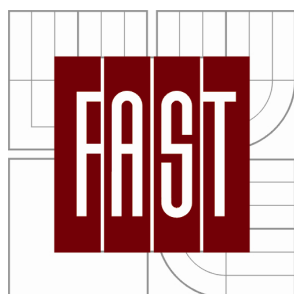


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

# ODHAD ZTRÁT LIDSKÝCH ŽIVOTŮ PŘI POVODNI

ESTIMATE OF LOSS OF LIFE BY FLOOD

DISERTAČNÍ PRÁCE – ZKRÁCENÁ VERZE  
DISSERTATION THESIS – SHORT VERSION

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Ing. MIRIAM BRÁZDOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

prof. Ing. JAROMÍR ŘÍHA, CSc.

BRNO 2012

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Analýza povodňového rizika, odhad rizika, odhad ztrát lidských životů při povodni, povodňové škody, povodňové ohrožení, nebezpečí povodně, zranitelnost při povodni, faktory ovlivňující ohroženého jedince při povodni, analýza historických povodňových událostí.

## **KEY WORDS**

Flood risk analysis, risk estimation, estimate of loss of life by flood, flood losses, flood danger, flood hazard, flood vulnerability, factors influencing endangered person by flood, historical floods analysis.

## **MÍSTO ULOŽENÍ PRÁCE**

Pedagogicko-vědecké oddělení FAST VUT v Brně

## **Obsah:**

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>4</b>
1.1	CÍLE A PŘEDMĚT PRÁCE .....	4
1.2	STAV POZNÁNÍ V ČESKÉ REPUBLICE A VE SVĚTĚ .....	5
<b>2</b>	<b>FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ ZTRÁTY LIDSKÝCH ŽIVOTŮ PŘI POVODNI</b> .....	<b>6</b>
2.1	ANALÝZA FAKTORŮ OVLIVŇUJÍCÍCH POČET OBĚTÍ PŘI POVODNÍCH .....	7
2.2	NEJVÝZNAMNĚJŠÍ FAKTORY A JEJICH VYUŽITÍ PRO MODEL.....	9
<b>3</b>	<b>SOUPIS A ANALÝZA HISTORICKÝCH POVODŇOVÝCH UDÁLOSTÍ</b> .....	<b>13</b>
<b>4</b>	<b>NÁVRH MODELU PRO ODHAD POČTU OBĚTÍ NA LIDSKÝCH ŽIVOTECH</b> .....	<b>15</b>
4.1	FILOZOFIE METODY .....	15
4.2	NÁVRH A OVĚŘENÍ MODELU PRO ODHAD ZTRÁT NA LIDSKÝCH ŽIVOTECH .....	16
<b>5</b>	<b>RIZIKO ZE ZTRÁTY ŽIVOTA PŘI POVODNÍCH</b> .....	<b>18</b>
5.1	POROVNÁNÍ PŘIJATELNÉHO RIZIKA S PRŮMĚRNÝM ROČNÍM SPOLEČENSKÝM RIZIKEM .....	18
5.2	PŘIJATELNÉ RIZIKO VYJÁDŘENÉ POMOCÍ F-N KŘIVEK .....	19
5.3	MEZE PŘIJATELNÉHO RIZIKA PRO PŘÍRODNÍ POVODNĚ .....	21
<b>6</b>	<b>PRAKTICKÁ APLIKACE STANOVENÍ POČTU OBĚTÍ A VYJÁDŘENÍ RIZIKA NA KONKRÉTNÍ LOKALITĚ</b> .....	<b>23</b>
6.1	STANOVENÍ PRŮMĚRNÉHO ROČNÍHO SPOLEČENSKÉHO RIZIKA ZE ZTRÁT LIDSKÝCH ŽIVOTŮ.....	23
6.2	F-N KŘIVKY .....	24
<b>7</b>	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>25</b>
7.1	ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ DISERTAČNÍ PRÁCE .....	25
7.2	PŘÍNOS DISERTAČNÍ PRÁCE A JEJÍ VYUŽITÍ V PRAXI.....	26
7.3	NÁMĚT NA DALŠÍ VÝZKUM .....	26
<b>8</b>	<b>SEZNAM VELIČIN A PROMĚNNÝCH</b> .....	<b>26</b>
<b>9</b>	<b>VYBRANÉ PODKLADY</b> .....	<b>27</b>
9.1	INTERNETOVÉ ODKAZY .....	27
9.2	LITERÁRNÍ PODKLADY .....	27
9.3	PŘEDPISY .....	29
<b>10</b>	<b>ŽIVOTOPIS A PUBLIKAČNÍ ČINNOST</b> .....	<b>30</b>

# 1 ÚVOD

V posledních dvaceti letech jsou pro řešení povodňové problematiky preferovány metody rizikové analýzy, které jsou založeny na klasifikaci záplavových území, metodách matematického modelování, teorii pravděpodobnosti a metodách hodnocení škod. Analýza povodňových rizik se postupně stává nedílnou součástí územního plánování a aktuálnost daného tématu potvrzuje především vydání evropské směrnice o vyhodnocování a zvládání povodňových rizik [ES, 2007]. Směrnice ukládá členským státům zpracovat tzv. předběžné vyhodnocení povodňových rizik, dále připravit mapy povodňového nebezpečí a mapy povodňových rizik a na základě těchto map vytvořit plány pro zvládání povodňových rizik.

Obecná klasifikace povodňových škod v závislosti na jejich původu a povaze je uvedena v tab. 1.1. V základním dělení je možné škody členit na přímé a nepřímé. Obě tyto skupiny lze dále rozdělit na škody ekonomické a mimoekonomické.

**Tab. 1.1 Klasifikace povodňových škod**

POVODŇOVÉ ŠKODY	PŘÍMÉ	EKONOMICKÉ	materiální škody
			škody na životním prostředí
		MIMO EKONOMICKÉ	ztráty na životech lidí a poškození zdraví
	NEPŘÍMÉ	EKONOMICKÉ	vyvolané škody
			škody sociálně-psychologického rázu
		MIMO EKONOMICKÉ	škody hygienického rázu

Metody pro hodnocení přímých ekonomických škod se již v praxi běžně využívají. Z tohoto důvodu je pozornost v této práci věnována přímým mimoekonomickým škodám, tj. ztrátám lidských životů při povodni, které patří do méně prostudované oblasti. Posoudit míru ohrožení osob je důležité nejen pro sestavování map rizik, ale i pro další úvahy např. o ekonomické efektivnosti opatření na ochranu před povodněmi.

## 1.1 Cíle a předmět práce

Cílem disertační práce je vytvořit postup pro stanovení odhadu ztrát lidských životů při povodni. K tomuto účelu byla zvolena kvantitativní analýza, která využívá systematického postupu numerického vyčíslení následků události (v tomto případě počtu obětí).

