příkop má lichoběžníkový průtočný profil o šířce ve dně cca 0,3 m s výškou svahů cca 0,5 m. Sklon svahů je přibližně 1:1. Příkop je neudržovaný a zarostlý křovinami.

5–10 m: Příkop je zatrubněn do trouby o průměru DN 500 mm. Propustek je zde umístěn proto, aby mohli jednotlivé stroje přejíždět z jednoho pole na druhé.

10–190 m: Příkop má lichoběžníkový průtočný profil o šířce ve dně cca 0,30 m s hloubkou svahů cca 0,75 – 1,00 m. Sklon svahů je přibližně 1:1. V místě průtočného profilu rostou stromy, keře a jsou v něm napadány velké balvany.

Délka Větve 2 je cca 190 m a její průměrný podélný sklon je 5,9 %.



Obrázek 28 - Pohled na propustek, DN 500 mm



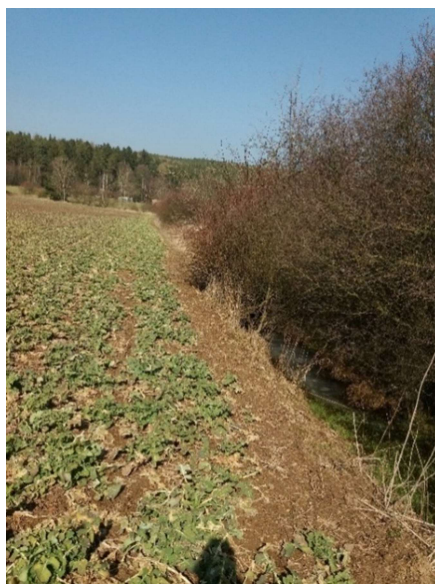
Obrázek 29 - Zarostlý průtočný profil Větve 2

Větev 3: Připojuje se na Větev 2 ve staničení cca 100 m z pravé strany. Příkop má lichoběžníkový průtočný profil o šířce ve dně cca 0,40 m s hloubkou svahů 0,6 – 0,9 m. Sklon svahů je přibližně 1:2. Příkop je neudržovaný a zarostlý křovinami. Příkop vede jižním až jihovýchodním směrem, víceméně po vrstevnici. Sbírá vodu z vedlejšího pole a části lesa. Příkop vede v délce cca 195 m v přímém směru s průměrným podélným sklonem cca 0,7 % a poté se stáčí západním směrem. Tato část příkopu má dva souběžně vedoucí příkopy vzdáleny

v průměru cca 5,0 m, které se sbíhají v místě zakřivení větve. Délka příkopů je cca 85,0 m a jejich průtočný profil je oválného až miskovitého tvaru se šířkou ve dně 0,5 m a hloubkou svahů 0,5 m. Průměrný podélný sklon této větve je cca 3 %. Průtočný profil je velmi zarostlý křovinami a náletovými dřevinami.



Obrázek 30 - Místo připojení na Větev 2



Obrázek 31 - Pohled na příkop Větev 3, směrem k Větví 2

Větev 4: Na konci Větve 2, tedy ve staničení 190 m odbočuje Větev jižním směrem od obce Kbelany. Větev je označena číslem 4 a staničení rovno 0,00 m odpovídá staničení 190 m (Větve 2).

0–155 m: Skutečnost neodpovídá mapovému podkladu a příkop je veden v otevřeném korytě na místo zatrubnění. Průtočný profil příkopu se v místě odbočení (tj. Větev 2–190 m) postupně rozšiřuje na příkop s šířkou ve dně cca 1,0m se sklony svahů 1:1 o hloubce

cca 1,0 – 1,5 m. Délka této části je cca 155,0 m a průměrný podélný sklon této části je cca 1,7 %. Příkop je zarostlý křovinami.

155–180 m: Voda vede do dvou souběžně vedoucích propustků o průměru DN 600 mm. Je zde vtokové čelo a svahy průtočného profilu jsou před zatrubněním opevněny kamennou rovnaninou. Jejich délka neodpovídá mapovému podkladu. Ve skutečnosti je delší a měří cca 25 m. Průměrný podélný sklon je 4,0 %.

180–500 m: Příkop má lichoběžníkový průtočný profil se šířkou ve dně cca 1,00 m. Sklon svahů je cca 1:1, s hloubkou cca 1,0 – 1,5 m. Délka této části je 320 m a její průměrný podélný sklon je 3,7 %. Příkop odvádí vodu od obce Kbelany a ze řešeného území jižním směrem.



Obrázek 32 - Odbočení Větve 2 = staničení 0 m (Větve 4)



Obrázek 33 - Propustky Větvě 4, staničení 155 m, 2 x propustek o průměru DN 600 mm.

Větev 5: Dle mapového podkladu měla Větev 2 ve staničení 190 m pokračovat v přímém směru a část se měla stáčet pravým směrem. Tento stav již neodpovídá skutečnosti a přímý úsek je přerušen. V jihozápadním směru, tj. směr Větvě 2 bylo nalezeno koryto cca 10 m od konce úseku Větvě 2. Tento bod je označen staničením 0.

0–5 m: Průtočný profil příkopu má oválný až miskovitý tvar s šířkou ve dně cca 0,3 m a se sklonem svahů 1:1,5 o hloubce 0,4 m. Ve staničení cca 3 m, je z levé strany napojen příkop, do kterého je svedena dešťová voda ze střechy příslušného RD.

5–10 m: Voda je svedena do trouby o průměru DN 300 mm. Délka propustku je 5,0 m. Nátokové čelo je z kamene.

10–30 m: Příkop pokračuje v otevřeném korytě. Jeho průtočný profil má lichoběžníkový tvar se šířkou ve dně v cca 0,5 m a se sklonem svahů 1:1,5-2 o hloubce cca 1,0 m. Průtočný profil nemá pravidelný tvar koryta, je patrná deformace pravého svahu. Délka této části je cca 20 m.

30–55 m: Voda je navedena do trouby o průměru DN 300 mm. Délka zatrubnění je cca 25 m. Nátokové čelo je vyskládáno z kamene.

55–60 m: Z důvodu odlehčení tlakového proudění při povodních a čištění, byl proveden otevřený příkop. Příkop má šířku ve dně v cca 1 m a je opevněný svislými stěnami z lomového kamene vyskládaného do betonu. Opevnění je provedeno v délce cca 2,5 m. V místě 60 m je nátokové čelo s propustkem o průměru DN 300 mm, které je opevněné kamenem a z horní části je položen betonový panel.

60–320 m: Voda je svedena do trouby o průměru DN 300 mm. Délka zatrubnění je cca 260 m, ve staničení 320 m se spojí pod terénem s troubou Kbelanského potoka (ř.km 6,915). Spoj bude nejspíše tvaru Y.

Celková délka Větve 5 je cca 320 m a její průměrný podélný sklon je cca 7,2 %.



Obrázek 34 - Staničení 0–5 m



Obrázek 35 - Zatrubnění ve staničení 5 m



Obrázek 36 - Pohled od staničení 10 směrem dolů



Obrázek 37 - Opevněný, otevřený příkop, staničení 55–60 m

3. Teoretické předpoklady

Teoretické předpoklady slouží k posouzení stávajícího stavu VT, průtočných kapacit, k definování problémů řešeného území, a k následným možným návrhům protipovodňových opatření.

3.1. Příčný profil toku

Při návrhu či posouzení příčného profilu je především důležité zjistit kapacitu neboli průtočnost uvažovaného úseku toku. Kapacita je největší průtok, který koryto pojme bez vyběžení; je větší než průtok návrhový, kterým se rozumí průtok, při němž voda nevyběží ani při rozvlnění hladiny větrem nebo plavidly. Stupeň ochrany N: TNV 75 2102 – Úpravy potoků

Q₁ – louky, les, pastviny

Q₅ – orná půda

Q₁₀ – sady, zahrady, chmelnice

Q₂₀₋₅₀ – menší sídliště

Q₅₀₋₁₀₀ – větší sídliště, výrobní objekty

Q₁₀₀ – historická zástavba

Q₁₀₋₅₀ – účelové komunikace

Pro řešené území je zvolen stupeň ochrany **Q20** – menší sídliště. [7]

3.1.1. Tvar upraveného koryta – Otevřený, lichoběžníkový průřez jednoduchý

Volíme v případě malého kolísání průtoku v průběhu roku, takže v korytě je zajištěna dostatečná hloubka a rychlost vody, která zamezuje usazování splavenin. Sklon svahů koryta závisí na fyzikálně mechanických vlastnostech zeminy, na účinku podzemní vody vytékající ze svahu, na rychlosti vody protékající korytem a na druhu opevnění. Obvyklé sklony svahů bývají 1:1, 1:1,5, 1:2, [6]

3.1.2. Tvar upraveného koryta – Uzavřený profil, vliv zaškrcení toku

Uzavřený průřez navrhujeme v úsecích, kde je nutno zřídit uzavřené koryto, jako jsou např. sídliště, historického centra apod. Nejvhodnější tvar uzavřeného profilu z hydraulického hlediska je kruhový, průtočný profil. Méně často se používá obdélníkový průtočný profil. U propustku hraje významnou roli jeho délka (rozvinutí průběhu hladin v propustku). Jsou zde významné energetické ztráty: vtokem, výtokem a třením. V propustku může vznikat za

povodňových situací tlakové proudění. Důležitý je i vtok a výtok z propustku. Vhodným řešením je provedení nátokového čela. Dalším důležitým aspektem je kapacita propustku při návrhu na požadovaný N-letý průtok. Návrh a výpočet pro posouzení účinnosti stávajícího zatrubnění toku je proveden dle předpokladů v následující kapitole 3.4. Říční hydraulika. [6], [8]

3.2. Způsoby úprav toků

Úprava toku vykopávkou, popř. nasypávkou nového koryta se provádí u toků v jejich nížinné oblasti, kde se má buď značně zvětšit průtočný profil, aby se zamezilo škodlivým záplavám, anebo kde jde o větší zahloubení koryta, aby se snížila hladina podzemní vody. Vykopávka koryta se provádí u zcela malých toků ručně, u větších pak strojně, rypadly. Nové koryto se musí opevnit, aby se dosáhlo jeho potřebné odolnosti, to je schopnosti koryta (svahů i dna) odolávat mechanickým i chemickým účinkům proudící vody, pohybu splavenin, vln, chodu ledu apod. Druh opevnění závisí především na velikosti unášecí síly vody. Rozeznáváme opevnění koryta stavební, kdy k jeho stabilizaci používáme stavebních hmot, jako kamene, betonu aj., a opevnění vegetační, kdy dosahujeme stabilizace svahů koryt vypěstovanými porosty. [6]

3.2.1. Stavební opevňování koryt

K opevňování používáme, pokud možno materiálů z místních zdrojů, abychom vyloučili mimostaveništní dopravu, která podstatně zdražuje stavbu. Materiál musí být trvanlivý a při střídání vlhkosti dostatečně pevný a mrazuvzdorný, odolný proti obrusu a proti agresivitě vody říční i podzemní. Opevnění, které působí svojí vahou, se musí skládat z dostatečně rozměrných prvků s měrnou tíhou min. 2,15 t/m³. Při opevňovacích pracích se nedoporučuje používat portlandský cement, ale cementy odolnější vůči agresivitě vody.

