

**České vysoké učení technické v Praze**

**Fakulta stavební**

**Katedra hydrotechniky**



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

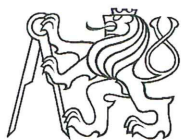
**Ekonomické posouzení protipovodňových opatření  
ve Štěpánovicích**

**Economic assessment of the flood protection measures  
in Štěpánovice**

**Vedoucí bakalářské práce: Ing. Martin Horský, Ph.D.**

**květen 2018**

**David Vágner**

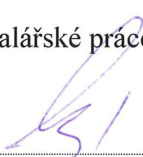
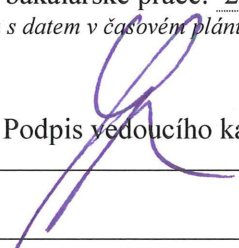


## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Vágner</u>	Jméno: <u>David</u>	Osobní číslo: <u>438387</u>
Zadávací katedra: <u>K142 - Katedra hydrotechniky</u>		
Studijní program: <u>Stavební inženýrství - B3651</u>		
Studijní obor: <u>Vodní hospodářství a vodní stavby - 3647R015</u>		

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: <u>Ekonomické posouzení protipovodňových opatření ve Štěpánovicích</u>	
Název bakalářské práce anglicky: <u>Economic assessment of the flood protection measures in Štěpánovice</u>	
Pokyny pro vypracování: Proveďte rizikovou analýzu - výpočet potenciálních povodňových škod a povodňových rizik ve Štěpánovicích (u Tišnova) na Svratce pro současný stav a pro navržené varianty protipovodňových opatření (VRV a.s.). Povodňová rizika vyjádřete pomocí kvantitativní metody výpočtu potenciálních povodňových škod a pomocí semikvantitativní metody matice rizika (Drbal a kol. 2012) na základě aktualizovaných záplavových území. V rámci uplatnění metod vytvořte i mapy povodňových rizik. V případě potřeby navrhněte rámcově další možnosti zefektivnění PPO v daném území.	
Seznam doporučené literatury: Horský, M., 2008: Metody hodnocení potenciálních povodňových škod a jejich aplikace pomocí prostředků GIS, disertační práce, ČVUT. Drbal, K. a kol.: 2012: Metodika tvorby map povodňového nebezpečí a povodňových rizik, VÚV TGM.	
Jméno vedoucího bakalářské práce: <u>Ing. Martin Horský, Ph.D.</u>	
Datum zadání bakalářské práce: <u>23. 2. 2018</u>	Termín odevzdání bakalářské práce: <u>27.5.2018</u> <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
 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“.*

<u>2.3.2018</u> Datum převzetí zadání	<u>Vágner</u> Podpis studenta(ky)
--	--------------------------------------

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s metodickým pokynem ČVUT 1/2009 „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

V Praze dne .....

.....

David Vágner

## **Poděkování**

Chtěl bych srdečně poděkovat vedoucímu této bakalářské práce, panu Ing. Martinu Horskému, Ph.D. Za veškeré odborné rady, za jeho přístup a vřelé jednání, za názory a připomínky. Také za znalosti, které mi předal při docházení na jím vyučované předměty.

## **ABSTRAKT**

Předmětem této bakalářské práce je ekonomické posouzení protipovodňového opatření ve Štěpánovicích na řece Svatce. Posouzení bude provedeno pro čtyři varianty protipovodňového opatření. V závěru bude vyhodnoceno a navrženo optimální řešení. Budou vytvořeny mapy ohrožení a mapy rizik pro stávající stav a stav s protipovodňovým opatřením.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Štěpánovice u Tišnova, povodňová škoda, protipovodňová opatření, riziková analýza, ekonomické posouzení

## **ABSTRAKT**

The subject of this bachelor thesis is economic assessment of flood protection measure in Stepanovice on the river Svatka. The economic assessment will be carried out for four different variants of flood protection measures. At the end, an optimal solution will be evaluated and proposed. Threat maps and risk maps for the current status and flood protection status will be created.

## **KEY WORDS**

Štěpánovice u Tišnova, flood damage, flood protection measures, risk analysis, economic assessment

## OBSAH

1.	Úvod.....	3
2.	Seznam zkratk .....	4
3.	Charakteristika lokality .....	5
3.1	Vodní tok – řeka Svratka .....	5
3.1.1	Povodí toku .....	5
3.1.2	Hydrologické poměry.....	6
3.1.3	Zájmová oblast, objekty na toku .....	6
3.2	Obec Štěpánovice .....	8
3.2.1	Zájmová oblast .....	9
3.2.2	Současný stav ochrany .....	9
4.	Návrh PPO.....	11
4.1	PPO varianta 1 .....	11
4.2	PPO varianta 2 .....	12
4.3	PPO varianta 3 .....	12
4.4	PPO varianta 4 .....	12
4.5	Vyjádření SŽDC a PMo.....	13
5.	Metody řešení.....	14
5.1	Kvantitativní vyjádření – stanovení potenciální škody.....	14
5.1.1	Princip stanovení potenciálních povodňových škod .....	14
5.1.2	Výpočet hodnoty povodňového rizika .....	14
5.1.3	Objekty .....	14
5.1.4	Poměrový ukazatel efektivnosti PPO.....	14
5.2	Semikvantitativní vyjádření – metoda matice rizika .....	15

5.2.1	Kvantifikace povodňového nebezpečí – výpočet intenzity povodně .....	15
5.2.2	Stanovení míry povodňového ohrožení.....	16
5.2.3	Výstupy metody matice rizika.....	17
6.	posouzení efektivity.....	18
6.1	PPO varianta 1 .....	19
6.2	PPO varianta 2 .....	21
6.3	PPO varianta 3 .....	23
6.4	PPO varianta 4 .....	25
6.5	Shrnutí posouzení efektivity navržených variant .....	27
7.	Výsledky metody matice rizik.....	28
8.	Závěr.....	29
9.	Literatura a zdroje .....	30
10.	Seznam obrázků .....	31
11.	Seznam tabulek .....	32
12.	Seznam příloh.....	33

# 1. ÚVOD

Jako zaměření své bakalářské práce jsem si vybral práci s Geografickými informačními systémy (GIS). Poprvé jsem se s touto tematikou potkal ve škole v rámci volitelně vyučovaných předmětů. Náplň hodin mě velice zaujala a můj zájem o tyto nástroje vzrostl, když jsem prohloubil povědomí a začal prostředky GIS nacházet ve vodohospodářské praxi, u nejrůznějších témat a úkonů.

Tématem této práce bylo především posoudit ekonomickou efektivnost jednotlivých variant návrhů protipovodňové ochrany v obci Štěpánovice u Tišnova, které byly navrženy v rámci studie zpracovávané vodohospodářskou akciovou společností Vodohospodářský rozvoj a výstavba.

Během vytváření bakalářské práce jsem pracoval se systémem ArcGIS a jeho aplikacemi ArcMap, ArcCatalog a ArcToolbox. Na základě dat, které jsem spočetl v rozhraní těchto aplikací jsem mohl vyjádřit povodňové škody pro jednotlivé povodňové průtoky stávajícího stavu a potenciální povodňové škody při navržených protipovodňových opatřeních. Po porovnání těchto výsledků jsem došel dle daných metodických postupů k vyhodnocení ekonomické efektivnosti jednotlivých PPO.

Dalším úkolem v rámci této práce bylo vytvořit mapy povodňového ohrožení a mapy povodňových rizik pro území dané obce.

Důležitým předpokladem pro zpracování tématu ekonomického posouzení a tvorby zmíněných map byla základní znalost ArcGIS programů a nastudování metodiky k daným úkonům.

V závěru práce jsem zhodnotil výsledky, a doporučil optimální řešení pro danou oblast a situaci ze zadaných návrhů PPO.



## 2. SEZNAM ZKRATEK

PPO	Protipovodňové opatření
GIS	Geografické informační systémy
ČÚZK	Český úřad zeměměřičský a katastrální
ZABAGED	Základní báze geografických dat
ZÚ	Záplavové území
IP	Intenzita povodně
Q <sub>N</sub>	Kulminační průtok N-leté povodně jenž je v dlouhodobém průměru dosažen nebo překročen jedenkrát za N let
VRV	Vodohospodářský rozvoj a výstavba, a.s.
Ř.KM	Říční kilometr
SŽDC	Správa železniční dopravní cesty s.o.
PMo	Povodí Moravy, s.p.

# 3. CHARAKTERISTIKA LOKALITY

Zájmová oblast, pro kterou byla prováděna řešení této práce, tvoří obec Štěpánovice u Tišnova a obcí protékající vodní tok Svratka, který vytváří povodňové ohrožení.