Předmětem této práce je:

- klasifikace povodňových škod dle jejich vzniku a povahy;
- vymezení a definice pojmů týkajících se přímých mimoekonomických škod;
- identifikace faktorů ovlivňujících ohroženého jedince při povodni;
- souhrnné hodnocení faktorů a analýza vzájemných závislostí;
- soupis skutečných evropských povodní;
- sestavení modelu řešícího ztrátu lidských životů při povodni;

- stanovení rizika ze ztráty života při povodních a posouzení s přijatelným rizikem;
- praktické ověření navrženého postupu na zvolené lokalitě.

Při stanovení odhadu ztrát lidských životů při povodni bude využit přístup vycházející z materiálních škod. Tento postup je založen na předpokladu, že existuje závislost mezi materiálními škodami a ztrátami lidských životů. Dále se předpokládá, že materiální škody odráží nejen povodňové nebezpečí, ale také počet obyvatel v zasaženém území (*PAR*). Důležitým aspektem je zvládnutí postupů stanovujících výši přímých materiálních škod pro danou lokalitu a dostupnost informací o počtu obětí. Tento postup dosud nebyl aplikován. Zahraniční autoři využívají ve vztazích pro odhad ztrát lidských životů při povodni především hloubku vody, popř. počet ohrožených obyvatel a čas, který je k dispozici pro evakuaci. Výhodou nově navržené metody je jednoduchost v získání podkladů ohledně potenciálních materiálních škod oproti podkladům, které jsou potřeba k již používaným metodám. Výši potenciálních povodňových škod lze najít v plánech pro zvládání povodňových rizik, které mají být dle [ES, 2007] zveřejněny do roku 2015.

Stanovení modelu pro odhad počtu obětí při povodních předchází řada kroků, které jsou pro sestavení a kalibraci vztahu nezbytné. V první fázi bude provedena kvalitativní analýza, kdy budou identifikovány a analyzovány faktory ovlivňující ohroženého jedince při povodni (Kap. 2). Z důvodu značného počtu faktorů budou ty nejvýznamnější zařazeny do tří základních skupin D reprezentující materiální škody, P připravenost a W varování, které zahrnují dílčí faktory mající nejvýznamnější vliv na ohroženého jedince (Kap. 2.2). Pro stanovení významnosti jednotlivých faktorů budou využity následující metody (Kap. 2.1):

- metoda párového porovnání zpřesněná Saatyho metodou,
- průzkum modelů používaných pro odhad počtu obětí a zohledněných faktorů,
- analýza příčin úmrtí z historických povodní.

Dalším krokem bude ověření tvaru funkčních závislostí mezi počtem obětí *LOL* a skupinami faktorů P a W pomocí vícerozměrné korelační analýzy. Součástí bude také analýza historických povodňových událostí a sestavení evidence historických povodňových událostí zaměřených především na Evropu. Vybrané epizody musely splňovat předem daná kritéria (Kap. 3). Na základě výsledků srovnání bude navržen a s využitím dat ze skutečných povodní nakalibrován model pro odhad počtu obětí při povodni (Kap. 4). S využitím výsledných hodnot z modelu bude vypočítáno roční společenské riziko, jehož hodnota bude srovnána s přijatelným rizikem (Kap. 5). V současné době neexistují jednotná národní či mezinárodní doporučení pro určení hranic přijatelného rizika. Vychází se tedy z dostupných podkladů týkajících se nejen povodňové problematiky, ale rovněž i dalších odvětví (závažné havárie, doprava v tunelech atd.). Po vypracování analýzy podkladů budou navrženy hranice pro přírodní povodně. Pro zjištění vhodnosti zvolených hranic bude provedeno hodnocení na vybraných 42 lokalitách v povodí řek Moravy a Odry. Finálně bude provedena praktická aplikace stanovení počtu obětí při povodni a vyjádření ročního společenského rizika na konkrétní lokalitě Krnov na řece Opavě (Kap. 6).

## **1.2 Stav poznání v České republice a ve světě**

Vsouvisti s vydáním Povodňové směrnice o vyhodnocování a zvládání povodňových rizik 2007/60/ES v roce 2007 [ES, 2007] probíhá v ČR řada výzkumných projektů zaměřených na problematiku škod vyplývajících ze ztrát na lidských životech při povodních. V České republice se problematice ztrát na lidských životech při povodních systematicky

věnuje Výzkumný ústav vodohospodářský T.G.M. [Drbal a kol., 2001-2005, 2007-2011], Vysoké učení technické v Brně [Říha a kol., 2005], ČVUT v Praze, podniky Povodí a také příslušná ministerstva.

V zahraničí se touto problematikou zabývají autoři v souvislosti nejen s přírodními povodněmi, ale také ve spojitosti se zvláštními povodněmi, popř. povodněmi způsobenými činností moře. Modelováním ztrát na životech způsobených především činností moře se dlouhodobě zabývali autoři z Nizozemí, např. Waarts (1992), Jonkman (2007), Vrouwenvelder a Steenhuis (1997) a také autoři z USA Friedman (1975), z Velké Británie Ramsbottom a kol. (2003), Surendran a kol. (2006), Priest (2007) a další. Zvláštním povodním se věnovali, kromě dalších, autoři z Velké Británie, např. Brown a Graham (1988), DeKay a McClelland (1993) a Graham (1999). Specifické jsou výzkumy zaměřené na stabilitu osob v proudící vodě. Experimentálně jsou odvozovány podmínky, za jakých (při jaké hloubce a rychlosti vody) dochází k nestabilitě jedince v proudící vodě, která může s velkou pravděpodobností vést ke ztrátě života [Abt a kol., 1989], [RESCDAM, 2000] a [Salaj, 2009].

Mezi významné projekty, které řeší koncepci protipovodňové ochrany, lze zařadit např. projekt CEframe (Central European Flood Risk Assessment - Koncepce harmonizace protipovodňové ochrany v přeshraničních povodích), na kterém se podílejí Rakousko, Slovensko, Maďarsko a Česká republika [C]. Dalším projektem je projekt LABEL (Adaptation to flood risk in the LABE – Elbe river basin - Adaptace na povodňové riziko v povodí Labe). Na tomto projektu spolupracují Německo, Česká republika, Rakousko a Maďarsko.

## **2 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ ZTRÁTY LIDSKÝCH ŽIVOTŮ PŘI POVODNI**

Při odhadu ztrát lidských životů je třeba identifikovat všechny faktory, které mají vliv na ohrožené jedince, resp. na počet obětí. Povodňové riziko lze obecně charakterizovat jako kombinaci nebezpečí, zranitelnosti a expozice. Riziko je tím větší, čím větší je nebezpečí, čím delší je expozice a čím větší je zranitelnost ohroženého jedince. Je účelné jednotlivé dílčí faktory zařadit ve vazbě na tyto tři složky, tzv. hlavní faktory (Tab. 2.1). Je nutné podotknout, že v některých případech bylo velmi obtížné některé dílčí faktory jednoznačně zařadit. Z toho důvodu jsou v tabulce 2.1 uvedeny možné kombinace hlavních faktorů.