Opevnění dna koryta

Dno koryta v běžné trati obvykle neopevňujeme. Opevnění je nutné jenom v okolí důležitých objektů, které chráníme před podemíláním, nebo u menších toků o velkém sklonu, kde hrozí nebezpečí výmolů. Rozeznáváme tyto druhy opevnění dna:

Pohoz dna říčními oblázky, valouny, drceným lomovým kamenem, popř. vysokopecní struskou, betonovými prvky apod. Pohoz se na dně toku rozhrne bez ručního urovnění povrchu.

Zához z lomového kamene používáme k ochraně objektů a k vyplnění výmolů.

Dále pak Kamennou či betonovou dlažbou, ale tento druh opevnění se návrhu úpravy koryta týkat nebude.

Opevnění svahů koryta

Opevnění svahů koryta lze provést několika způsoby. Jedním z nich je kamenná dlažba. Kamenná dlažba je trvanlivé opevnění koryta ohroženého vymíláním, vyplavováním apod. Provádíme ji z lomového kamene uloženého na podkladě ze štěrkopísku, z cementové malty, betonu apod. Nejmenší rozměr dlažebního kamene je 20 cm. Podkladem dlažby musí být nejméně 10 cm tlustá vrstva přirozeného štěrkopísku. [6]

3.2.2. Vegetační opevňování svahů a břehů vodních toků

Dle charakteru řešeného území je vhodnější použití vegetačního opevnění svahů a břehů.

Vegetační opevnění je stabilizace svahů koryt a přilehlých pozemků vypěstovanými porosty, pokud možno bez použití stavebních hmot. Dosáhneme tím odolnosti koryta přirozeným způsobem vhodného začlenění toku do rázu krajiny. Vegetační opevnění lze použít všude tam, kde jsou pro to klimatické, půdní, hydrobiologické, hydraulické a ekonomické podmínky, s přihlédnutím k poměrům chodu ledu, splavenin aj. Pro koryto s vegetačním opevněním volíme obvykle lichoběžníkový tvar. Sklon svahů navrhujeme, pokud možno mírný, nejvýše 1: 2,5. Na konvexní straně oblouku lze použít lehčího opevnění, případně od něho upustit v případech, kdy svah je v rostlé zemině a správným návrhem trasy jsou dány předpoklady, že proudnice dodrží požadovanou polohu. Lichoběžníkový průřez dvojitý s mělkou kynetou používáme obvykle při odstranění štěrkoviska, která osázíme vhodným druhem keřové vrby. Pro volbu jednotlivých způsobů vegetačního opevnění jsou důležité: přípustné místní rychlosti vody, hloubka vody a nejdelší přípustná doba nepřetržitého zaplavení. [6]

3.3. Ochranné hráze

Jedná se o prizmatická tělesa v zátopovém území toku, která soustřeďují velkou vodu do mezi hrází a zabraňují tím zaplavení chráněného území. Ochranné hráze budujeme k ochraně plochého a rozsáhlého inundačního území, na kterém jsou výnosné zemědělské pozemky, sídliště, průmyslové stavby nebo důležité komunikace. K výstavbě ochranných hrází se rozhodneme tehdy, není-li možný jiný způsob ochrany území např. výstavbou retenčních nádrží v horní části toku nebo zvětšením kapacity koryta.

Ochranné hráze se navrhují jako součást úpravy toku. Jejich trasa sleduje trasu hlavního koryta, je však táhlejší, neboť velké vody mají plynulejší směr toku. Území mezi vlastním korytem a hrázemi se zvláště neupravuje, zbaví se jen překážek odtoku vody (stromů, cestních ramp apod.) a lze ho zemědělsky využívat. U toků, které vedou mnoho splavenin, je třeba uvážit vliv usazování splavenin na výškové poměry dna koryta, a tím i koruny hrází. Toky bez ochranných hrází usazují splaveniny v celém inundačním území, kdežto u toků s hrázemi se omezuje jejich usazování na koryto mezi hrázemi. U území nad hrázemi se omezuje jejich usazování na koryto mezi hrázemi, zatímco území za hrázemi zůstává v původní výši. Tímto neustálým usazováním splavenin mezi hrázemi dochází mnohdy i k tomu, že dno koryta je ve vyšší úrovni než okolní terén. Zvýšené dno koryta vyžaduje pak také zvýšení a rozšíření hrází a má za následek, že hrázemi a podložím více prosakuje voda do okolního území a zabahňuje je. Ochranných hrází je proto třeba při úpravách toků používat opatrně. Obvykle je budujeme jen v kratších tratích anebo tam, kde se chrání rozsáhlá území. Ochranné hráze mají lichoběžníkový průřez. Minimální šířka hráze v koruně je 2 m u hrází vysokých do 2 m, minimálně 3 m u hrází vyšších než 2 m; je-li na koruně komunikace, pak je podle potřeby její šířka i větší. [6]

3.4. Říční hydraulika

3.4.1. Otevřená koryta

K dimenzování koryta a k výpočtům objektů zahrazovacích úprav se používá všeobecně známých hydrotechnických výpočtů. Vzhledem ke specifickým podmínkám bystřinných koryt, především pro jejich hydraulické vlastnosti, charakter jejich dna a intenzivní chod splavenin, nejsou běžné hydrotechnické výpočty příliš spolehlivé. V dalším textu jsou uvedeny výpočetní vztahy a podklady výpočtů, které jsou pro použití v podmínkách hrazení bystřin nejvhodnější. [7]

3.4.1.1. Průtok vody v korytě

Při výpočtech zahrazovacích úprav potočních koryt se vychází ze zákonnosti turbulentního ustáleného rovnoměrného proudění vody. Vychází se z rovnice kontinuity (3.4.0.1.) a z Chézyho rychlostního vzorce (3.4.0.2.). K výpočtu střední profilové rychlosti proudění vody se užívá rychlostních vzorců a koeficientů vyjadřujících drsnost omočeného obvodu, které bylo odvozeno velké množství. Ověřovací měření rychlosti proudění vody (Zuna, 1985) potvrdila vhodnost použití Manningovy rovnice (3.4.0.3.) k výpočtu otevřených koryt malých

rozměrů. Manningův drsnostní součinitel je však největší neznámou ve výpočtu otevřených koryt. Označuje se n a vyjadřuje odpor koryta působícího na proudící vodu. [7]

$$Q = S \times v \quad (3.4.0.1.)$$

$$v = C \times \sqrt{R \times i} \quad (3.4.0.2.)$$

$$v = \frac{R^{0,667} \times \sqrt{i}}{n} \quad (3.4.0.3)$$

V rovnicích je:

Q – průtok vody (m^3/s)

S – plocha průtočného profilu (m^2)

v – střední profilová rychlost (m/s)

C – rychlostní součinitel

R – hydraulický poloměr (m)

i – sklon hladiny vody (nivelety dna)

n – stupeň drsnosti

Tabulka 4 - Mannigův součinitel drsnosti pro otevřená koryta (Zdroj:www.hydraulika.fsv.cvut.cz) [8]

Druh koryta a jeho popis	n		
	min.	stř.	max.
C. Koryta vyhloubená dozery a bagry			
1. Přímé zemní kanály, stejnozrný materiál			
a) čisté, nedávno dokončené, pravidelný profil	0,016	0,018	0,020
b) štěrkové koryto s pravidelným profilem	0,022	0,025	0,030
c) zarostlé krátkou travou, málo plevele	0,022	0,027	0,033
2. Zemní kanály křivočaré s malými rychlostmi			
a) bez vegetace	0,023	0,025	0,030
b) s travou a s menším množstvím plevele	0,025	0,030	0,033
c) hlinité dno a štěrkové svahy	0,028	0,030	0,035
d) kamenité dno a zaplevelené břehy	0,025	0,035	0,040
e) na dně valouny, čisté břehy	0,030	0,040	0,050
3. Kanály ve skalních horninách	0,025	0,035	0,050
4. Kanály při nedostatečné technické údržbě, plevelné trávy a křoviny			
a) hustý plevel stejné výšky jako hloubka	0,050	0,080	0,120
b) čisté dno, na březích křoviny	0,040	0,050	0,080
c) husté křoviny, vysoký vodní stav	0,080	0,100	0,140
D. Přirozené vodní toky			
I. Malé toky se šířkou hladiny při velké vodě < 30 m			
1. Rovinné toky			
a) čisté, přímé, zaplněný profil, bez peřejí a tůň	0,025	0,030	0,033
b) totéž, ale s přítomností kamenů a plevele	0,030	0,035	0,040
c) zakřivená trasa, čisté koryto s tůňmi a peřejemi (brody)	0,033	0,040	0,045
d) se zákruty, tůňmi a brody, větší množství kamenů	0,045	0,050	0,060
e) bahnité úseky, hluboké tůně, zarostlé plevelem, při malých rychlostech vody	0,050	0,070	0,080
2. Horské toky, bez vegetace v korytě, břehy obvykle strmé, stromy a keře na březích zaplavené při vysokém vodním stavu	0,030	0,045	0,070
II. Velké vodní toky, šířka hladiny při povodni > 30 m			
1. Pravidelný profil bez balvanů a keřů	0,025		0,060
2. Nepravidelný a drsný profil	0,035		0,100
III. Inundační území			
1. Pastviny bez křovin			
a) s nízkou travou	0,025	0,030	0,035
b) s vysokou travou	0,030	0,035	0,050
2. Zemědělsky obhospodařované plochy			
a) neoseté, bez vegetace	0,020	0,030	0,040
b) dozrálé osevy	0,025	0,035	0,050
3. Křoviny			
a) jednotlivé keře, hustý plevel	0,035	0,050	0,070
b) řídké keře a stromy v zimě	0,035	0,050	0,060
c) řídké keře a stromy v létě	0,040	0,060	0,080
d) křoviny střední a velké hustoty v zimě	0,045	0,070	0,110
e) střední až velká hustota křovin v létě	0,070	0,100	0,160
4. Stromy - hustý vrbový porost v létě			
a) hustý vrbový porost v létě	0,110	0,150	0,200
b) vykácené území s pařezy, bez zmlazení	0,030	0,040	0,050
c) totéž, ale se silným zmlazením pařezů	0,050	0,060	0,080