## 3.1 Vodní tok – řeka Svratka

Svratka je významný vodní tok, který pramení nedaleko Žďáru nad Sázavou, v nadmořské výšce 823 m n. m. Protéká krajem Vysočina a Jihomoravským krajem. Jedná se o nejvýznamnější vodní tok protékající městem Brno. Na toku se nachází dvě významná vodní díla – v.n. Vír a Brněnská přehrada.

### 3.1.1 Povodí toku

Plocha povodí Svratky se rozprostírá na více než 7000 km<sup>2</sup>. Délka toku činí necelých 174 km. Jedná se o významný levobřežní přítok Dyje.



Obrázek 3-1: Vodní tok Svratka s vyznačením lokace zájmového území pro tuto práci

### 3.1.2 Hydrologické poměry

Pro hydrologický profil Svratka-Loučka (ř.km 79,3), nacházející se pod obcí Štěpánovice, jsou známy tyto údaje N-letých průtoků v  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ : (1)

Q <sub>5</sub>	Q <sub>20</sub>	Q <sub>100</sub>
79,5	117,8	168

Tabulka 3.1: N-leté průtoky v profilu Svratka-Loučka

### 3.1.3 Zájmová oblast, objekty na toku

Pro účely bakalářské práce byl nejdůležitější tříkilometrový úsek vodního toku, na kterém se nachází obec Štěpánovice. Jedná se o ř.km 79,000 – 82,000. Pro tento úsek byly řešeny jednotlivé úkoly této práce. Koryto vodního toku je zde převážně přímé.



Obrázek 3-2: Vodní tok Svratka v obci Štěpánovice



V této práci byla použita, jako podklady pro výpočty, data vygenerovaná z 2D matematického modelu, který byl vytvořen v rámci studie protipovodňových opatření společností VRV, a.s. Matematický model popisuje řešenou lokalitu pomocí příčných profilů a výpočetní sítě. Rozsah modelu byl vytvořen pro celou zájmovou oblast obce Štěpánovice.

Z matematického modelu jsem pro výpočty použil mapy hloubek a rychlostí a mapy rozlivů jednotlivých povodňových scénářů  $Q_5$ ,  $Q_{20}$  a  $Q_{100}$  pro stávající stavy a všechny návrhové varianty protipovodňového opatření.



Obrázek 3-3: Plochy rozlivů  $Q_5$ ,  $Q_{20}$  a  $Q_{100}$  pro stávající stav v obci Štěpánovice

Nad obcí se do řeky vlévá Kalský potok, pod obcí potom významnější přítok – vodní tok Loučka.

Na tomto se úseku vodního toku se jako významnější objekt nachází silniční most, který propojuje levobřežní a pravobřežní část obce Štěpánovice.

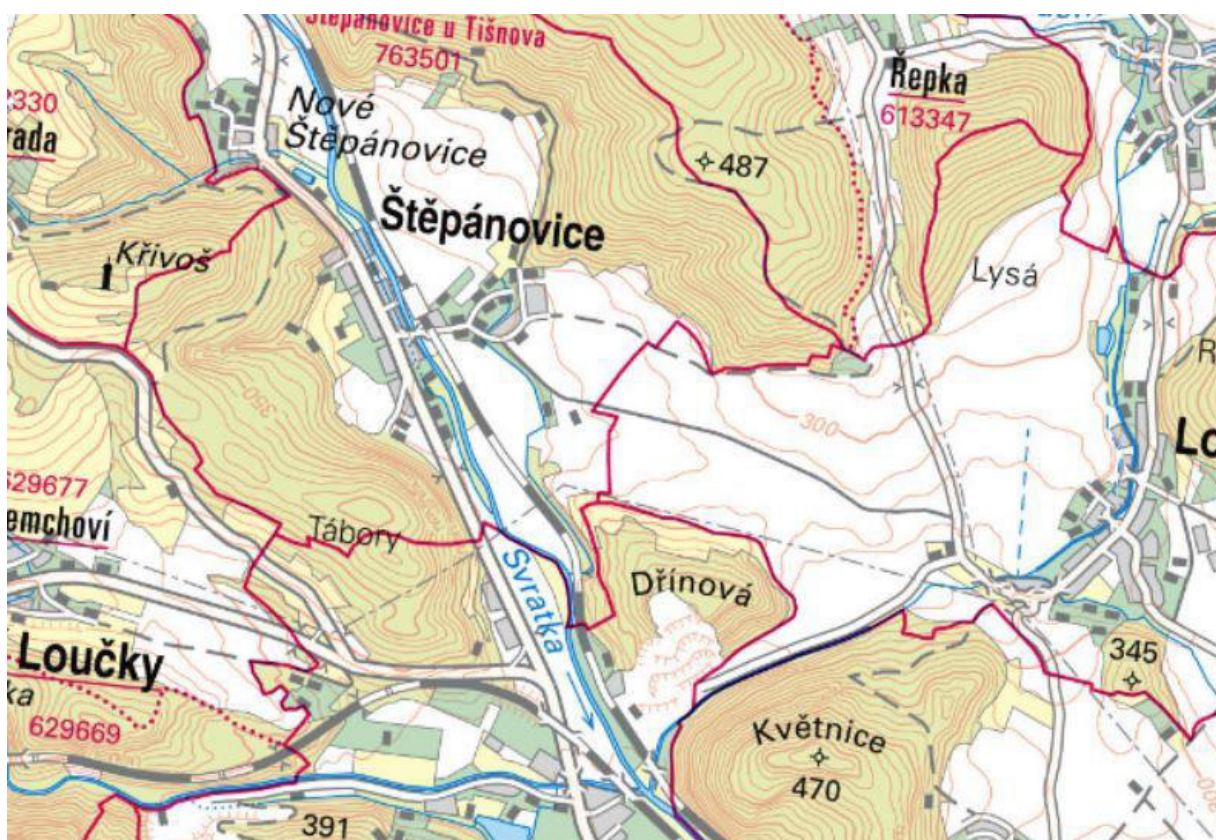
Nad obcí se nachází na vodním toku zbytky rozbořeného jezu, který vzdouvá vodu pro náhon protékající obcí a ústící zpět do Svratky pod obcí.

## 3.2 Obec Štěpánovice

Obec Štěpánovice se leží v Jihomoravském kraji, asi 4 km severozápadně od obce s rozšířenou působností – Tišnova.

Obec se rozkládá přibližně na 500 ha s průměrnou nadmořskou výškou 260 m n. m.

V obci trvale žije okolo 500 obyvatel.



Obrázek 3-4: Obec Štěpánovice



### 3.2.1 Zájmová oblast

V řešené oblasti se s převahou nachází především budovy rodinných domů. Významnou liniovou stavbou je železniční trať, která vyvýšeným železničním náspelem lemuje levý břeh řeky Svratky a vytváří na něm umělou hráz podél celé délky toku, kterou Svratka protéká obcí Štěpánovice. Železniční násep není ani při  $Q_{100}$  přeléván. V železničním náspu se nacházejí 4 propustky, které významně ovlivňují rozliv vodního toku při průchodu zvýšených průtoků. Skrz propustky se za železničním náspelem vytvoří zpětné vzdutí a ohrožuje zástavbu na levém břehu.

Obcí také prochází silniční komunikace.



Obrázek 3-5: Příklad propustku pod železničním tělesem

### 3.2.2 Současný stav ochrany

Současná ochrana obce Štěpánovice před povodněmi spočívá v pravobřežním ohrázování a opatření na propustcích.

Tato opatření však nejsou dostačující. Ochrana levobřežní zástavby dosahuje na míru ochrany kolem  $Q_5$ , ochrana pravobřežního intravilánu ani na tuto hodnotu.