V disertační práci jsou jednotlivé dílčí faktory podrobně analyzovány a je zhodnoceno, do jaké míry ovlivňují povodňové riziko, zda je možné získat k těmto faktorům relevantní data, jaká je přesnost a věrohodnost dostupných podkladů a jaký vliv mají tyto faktory na ohroženého jedince, resp. na ztráty životů obyvatel při povodni.

**Tab. 2.1 Shrnutí faktorů ovlivňujících počet ztrát lidských životů při povodni**

Hlavní faktory		Dílčí faktory
<b>Nebezpečí - N</b>		Rozsah záplavy
		Rychlost příchodu povodně
		Rychlost stoupání hladiny
		Hloubka vody
		Rychlost vody
		Teplota vody
		Jakost vody
		Klimatické podmínky
		Unášené předměty
<b>Expozice - E</b>		Přípravenost na možné nebezpečí
		Hydrologická předpověď
		Varování před povodní
		Doba trvání povodně
		Odezva na varování
		Denní doba
		Evakuace
		Záchranné práce
<b>Zranitelnost - Z</b>		Hmotnost jedince
		Výška jedince
		Věk jedince
		Pohlaví jedince
		Fyzická zdatnost jedince
		Zkušenost jedince s pohybem ve vodě
		Druh oblečení a obuvi
		Nesený náklad
		Využití opory
		Pobyt ve vozidle
		Pobyt v budově
	<b>Kombinace</b>	<i>N - Z</i>
Pobyt v budově		
<i>N - E</i>		Rozsah záplavy
		Rychlost příchodu povodně

## 2.1 Analýza faktorů ovlivňujících počet obětí při povodních

S cílem získat představu o významu jednotlivých faktorů a o míře jejich vlivu na stabilitu osob, resp. na počet obětí, bylo provedeno jejich předběžné formalizované hodnocení různými postupy:

- metodou párového porovnání s upřesněním Saatyho metodou [Saaty 2008],
- průzkumem modelů používaných pro odhad ztrát na životech a zohledněných faktorů [Waarts, 1992], [Vrouwenvelder, Steenhuis, 1997], [Jonkman, 2007], [Ramsbottom a kol., 2003], [Surendran a kol., 2006], [Priest, 2007], [Drbal a kol., 2009], [Brown, Graham, 1988], [DeKay, McClelland, 1993], [Graham, 1999], [Lind, Hartford, 2000], [Abt a kol., 1989], [RESCDAM, 2000] a [Salaj, 2009],
- analýzou příčin úmrtí z historických povodní.

Zde je třeba upozornit, že v případě metody párového porovnání a Saatyho metody bylo vzájemné porovnání provedeno subjektivně na základě nejlepšího vědomí a současných poznatků. Při porovnání je třeba si uvědomit potíže vyplývající z určité heterogenity podkladů

týkajících se analýzy a popisu jednotlivých faktorů, a to co do jejich dostupnosti, propracovanosti a podrobnosti. Přitom se vychází z předpokladu, že v rámci hodnocení jsou jednotlivé faktory vzájemně porovnatelné a svým obsahem jednoznačně specifikované.

**Tab. 2.2 Přehled faktorů a jejich souhrnné hodnocení významnosti**

Hlavní faktor	Dílčí faktory	Číslo dílčího faktoru	Pořadí dílčího faktoru			Vážené hodnocení $F_{d,j}$	Výsledné pořadí dílčího faktoru	Skupina faktorů
			Saatyho metoda $w_{p1} = 0,3$	Modely odhadu ztrát $w_{p2} = 0,1$	Histor. povodně $w_{p3} = 0,6$			
E	Přípravenost na nebezpečí	10	7	6	1	3,3	1	P
E	Varování před povodní	12	8	3	2	3,9	2	W
E	Záchranné práce	17	6	7	3	4,3	3	P
N	Hloubka vody	4	3	1	7	5,2	4	D
N	Rozsah záplavy	1	5	7	6	5,8	5	D
N	Rychlost vody	5	2	2	9	6,2	6	D
N	Rychlost příchodu povodně	2	1	4	10	6,7	7	W
E	Odezva na varování	14	13	6	4	6,9	8	P
E	Evakuace	16	9	3	8	7,8	9	P
N	Rychlost stoupání hladiny	3	4	4	11	8,2	10	W
Z	Fyzická zdatnost jedince	22	17	7	5	8,8	11	-
N	Unášené předměty	9	14	7	12	12,1	12	-
E	Denní doba	15	11	7	15	13	13	W
Z	Zkušenost s pohybem ve vodě	23	18	7	13	13,9	14	-
Z	Věk jedince	20	20	7	14	15,1	15	-
E	Doba trvání povodně	13	15	7	17	15,4	16	D
E	Hydrologická předpověď	11	10	7	20	15,7	17	W
N	Klimatické podmínky	8	21	7	16	16,6	18	-
Z	Pobyt v budově	28	16	5	19	16,7	19	-
N	Teplota vody	6	19	7	18	17,2	20	-
Z	Pobyt ve vozidle	27	12	7	22	17,5	21	-
Z	Pohlaví jedince	21	24	7	21	20,5	22	-
Z	Hmotnost jedince	18	22	7	24	21,7	23	-
Z	Druh oblečení a obuvi	24	25	7	23	22	24	-
Z	Výška jedince	19	23	7	25	22,6	25	-
N	Jakost vody	7	28	7	26	24,7	26	-
Z	Nesený náklad	25	26	7	27	24,7	27	-
Z	Využití opory	26	27	7	28	25,6	28	-

Poznámka: N – nebezpečí, E – expozice, Z - zranitelnost

Konečné pořadí dílčích faktorů a výběr nejvýznamnějších z nich byl proveden na základě hodnocení využívajícího vah  $w_{p,i}$  přiřazených jednotlivým postupům. Celkový vážený průměr pro  $j$ -tý dílčí faktor  $F_{d,j}$  byl stanoven dle následujícího vztahu:

$$F_{d,j} = \sum_{i=1}^3 w_{p,i} \cdot p_{ij}, \quad (2.1)$$

kde  $p_{ij}$  je pořadí  $j$ -tého dílčího faktoru získané  $i$ -tým postupem. Výsledné vážené hodnocení je uvedeno v tab. 2.2 spolu s výsledným pořadím dílčích faktorů.

Volba vah  $w_{p,i}$  vycházela z úplnosti a spolehlivosti dílčích hodnocení jednotlivými postupy. Největší vypovídací schopnost i úplnost má vyhodnocení skutečných povodní ( $w_{p3} = 0,6$ ). Saatyho metoda ( $w_{p1} = 0,3$ ) v sobě nese subjektivitu hodnocení, které bylo částečně eliminováno diskuzí v širším grémiu odborníků různých vodohospodářských organizací (VÚV T.G.M., správci povodí, projekční složky). Za málo úplné bylo považováno vyhodnocení faktorů používaných při modelování ztrát na lidských životech ( $w_{p2} = 0,1$ ).