3.4.2. Proudění propustky

Je-li potřeba provést vodní tok zastavěným územím a zástavba a další aspekty zabraňují provedení toku v otevřeném korytě, je jednou z možností tok zatrubnit. Pro propustky se nejčastěji používají dva základní profily, a to kruhový a obdélníkový (Benešův rám). Proudění v propustku je z hydraulického hlediska velice složitá záležitost. Je zapotřebí rozlišit 3 základní typy proudění, které v něm mohou nastat:

- proudění s volnou hladinou po celé délce propustku
- proudění se zatopeným vtokem, ale volným výtokem
- proudění tlakové po celé délce propustku [8]

Pro zjištění kapacity stávajících propustků a návrh nového zatrubnění se uvažuje proudění s volnou hladinou po celé délce propustku. Průtočný profil neboli průtočná plocha se upraví tak, že se bude uvažovat hloubka 95 % průměru DN trouby, abychom nemuseli zahrnout do výpočtu tlakové proudění. Manningův součinitel drsnosti se pro betonové potrubí uvádí $n=0,014$, je však nutné tuto hodnotu zvětšit na hodnotu $n=0,02$ kvůli stáří potrubí. Výpočet bude vycházet též z rovnice kontinuity a Chézyho rychlostního součinitele jako u otevřených koryt. Vypočítá se průtočná plocha, omočený obvod, hydraulický poloměr, Chézyho rychlostního součinitele, a nakonec se stanoví střední profilová rychlost a průtok.

3.4.3. Dimenzování průtočného profilu koryta

Při řešení průtočného profilu koryta se nejprve předběžně navrhnu tvar, rozměry a drsnost stěn koryta na základě výpočtu ustáleného rovnoměrného proudění s využitím rovnic 3.5.0.1. až 3.5.0.3 pro návrhový průtok v jednotlivých úsecích sklonu nivelety dna. Současně je třeba zjistit režim proudění. [7]

4. Návrh PPO obce Kbelany

4.1. Definování základních problémů

Definování základních problémů řešeného území slouží k navržení protipovodňové ochrany obce Kbelany. Na základě teoretických předpokladů jsou vytipována kritická místa řešeného území, která nejsou dostatečně kapacitní na hodnotu návrhového průtoku.

4.1.1. Zjištěné problémy ze získaných podkladů

V rámci zjišťování potřebných dat k vypracování Bakalářské práce byly poskytnuty podklady od podniku Lesy České Republiky. První podklad se nazývá **Území podél Vejprnického a Lučního potoka – Studie protipovodňové ochrany**. Studie byla zpracována v roce 2002. Druhý podklad se nazývá **Vejprnický potok – studie protipovodňových opatření v povodí Hněvického, Kbelanského a Lučního potoka**. Studie byla zpracována v roce 2016. Získání těchto podkladů rozšířilo mé poznatky řešeného území a dodalo mi mnoho užitečných informací. V následujícím odstavci přikládám ty nejdůležitější informace, které jsem z těchto studií převzal.

Podhrází MVN č. 1 je značně zvlhčené, což svědčí o průsakové činnosti hráze. Při velkých přítocích voda přetéká přes korunu hráze v pravém zavázání. Stav MVN č. 1 a přirozeně vytvořeného mokřadu nad MVN č.1 v ř.km 7,350–7,375 je s ohledem na jejich polohu nad zastavěnou částí obce velice neuspokojivý. Vzhledem k tomu, že dno údolí Kbelanského potoka v obci pod rybníky má velký sklon, měla by povodňová vlna, vzniklá v případném protržení hráze několikanásobně horší následky než hydrologická povodeň. Je třeba si uvědomit, že současný stav MVN č. 1 a mokřadu vzbuzuje obavy právě při výskytu povodňových situacích. [9]

Ve střední části obce Kbelanský potok obtéká požární nádrž (MVN č. 2). Nádrž není vybavena výpustným zařízením ani bezpečnostním přelivem. Sypaná hráz nádrže je značně poškozená. Rozdělovací objekt, který kdysi umožňoval usměrnění průtoku Kbelanského potoka do nádrže nebo do obtoku, je v současné době nefunkční a při větších přítocích voda nekontrolovatelně vtéká do nádrže. Ta pak po přeplnění přetéká přes hráz směrem do silnice v obci. [9]

Kbelanský potok je v obci nekapacitně zatrubněn a slouží spíše jako dešťová kanalizace. Zatrubnění je v majetku obce. V obci je několik průtočných rybníků, mezi nimi je tok

nevhodně zatrubněn a způsobuje povodňové stavy. Na fotodokumentaci je porovnání rybníka v obci roce 2016 a za povodní 2013. [9]



*Obrázek 38 - Pohled na rybníček na návsi (MVN č.3) z roku 2016
(Zdroj: Studie PPO v povodí K.potoka aj.) [9]*



*Obrázek 39 - Pohled na rybníček na návsi (MVN č.3) z roku 2013
(Zdroj: Studie PPO v povodí K.potoka aj.) [9]*

Z tohoto důvodu je voda z nekapacitního zatrubněného potoka z potrubí DN 200-300 svedena do neopevněného příkopu mimo obec a dále ke komunikaci Hněvnice – Blatnice. Toto opatření zabránilo povodním v obci Kbelany, ale způsobilo opakované zatopení nemovitostí v části Blatnice podél komunikace a současně došlo k erozím na polích a ke splavení půdy do Kbelanského potoka nad Rochlovem a zatopení nemovitostí v Rochlově. Nový příkop nad Kbelany tvoří pouze nezpevněné zemní koryto. Ohrožené erozí a dochází k následujícímu transportu splavenin. Vlivem nekapacitních propustků přetéká voda přes silnici Hněvnice – Blatnice. Vedení vody v příkopě dochází k podmáčení a poškození komunikace a k její nesjízdnosti během povodní. Výstavbou silnice Hněvnice – Blatnice byl přerušen přirozený odtok do historických nádrží na Hněvnickém potoce. [9]

4.1.2. Zjištěné problémy na základě terénního průzkumu

Jak je patrné z fotografií v kapitole terénního průzkumu, tak přirozeně vytvořený mokřad v horní části Kbelanského potoka je velmi zanesený a porostlý náletovými dřevinami. Trouba, která převádí vodu z mokřadu do MVN č. 1 je nekapacitní, při větších průtocích docházelo při naplnění mokřadu k přelévání hráze. Jelikož mokřad nemá zřízen bezpečnostní přeliv a trouba je za povodňových situací nekapacitní, tak sebou voda nese splaveniny, které budou zanášet nádrž pod mokřadem, hrozí též ucpání trouby mezi mokřadem a nádrží. Další problémy se nacházejí na MVN č. 1. Nádrž nemá bezpečnostní přeliv a při terénním průzkumu bylo zřejmé, že za povodňových situací docházelo na levé straně k přelévání hráze. Tento jev může poškodit těleso hráze a mohlo by hrozit i její protržení. Spodní výpusť nádrže je zanesená a prorostlá křovinami. Prostor koryta vodního toku pod nádrží je zanesený. V místě průtočného profilu roste mnoho stromů a keřů, které zhoršují kapacitu při povodních. V části devátého úseku je levý břeh koryta „vytvořen“ trapézovým plechem, který zde slouží k tomu, aby se voda z toku nevytlévala do okolí. Tato úprava je nevhodná a podle mého názoru neúčinná. Zatrubnění vodního toku v ř.km 7,150 je na první pohled zcela nevhodné. Průměr trouby na první pohled působí nekapacitně, není provedeno nátokové čelo a trouba je zanesená. V ohrožení jsou pozemky, které leží napříč přes komunikaci. MVN č. 2 nemá bezpečnostní přeliv ani spodní výpusť a za povodně hrozí její naplnění a přelítí hráze. Voda se tak rozlije na komunikaci podél nádrže.

Největší problém hlavního odvodňovacího zařízení je v překážkách průtočného profilu. V průtočném profilu jsou napadané větve, kameny a rostou v něm stromy, které zhoršují

kapacitu a ucpávají průtočný profil. Po vybudování záchytného příkopu, který odvádí vodu od obce Kbelany, tj. Větev 4, došlo ke zlepšení situace a HOZ již obec Kbelany neohrožuje.

Zmiňovaný Kbelanský potok působí obci největší problémy v období povodní.

4.1.3. Kritická místa

Hydrotechnickými výpočty byla posouzena kapacita jednotlivých úseků Kbelanského potoka a HOZ.

Bylo zapotřebí rozdělit hodnoty N-letých průtoků pro Kbelanský potok a HOZ za pomoci odtokových rovnic.

Plocha povodí $F_1 = 0,93 \text{ km}^2$ odpovídá ploše, kterou odvodňuje Kbelanský potok. Plocha povodí $F_2 = 0,40 \text{ km}^2$ odpovídá ploše, kterou odvodňuje HOZ. Hodnoty N – letých průtoků byly stanoveny na základě odtokových rovnic.