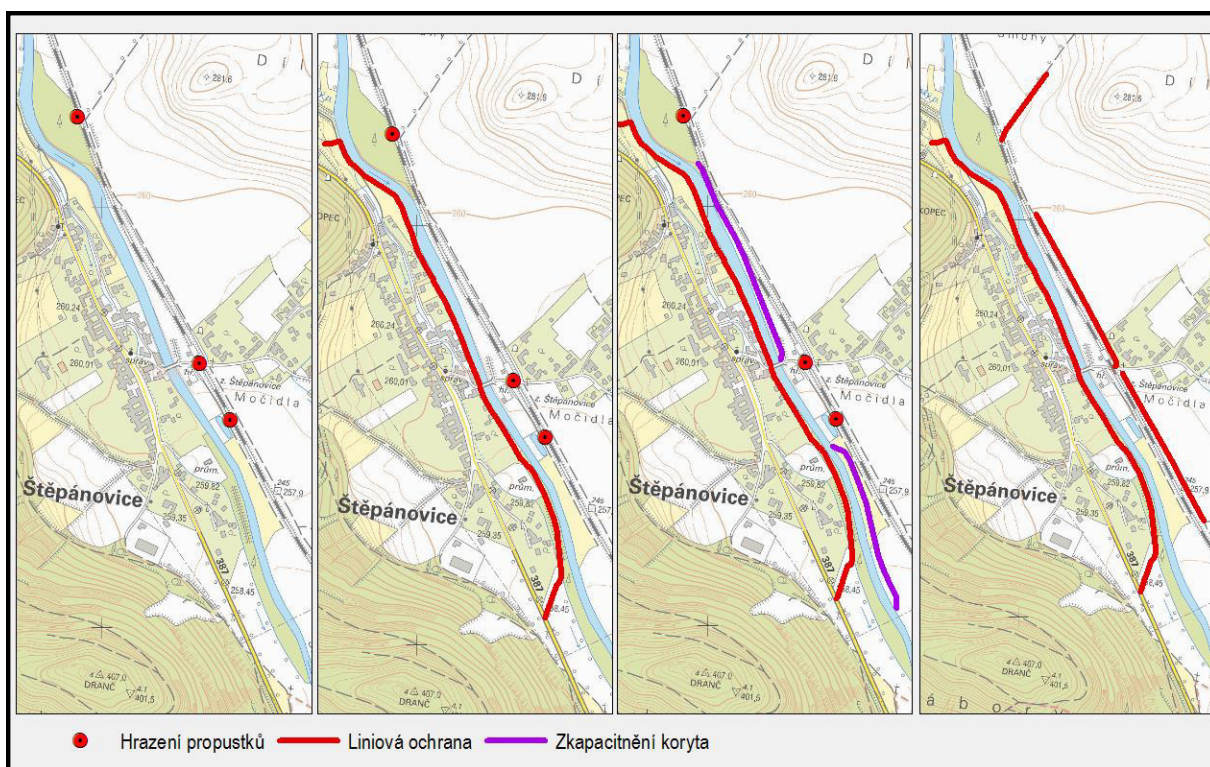


## 4. NÁVRH PPO

Návrh PPO byl proveden v rámci studie „PROTIPOVODŇOVÉ OPATŘENÍ OBCE ŠTĚPÁNOVICE – INVESTIČNÍ ZÁMĚR“ (1) pracovníky VRV, a.s.

Zadavatelem této studie je sama obec Štěpánovice.

Zahrnuje 4 variantní řešení.



Obrázek 4-1: Varianty navrhovaného protipovodňového opatření 1-4

### 4.1 PPO varianta 1

Toto řešení se zaměřuje pouze na ochranu levého inundačního území.

První varianta PPO počítá se zahrazením tří propustků v železničním náspu, čímž dojde k ochraně levobřežní zástavby. Bude se tomu dít i díky skutečnosti, že při povodňovém scénáři nedochází k přelítí železničního tělesa. Propustky jsou hrazeny na návodní straně. V levém inundačním území se při zahrazení propustků vytvoří bezodtoké oblasti, ty budou řešeny v rámci varianty 1 pomocí odčerpání.



Varianta 1 využívá, po zahrazení propustků, železniční násep jako prvek protipovodňové ochrany, tuto funkci však primárně železniční těleso nese.

Cena tohoto návrhu PPO je odborně odhadnuta na 2 730 000 Kč a počítá s mírou ochrany levého inundačního území na  $Q_{100}$ , pravobřežní zástavba s ochranou pod  $Q_5$ .

Všechny následující varianty nabízejí míru ochrany obou břehů na  $Q_{100}$ .

## 4.2 PPO varianta 2

Varianta 2 se již, na rozdíl od první, zaměřuje na ochranu celého intravilánu obce.

Levobřežní zástavba je chráněna stejně jako v předchozím návrhu, pomocí hrazení tří propustků v železničním tělese.

K ochránění pravého inundačního území je navržena výstavba ochranných zdí a hrází a navýšení stávající hráze na kótu stoleté povodně, s převýšením 50 cm. U zdí se počítá s převýšením 30 cm nad kótu  $Q_{100}$ .

Odhad ceny byl stanoven na 28 730 000 Kč.

## 4.3 PPO varianta 3

Třetí variantní řešení obsahuje stejné návrhové prvky protipovodňové ochrany jako varianta 2. Navíc však počítá s levobřežním zkapacitněním koryta a vytvoření levobřežní bermy s maximální šířkou až 15 m. Cena byla odhadnuta na 35 230 000 Kč, jedná se o nejdražší variantní řešení.

Zkapacitnění zasahuje do ochranného pásma železničního tělesa.

## 4.4 PPO varianta 4

Tento návrh řeší ochranu pravého inundačního území obdobně jako předešlé varianty pomocí výstavby hrází, zdí a navýšením stávajícího ohrazování.

Levé inundační území však chrání bez použití varianty s hrazením propustků v železničním tělese. Namísto toho dojde k vytvoření protipovodňových valů v trasách nezpevněných cest.

Skrz propustky dojde ke zpětnému vzduť vody za železničním tělesem, avšak rozliv bude zachycen protipovodňovými valy. Mezi valy a tokem zůstanou retenční prostory.

Tato varianta byla odhadnuta na 34 450 000 Kč.

## 4.5 Vyjádření SŽDC a PMo

Všechna variantní řešení PPO byla projednána se správcem toku Povodím Moravy, s.p. a se správcem železničního tělesa Správou železniční dopravní cesty, s.o.

Povodí Moravy, s.p. vybralo jako ideální variantu, z pohledu správce toku, návrh 3 s vytvořením levobřežní bermy.

Avšak SŽDC s.o. jako vhodnou variantu z navržených možností opatření vybralo variantu 4.

Zároveň uvedla, že železniční těleso nemůže sloužit jako prvek protipovodňové ochrany.  
(1)

## 5. METODY ŘEŠENÍ

### 5.1 Kvantitativní vyjádření – stanovení potenciální škody

Stanovení probíhá metodou tzv. Ztrátových křivek. Jde o vyčíslení potenciálních povodňových škod pro původní stav území bez protipovodňové ochrany pro jednotlivé povodňové scénáře a stejně tak vyčíslení škod pro navržený stav s protipovodňovou ochranou.

Škody stanovujeme v různých kategoriích, např. stavební objekty, mosty, průmysl, aj.

#### 5.1.1 Princip stanovení potenciálních povodňových škod

Potenciální škody se určují jako součin množství či velikosti zasaženého objektu, jednotkové ceny měrné jednotky dle hodnocené kategorie a ztráta pro jednotlivé kategorie vyjádřena v závislosti na hloubce zaplavení.

#### 5.1.2 Výpočet hodnoty povodňového rizika

Dále stanovujeme míru povodňového rizika. To vyplývá z povodňových škod a pravděpodobnosti jejich vzniku.

Riziko se dá také popsat jako průměrné roční finanční náklady potřebné na obnovu povodňových škod z dlouhodobého hlediska.

Stanovená průměrná povodňová hodnota riziko se použije pro výpočet současné hodnoty rizika, podělením tzv. diskontní sazbou, která činí 3 %.

#### 5.1.3 Objekty

Potenciální škody se stanovují pro různé kategorie jako jsou budovy, vybavení budov, sportovní plochy, pozemní komunikace, inženýrské sítě, mosty, zemědělství, průmysl.

V mém výpočtu nebyla kategorie mosty uvažována, ač se Štěpánovicích nachází silniční most. Ten ovšem není ani při  $Q_{100}$  celý přeléván a škoda na něm způsobená je pro stávající i návrhový stav velice podobná, proto se hodnoty odečtou.

#### 5.1.4 Poměrový ukazatel efektivnosti PPO

Poměrový ukazatel efektivnosti vyjadřuje poměrnou ekonomickou efektivnost investice. Vyjadřuje poměr, kdy v čitateli je redukce současné hodnoty rizika vlivem realizace PPO a ve

jmenovateli je hodnota celkových nákladů na PPO. Pokud ukazatel nabývá hodnoty nad 1, jde z dlouhodobého hlediska o rentabilní investici (2)

## 5.2 Semikvantitativní vyjádření – metoda matice rizika

Jde o velice jednoduchou metodu hodnocení ohrožení a rizika povodně. Výsledky jsou vyjádřeny pomocí barevného škálování a barevného označení. Ohrožení je bráno jako pravděpodobnost výskytu povodňového scénáře neboli intenzity povodně. Intenzita povodně závisí především na rychlosti vody a hloubce zaplavení. Povodňové riziko jako funkce doby opakování a intenzity povodně je definováno pomocí matice rizika. (2)