Saatyho metodou byly vyhodnoceny jako nejvýznamnější faktory související s povodňovým nebezpečím **rychlost příchodu povodně, rychlost a hloubka vody, rychlost stoupání hladiny a rozsah záplavy**, dále pak skupina faktorů souvisejících s připraveností společnosti na povodně (**hydrologická předpověď, varování před povodní, evakuace, záchranné práce**).

Zahraniční a domácí autoři využívají ve svých studiích nejvíce faktory jako jsou **hloubka a rychlost vody, rychlost příchodu povodně, varování před povodní, evakuace, připravenost na možné nebezpečí a zřícení budov**. Tento přístup byl při konečném hodnocení považován za podpůrný.

Analýza historických povodní a sestavení přehledu příčin úmrtí naznačuje, že nejvýznamnější roli hraje **připravenost na možné nebezpečí, varování před povodní, záchranné práce, odezva na varování, fyzická zdatnost jedince, rozsah záplavy, hloubka vody, evakuace, rychlost vody a rychlost příchodu povodně**.

## 2.2 Nejvýznamnější faktory a jejich využití pro model

Faktory, které nejvíce ovlivňují ztráty na životech osob při povodních, lze rozdělit do skupin ve vztahu k hlavním složkám rizika - nebezpečí, expozice, zranitelnost (Tab. 2.2).

Z důvodu velkého počtu dílčích faktorů, je účelné pro další zpracování stanovit pouze tři skupiny faktorů, které budou dílčí faktory zohledňovat a které lze bez větších problémů ohodnotit u historických povodní. Byly zvoleny tři skupiny, a to skupina faktorů charakterizující nebezpečí včetně počtu ohrožených obyvatel (*PAR*), připravenost *P* a varování *W* (Tab. 2.2). Do těchto skupin nebyly zařazeny všechny dílčí faktory spadající do zranitelnosti, dále dílčí faktory patřící do nebezpečí jako unášené předměty, klimatické podmínky, teplota vody a jakost vody a denní doba zahrnutá do expozice. Pro vyřazení těchto faktorů přispěl především nedostatek podkladů potřebných pro další řešení. K dílčím faktorům bude následně přiřazena váha odvozená z pořadí jejich významnosti. V dalším textu jsou označeny svislým hůlkovým písmem skupiny faktorů (*D*, *P*, *W*) a kurzívou odpovídající kvantifikátory (*D* - škody v USD, *P*, *W* - bodové hodnocení).

**Skupina faktorů *D*** je zohledněna prostřednictvím vyčíslených materiálních škod a zahrnuje převážně dílčí faktory týkající se nebezpečí. Jedná se o:

- hloubku vody,
- rychlost vody,
- rozsah záplavy,
- dobu trvání povodně.

Tato skupina, představující dopady reprezentované materiálními škodami, v sobě rovněž implicitně zahrnuje počet ohrožených obyvatel (*PAR*), který silně koreluje s hodnotou majetku v zasaženém území a s výší materiálních škod při povodni.

**Skupina faktorů P** (připravenost) vyjadřuje všeobecnou připravenost společnosti na povodňové nebezpečí, povědomí o možném nebezpečí, znalost činností osob při povodni apod. viz [Drbal a kol., 2010]. Řadí se sem, mimo jiné, činnosti povodňových komisí, odezva na vydané varování a s tím spojená evakuace a záchranné práce. Skupina zohledňuje dílčí faktory seřazené dle významnosti:

- připravenost na nebezpečí,
- záchranné práce,
- odezva na varování,
- evakuace.

V rámci dalšího řešení je vhodné dílčí faktory záchranné práce a evakuaci sloučit do jedné skupiny a doplnit je dalšími činnostmi, které je při povodni doprovází. Důvodem je obtížné hodnocení každé složky zvlášť. Skupina faktorů P bude tedy rozdělena na:

- připravenost na nebezpečí kvantifikovanou hodnocením  $P_1$ ,
- operativní činnosti při povodni kvantifikované hodnocením  $P_2$ ,
- odezvu na varování kvantifikovanou hodnocením  $P_3$ .

**Připravenost na nebezpečí** zahrnuje činnosti, resp. preventivní opatření, která jsou vykonávána před povodní. Hodnocení této skupiny je uvedeno v tab. 2.3 a je jí přiřazena váha  $w_1 = 0,28$ .

**Tab. 2.3** Hodnocení připravenosti na nebezpečí

Bodové hodnocení $P_1$	Připravenost na nebezpečí	Popis
<-1,0; -0,5)	nedostatečné	Nedostatečné zpracování povodňových nebo krizových plánů a příprava informačního systému, malá informovanost obyvatel o povodňovém nebezpečí, nejsou zpracována nebo zveřejněna záplavová území
<-0,5; 0,0)	částečné	Částečné zpracování povodňových nebo krizových plánů a příprava informačního systému, částečná informovanost obyvatel o povodňovém nebezpečí, záplavová území zpracována nebo zveřejněna pouze pro některé oblasti
<0,0; 0,5)	dobré	Dostatečné zpracování povodňových nebo krizových plánů a příprava informačního systému na dobré úrovni, dostatečná nebo částečná informovanost obyvatel o povodňovém nebezpečí, záplavová území zpracována pro všechny oblasti, zveřejněna pro některé oblasti
<0,5; 1,0>	výborné	Zpracování povodňových nebo krizových plánů a příprava informačního systému na výborné úrovni, dostatečná informovanost obyvatel o povodňovém nebezpečí, zveřejněna záplavová území pro všechny oblasti

Mezi **operativní činnosti při povodni** se řadí činnosti hlásné a předpovědní povodňové služby, hlídkových služeb obcí a trvalá informovanost povodňových orgánů a složek integrovaného záchranného systému IZS (tvořeného hasičským záchranným sborem, zdravotní záchrannou službou, policií ČR a vyčleněnými silami a prostředky ozbrojených sil). Dalšími důležitými činnostmi jsou evakuace obyvatel ze zasaženého území a v případě neobdrženého nebo nerespektovaného varování také záchranné práce [C]. Hodnocení této skupiny je uvedeno v tab. 2.4 a je jí přiřazena větší váha  $w_2 = 0,50$ , jelikož zohledňuje dva faktory .