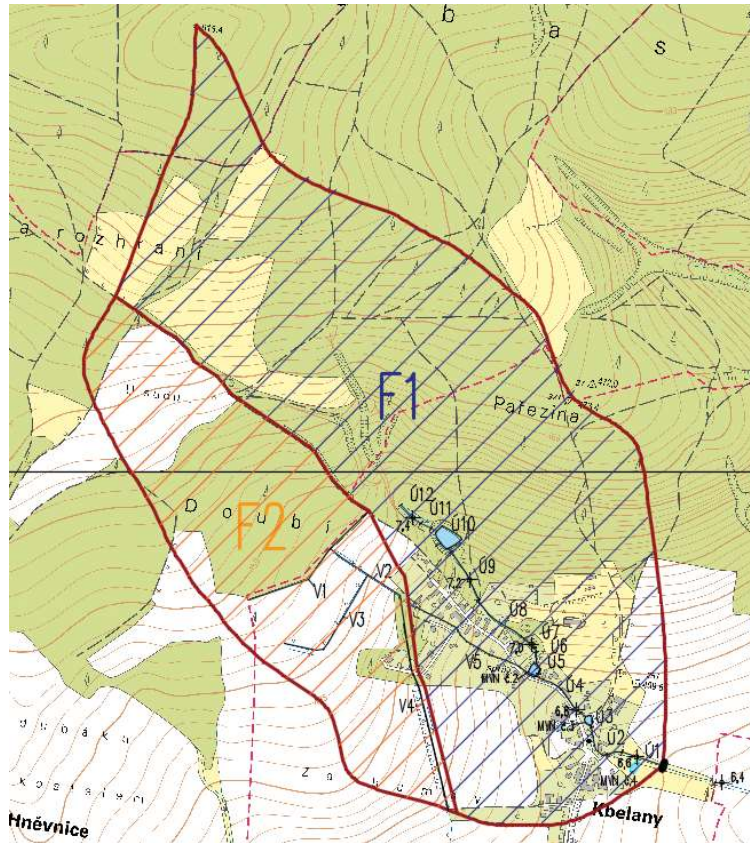
Postup výpočtu je obdobný jako v kapitole 2.4. Hydrologické poměry

Tabulka 5 - Data Q_N -letých pro plochu povodí $F_1 = 0,93 \text{ km}^2$

N	1	2	5	10	20	50	100	třída
($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	0.89	1.22	1.79	2.31	2.91	3.83	4.63	IV

Tabulka 6 - Data Q_N -letých pro plochu povodí $F_2 = 0,40 \text{ km}^2$

N	1	2	5	10	20	50	100	třída
($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	0.53	0.72	1.06	1.37	1.72	2.27	2.74	IV



Obrázek 40 - Výřez z Mapy, plocha F2 znázorněna oranžově a plocha F1 modře

4.1.3.1. Kbelanský potok

Úsek 2: Vodní tok zatrubněn do DN 500 mm, průměrný podélný sklon $i = 1,4 \%$, Manningův součinitel drsnosti uvažován $n = 0,02$ (betonová trouba, zohledněno staří potrubí). Hydrotechnickým výpočtem, popsaným v kapitole 3.4. Říční hydraulika, byl stanoven kapacitní průtok $Q_{\text{kap}} = 0,28 \text{ m}^3/\text{s}$. Hodnota je menší než průtok $Q_1 = 0,89 \text{ m}^3/\text{s}$ a výrazně menší než požadovaný průtok $Q_{20} = 2,91 \text{ m}^3/\text{s}$.

Úsek 3: Průtočný profil je lichoběžníkového tvaru, se šířkou ve dně cca 0,5 m, hloubkou svahů cca 0,5 m o sklonu cca 1:2. Průměrný podélný sklon $i = 1,7 \%$, Manningův součinitel drsnosti uvažován $n = 0,03$. $Q_{\text{kap}} = 1,38 \text{ m}^3/\text{s}$. Stanovený hydrotechnickým výpočtem je menší než požadovaný průtok $Q_{20} = 2,91 \text{ m}^3/\text{s}$.

Úsek 4: Vodní tok zatrubněn do DN 500 mm, průměrný podélný sklon $i = 1,8 \%$, Manningův součinitel drsnosti uvažován $n = 0,02$ (betonová trouba, zohledněno staří potrubí). Hydrotechnickým výpočtem, popsaným v kapitole 3.4. Říční hydraulika, byl stanoven kapacitní průtok $Q_{\text{kap}} = 0,31 \text{ m}^3/\text{s}$. Hodnota je menší než průtok $Q_1 = 0,89 \text{ m}^3/\text{s}$ a výrazně menší než požadovaný průtok $Q_{20} = 2,91 \text{ m}^3/\text{s}$.

Úsek 5: MVN č. 2 nemá bezpečnostní přeliv ani spodní výpust'. Rozdělovací objekt, který kdysi umožňoval usměrnění průtoku Kbelanského potoka do nádrže nebo do obtoku, je v současné době nefunkční a při větších průtocích voda nekontrolovatelně vtéká do nádrže. Ta pak po přeplnění přetéká přes hráz směrem do silnice v obci.

Úsek 8: Vodní tok zatrubněn do DN 300 mm, průměrný podélný sklon $i = 5,1 \%$, Manningův součinitel drsnosti uvažován $n = 0,02$ (betonová trouba, zohledněno staří potrubí). Hydrotechnickým výpočtem, popsáním v kapitole 3.4. Říční hydraulika, byl stanoven kapacitní průtok $Q_{\text{kap}} = 0,13 \text{ m}^3/\text{s}$. Hodnota je menší než průtok $Q_1 = 0,89 \text{ m}^3/\text{s}$ a výrazně menší než požadovaný průtok $Q_{20} = 2,91 \text{ m}^3/\text{s}$.

Úsek 9: Nevhodně provedené opevnění průtočného profilu trapézovým plechem. Průtočný profil zanesený a zarostlý náletovými dřevinami.

Úsek 10: Hráz MVN č.1 nemá zřízen bezpečnostní přeliv. Na základě terénního průzkumu je zřejmé, že na pravém zavázání hráze docházelo za povodňových situacích k přelévání koruny hráze. Podhrází je značně zvlhčené, což svědčí o průsakové činnosti. Může hrozit ztráta stability a protržení hráze.

Úsek 11: Trouba o průměru DN 150 mm, která vede vodu z mokřadu do MVN č.1, má nekapacitní průměr, $Q_{\text{kap}} = 0,01 \text{ m}^3/\text{s}$ je výrazně menší než N – letý průtok $Q_1 = 0,89 \text{ m}^3/\text{s}$. Za povodní dochází k přelévání hráze mezi mokřadem a MVN č.1.

4.1.3.2. HOZ

Větev 2: Průtočný profil je dostatečně kapacitní na požadovanou hodnotu $Q_{20} = 1,72 \text{ m}^3/\text{s}$, pokud se z průtočného profilu odstraní překážky, které zhoršují jeho kapacitu a výrazně zvětšují Manningův součinitel drsnosti n .

Větev 3: Průtočný profil má lichoběžníkový tvar se šířkou ve dně cca 0,4 m, hloubkou svahů cca 0,6 m o sklonu cca 1:2. Průměrný podélný sklon $i = 0,7 \%$, Manningův součinitel drsnosti uvažován $n = 0,06$, z důvodu překážek v průtočném profilu. $Q_{\text{kap}} = 0,52$ stanovený hydrotechnickým výpočtem je menší než požadovaný průtok $Q_{20} = 1,72 \text{ m}^3/\text{s}$.

4.2. Návrh řešení

V první řadě bude zapotřebí odstranit překážky v průtočném profilu a zlepšit tím kapacitu a průtočné vlastnosti.



Obrázek 41: Pohled na zarostlý průtočný profil HOZ (Větev 2)

Po vybudování odstavného příkopu (tj. Větev 4) došlo ke zlepšení účinků HOZ za povodňových situací. Odstavný příkop odvádí vodu od obce Kbelany a jeho průtočný profil je dostatečně kapacitní. Tento argument bude dále podložen výpočtem. Kbelanský potok však působí velké problémy za povodňových situací, kdy je jeho průtočný profil nekapacitní a je nevhodně zatrubněn. Je potřeba navrhnout vhodná protipovodňová opatření, která zlepší protipovodňovou ochranu obce. Jsou navrženy celkem 3 varianty protipovodňových opatření, které jsou detailně popsány v následující kapitole. Jednotlivé varianty jsou mezi sebou porovnány.

4.2.1. Varianta 1 – Obtok

Návrh spočívá ve vybudování nového koryta, kterým se „odkloní“ Kbelanský potok. Nové koryto se navede do HOZ, konkrétně do Větve 4. Při této úpravě je nutné přepočítat plochy podpovodí F, které touto úpravou vzniknou. Dle nově zjištěných ploch se vypočítají nové N – leté průtoky pomocí odtokových rovnic. Po jejich zjištění se navrhne průtočný profil nového obtokového koryta. Posoudí se, zda stávající průtočný profil HOZ (Větev 4) je dostatečně kapacitní na provedení této změny. Nové koryto bude napojeno v místě ř.km 7,410 a povede jižním směrem k Větvi 4. Nově navržené koryto bude dlouhé cca 250 m. Převýšení je 3,8 m, tudíž průměrný podélný sklon nově navrženého koryta bude 1,5 % po celé délce úseku. Vybudováním obtokového koryta se plocha povodí řešeného území $F = 1,33 \text{ km}^2$ rozdělí na 2 části. Plocha povodí, kterou bude odvádět HOZ a obtokové koryto Kbelanského potoka

je rovna $F_3 = 0,82 \text{ km}^2$ a zbylá plocha povodí $F_4 = 0,51 \text{ km}^2$ bude náležet stávající části Kbelanského potoka. Za pomoci odtokových rovnic se stanoví N-leté průtoky pro tyto dvě podpovodí.

Postup výpočtu je obdobný jako v kapitole 2.4. Hydrologické poměry

Tabulka 7 - Data Q_N -letých pro plochu povodí $F_3 = 0,82 \text{ km}^2$

N	1	2	5	10	20	50	100	třída
($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	0.82	1.13	1.65	2.13	2.69	3.54	4.28	IV

Tabulka 8 - Data Q_N -letých pro plochu povodí $F_4 = 0,51 \text{ km}^2$

N	1	2	5	10	20	50	100	třída
($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	0.61	0.84	1.23	1.59	2.00	2.64	3.19	IV

Za pomoci hydrotechnických výpočtů viz. kapitola 3.4. Říční hydraulika, je navržen průtočný profil nového obtokového koryta.

Tabulka 9 - Návrh průtočného profilu obtokového koryta

b	h	S	O	R	n	C	i	v	Q		Q_{20}
(m)	(m)	(m^2)	(m)	(m)	(-)			(m/s)	(m^3/s)		(m^3/s)
0.8	0.8	1.28	3.06	0.42	0.03	28.82	0.02	2.28	2.92	\geq	2.69

Průtočný profil je navržen lichoběžníkového tvaru se sklonem svahů 1:1. Šířka ve dně je 0,8 m a svahy jsou hluboké 0,8 m. Bylo zapotřebí volit strmější sklon svahů z důvodu omezenosti majetkoprávních vztahů. Manningův součinitel drsnosti n , byl stanoven na hodnotu 0,03.

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gys}} = \frac{2,28}{\sqrt{9,81 \frac{1,28}{(0,8+2 \times 0,8)}}} = 1$$

Po ověření výpočtu Froudova čísla, bude za předpokladu Q_{20} v korytě kritické proudění. Průtočný profil koryta je zapotřebí opevnit. Opevnění bude spočívat v kamenné dlažbě uložené do betonového lože. Tento druh opevnění je navržen z důvodu zastavěnosti území. Příčný řez navrženého obtokového koryta viz. Příloha 5.