### 5.2.1 Kvantifikace povodňového nebezpečí – výpočet intenzity povodně

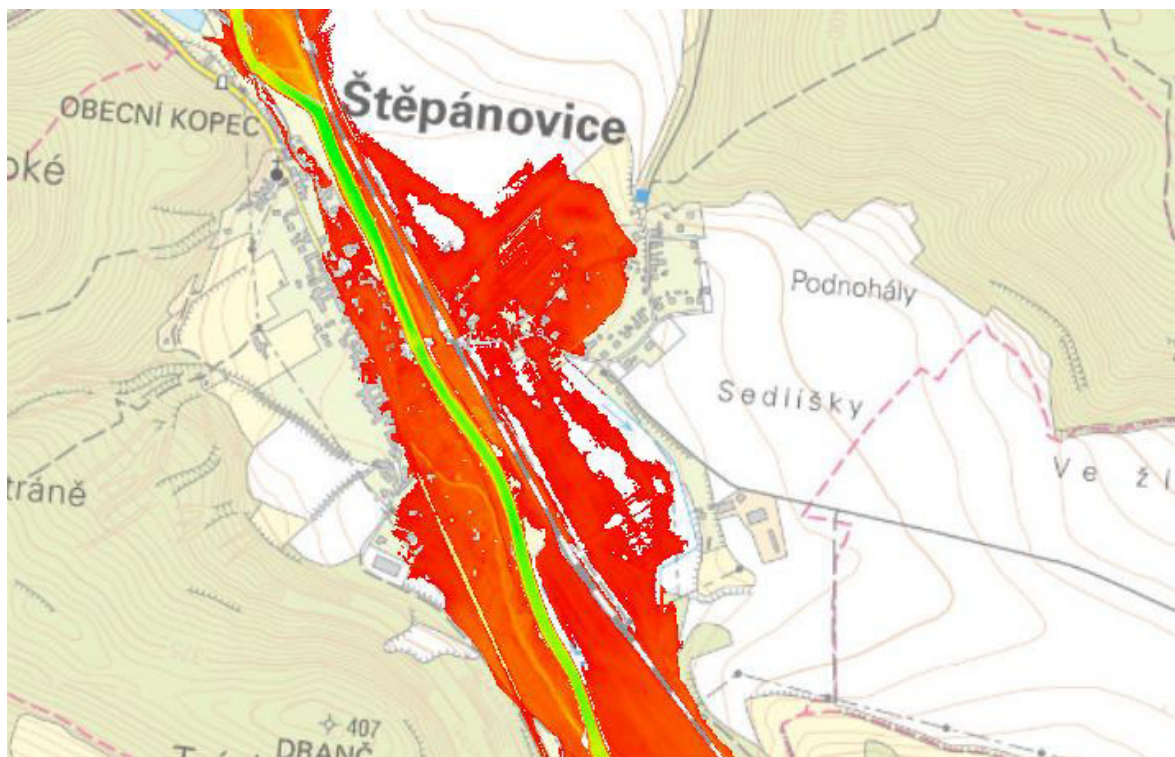
Intenzita povodně IP je definována jako funkce hloubky zaplavení h a rychlosti vody v. Funkce je vyjádřena pomocí následujícího vztahu. (2)

$$IP = \left\{ \begin{array}{ll} 0 & h = 0[m] \\ h & h > 0[m], v \leq 1[m/s] \\ h \times v & v > 1 [m/s] \end{array} \right\}$$

Obrázek 5-1: Vztah funkce intenzity povodně

Mapy hloubek a rychlostí byly vygenerovány z 2D modelu vytvořeného v rámci protipovodňové studie. (1)

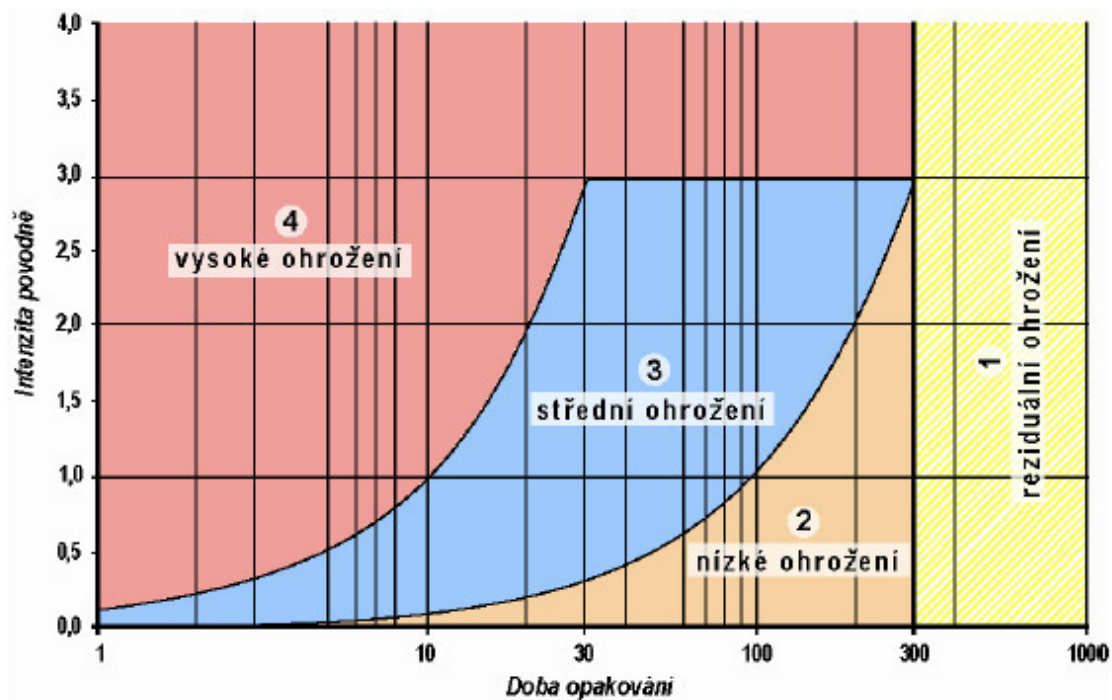
Jako výsledek tohoto kroku jsem získal rastr intenzity povodně pro jednotlivé povodňové scénáře.



Obrázek 5-2: Intenzita povodně pro Q100 - stávající stav

### 5.2.2 Stanovení míry povodňového ohrožení

Ohrožení RI je vyjádřeno jako funkce hodnoty pravděpodobnosti výskytu povodňového scénáře a intenzity povodně. Stanovit lze též graficky pomocí matice rizika. Poté určíme maximální ohrožení RI a výstupem je opět rastr.



Obrázek 5-3: Matice rizika (4)

### 5.2.3 Výstupy metody matice rizika

Výsledky semikvantitativní metody zobrazovány pomocí map ohrožení a map rizik.

Mapa ohrožení vyjadřuje povodňové ohrožení v záplavovém území pomocí barevné škály. Díky této mapě můžeme posoudit budoucí využití ploch v daném území a případně omezit některé záměry v oblastech s vyšší mírou ohrožení.

Mapy rizik kombinují údaje o ohrožení s informacemi o zranitelnosti objektů v daném území. Plochy pro objekty jsou převzaty územního plánu a pro každou je vyznačena dosažená hodnota ohrožení v barevné škále.

## 6. POSOUZENÍ EFEKTIVNOSTI

Výsledky ekonomických posouzení byly pro přehlednost zpracovány do následujících tabulek a grafu.

První udává výši vypočítaných škod vždy pro stávající stav a pro návrhovou variantu PPO u daného povodňového stavu. Výsledkem této tabulky je průměrné roční povodňové riziko  $R$ , které v zájmovém území hrozí a vyjadřuje výši škod za rok. Kapitálové riziko představuje výši škod z dlouhodobého pohledu.

Druhá udává znovu hodnotu ročního rizika a současného neboli kapitálového rizika. Poměrový ukazatel vyjadřuje poměrnou ekonomickou efektivnost PPO. Pokud je PU větší než 1 je investice ekonomicky efektivní. Absolutní efektivnost je vyjádřena v mil. Kč a vyjadřuje rozdíl současného rizika a kapitalizovaného rizika s PPO spolu s cenou PPO. PPO je efektivní, pokud je absolutní efektivnost kladná. Doba návratnosti nám v letech říká, kdy se nám investice začne vracet. Maximální investiční náklad je rozdíl současného a návrhového rizika v mil. Kč a vyjadřuje maximální možnou investici na pořízení PPO, tak aby investice byla stále efektivní.

Příložený graf ukazuje výši povodňových škod pro současný stav a variantu PPO v závislosti na době opakování povodně a plocha mezi křivkami je množství ochráněného majetku daným PPO.