**Tab. 2.4** Hodnocení operativní činnosti při povodni

Bodové hodnocení $P_2$	Operativní činnosti	Popis
<-1,0; -0,5)	nedostatečné	Špatná koordinace složek IZS s povodňovými orgány, jejich nedostatečná informovanost, popř. evakuace a záchranné práce nebyly možné nebo byly zajištěny pozdě
<-0,5; 0,0)	částečné	Informováni pouze některé subjekty (povodňové orgány nebo složky IZS), jejich koordinace pouze částečná, evakuace neproběhla nebo jen omezeně, ale úspěšné záchranné práce
<0,0; 0,5)	dobré	Včasná informovanost povodňových orgánů a složek IZS, fungující koordinace jednotlivých subjektů, evakuace proběhla u většiny obyvatel, přesto nutné záchranné práce
<0,5; 1,0>	výborné	Včasná informovanost povodňových orgánů a složek IZS, fungující koordinace jednotlivých subjektů, včasná evakuace prakticky všech obyvatel, záchranné práce nejsou až na výjimky potřeba

**Odezva na varování** charakterizuje chování jedinců po přijetí varovné zprávy. Je úzce spjata především se zkušenostmi získanými z předešlých povodňových událostí viz tab. 2.5. Dle pořadí významnosti jí byla přiřazena váha  $w_3 = 0,22$ .

**Tab. 2.5** Hodnocení odezvy na varování

Bodové hodnocení $P_3$	Pochopení varování	Popis
<-1,0; -0,5)	nedostatečné	Podcenění situace, obyvatelé nevěří varování, neučiní potřebná opatření, nutné záchranné práce
<-0,5; 0,0)	částečné	Částečné podcenění situace, obyvatelé učiní potřebná opatření pozdě, nutné záchranné práce
<0,0; 0,5)	dobré	Dobré zkušenosti z historických povodní, lidé v případě varování učiní potřebná opatření ne však ihned
<0,5; 1,0>	výborné	Dostatečné zkušenosti z historických povodní, obyvatelé věří varování, učiní hned potřebná opatření (především evakuace atd.)

Celkové hodnocení skupiny faktorů  $P$  bylo provedeno číselnou hodnotou a verbálním vyjádřením viz tab. 2.9. Dle vztahu (2.2) je bodové hodnocení skupiny faktorů  $P$  zohledňující připravenost  $P$  vyjádřeno jako součin hodnocení dílčích faktorů  $P_i$  a jim přiřazeným vahám  $w_i$  dle jejich významnosti.  $n$  je počet dílčích faktorů (v tomto případě  $n = 3$ ).

$$P = \sum_{i=1}^n P_i \cdot w_i, \quad (2.2)$$

**Skupina faktorů  $W$**  zahrnuje činnosti vedoucí k varování osob před povodní [Drbal a kol., 2010] a samotné varování. Zde jsou zařazeny především činnosti předpovědní a hlásné povodňové služby, která zajišťuje předpověď a vydávání výstražných informací a nemalou roli hraje i rychlost příchodu povodně, se kterou úzce souvisí rychlost stoupání hladiny. Včasným varováním a fungujícím systémem operativních opatření lze lépe ochránit obyvatelstvo a snížit tak výši povodňových škod. Skupinu faktorů  $W$  charakterizují dílčí faktory uvedené dle významnosti:

- varování před povodní,
- rychlost příchodu povodně,
- rychlost stoupání hladiny,
- hydrologická předpověď.

Po podrobné analýze jsou brány v úvahu pouze tři dílčí faktory, a to varování před povodní, rychlost příchodu povodně a hydrologická předpověď. Rychlost stoupání hladiny charakterizuje pouze situaci v určitém profilu a je k němu přihlíženo při hodnocení rychlosti příchodu povodně. Samostatné hodnocení by nebylo z důvodu nedostatku podkladů možné.

V dalším textu jsou podrobně popsány jednotlivé dílčí faktory a je k nim rovněž přiřazena váha na základě jejich významnosti. Z důvodu návaznosti faktorů na sebe jsou dílčí faktory zařazeny dle jejich časové posloupnosti.

**Hydrologickou předpověď** zajišťuje hlásná a předpovědní povodňová služba ČHMÚ (HPPS) ve spolupráci se správci povodí [A] a [C]. V souvislosti s povodněmi je důležité mít co nejpřesnější předpověď s co největším předstihem. Proto hodnocení předpovědi není vztaženo k době předstihu vydání, ale ke kvalitě předpovědi ve srovnání s předstihem (Tab. 2.6). Tomuto faktoru byla přiřazena váha  $w_4 = 0,19$ .

**Tab. 2.6** Hodnocení hydrologické předpovědi

Bodové hodnocení $W_1$	Hydrologická předpověď	Popis
<-1,0; -0,5)	nedostatečná	Předpověď vydaná s dostatečným předstihem avšak neodpovídající skutečnosti nebo vydaná s nedostatečným předstihem
<-0,5; 0,0)	částečná	Předpověď vydaná s částečným předstihem a je pouze v částečné shodě se skutečností
<0,0; 0,5)	dobrá	Předpověď vydaná s dostatečným resp. s částečným předstihem a je v částečné shodě resp. dobré shodě se skutečností
<0,5; 1,0>	výborná	Předpověď vydaná s dostatečným předstihem a je v dobré shodě se skutečností

**Varování před povodní** zabezpečuje hlásná povodňová služba viz [A] a [C]. Poskytuje informace povodňovým orgánům a složkám integrovaného záchranného systému (IZS) pro varování obyvatelstva a také podává hlášení potřebná k řízení ochranných opatření. Na základě získaných informací je varování ohodnoceno následovně viz tab. 2.7. Tomuto faktoru byla přidělena váha  $w_5 = 0,27$ .

**Tab. 2.7** Hodnocení varování před nebezpečím

Bodové hodnocení $W_2$	Včasná informovanost	Popis
<-1,0; -0,5)	nedostatečná	Vydání výstražné informace méně jak 6 hodin (např. přívalové povodně) [D], nedostatečný čas na provedení opatření popř. špatná koordinace povodňových orgánů, přerušení dodávky elektřiny
<-0,5; 0,0)	částečná	Vydání výstražné informace v rozmezí od 6 do 12 hodin, čas na provedení protipovodňových opatření není dostačující popř. částečná koordinace povodňových orgánů
<0,0; 0,5)	dobrá	Vydání výstražné informace v rozmezí od 12 do 36 hodin, dobrá koordinace povodňových orgánů, dostatečný čas na provedení protipovodňových opatření
<0,5; 1,0>	výborná	Vydání výstražné informace v rozmezí od 36 do 48 hodin, výborná koordinace povodňových orgánů, dostatečný čas na provedení protipovodňových opatření

**Rychlost příchodu povodně (RPP)** se odvíjí především od množství spadlých srážek, plochy a tvaru povodí a rovněž od typu povodně. V rychlosti příchodu povodně je zohledněn dílčí faktor rychlost stoupání hladiny, kterého by bylo velmi obtížné hodnotit zvlášť. Charakterizuje situaci pouze v určitém profilu toku. Hodnocení rychlosti příchodu povodně je

uvedeno v tab. 2.8 a byla jí přiřazena váha  $w_6 = 0,54$  s ohledem na započítání rychlosti stoupaní hladiny.