Dále je zapotřebí posoudit stávající průtočný profil Větve 4, do které se bude nové obtokové koryto napojovat. V kapitole 2.9.2. je průtočný profil Větve 4 popsán jako lichoběžníkový průtočný profil se šířkou ve dně cca 1,0 m se sklonem svahů cca 1:1 o hloubce 1,0 – 1,5 m. Úsek 155 m má průměrný podélný sklon 1,7 %, následuje 25 m dlouhý úsek, kdy je příkop

zatrubněn do dvou souběžně vedoucích propustků o průměru DN 600 mm. Průměrný podélný sklon této části je 4,0 %. Po převedení vody propustky je průtočný profil otevřený, a má obdobný tvar jako v úseku před zatrubněním. Průměrný podélný sklon této části je cca 3,7 %.

Následující výpočty slouží k posouzení stávajícího koryta, při napojení obtokového koryta.

Tabulka 10 - Posouzení lichoběžníkového průtočného profilu s průměrným podélným sklonem 1,7 %

b (m)	h (m)	S (m ²)	O (m)	R (m)	n (-)	C	i	v (m/s)	Q (m ³ /s)		Q ₂₀ (m ³ /s)
1	1	2	3.83	0.52	0.04	25.64	0.02	2.42	4.83	≥	2.69

Průtočný profil této části je dle přiložené tabulky dostatečně kapacitní i při napojení obtokového koryta.

Tabulka 11 - Posouzení průtočné kapacity jednoho propustku

DN (m)	S (m ²)	O (m)	R (m)	n (-)	C	i	v (m/s)	Q (m ³ /s)		Q ₂₀ (m ³ /s)
0.6	0.27	1.79	0.2	0.02	42.88	0.04	3.32	0.89	≥	2.69

Kapacitní průtok jednoho propustku za podmínky proudění o volné hladině po celé délce propustku je 0,89 m³/s. Tedy celkový kapacitní průtok obou propustků je stanoven na hodnotu Q = 1,88 m³/s. Tento průtok je menší než požadovaný průtok Q₂₀ = 2,69 m³/s. Provedení dvou souběžně vedoucích propustků o průměru DN 600 mm je nekapacitní. Navrhuji tento úsek otevřít, vybudovat lichoběžníkové koryto stejných parametrů jako nově navržené obtokové koryto. Vlivem velkého sklonu daného úseku, zde budou vznikat velké rychlosti, a proto je zapotřebí tento úsek opevnit stejným způsobem jako nově navržené obtokové koryto. Komunikaci, kvůli které je daný úsek zatrubněn, navrhuji převést pomocí mostku.

Tabulka 12 - Posouzení lichoběžníkového průtočného profilu s průměrným podélným sklonem 3,7 %

b (m)	h (m)	S (m ²)	O (m)	R (m)	n (-)	C	i	v (m/s)	Q (m ³ /s)		Q ₂₀ (m ³ /s)
1	1	2	3.83	0.5	0.04	22.44	0.04	3.12	6.24	≥	2.69

Průtočný profil posuzované části je dle přiložené tabulky dostatečně kapacitní i při napojení obtokového koryta.

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gys}} = \frac{3,12}{\sqrt{9,81 \frac{2}{(1+2 \times 1)}}} = 1,22 > 1$$

Po ověření výpočtu Froudova čísla, bude za předpokladu Q_{20} v korytě bystřinné proudění. Proto je zapotřebí opevnit i tento úsek. Koryto vede v nezastavěném území, proto volím opevnění ve formě kamenné rovnániny. Příčný řez koryta viz. Příloha 5.

Po návrhu obtokového koryta a posouzení stávajících částí, do kterých bude obtokové koryto svedené, je zapotřebí posoudit zbytek kritických míst v řešeném území, popř. tato místa upravit. Konkrétně se jedná o posouzení kapacity Úseku 2,3,4,8, Kbelanského potoka a Větve 2,3 HOZ.

Kapacitní průtok zatrubněného Úseku 2 je $Q_{kap} = 0,28 \text{ m}^3/\text{s}$. Hodnota je výrazně menší než požadovaný průtok $Q_{20} = 2,00 \text{ m}^3/\text{s}$. Je zapotřebí tento úsek zkapacitnit. Z důvodu zastavěnosti obce a majetkoprávních vztahů nelze průtočný profil vést v otevřeném korytě, proto je jedinou možností provést obdélníkové nebo čtvercové zatrubnění tzv. Benešův rám, o rozměrech $1 \times 1 \text{ m}$. Po ověření hydrotechnickým výpočtem získáváme hodnotu $Q_{kap} = 3,14 \text{ m}^3/\text{s}$, což splňuje požadovanou hodnotu průtoku. Kapacitní průtok Úseku 3, který má miskovitý až lichoběžníkový průtočný profil, je $Q_{kap} = 1,38 \text{ m}^3/\text{s}$. Navrhuji rozšířit lichoběžníkový průtočný profil na rozměry $0,8 \times 0,5 \text{ (b x h)}$, se sklonem svahů 1:2. Zkapacitněním získáme průtok $Q_{kap} = 2,28 \text{ m}^3/\text{s}$.

Kapacitní průtok zatrubněného Úseku 4 je $Q_{kap} = 0,31 \text{ m}^3/\text{s}$. Ze stejného důvodu jako u Úseku 2 navrhuji zkapacitnění, provedením Benešova rámu, o rozměrech $1 \times 1 \text{ m}$. Stejný postup navrhuji i pro zkapacitnění Úseku 8, kde je stávající kapacitní průtok $Q_{kap} = 0,13 \text{ m}^3/\text{s}$. U zatrubnění je potřeba provést nátokové čelo, nejlépe z kamenné dlažby položené do betonu. Toto opatření bude zabraňovat zanášení zatrubnění, vymílání kolem vtoku a bude usměrňovat vodu do zatrubnění. Zároveň je potřeba upravit levý břeh koryta Úseku 9, kde je trapézový plech zapuštěn do země. Navrhuji rozšíření a zajištění stability koryta. Zároveň v celém Úseku 9 vyčistit průtočný profil od překážek jakými jsou náletové dřeviny, popadané větve apod.

Větev 2 bude dostatečně kapacitní na požadovanou hodnotu průtoku $Q_{20} = 2,69 \text{ m}^3/\text{s}$, jestliže se z průtočného profilu odstraní kameny, stromy, keře apod., které výrazně zvyšují Manningův součinitel drsnosti, a působí na průtočný profil tím, že se stává nekapacitním.

Průtočný profil Větve 3 je kvůli keřům a stromům, které zvyšují Manningův součinitel drsnosti a malému podélnému sklon i , nekapacitní. Navrhuji rozšířit lichoběžníkový průtočný profil na hodnoty $1 \times 0,9 \text{ m (b x h)}$ se sklonem svahů 1:2, a odstranit překážky v průtočném profilu.

Výhody navrženého řešení: Velkou výhodou vybudováním obtokového koryta je, že se přeruší mokřad před MVN č. 1, což vyřeší přelévání hráze z mokřadu k MVN č.1. a zároveň nebude při povodních zatěžována spodní hráz MVN č. 1, u které by mohlo dojít kvůli velkému zatížení od vody ke ztrátě stability a jejímu protržení.

Nevýhody navrženého řešení: Po vybudování nového obtokového koryta, dojde k odlehčení velké části plochy řešeného území, kterou spodní úsek odvodňoval. I přesto nebudou stávající zatrubněné úseky Kbelanského potoka dostatečně kapacitní a je zapotřebí i tato místa zkapacitnit. Provedení nově vybudovaného obtokového koryta a zkapacitnění stávajícího zatrubnění vodního toku bude finančně nákladné a problémové z hlediska majetkoprávních vztahů.

4.2.2. Varianta 2 – Zkapacitnění kritických míst

Druhou variantou je zkapacitnění kritických míst Kbelanského potoka a HOZ. V následujícím odstavci je vždy navržené řešení pro daný kritický úsek. Je možné, že některé návrhy zatrubněných úseků Kbelanského potoka se shodují s návrhy Varianty 1.

4.2.2.1. Návrh protipovodňových opatření – Kbelanský potok

Úsek 2: Vodní tok je nevhodně zatrubněn, jeho kapacitní průtok $Q_{kap} = 0,28 \text{ m}^3/\text{s}$, je dokonce menší než průtok $Q_1 = 0,89 \text{ m}^3/\text{s}$. Je potřeba navrhnout takový průtočný profil, aby vyhověl návrhovému průtoku $Q_{20} = 2,91 \text{ m}^3/\text{s}$. Z důvodu zastavěnosti území a majetkoprávních vztahů není možné vést vodní tok v otevřeném korytě. Jedinou možností je zatrubnění toku a použití tzv. Benešova rámu. Uvažuje se beztlakové proudění o volné hladině po celé délce zatrubnění. Výpočet je proveden podle popsaných postupů v kapitole 3.4. Říční hydraulika.

Tabulka 13 - Návrh průtočného profilu Úseku 2

b (m)	h (m)	S (m ²)	O (m)	R (m)	n (-)	C	i	v (m/s)	Q (m ³ /s)		Q ₂₀ (m ³ /s)
1.2	0.86	1.03	2.91	0.4	0.02	42.03	0.01	2.95	3.03	≥	2.91

Dle přiložené tabulky se navrhl průtočný profil obdélníkového průřezu 1,2 x 0,9 m (b x h).

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gys}} = \frac{2,95}{\sqrt{9,81 \frac{1,03}{(1,2)}}} = 0,93 < 1$$

Po ověření výpočtu Froudova čísla, bude za předpokladu Q_{20} v korytě říční proudění. Je však nutné výtok za zatrubněním opevnit.

Úsek 3: Otevřené koryto lichoběžníkového až miskovitého tvaru, které se nachází těsně před MVN č. 3 je nekapacitní a je potřeba ho rozšířit, aby se při povodních voda z průtočného profilu nevytlévala na přilehlou komunikaci. Stávající průtočný profil má kapacitní průtok $Q_{kap} = 1,38 \text{ m}^3/\text{s}$.

Tabulka 14 - Návrh průtočného profilu Úseku 3

b (m)	h (m)	S (m ²)	O (m)	R (m)	n (-)	C	i	v (m/s)	Q (m ³ /s)		Q ₂₀ (m ³ /s)
0.9	0.6	1.62	4.69	0.4	0.03	27.92	0.02	2.14	3.46	≥	2.91

Rozšířením lichoběžníkového koryta se šířkou ve dně 0,9 m, se sklonem svahů 1:2, hlubokých 0,6 m, získává průtočný profil dostatečnou kapacitu.