## 6.1 PPO varianta 1

typ škody	parametr	SOUČASNÝ STAV - Q <sub>100</sub>			NÁVRHOVÝ STAV - Q <sub>100</sub>		
		Q <sub>5</sub>	Q <sub>20</sub>	Q <sub>100</sub>	Q <sub>5</sub>	Q <sub>20</sub>	Q <sub>100</sub>
budovy	budovy (m <sup>2</sup> )	830	6 451	23 614	830	6 451	18 715
	počet budov	5	30	79	5	46	46
	škoda (Kč)	739 597	5 915 781	22 006 959	739 597	5 915 781	17 434 927
vybavení budov	vybavení budov (m <sup>2</sup> )	0	0	1 702	0	101	1 588
	škoda (Kč)	0	0	3 191 146	0	190 234	2 977 226
sportovní plochy	sportovní plochy (m <sup>2</sup> )	4 940	5 483	5 564	4 940	5 483	5 564
	škoda (Kč)	2 781 108	3 086 891	3 132 599	2 781 108	3 086 891	3 132 599
pozemní komunikace	silnice, dálnice (m <sup>2</sup> )	0	2 426	6 586	0	2 426	6 691
	ulice (m <sup>2</sup> )	562	6 012	13 599	562	6 012	10 604
	cesta (m <sup>2</sup> )	5 570	6 588	8 571	3 736	3 837	4 848
	parkoviště (m <sup>2</sup> )	0	0	0	0	0	0
	škoda (Kč)	719 973	1 696 122	3 199 060	451 292	1 288 901	2 331 144
inženýrské sítě	inženýrské sítě (m)	2 052	3 384	5 510	1 316	2 273	3 621
	škoda (Kč)	336 474	554 999	903 649	215 757	372 793	593 792
mosty	mosty (ks)	0	0	0	0	0	0
	škoda (Kč)	0	0	0	0	0	0
zemědělství	zemědělství (ha)	34.8	50.7	69.6	29.1	40.4	47.3
	škoda (Kč)	382 985	557 915	766 145	319 897	444 403	519 765
průmysl	plocha budov (m <sup>2</sup> )	0	0	0	0	0	0
	škoda (Kč)	0	0	0	0	0	0

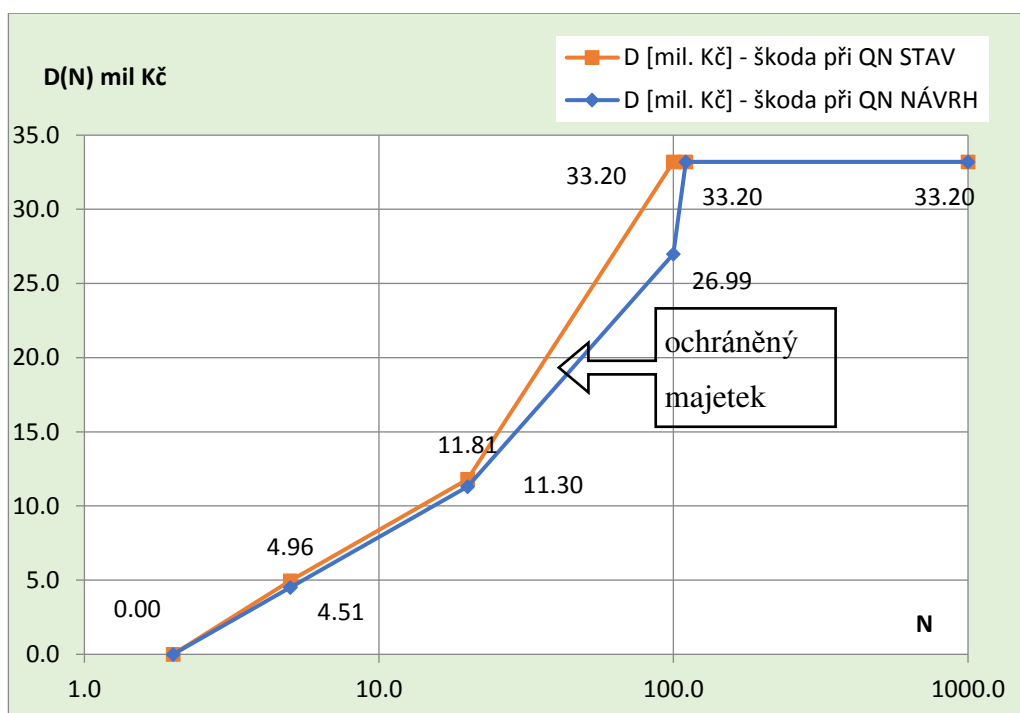
celková škoda	(Kč)	4 960 137	11 811 708	33 199 558	4 507 652	11 299 004	26 989 454
celková škoda	(mil. Kč)	4.96	11.81	33.20	4.51	11.30	26.99
roční riziko dle N letosti	(mil. Kč/rok)	0.63	1.14	0.79	0.57	1.07	0.69
průměrné roční riziko	(mil. Kč/rok)	2.86			2.63		
diskontní sazba	%	3.0			3.0		
kapitalizované riziko	(mil. Kč)	95.5			87.6		

Tabulka 6.1: Výše škod pro stávající a návrhový stav 1



		souč. stav	návrh. stav	jednotky
Průměrné roční riziko	R	2.86	2.63	mil. Kč/rok
Diskontní sazba	DS	3	3	%
Současná hodnota rizika	RS	95.46	87.56	mil. Kč
Maximální investiční náklady	l <sub>max</sub>	-	7.90	mil. Kč
Investiční náklady na PPO	I	0	2.73	mil. Kč
<b>Poměrový ukazatel efektivity PPO</b>	PU	-	<b>2.89</b>	
<b>Absolutní efektivity</b>	AU	-	<b>5.17</b>	mil. Kč
<b>Doba návratnosti</b>	DN	-	<b>11.52</b>	roky

Tabulka 6.2: Výsledky ekonomické efektivity PPO 1



Obrázek 6-1: Výše škod při jednotlivých N-letostech

Varianta PPO 1 vychází velice dobře z hlediska ekonomického. Ekonomický ukazatel je výrazně větší než 1 a doba návratnosti je relativně nízká, především díky nízké nákladnosti daného opatření.

Na co je ovšem třeba poukázat je, že varianta 1 ochrání jen malé množství majetku, především na pravém břehu. To lze vyčíst i z předešlého grafu, kde můžeme vidět, že plocha mezi křivkami škod při návrhovém a stávajícím stavu tvoří množství ochráněného majetku. Tato plocha je u varianty 1 velice malá.

## 6.2 PPO varianta 2

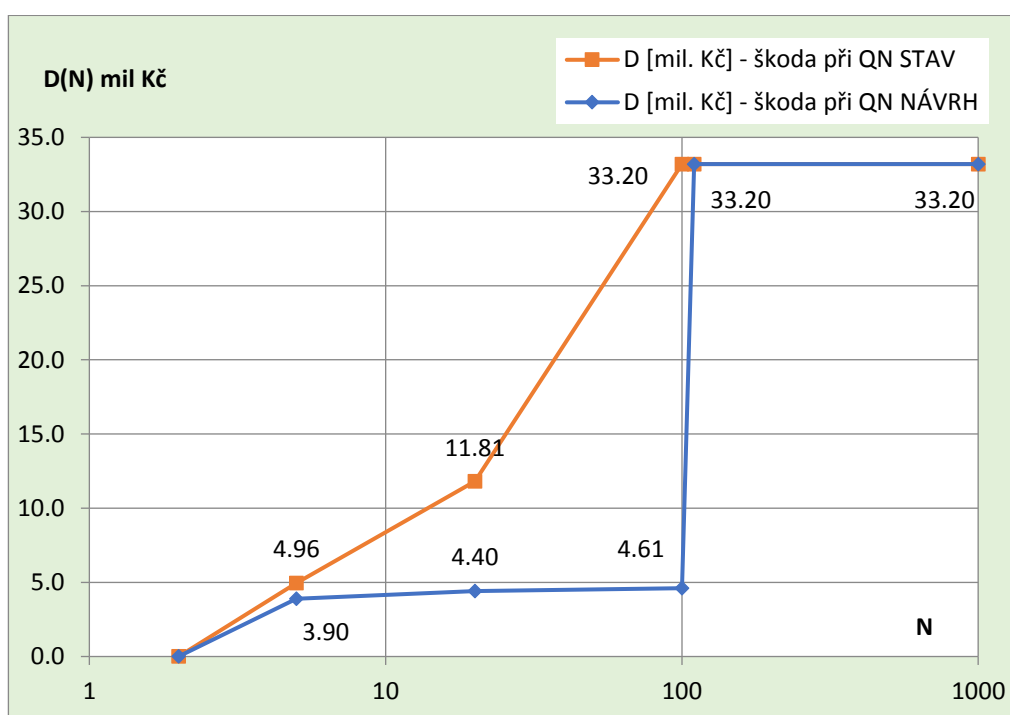
typ škody	parametr	SOUČASNÝ STAV - Q <sub>100</sub>			NÁVRHOVÝ STAV - Q <sub>100</sub>		
		Q <sub>5</sub>	Q <sub>20</sub>	Q <sub>100</sub>	Q <sub>5</sub>	Q <sub>20</sub>	Q <sub>100</sub>
budovy	budovy (m <sup>2</sup> )	830	6 451	23 614	151	151	151
	počet budov	5	30	79	2	2	2
	škoda (Kč)	739 597	5 915 781	22 006 959	134 938	202 378	202 378
vybavení budov	vybavení budov (m <sup>2</sup> )	0	0	1 702	0	0	0
	škoda (Kč)	0	0	3 191 146	0	0	0
sportovní plochy	sportovní plochy (m <sup>2</sup> )	4 940	5 483	5 564	4 940	5 515	5 736
	škoda (Kč)	2 781 108	3 086 891	3 132 599	2 781 108	3 105 079	3 229 221
pozemní komunikace	silnice, dálnice (m <sup>2</sup> )	0	2 426	6 586	0	0	0
	ulice (m <sup>2</sup> )	562	6 012	13 599	562	608	686
	cesta (m <sup>2</sup> )	5 570	6 588	8 571	3 736	3 843	4 065
	parkoviště (m <sup>2</sup> )	0	0	0	0	0	0
	škoda (Kč)	719 973	1 696 122	3 199 060	451 292	467 404	505 004
inženýrské sítě	inženýrské sítě (m)	2 052	3 384	5 510	1 316	1 357	1 451
	škoda (Kč)	336 474	554 999	903 649	215 757	222 572	237 940
mosty	mosty (ks)	0	0	0	0	0	0
	škoda (Kč)	0	0	0	0	0	0
zemědělství	zemědělství (ha)	34.8	50.7	69.6	28.8	36.9	39.6
	škoda (Kč)	382 985	557 915	766 145	316 961	405 472	435 153
průmysl	plocha budov (m <sup>2</sup> )	0	0	0	0	0	0
	škoda (Kč)	0	0	0	0	0	0