**Tab. 2.8 Hodnocení rychlosti příchodu povodně**

Bodové hodnocení $W_3$	Příchod povodně	Popis
<-1,0; -0,5)	extrémně rychlý	Přívalové srážky na malém povodí, žádné nebo nedostatečné varování, rychlý vzestup hladiny během krátkého časového intervalu
<-0,5; 0,0)	velmi rychlý	Přívalové srážky na větším povodí, varování částečné – informovanost spíše až na dolních úsecích toku, rychlý vzestup hladiny na horním toku; dlouhotrvající srážky – druhá vlna, velké nasycení území, rychlý vzestup hladiny
<0,0; 0,5)	středně rychlý	Vydatné srážky s táním sněhové pokrývky, varování provedeno včas, možný zvětšený objem vody z roztátého sněhu, pozvolný vzestup hladiny; dlouhotrvající srážky s rychlým opakováním
<0,5; 1,0>	pozvolný	Dlouhotrvající srážky, varování v dostatečném předstihu, pozvolný vzestup hladiny

Výslednou hodnotu  $W$  skupiny faktorů  $W$  tvoří suma bodového hodnocení dílčích faktorů  $W_i$  vynásobená jim přiřazenou vahou  $w_i$  dle jejich významnosti viz vztah (2.3) a její bodové ohodnocení je uvedeno v tab. 2.9.  $n$  značí počet dílčích faktorů (v tomto případě  $n = 3$ ).

$$W = \sum_{i=1}^n W_i \cdot w_i, \quad (2.3)$$

V tabulce 2.9 je uvedeno shrnutí hodnocení obou skupin faktorů  $P$  a  $W$  s uvedenými vahami přiřazenými k dílčím faktorům, které je následně použito při hodnocení historických povodní.

**Tab. 2.9 Bodové ohodnocení skupin faktorů  $P$  a  $W$**

Bodové hodnocení	P			W		
	Připravenost na nebezpečí	Operativní činnosti při povodni	Odezva na varování	Hydrolog. předpověď	Varování před povodní	Rychlost příchodu povodně
	$w_1 = 0,28$	$w_2 = 0,50$	$w_3 = 0,22$	$w_4 = 0,19$	$w_5 = 0,27$	$w_6 = 0,54$
<-1,0; -0,5)	Připravenost nedostatečná			Varování nedostatečné		
<-0,5; 0,0)	Připravenost částečná			Varování částečné		
<0,0; 0,5)	Připravenost dobrá			Varování dobré		
<0,5; 1,0>	Připravenost výborná			Varování výborné		

### 3 SOUPIS A ANALÝZA HISTORICKÝCH POVODŇOVÝCH UDÁLOSTÍ

Pro řešení odhadu ztrát na lidských životech bylo nutné analyzovat jednotlivé historické povodňové události. Získané informace byly využity nejen u analýzy faktorů ovlivňujících ohroženého jedince, ale především při kalibraci vztahu pro odhad ztrát na lidských životech. K tomuto účelu byla sestavena evidence 19 povodní (Tab. 3.1), do které byly zařazeny události splňující předem zadaná kritéria. Povodní, která kritéria nesplňovala, bylo dohromady 116. V tabulce je uvedeno pouze 21 povodní. 95 povodňových událostí z USA

nejdou z důvodu obsáhlosti v tabulce zaznamenány. Povodně nespĺňující kritéria mají pouze informativní charakter.

**Tab. 3.1 Povodňové události v ČR a ve světě**

Povodňová událost		Škody $D_i$ v USD	Počet obětí $LOL_i$	$P_i$	$W_i$
Datum	Lokalita				
1997 – červenec	Česká republika	1,91E+09	49	-0,55	-0,19
1998 – červenec	Česká republika	6,18E+07	10	-0,43	-0,53
2000 – březen	Česká republika	1,03E+08	2	0,24	0,44
2002 – srpen	Česká republika	2,32E+09	17	0,14	0,11
2006 – jaro	Česká republika	2,74E+08	11	0,27	0,30
2009 – červen	Česká republika	3,21E+08	18	0,30	-0,58
2010 – květen, červen	Česká republika	2,45E+08	3	0,36	0,47
2010 – srpen	Česká republika	5,23E+08	5	0,37	-0,30
1997 - červenec	Slovensko	6,71E+07	1	-0,23	0,43
1998 - červenec	Slovensko	3,04E+07	47	-0,82	-0,81
1999 - červenec	Slovensko	5,43E+07	1	0,10	-0,34
2001 - červenec	Slovensko	1,02E+06	1	nehodnoceno	
2004 - srpen	Slovensko	6,07E+07	2	nehodnoceno	
2002 - srpen	Rakousko	2,27E+09	9	0,30	0,23
2005 - srpen	Rakousko	1,40E+07	3	0,53	0,48
2009 - červenec	Rakousko	7,34E+06	1	0,58	-0,05
2000 - říjen	Švýcarsko	3,82E+08	16	-0,03	0,27
2005 - srpen	Švýcarsko	2,33E+09	6	0,38	-0,26
2007 - červen	Švýcarsko - Huttwil	7,04E+07	3	nehodnoceno	
2007 - srpen	Švýcarsko	3,15E+08	1	0,49	-0,10
1997	Polsko	2,80E+09	54	-0,49	-0,13
1999 - červen	Německo – Baden-Württemberg, Bayern	3,51E+08	5	nehodnoceno	
1999 - prosinec	Německo – Baden-Württemberg, Bayern	1,67E+09	15	nehodnoceno	
2002 - srpen	Německo – povodeň na Labi	8,75E+09	21	0,26	0,05
1991 - květen - září	Čína	1,50E+10	3074	nehodnoceno	
1992 - září - říjen	Čína	1,00E+09	1500	nehodnoceno	
1994 - listopad	Itálie	9,30E+09	64	nehodnoceno	
1995 - červenec - srpen	Severní Korea	1,50E+10	68	nehodnoceno	
1996 - červen - srpen	Čína	2,40E+10	3048	nehodnoceno	
1997 - červenec, srpen	Rumunsko	1,24E+08	20	nehodnoceno	
1998 - květen - září	Čína	3,00E+10	4100	nehodnoceno	
1998 - červen	Indie, Bangladesh, Nepal	5,02E+09	4750	nehodnoceno	
2000 - září	Japonsko	7,00E+09	18	nehodnoceno	
2004 - červenec	Japonsko	1,95E+09	20	nehodnoceno	
2004 - září	Japonsko	7,17E+09	41	nehodnoceno	
2004 - září	Japonsko	7,98E+08	23	nehodnoceno	
2004 - říjen	Japonsko	6,03E+08	7	nehodnoceno	
2004 - říjen	Japonsko	3,20E+09	94	nehodnoceno	
2005	Vietnam	9,00E+11	25	nehodnoceno	
2007 - červen, červenec	Velká Británie	8,00E+09	14	nehodnoceno	

Mezi kritéria výběru patří tyto body:

- Zahrnuty jsou lokality, ve kterých byly zaznamenány jak ztráty na životech lidí, tak i byly vyčísleny materiální škody.
- Při srovnání dat z ostatních států musí být hustota obyvatel a jejich životní úroveň v ohrožené oblasti přibližně srovnatelná s Českou republikou. K tomuto srovnání je možné využít hrubého národního produktu. Vzhledem k tomuto kritériu nelze použít

data z oblastí Asie, Afriky, popř. Ameriky z důvodu odlišné životní úrovně a hustoty zalidnění.