Úsek 4: Kapacitní průtok daného úseku činí $Q_{kap} = 0,31 \text{ m}^3/\text{s}$. Postup je stejný jako u Úseku 2. Vést velký profil Benešova rámu o výšce 1 m zastavěným územím pod komunikací bude náročné, ale bohužel zde není jiná možnost, jak koryto otevřít nebo vést mimo obec. Navrhuji Benešův rám obdélníkového průřezu 1,2 x 0,9 m (b x h). Po návrhu činí kapacitní průtok $Q_{kap} = 3,45 \text{ m}^3/\text{s}$.

Úsek 5: Problémem daného úseku je, že MVN č. 2 nemá zřízený bezpečnostní přeliv ani spodní výpust'. Rozdělovací objekt, který kdysi umožňoval usměrnění průtoku Kbelanského potoka do nádrže nebo do obtoku, je v současné době nefunkční a při větších průtocích voda nekontrolovatelně vtéká do nádrže. Ta pak po přeplnění přetéká přes hráz směrem do silnice v obci. Navrhuji spodní výpust' u MVN č. 2, aby mohl být kontrolovatelně využíván retenční prostor této nádrže při povodních.

Úsek 8: V řešeném území má tento úsek nejmenší kapacitu, a to pouhých $Q_{kap} = 0,13 \text{ m}^3/\text{s}$. Tento úsek je sice vede přes pozemky s rodinnými domy, ale z důvodu jeho délky, která činí cca 160 m, navrhuji koryto otevřít. Je zde velký podélný sklon, takže průtočný profil nebude muset mít tak velké rozměry jako v jiných částech toku. Navrhuji lichoběžníkový průtočný profil se sklonem svahů 1:1.

Tabulka 15 - Návrh průtočného profilu Úseku 8

b (m)	h (m)	S (m ²)	O (m)	R (m)	n (-)	C	i	v (m/s)	Q (m ³ /s)		Q ₂₀ (m ³ /s)
0.8	0.6	0.96	2.8	0.3	0.03	27.89	0.05	3.69	3.54	≥	2.91

Navrhuji šířku ve dně 0,8 m a hloubku 0,6 m.

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gys}} = \frac{3,69}{\sqrt{9,81 \frac{0,96}{(0,8+2*0,6)}}} = 1,7 > 1$$

Hodnota Frouдова čísla vychází při průtoku Q_{20} , výrazně větší než 1, proto zde bude vznikat bystrinné proudění. Navrhuji průtočný profil opevnit kamennou rovnatinou.

Úsek 9: Daný úsek je nevhodně opevněn trapézovým plechem, v místě průtočného profilu je velké množství překážek a koryto nemá žádný specifický tvar. Navrhuji stejný postup jako u předchozího Úseku 8. Daný úsek má obdobný průměrný podélný sklon. Proto navrhuji průtočný profil stejných rozměrů, i stejného druhu opevnění.

Úsek 10: Navrhuji opravit těleso hráze, a navrhnout bezpečnostní přeliv MVN č. 1, abychom zamezili možnosti jejího protržení. Neučiníme-li tak, pak veškeré úpravy na dolní části toku budou zbytečné.

Úsek 11: Navrhuji zrušit troubu mezi mokřadem a MVN č.1 a vybudovat průleh, za kterým bude umístěn kamenem zpevněný skluz, který bude sloužit jako plocha pro bezpečné odvedení vody do další nádrže.

Tabulka 16 - Předběžný návrh velikosti průtočného profilu skluzu

b (m)	h (m)	S (m ²)	O (m)	R (m)	n (-)	C	i	v (m/s)	Q (m ³ /s)		Q ₂₀ (m ³ /s)
1	0.5	1	3.24	0.3	0.04	20.56	0.1	3.61	3.61	≥	2.91

Navrhuji šířku ve dně 1 m, hloubku 0,5 m a podélný sklon 10 %.

4.2.2.2. Návrh protipovodňových opatření – HOZ

Větev 2: Obdobně jako u Varianty 1., navrhuji vyčistit průtočný profil od překážek, abychom zajistili jeho dostatečnou kapacitu.

Větev 3: Vlivem nízké hodnoty průměrného podélného sklonu a zarostlého průtočného profilu, nemá průtočný profil dostatečnou kapacitu. Kapacitní průtok je $Q_{kap} = 0,54 \text{ m}^3/\text{s}$. Rozšířením průtočného profilu na hodnoty 0,6 x 0,6 m a jeho vyčištěním snížíme hodnotu Manningova drsnostního součinitele, získáme kapacitní průtok $Q_{kap} = 1,82 \text{ m}^3/\text{s}$, který je větší než požadovaný průtok $Q_{20} = 1,72 \text{ m}^3/\text{s}$.

Tabulka 17 - Rozšíření průtočného profilu Větve 3

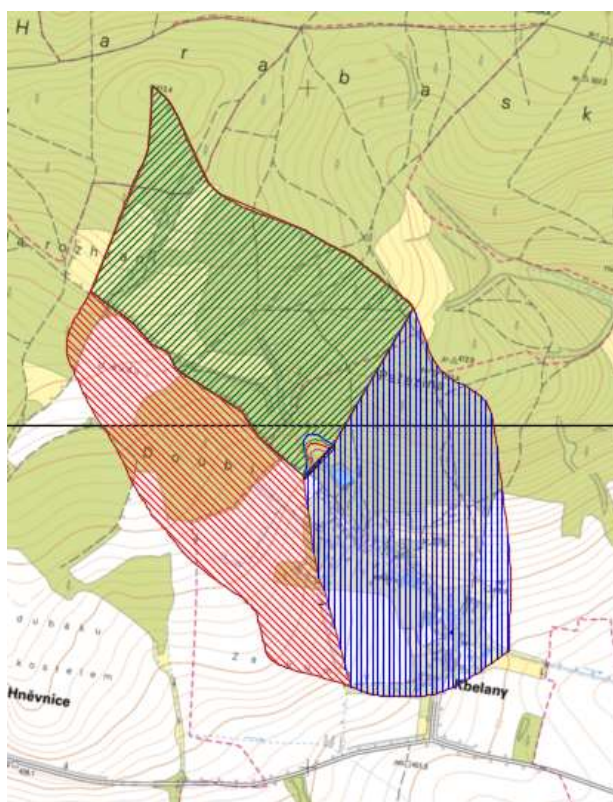
b (m)	h (m)	S (m ²)	O (m)	R (m)	n (-)	C	i	v (m/s)	Q (m ³ /s)		Q ₂₀ (m ³ /s)
0.6	0.6	1.08	2.3	0.5	0.03	29.39	0.01	1.69	1.82	≥	1.72

Výhody navrženého řešení: Výhodou této varianty jsou nižší finanční náklady než u varianty předešlé. Přestože by došlo k úpravám stejných míst jako u varianty 1, nebylo by nutné budovat nové koryto, což by přineslo úspornější řešení než navrhovaná první varianta.

Nevýhody navrženého řešení: Zcela zásadní nevýhodou daného řešení je velké množství úprav v zastavěné části obce a s tím spojené problémy majetkoprávních vztahů.

4.2.3. Varianta 3 – Návrh suché nádrže

Řešením je návrh suché nádrže, ve které bude dostatečný retenční prostor a zároveň dokáže transformovat návrhovou povodňovou vlnu na požadovanou hodnotu neškodného průtoku. Nejprve je zapotřebí rozdělit plochy povodí na jednotlivé části a stanovit N-leté průtoky pro oblast navržené suché nádrže. V přiloženém obrázku je povodí o ploše 1,33 km², rozděleno na tři podpovodí.



Obrázek 42 - Rozdělení povodí na tři části. Modrá část - F₅, Červená část - F₆, Zelená část - F₇, v obrázku je navíc znázorněna poloha navržené suché nádrže

Plocha F₅ (modrá) stahuje vodu z označeného území do Kbelanského potoka a činí 0,48 km². Plocha F₆ (červená) stahuje vodu do HOZ a činí 0,37 km². Plocha F₇ (zelená) odpovídá ploše, ze které se stahuje voda do navržené suché nádrže. Plocha podpovodí F₇ činí 0,48 km². Za pomoci odtokových rovnic se stanoví řada N-letých průtoků pro jednotlivé plochy F₅-F₇. Hodnoty jsou vyčísleny v následujících tabulkách.

Tabulka 18 – Data Q_N – letých průtoků pro plochu povodí F₅ a F₇ = 0,48 km²

N	1	2	5	10	20	50	100	třída
(m ³ .s ⁻¹)	0.59	0.81	1.19	1.53	1.93	2.54	3.07	IV

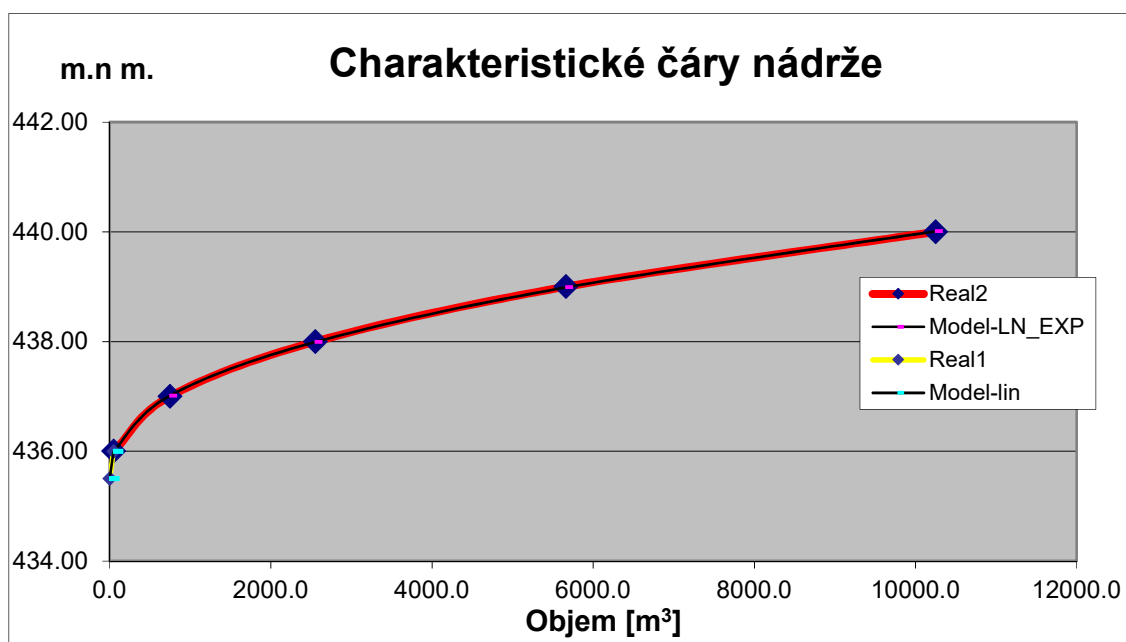
Tabulka 19 - Data Q_N -letých průtoků pro plochu povodí F₆ = 0,37 km²

N	1	2	5	10	20	50	100	třída
(m ³ .s ⁻¹)	0.50	0.69	1.01	1.30	1.64	2.16	2.61	IV

Dle návrhu polohy a velikosti suché nádrže, byly stanoveny hodnoty zatopených ploch a objemů, které jsou vyčísleny v následující tabulce.