celková škoda	(Kč)	4 960 137	11 811 708	33 199 558	3 900 056	4 402 904	4 609 696
celková škoda	(mil. Kč)	4.96	11.81	33.20	3.90	4.40	4.61
roční riziko dle N letosti	(mil. Kč/rok)	0.63	1.14	0.79	0.50	0.61	0.18
průměrné roční riziko	(mil. Kč/rok)	2.86			1.58		
diskontní sazba	%	3.0			3.0		
kapitalizované riziko	(mil. Kč)	95.5			52.5		

Tabulka 6.3: Výše škod pro stávající a návrhový stav 2

		souč. stav	návrh. stav	jednotky
Průměrné roční riziko	R	2.86	1.58	mil. Kč/rok
Diskontní sazba	DS	3	3	%
Současná hodnota rizika	RS	95.46	52.53	mil. Kč
Maximální investiční náklady	l <sub>max</sub>	-	42.92	mil. Kč
Investiční náklady na PPO	I	0	28.73	mil. Kč
<b>Poměrový ukazatel efektivity PPO</b>	PU	-	<b>1.49</b>	
<b>Absolutní efektivity</b>	AU	-	<b>14.19</b>	mil. Kč
<b>Doba návratnosti</b>	DN	-	<b>22.31</b>	roky

Tabulka 6.4: Výsledky ekonomické efektivity PPO 2



Obrázek 6-2: Výše škod při jednotlivých N-letostech

Varianta PPO 2 ochrání oproti první variantě mnohem více majetku. Vyplývá to z faktu, že oba břehy chrání na  $Q_{100}$ . Proto zbydou v návrhovém stavu již pouhé dva objekty.

Variantu můžeme zhodnotit jako velice efektivní, neboť poměrový ukazatel je větší, jak jedna a doba návratnosti není přespříliš vysoká.

### 6.3 PPO varianta 3

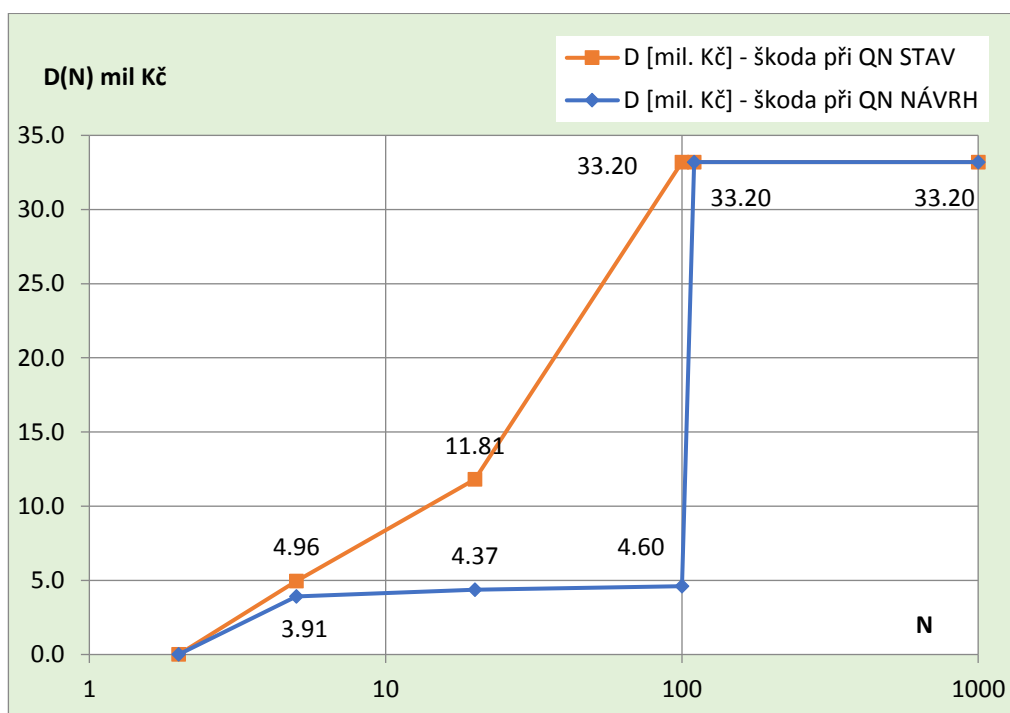
typ škody	parametr	SOUČASNÝ STAV - Q <sub>100</sub>			NÁVRHOVÝ STAV - Q <sub>100</sub>		
		Q <sub>5</sub>	Q <sub>20</sub>	Q <sub>100</sub>	Q <sub>5</sub>	Q <sub>20</sub>	Q <sub>100</sub>
budovy	budovy (m <sup>2</sup> )	830	6 451	23 614	151	151	151
	počet budov	5	30	79	2	2	2
	škoda (Kč)	739 597	5 915 781	22 006 959	134 938	167 101	202 378
vybavení budov	vybavení budov (m <sup>2</sup> )	0	0	1 702	0	0	0
	škoda (Kč)	0	0	3 191 146	0	0	0
sportovní plochy	sportovní plochy (m <sup>2</sup> )	4 940	5 483	5 564	4 940	5 515	5 736
	škoda (Kč)	2 781 108	3 086 891	3 132 599	2 781 108	3 105 096	3 229 237
pozemní komunikace	silnice, dálnice (m <sup>2</sup> )	0	2 426	6 586	0	0	0
	ulice (m <sup>2</sup> )	562	6 012	13 599	562	608	686
	cesta (m <sup>2</sup> )	5 570	6 588	8 571	3 736	3 815	4 012
	parkoviště (m <sup>2</sup> )	0	0	0	0	0	0
	škoda (Kč)	719 973	1 696 122	3 199 060	451 315	464 405	499 473
inženýrské sítě	inženýrské sítě (m)	2 052	3 384	5 510	1 316	1 348	1 433
	škoda (Kč)	336 474	554 999	903 649	215 769	221 011	235 060
mosty	mosty (ks)	0	0	0	0	0	0
	škoda (Kč)	0	0	0	0	0	0
zemědělství	zemědělství (ha)	34.8	50.7	69.6	29.8	37.3	39.8
	škoda (Kč)	382 985	557 915	766 145	327 967	410 082	438 277
průmysl	plocha budov (m <sup>2</sup> )	0	0	0	0	0	0
	škoda (Kč)	0	0	0	0	0	0

celková škoda	(Kč)	4 960 137	11 811 708	33 199 558	3 911 097	4 367 694	4 604 426
celková škoda	(mil. Kč)	4.96	11.81	33.20	3.91	4.37	4.60
roční riziko dle N letosti	(mil. Kč/rok)	0.63	1.14	0.79	0.50	0.61	0.18
průměrné roční riziko	(mil. Kč/rok)	2.86			1.58		
diskontní sazba	%	3.0			3.0		
kapitalizované riziko	(mil. Kč)	95.5			52.5		

Tabulka 6.5: Výše škod pro stávající a návrhový stav 3

		souč. stav	návrh. stav	jednotky
Průměrné roční riziko	R	2.86	1.58	mil. Kč/rok
Diskontní sazba	DS	3	3	%
Současná hodnota rizika	RS	95.46	52.51	mil. Kč
Maximální investiční náklady	Imax	-	42.94	mil. Kč
Investiční náklady na PPO	I	0	35.23	mil. Kč
<b>Poměrový ukazatel efektivity PPO</b>	PU	-	<b>1.22</b>	
<b>Absolutní efektivity</b>	AU	-	<b>7.71</b>	mil. Kč
<b>Doba návratnosti</b>	DN	-	<b>27.35</b>	roky

Tabulka 6.6: Výsledky ekonomické efektivity PPO 3



Obrázek 6-3: Výše škod při jednotlivých N-letostech

Varianta 3 je vychází podobně jako varianta 2, ovšem odhad ceny na výstavbu je o něco vyšší, proto i poměrový ukazatel není o tolik větší než 1, doba návratnosti se prodloužila a hodnota absolutní efektivity klesla.