Z dostupných materiálů byla pozornost finálně věnována 19 povodňovým událostem z České republiky, Slovenska, Rakouska, Švýcarska, okrajově z Německa a Polska. K těmto povodním byly zjištěny dostatečně podrobné informace potřebné pro další etapy řešení.

Všechny materiální škody byly v případě nutnosti přepočítány dle aktuálních kurzů v daném roce viz [B] na americké dolary (USD). Euro nebylo zvoleno s ohledem na jeho zavedení až v roce 1999. Z tohoto důvodu by nebyl u dřívějších povodní přepočet možný.

Jednotlivé povodňové události byly rozřazeny dle místa a data výskytu. Databáze obsahuje stručný popis průběhu povodně, zjištěnou výši materiálních škod a počet obětí. V některých případech byly k dispozici i bližší informace ohledně úmrtí (místo a doba úmrtí, příčina, pohlaví a věk oběti), které byly využity při analýze příčin úmrtí z historických povodní. Pozornost byla především zaměřena na hodnocení vybraných skupin faktorů  $P$  a  $W$ , přičemž jsou ohodnoceny bodovou škálou od -1 do 1 (Tab. 2.9).

## 4 NÁVRH MODELU PRO ODHAD POČTU OBĚTÍ NA LIDSKÝCH ŽIVOTECH

### 4.1 Filozofie metody

Tento postup je založen na předpokladu, že existuje závislost mezi materiálními škodami a ztrátami na lidských životech. Dále se předpokládá, že materiální škody odráží nejen povodňové nebezpečí, ale také počet obyvatel v zasaženém území ( $PAR$ ). Důležitým aspektem je zvládnutí postupů stanovujících výši přímých materiálních škod pro danou lokalitu a dostupnost informací o počtu obětí. Při kalibraci vztahu se vycházelo z dat získaných ze skutečných historických povodní. K tomuto účelu byla vytvořena evidence povodňových událostí. Aby nedocházelo k výrazné heterogenitě dat, byly předem stanoveny kritéria výběru. Mezi povodňové epizody, splňující podmínky, bylo zařazeno celkem 19 událostí, a to z České republiky, Slovenska, Rakouska, Polska, Německa a Švýcarska viz tab. 3.1, které se vyskytly v období od roku 1997 po rok 2010. Podobají se nejen svým charakterem, ale také životní úroveň v daných státech je přibližně srovnatelná a bylo možné získat dostatečně podrobné informace o události.

Pro získání přesnějších výsledků bylo vhodné do vztahu započítat nejvýznamnější faktory (Kap. 2). Jelikož počet těchto faktorů je příliš obsáhlý, byly jednotlivé dílčí faktory zařazeny do tří skupin  $D$ ,  $P$  a  $W$  (blíže specifikováno v kap. 2.2).

Dalším krokem bylo ověření tvaru funkčních závislostí pomocí vícerozměrné korelační analýzy. Korelační koeficienty pro jednotlivé kombinace  $LOL - D$ ,  $LOL - P$  a  $LOL - W$  vyšly následovně:  $R_{LOL,D} = 0,544$ ,  $R_{LOL,P+2} = -0,595$ ,  $R_{LOL,W+2} = -0,372$ , což značí střední závislost. U ostatních závislostí vycházely korelační koeficienty mnohem menší. Následně byly vypočítány výběrové parciální korelační koeficienty s využitím determinantů odvozených z výběrové korelační matice  $\mathbf{R}$ .

Procento variability počtu obětí, které je vysvětleno lineární závislostí na škodách a na skupinách faktorů  $P$  a  $W$ , se vypočetlo s využitím výběrového vícenásobného koeficientu korelace. Koeficient dosahuje hodnoty  $R_{LOL,(D,P+2,W+2)} = 0,814$ , což značí silnou závislost. Jeho kvadrát vyjadřuje, že cca 66,3 % variability počtu obětí je vysvětleno lineární závislostí na škodách  $D$  a faktorech  $P$  a  $W$ .

Po zhodnocení těchto závislostí následovalo sestavení modelu pro odhad ztrát lidských životů při povodni.

## 4.2 Návrh a ověření modelu pro odhad ztrát na lidských životech

Na základě výše popsané analýzy funkčních závislostí byl navržen vztah obecného tvaru:

$$y = k \cdot x_1^b \cdot x_2^c \cdot x_3^d, \quad (4.1)$$

kde  $k, b, c, d$  jsou součinitelé odvozené kalibrací modelu pomocí metody nejmenších čtverců. Za  $y, x_i$  se v dalším postupu dosadí veličiny  $LOL, D, P$  a  $W$ . Po dosazení jednotlivých veličin do vztahu (4.1) a přičtení hodnoty 2 ke skupinám faktorů  $P$  a  $W$  (u logaritmování se nesmí vyskytovat záporná čísla) bude mít výsledný vztah tvar:

$$LOL = 10^a \cdot D^b \cdot (P + 2)^c \cdot (W + 2)^d, \quad (4.2)$$

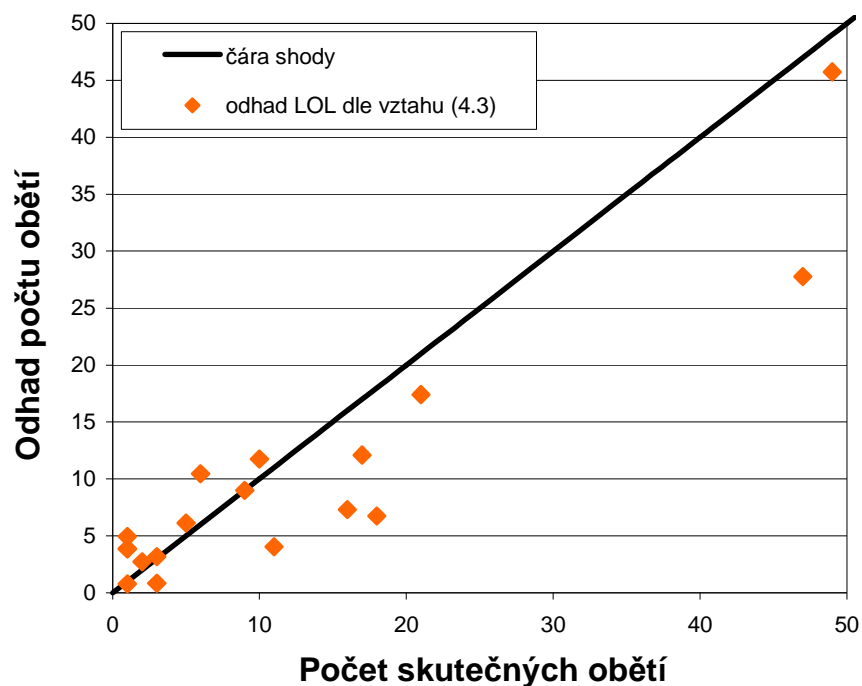
kde  $LOL$  je počet obětí při dané povodni,  $D$  jsou materiální škody při daném povodňovém scénáři v USD,  $P$  a  $W$  jsou bodová hodnocení skupin faktorů  $P$  a  $W$  pro povodňový scénář ve škále v intervalu  $\langle -1, 1 \rangle$  stanovená dle postupu uvedeného v kap. 2.2,  $a, b, c, d$  jsou exponenty, odvozené kalibrací pomocí metody nejmenších čtverců.