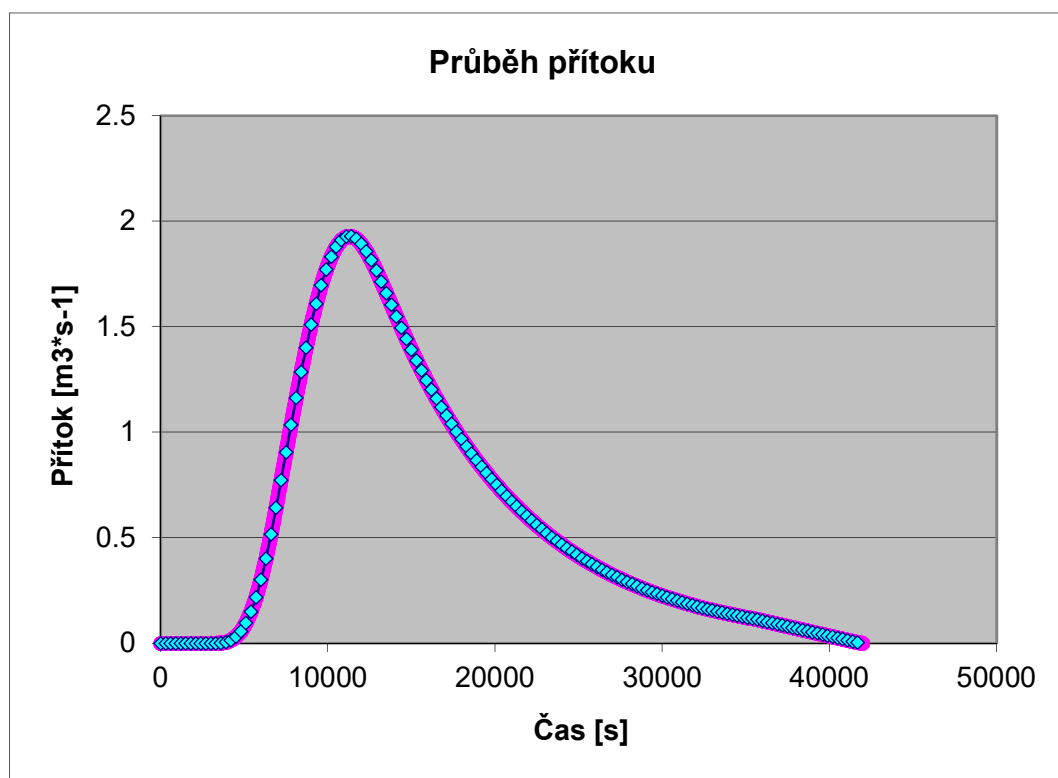
Tabulka 20 - Zatopené plochy a objemy suché nádrže

H [m n. m.]	S [m ²]	ΔV [m ³]	V [m ³]
435.50	0	0	0
436.00	289	48	48
437.00	1 109	699	747
438.00	2 505	1 807	2 553
439.00	3 714	3 110	5 663
440.00	5 456	4 585	10 248



Obrázek 43 - Charakteristické čáry suché nádrže [10]

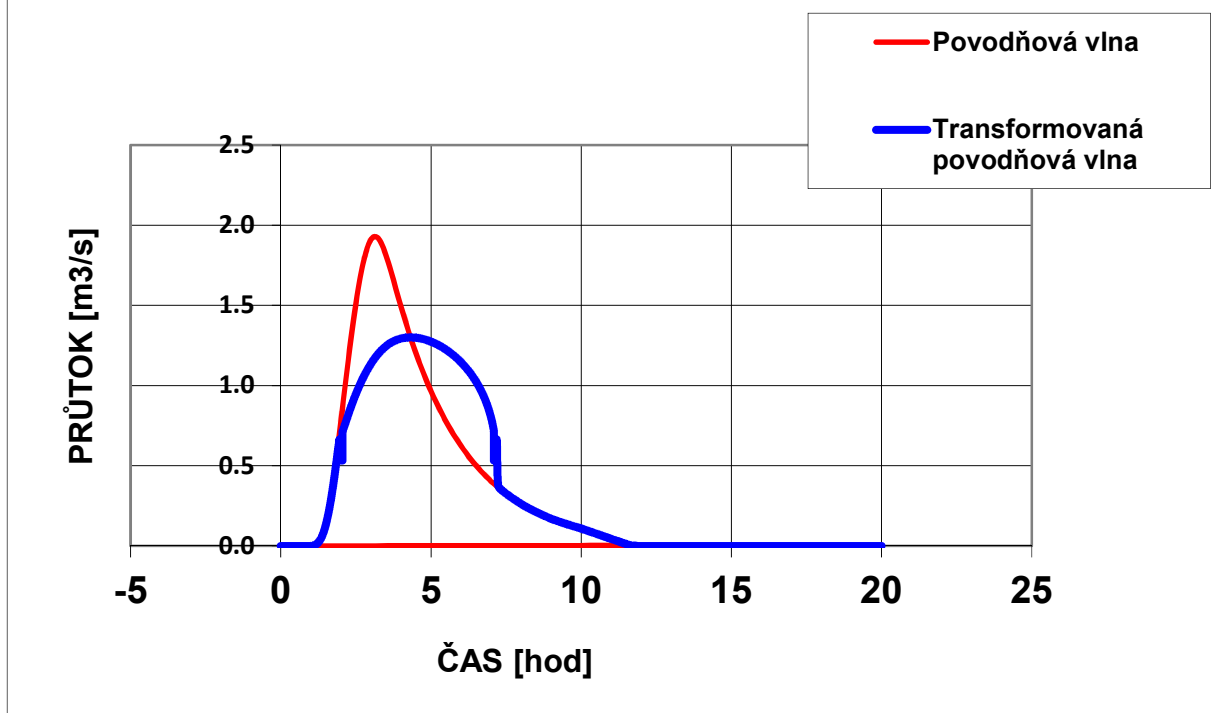
Dle dostupného excelu s názvem „*Numerická metoda pro posouzení efektivity suché nádrže*“ [10], který je volně přístupný a stažitelný, jsem ověřil efektivitu návrhu suché nádrže. Průběh povodňové vlny mi poskytl vedoucí práce Ing Adam Vokurka, Ph.D. Jednalo se o povodí podobných vlastností, jen se dle poměru upravily hodnoty přítoku, aby maximální hodnota přítoku odpovídala hodnotě Q_{20} pro plochu podpovodí F_7 . Následující obrázek znázorňuje průběh povodňové vlny.



Obrázek 44 - Průběh povodňové vlny [10]

Dle dostupného excelu se provedl výpočet efektivity suché nádrže a zde příkládám Obrázek 45 a Tabulku 21 ukazující transformaci 20 ti-leté povodně.

TRANSFORMACE POVODNĚ SUCHOU NÁDRŽÍ



Obrázek 45 - Transformace povodně suchou nádrží [10]

Tabulka 21 - Hodnoty navržené suché nádrže [10]

Kbelanský		DN600	Q20
Q P max [m³/s]	1.93	T Q P max [h]	3.17
Q O max [m³/s]	1.30	T Q O max [h]	4.32
		Přeliv [m.n m.]	438.80
Transf efekt [%]	32.56	Max.hladina [m.n m.]	438.52
		Odpov. hloubka [m]	3.02

Navržená suchá nádrž dokáže snížit maximální hodnotu přítoku $Q_{20} = 1,93 \text{ m}^3/\text{s}$ na hodnotu odtoku $Q_O = 1,30 \text{ m}^3/\text{s}$. Kvůli zastavěnosti obce a majetkoprávním vztahům nebylo možné umístit suchou nádrž níže po směru toku, kde by byla účinnější. Vzhledem k rozmanitosti daného území nebylo možné zvětšit retenční prostor nádrže. Bylo by zapotřebí na pravé straně prodloužit hráz do velké délky, přičemž by se hloubka nádrže příliš nezměnila, avšak z hlediska zastavěnosti území a majetkoprávních vztahů by ani tahle varianta nebyla možná.

Po navržení suché nádrže je zapotřebí posoudit zbytek území, a to konkrétně stávající část Kbelanského potoka. Na podpovodí Kbelanského potoka, tj. plocha F_5 náleží průtok $Q_{20} = 1,93 \text{ m}^3/\text{s}$. K této hodnotě je zapotřebí přičíst maximální hodnotu odtoku ze suché

nádrže, tj. $Q_0 = 1,30 \text{ m}^3/\text{s}$. Sečtením těchto dvou hodnot získáme hodnotu průtoku $Q_{20} = 3,23 \text{ m}^3/\text{s}$.

Z Varianty 2 víme, že zkapacitnění, které se zde navrhovalo bylo na požadovanou hodnotu průtoku $Q_{20} = 2,91 \text{ m}^3/\text{s}$. Tento průtok je menší než návrhový průtok z Varianty 3, na který máme posoudit stávající stav Kbelanského potoka. Z logického hlediska je nemožné, aby byl tento průtok větší, když se povedlo částečně transformovat povodňovou vlnu. Tato hodnota je větší z důvodu použití odtokových rovnic na rozdělení plochy povodí na podpovodí. I bez výpočtů je jasné, že zkapacitnění stávajícího stavu by bylo zapotřebí provést ve stejných místech jako u Varianty 2. Lze tedy říci, že nemá smysl posuzovat Kbelanský potok pod navrženou suchou nádrží. Tento argument tedy tuto variantu označuje jako nejhorší. Návrh suché nádrže se zdál zpočátku dobrým nápadem, musel by se však zvětšit retenční prostor nádrže a nádrž by musela být umístěna více jihovýchodním směrem na Kbelanském potoce. Bohužel kvůli zastavěnosti území a majetkoprávním vztahům není tato možnost reálná.

Výhody navrženého řešení: Po složitém výpočtu je zřejmé, že tato varianta žádnou výhodu nemá.