## 6.4 PPO varianta 4

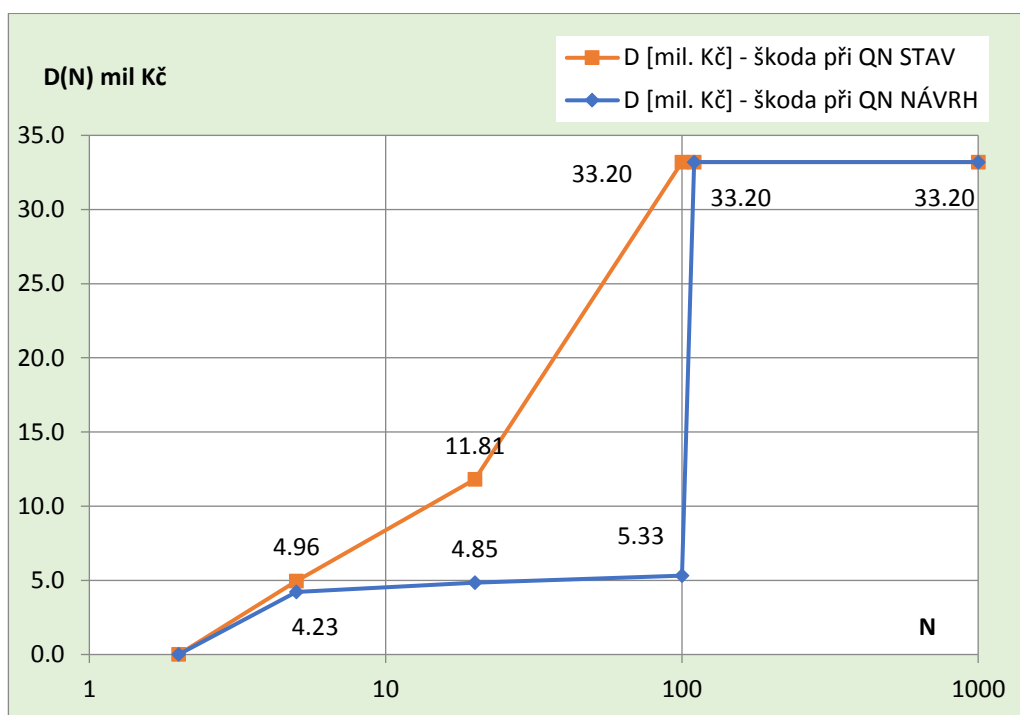
typ škody	parametr	SOUČASNÝ STAV - Q <sub>100</sub>			NÁVRHOVÝ STAV - Q <sub>100</sub>		
		Q <sub>5</sub>	Q <sub>20</sub>	Q <sub>100</sub>	Q <sub>5</sub>	Q <sub>20</sub>	Q <sub>100</sub>
budovy	budovy (m <sup>2</sup> )	830	6 451	23 614	151	151	151
	počet budov	5	30	79	2	2	2
	škoda (Kč)	739 597	5 915 781	22 006 959	134 938	167 101	202 378
vybavení budov	vybavení budov (m <sup>2</sup> )	0	0	1 702	0	0	0
	škoda (Kč)	0	0	3 191 146	0	0	0
sportovní plochy	sportovní plochy (m <sup>2</sup> )	4 940	5 483	5 564	4 940	5 515	5 736
	škoda (Kč)	2 781 108	3 086 891	3 132 599	2 781 091	3 105 079	3 229 221
pozemní komunikace	silnice, dálnice (m <sup>2</sup> )	0	2 426	6 586	0	0	0
	ulice (m <sup>2</sup> )	562	6 012	13 599	562	608	686
	cesta (m <sup>2</sup> )	5 570	6 588	8 571	5 021	5 678	6 960
	parkoviště (m <sup>2</sup> )	0	0	0	0	0	0
	škoda (Kč)	719 973	1 696 122	3 199 060	662 364	778 440	961 242
inženýrské sítě	inženýrské sítě (m)	2 052	3 384	5 510	1 869	2 163	2 665
	škoda (Kč)	336 474	554 999	903 649	306 480	354 701	437 128
mosty	mosty (ks)	0	0	0	0	0	0
	škoda (Kč)	0	0	0	0	0	0
zemědělství	zemědělství (ha)	34.8	50.7	69.6	31.1	40.3	45.0
	škoda (Kč)	382 985	557 915	766 145	341 917	443 596	495 374
průmysl	plocha budov (m <sup>2</sup> )	0	0	0	0	0	0
	škoda (Kč)	0	0	0	0	0	0

celková škoda	(Kč)	4 960 137	11 811 708	33 199 558	4 226 790	4 848 916	5 325 343
celková škoda	(mil. Kč)	4.96	11.81	33.20	4.23	4.85	5.33
roční riziko dle N letosti	(mil. Kč/rok)	0.63	1.14	0.79	0.54	0.67	0.20
průměrné roční riziko	(mil. Kč/rok)	2.86			1.70		
diskontní sazba	%	3.0			3.0		
kapitalizované riziko	(mil. Kč)	95.5			56.5		

Tabulka 6.7: Výše škod pro stávající a návrhový stav 4

		souč. stav	návrh. stav	jednotky
Průměrné roční riziko	R	2.86	1.70	mil. Kč/rok
Diskontní sazba	DS	3	3	%
Současná hodnota rizika	RS	95.46	56.52	mil. Kč
Maximální investiční náklady	l <sub>max</sub>	-	38.93	mil. Kč
Investiční náklady na PPO	I	0	34.45	mil. Kč
<b>Poměrový ukazatel efektivity PPO</b>	PU	-	<b>1.13</b>	
<b>Absolutní efektivity</b>	AU	-	<b>4.48</b>	mil. Kč
<b>Doba návratnosti</b>	DN	-	<b>29.50</b>	roky

Tabulka 6.8: Výsledky ekonomické efektivity PPO 4



Obrázek 6-4: Výše škod při jednotlivých N-letostech

Varianta PPO 4 má výsledcích v porovnání s ostatními variantami nejmenší poměrový ukazatel efektivity, stále však větší než 1. Nejnižší absolutní efektivity a nejdelší dobu návratnosti. Pořád jde však o efektivní variantu návrhu, která chrání oba břehy na Q<sub>100</sub>.

## 6.5 Shrnutí posouzení efektivnosti navržených variant

Ze závěrečné shrnující tabulky pro jednotlivé návrhy PPO můžeme vyčíst, že všechny varianty se ukazují z ekonomického hlediska jako efektivní.

První varianta však neochraňuje obě břehové zástavby na hodnotu stoleté povodně, na rozdíl od ostatních, a zároveň první tři varianty jsou závislé na použití železničního tělesa jako prvku protipovodňového opatření, což je nemožné.

Proto je záhodno, že varianta čtyři, ač její čísla vycházejí v porovnání s ostatními variantami nejhůře, je též ekonomicky efektivní, neboť s případnou realizací se může počítat pouze u této varianty.

		PPO 1	PPO 2	PPO 3	PPO 4
Poměrový ukazatel efektivnosti PPO [-]	PU	2.89	1.49	1.22	1.13
Absolutní efektivnost [mil. Kč]	AU	5.17	14.19	7.71	4.48
Doba návratnosti [roky]	DN	11.52	22.31	27.35	29.50

Tabulka 6.9: Souhrnná tabulka posouzení ekonomické efektivnosti jednotlivých variant PPO



## 7. VÝSLEDKY METODY MATICE RIZIK

Pomocí semikvantitativního postupu řešení, na základě metody matice rizik, jsem vytvořil mapy ohrožení a mapy rizik pro stávající a návrhový stav. Dále jsem vytvořil mapy ohroženého majetku a mapy záplavových čar pro uvedené stavy. Mapy jsou přiloženy jako přílohy této závěrečné práce.

Jako návrhový stav pro tvorbu těchto výstupů byla vzata varianta PPO 4, neboť jako jediná je uvažována jako realizovatelná, jak je uvedeno v závěru práce.

Mapy ohrožení ukazují na zájmovém území míru ohrožení pomocí tří kategorií (vysoké, střední, nízké) v zátopě  $Q_{100}$ .

Mapy povodňových rizik se věnují jednotlivým plochám a objektům zakresleným pomocí územního plánu obce, kterým je přiřazeno dané ohrožení.

Po porovnání stávajícího a návrhového stavu mohu uvést, že navržená varianta 4 PPO zajistí ochranu, i před povodní  $Q_{100}$ , pro většinu zástavby.

Pomocí vyjádření ploch z mapy rizik, nám pro návrhový stav zbyde ohrožená jediná plocha, která je navíc určena jako sportovní plocha. Obytné zóny jsou všechny ochráněny.

Metoda vyjádření ohrožení pomocí matice rizik je oproti kvantitativní metodě velice zjednodušená, nevěnuje se jednotlivým objektům, nýbrž jen zobecněným plochám, a neřeší číselné, ekonomické vyjádření. Zároveň však přehledně ukazuje v daném území na rizikové oblasti.

## 8. ZÁVĚR

Tato práce se zabývala vyhodnocením ekonomické efektivity navržených variant protipovodňové ochrany v obci Štěpánovice na řece Svratce. Mé výsledky posouzení ekonomické efektivity byly počítány pro studii investičních záměrů PPO zpracovávanou Vodohospodářským rozvojem a výstavbou, a.s. (1) na základě zadání Obce Štěpánovice.

Z geografických podkladů a dle platných metodických postupů jsem v systému ArcGIS spočetl škody pro stávající stav a pro jednotlivé varianty protipovodňové ochrany při povodňových scénářích Q<sub>5</sub>, Q<sub>20</sub> a Q<sub>100</sub>.

Na základě těchto údajů jsem mohl stanovit míry rizika pro stávající a návrhové stavy a díky tomu určit poměrový ukazatel ekonomické efektivity pro jednotlivé varianty navrhovaného protipovodňového opatření.

Dle těchto výsledků bych mohl hodnotit všechny čtyři varianty jako efektivní a realizovatelné, avšak v praxi tomu tak není.

První tři varianty počítají v rámci návrhu opatření využití železničního tělesa v obci Štěpánovice jako prvku protipovodňové ochrany. Avšak pro tento účel těleso využít nelze, jak vyplynulo z jednání se správcem železničního tělesa, v rámci již zmíněné studie (1).

Proto hodnotím jako jediné optimální a realizovatelné řešení PPO variantu číslo 4, která s železničním tělesem nepočítá a ochranu řeší v problematických místech železniční tratě pomocí protipovodňových valů a zpětného vzduť.

V rámci této práce byly také vytvořeny mapy ohrožení, mapy rizik, mapy ohroženého majetku pro stav současný a pro variantní řešení 4 PPO.

Na závěr bych rád uvedl, že hodnocení povodňových stavů pomocí těchto metod a pomocí systému ArcGIS mi přijde velice zajímavé, přehledné a efektní a jsem rád, že jsem si mohl tyto praktiky vyzkoušet.

## 9. LITERATURA A ZDROJE

1. Vodohospodářský rozvoj a výstavba, akciová společnost. *PROTIPOVODŇOVÉ OPATŘENÍ OBCE ŠTĚPÁNOVICE, INVESTIČNÍ ZÁMĚR*. Praha : VRV, a.s., 2017.
2. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., Praha, a kol. *METODIKA TVORBY MAP POVODŇOVÉHO NEBEZPEČÍ A POVODŇOVÝCH RIZIK*. Praha : Ministerstvo financí ČR, 2011.
3. Horský, Martin. *Metody hodnocení potenciálních povodňových škod a jejich aplikace pomocí prostředků GIS. Disertační práce*. Praha : FSv ČVUT v Praze, 2008.
4. ATELIER URBI spol., s.r.o. OBEC ŠTĚPÁNOVICE, Územní plán Štěpánovice. *MĚSTO TIŠNOV*. [Online] září 2011.  
[http://www.tisnov.cz/sites/default/files/dokumenty/dokumenty\\_mesta/upd/stepanovice/up/graf\\_ika/i2\\_hlavni\\_vykres.pdf](http://www.tisnov.cz/sites/default/files/dokumenty/dokumenty_mesta/upd/stepanovice/up/graf_ika/i2_hlavni_vykres.pdf).
5. Obec Štěpánovice. Povodňový stav 2006. *Obec Štěpánovice*. [Online] 2018.  
<http://www.stepanovice.cz/informace-o-obci/povodnovy-stav-2006/>.
6. ARCDATA PRAHA. [Online] 2010. <https://www.arcdata.cz/>.
7. Ing. Karel Drbal, Ph.D. a kol. *METODIKA STANOVOVÁNÍ POVODŇOVÝCH RIZIK A ŠKOD V ZÁPLAVOVÉM ÚZEMÍ*. leden : Ministerstvo životního prostředí, 2008.
8. ČÚZK. Geoportál ČÚZK. ČÚZK. [Online] 2010. <http://geoportal.cuzk.cz>.
9. Directory listing [/shp/ku/epsg-5514/]. ČÚZK. [Online] 2018.  
<http://services.cuzk.cz/shp/ku/epsg-5514/>.
10. Institut plánování a rozvoje hlavního města Prahy. CO JE GIS? *Geoportal Praha*. [Online] 2010 - 2013. <http://www.geoportalpraha.cz/cs/clanek/11/co-je-gis#.WxYjce6FOpo>.
11. Vodohospodářský rozvoj a výstavba, akciová společnost. *PROTIPOVODŇOVÉ OPATŘENÍ OBCE ŠTĚPÁNOVICE, POSOUZENÍ EKONOMICKÉ EFEKTIVNOSTI*. Praha : VRV, a.s., 2018.

# 10. SEZNAM OBRÁZKŮ

<b>Obrázek 3-1: Vodní tok Svratka s vyznačením lokace zájmového území pro tuto práci</b>	<b>5</b>
<b>Obrázek 3-2: Vodní tok Svratka v obci Štěpánovice</b>	<b>6</b>
<b>Obrázek 3-3: Plochy rozlivů Q5, Q20 a Q100 pro stávající stav v obci Štěpánovice</b>	<b>7</b>
<b>Obrázek 3-4: Obec Štěpánovice</b>	<b>8</b>
<b>Obrázek 3-5: Příklad propustku pod železničním tělesem</b>	<b>9</b>
<b>Obrázek 4-1: Varianty navrhovaného protipovodňového opatření 1-4</b>	<b>11</b>
<b>Obrázek 5-1: Vztah funkce intenzity povodně</b>	<b>15</b>
<b>Obrázek 5-2: Intenzita povodně pro Q100 - stávající stav</b>	<b>16</b>
<b>Obrázek 5-3: Matice rizika</b>	<b>17</b>
<b>Obrázek 6-1: Výše škod při jednotlivých N-letostech</b>	<b>20</b>
<b>Obrázek 6-2: Výše škod při jednotlivých N-letostech</b>	<b>22</b>
<b>Obrázek 6-3: Výše škod při jednotlivých N-letostech</b>	<b>24</b>
<b>Obrázek 6-4: Výše škod při jednotlivých N-letostech</b>	<b>26</b>

# 11. SEZNAM TABULEK

<b>Tabulka 3.1: N-leté průtoky v profilu Svratka-Loučka</b>	<b>6</b>
<b>Tabulka 6.1: Výše škod pro stávající a návrhový stav 1</b>	<b>19</b>
<b>Tabulka 6.2: Výsledky ekonomické efektivity PPO 1</b>	<b>20</b>
<b>Tabulka 6.3: Výše škod pro stávající a návrhový stav 2</b>	<b>21</b>
<b>Tabulka 6.4: Výsledky ekonomické efektivity PPO 2</b>	<b>22</b>
<b>Tabulka 6.5: Výše škod pro stávající a návrhový stav 3</b>	<b>23</b>
<b>Tabulka 6.6: Výsledky ekonomické efektivity PPO 3</b>	<b>24</b>
<b>Tabulka 6.7: Výše škod pro stávající a návrhový stav 4</b>	<b>25</b>
<b>Tabulka 6.8: Výsledky ekonomické efektivity PPO 4</b>	<b>26</b>
<b>Tabulka 6.9: Souhrnná tabulka posouzení ekonomické efektivity jednotlivých variant PPO</b>	<b>27</b>

## 12. SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Mapa ohrožení – stávající stav

Příloha 2: Mapa ohrožení – návrhový stav PPO varianta 4

Příloha 3: Mapa rizik – stávající stav

Příloha 4: Mapa rizik – návrhový stav PPO varianta 4

Příloha 5: Mapa ohroženého majetku při  $Q_{100}$  – stávající stav

Příloha 6: Mapa ohroženého majetku při  $Q_{100}$  – návrhový stav

Příloha 7: Mapa záplavových čar – stávající stav

Příloha 8: Mapa záplavových čar – návrhový stav