Nevýhody navrženého řešení: Navržením suché nádrže jsem došel k závěru, že stávající kapacity Kbelanského potoka by se po vybudování nádrže skoro vůbec nezlepšily. Navíc by se muselo provést zkapacitnění stejných míst jako u varianty 2, tudíž stavbu suché nádrže nemá smysl realizovat.

5. Závěr

Úkolem bakalářské práce bylo vypracování studie protipovodňové ochrany obce Kbelany a navrhnout řešení, které by ochranu před povodněmi zvýšilo. Návrhu předcházely terénní průzkumy, který podrobně prozkoumal vodstvo řešeného území. Na základě terénního průzkumu a získaných podkladů byla vytipována kritická místa v řešeném území. Na jejich zlepšení jsou navrženy 3 varianty řešení protipovodňových opatření. Každá varianta byla samostatně vyhodnocena a v následující tabulce je znázorněno porovnání účinnosti navržených řešení. Varianty byly porovnány z nejdůležitějších hledisek a ohodnoceny procentuálně dle jejich účinnosti.

Tabulka 22 - Porovnání variant navržených řešení

Varianta	Cena (%)	Majetko - právní vztahy (%)	Množství úprav (%)
1	45	20	30
2	55	60	50
3	0	20	20

Z přiložené tabulky a provedených výpočtů je zřejmé, že Varianta 2, tj. **zkapacitnění stávajícího stavu**, je nejúčinnější variantou ve všech důležitých aspektech. Z počátku se jevílo nejlepším řešením navržení suché nádrže, která by transformovala povodňovou vlnu na hodnotu neškodného odtoku, což by napomohlo ochraně obce a nebylo by zapotřebí stávající stav vodního toku příliš upravovat. Z důvodu zastavěnosti obce a majetkoprávních vztahů však není možné umístit suchou nádrž jihovýchodněji a zajistit tím dostatečný retenční prostor nádrže.

6. Seznamy

6.1. Seznamy použité literatury a zdrojů informací

- [1] In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Protipovod%C5%88ov%C3%A1_ochrana
- [2] *Sispo: Klimatické regiony ČR* [online]. Holovousy: COPYRIGHT, 2018 [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: <http://www.ovocnarska-unie.cz/sispo/?str=klima-mapa>
- [3] SAMEK, Alfred. *Vejprnický potok – studie protipovodňových opatření v povodí Hněvického, Kbelanského a Lučního potoka*. Plzeň, 2016.
- [4] *Česká Geologická Služba* [online]. BRNO: Copyright, 2018 [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: <https://mapy.geology.cz>
- [5] *ČVUT v Praze, Katedra hydromeliací a krajinného inženýrství: Hydropedologie* [online]. Praha: Arthur-Designs.cz, 2018 [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: <http://storm.fsv.cvut.cz>
- [6] KOUBA A KOL., J. *Stavby vodní a hydromeliorační: UČEBNÍ TEXT PRO 3. R. STŘ. PRŮM. ŠKOL STAVEBNÍCH*. Praha: STÁTNÍ NAKLADATELSTVÍ TECHNICKÉ LITERATURY, 1966. ISBN 50873/64-II/3.
- [7] ZUNA, Jaroslav. *HRAZENÍ BYSTRĚN*. 1. Thákurova 1, 160 41 Praha 6: ČVUT, 2008. ISBN 978-80-01-04010-2.
- [8] *České vysoké učení technické Fakulta stavební Katedra hydrauliky a hydrologie: Hydraulika 141HYA* [online]. Praha: Arthur-Designs.cz, 2018 [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: <http://hydraulika.fsv.cvut.cz>
- [9] VODNÍ DÍLA-TBD A.S. *Území podél Vejprnického a Lučního potoka: Studie protipovodňové ochrany*. Praha, 2003.
- [10] *České vysoké učení technické Fakulta stavební Katedra hydromeliací a krajinného inženýrství: Numerická metoda pro posouzení efektivity suché nádrže* [online]. Praha: Arthur-Designs.cz, 2018 [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: <http://storm.fsv.cvut.cz>

6.2. Seznam tabulek

Tabulka 1 - Klimatická oblast T2 [2]	11
Tabulka 2 - Data Q n-letých pro plochu povodí $F = 2,18 \text{ km}^2$. [3]	12
Tabulka 3 - Data Q n-letých pro plochu povodí $F = 1,33 \text{ km}^2$	13
Tabulka 4 - Mannigův součinitel drsnosti pro otevřená koryta (Zdroj: www.hydraulika.fsv.cvut.cz) [8]	44
Tabulka 5 - Data Q _N -letých pro plochu povodí $F_1 = 0,93 \text{ km}^2$	49
Tabulka 6 - Data Q _N -letých pro plochu povodí $F_2 = 0,40 \text{ km}^2$	49
Tabulka 7 - Data Q _N -letých pro plochu povodí $F_3 = 0,82 \text{ km}^2$	53
Tabulka 8 - Data Q _N -letých pro plochu povodí $F_4 = 0,51 \text{ km}^2$	53
Tabulka 9 - Návrh průtočného profilu obtokového koryta	53
Tabulka 10 - Posouzení lichoběžníkového průtočného profilu s průměrným podélným sklonem 1,7 %	54
Tabulka 11 - Posouzení průtočné kapacity jednoho propustku	54
Tabulka 12 - Posouzení lichoběžníkového průtočného profilu s průměrným podélným sklonem 3,7 %	54
Tabulka 13 - Návrh průtočného profilu Úseku 2	56
Tabulka 14 - Návrh průtočného profilu Úseku 3	57
Tabulka 15 - Návrh průtočného profilu Úseku 8	57
Tabulka 16 - Předběžný návrh velikosti průtočného profilu skluzu	58
Tabulka 17 - Rozšíření průtočného profilu Větve 3	59
Tabulka 18 – Data Q _N – letých průtoků pro plochu povodí F_5 a $F_7 = 0,48 \text{ km}^2$	60
Tabulka 19 - Data Q _N -letých průtoků pro plochu povodí $F_6 = 0,37 \text{ km}^2$	60
Tabulka 20 - Zatopené plochy a objemy suché nádrže	60
Tabulka 21 - Hodnoty navržené suché nádrže [10]	62
Tabulka 22 - Porovnání variant navržených řešení	64

6.3. Seznam obrázků

Obrázek 1 - Zájmové území a jeho povodí	10
Obrázek 2- Výřez z Mapy, modře je znázorněn Kbelanský potok a červeně MVN	16
Obrázek 3 - Výřez z Geologické mapy zájmového území (Zdroj: www.mapy.geology.cz) [4]	18
Obrázek 4 - Výřez z Půdní mapy zájmového území (Zdroj: www.mapy.geology.cz) [4]	19

Obrázek 5- Pohled na koryto v.t. – úsek 1	21
Obrázek 6 - Pohled na stavítko ř.km. 6,595 05	22
Obrázek 7- Pohled na MVN č.3.	22
Obrázek 8 - Příklad Kbelanského potoka do MVN č.3.	23
Obrázek 9 - Pohled na propustek v ř.km 6,790	23
Obrázek 10 - Propustek DN 500 mm, v ř.km 6,790.....	24
Obrázek 11 - Pohled na propustek z hráze MVN č.2., ř.km 6,925	24
Obrázek 12 - Koryto v.t. pod MVN č.2.	25
Obrázek 13 - MVN č.2., Kbelanský potok se nachází za nádrží.....	25
Obrázek 14 - Propustek DN 500 mm, ř.km 6,980.....	26
Obrázek 15 - Propustek DN 500 mm, ř.km 6,990.....	26
Obrázek 16 - Propustek DN 250 mm, ř.km 6,992 5.....	27
Obrázek 17 - Pohled na zaústění v.t., ř.km 7,150	27
Obrázek 18 - Detailnější pohled na zaústění, ř.km 7,150	27
Obrázek 19 - Opevnění v.t. trapézovým plechem, ř.km 7,150 -7,165	28
Obrázek 20 - Zarostlý průtočný profil v.t. – úsek 9	28
Obrázek 21- Pohled zespoda na hráz MVN č.1, znázorněna spodní výpust' z nádrže.....	29
Obrázek 22- Pohled na MVN č.1.	29
Obrázek 23 - Trouba z mokřadu do MVN č.1., DN 150 mm, ř.km 7,350.....	30
Obrázek 24 - Pohled na rybníční stoku mokřadu	30
Obrázek 25 - Koryto v.t. – úsek 12	31
Obrázek 26 - Území nad úsekem 12	31
Obrázek 27 - Příkop při okraji lesa.	32
Obrázek 28 - Pohled na propustek, DN 500 mm	33
Obrázek 29 - Zarostlý průtočný profil Větve 2	33
Obrázek 30 - Místo připojení na Větev 2	34
Obrázek 31 - Pohled na příkop Větve 3, směrem k Větvi 2.....	34
Obrázek 32 - Odbočení Větve 2 = staničení 0 m (Větve 4).....	35
Obrázek 33 - Propustky Větve 4, staničení 155 m, 2 x propustek o průměru DN 600 mm....	36
Obrázek 34 - Staničení 0–5 m	37
Obrázek 35 - Zatrubnění ve staničení 5 m	37
Obrázek 36 - Pohled od staničení 10 směrem dolů.....	38
Obrázek 37 - Opevněný, otevřený příkop, staničení 55–60 m.....	38
Obrázek 38 - Pohled na rybníček na návsi (MVN č.3) z roku 2016.....	47

Obrázek 39 - Pohled na rybníček na návsi (MVN č.3) z roku 2013	47
Obrázek 40 - Výřez z Mapy, plocha F ₂ znázorněna oranžově a plocha F ₁ modře.....	50
Obrázek 41: Pohled na zarostlý průtočný profil HOZ (Větev 2)	52
Obrázek 42 - Rozdělení povodí na tři části. Modrá část - F ₅ , Červená část - F ₆ , Zelená část - F ₇ , v obrázku je navíc znázorněna poloha navržené suché nádrže.....	59
Obrázek 43 - Charakteristické čáry suché nádrže [10]	60
Obrázek 44 - Průběh povodňové vlny [10]	61
Obrázek 45 - Transformace povodně suchou nádrží [10]	62

7. Přílohy

PŘÍLOHA 1 - Situace širších vztahů (1: 50 000)

PŘÍLOHA 2 – Situace – stávající stav (1: 5 000)

PŘÍLOHA 3 – Podélný profil Kbelanského potoka (1:2 500/500)

PŘÍLOHA 4 – Situace – Návrh řešení PPO, Varianty 1 až 3 (1: 10 000)

PŘÍLOHA 5 – Vzorové příčné řezy (1: 50)