Pro snadnější kalibraci byla mocninná funkce převedena logaritmováním na funkci lineární v parametrech. S využitím hodnot  $LOL, D, P$  a  $W$  uvedených v tabulce 3.1 byly stanoveny pomocí metody nejmenších čtverců neznámé parametry  $a, b, c, a d$ .

Po dosazení získaných exponentů a po úpravě se získá konečný model:

$$LOL = 0,0752 \cdot D^{0,3840} \cdot (P + 2)^{-3,2066} \cdot (W + 2)^{-1,0172}. \quad (4.3)$$

Zpětným dosazením hodnot  $D, P$  a  $W$  uvedených v tabulce 3.1 do vztahu (4.3) byla ověřena přiléhavost modelu. Na obr. 4.1 je zobrazen graf shody výsledků modelu (4.3) se skutečným počtem povodňových obětí dle tabulky 3.1. V tab. 4.1 je pak uvedeno srovnání odhadů dle vztahu (4.3) se skutečným počtem obětí u analyzovaných povodní.



Obr. 4.1 Graf shody výsledků modelu (4.3) se skutečným počtem obětí

Tab. 4.1 Srovnání modelu dle vztahu (4.3) se skutečným počtem obětí u analyzovaných povodní

Povodňová událost			Skutečný počet obětí $LOL_i$	Počet obětí $LOL_i$ dle (4.3)	Absolutní odchylka	Relativní odchylka [%]
Číslo povodně $i$	Datum	Lokalita				
1	1997 - červenec	Česká republika	49	46	3	-6,12
2	1998 - červenec	Česká republika	10	12	2	20,00
3	2000 - březen	Česká republika	2	3	1	50,00
4	2002 - srpen	Česká republika	17	12	5	-29,41
5	2006 - jaro	Česká republika	11	4	7	-63,64
6	2009 - červen	Česká republika	18	7	11	-61,11
7	2010 - květen, červen	Česká republika	3	3	0	0,00
8	2010 - srpen	Česká republika	5	6	1	20,00
9	1997 - červenec	Slovensko	1	5	4	400,00
10	1998 - červenec	Slovensko	47	28	19	-40,43
11	1999 - červenec	Slovensko	1	4	3	300,00
12	2002 - srpen	Rakousko	9	9	0	0,00
13	2005 - srpen	Rakousko	3	1	2	-66,67
14	2009 - červenec	Rakousko	1	1	0	0,00
15	2000 - říjen	Švýcarsko	16	7	9	-56,25
16	2005 - srpen	Švýcarsko	6	10	4	66,67
17	2007 - srpen	Švýcarsko	1	4	3	300,00
18	1997	Polsko	54	45	9	-16,67
19	2002 - srpen	Německo – povodeň na Labi	21	17	4	-19,05

## 5 RIZIKO ZE ZTRÁTY ŽIVOTA PŘI POVODNÍCH

Povodňové riziko je obecně vyjádřeno pravděpodobností výskytu nežádoucího jevu a nepříznivých dopadů na životy lidí, v tomto případě ztráty lidských životů [Říha a kol., 2005]. V našem případě lze riziko kvantifikovat např. odhadovaným průměrným ročním počtem obětí vyvolaným povodněmi, popř. funkční závislostí mezi počtem úmrtí při povodni s danou dobou opakování (pravděpodobností výskytu). Na základě dopadů (v tomto případě dopadů, týkajících se pouze lidských životů) lze rozlišit povodňové riziko na individuální a společenské.

V dalším textu bude pozornost zaměřena na širší území a na ohrožené obyvatele nacházející se v zasažené oblasti, tedy na společenské riziko, které lze vyjádřit dvěma způsoby:

- jako průměrné roční společenské riziko ze ztrát lidských životů vyjádřené střední (očekávanou) hodnotou ročního počtu obětí  $E(LOL)$ .
- jako vztah mezi četností výskytu povodně a počtem osob, které jsou vystaveny nebezpečí, popř. mohou přijít o život; tento způsob vede ke konstrukci tzv. F-N křivek. F-N křivky graficky znázorňují vztah mezi roční pravděpodobností, resp. četností povodní  $F$  a počtem ztrát na životech  $N$  (v tomto případě  $LOL$ ). Ve skutečnosti se jedná o čáru překročení počtu obětí při povodni  $G(LOL)$ , při které dojde k obětem  $LOL$  [Říha a kol., 2008]. Jelikož se hodnoty  $G(LOL)$  a  $LOL$  pohybují v rozpětí několika řádů, vynášejí se F-N křivky v logaritmickém měřítku.

Stanovené povodňové riziko je třeba posléze porovnat s jeho mezními - přijatelnými hodnotami. Stanovení těchto hranic hraje při hodnocení a zvládnutí rizika důležitou roli, jelikož udávají, zda je nutné riziko snížit či nikoliv. Přijatelné riziko lze vyjádřit stejně jako povodňové riziko pomocí průměrného ročního počtu úmrtí v dané lokalitě nebo porovnáním s mezemi vyjádřenými v F-N diagramu.

### 5.1 Porovnání přijatelného rizika s průměrným ročním společenským rizikem

Při srovnání přijatelného rizika s průměrným ročním rizikem lze využít postupu, který zpracovali Jonkman, Gelder, Vrijling (2002). Porovnávají mezi sebou celkové společenské riziko, resp. průměrný roční počet úmrtí  $E(LOL)$  zvýšený o směrodatnou odchylku  $\sigma$  vynásobenou součinitelem averze  $k$  dle vztahu (5.1) a přijatelné (akceptovatelné) riziko  $RI_A$  (5.2).

$$RI_{S,celk} = E(LOL) + k \cdot \sigma(LOL) , \quad (5.1)$$

$$RI_{S,celk} < RI_A \quad (5.2)$$

Přijatelné riziko v tomto případě vyjadřují součinem  $\beta \cdot M$ , tedy po úpravě (5.2) lze vztah zapsat následovně:

$$E(LOL) + k \cdot \sigma(LOL) < \beta \cdot M , \quad (5.3)$$

kde  $\beta$  je koeficient dobrovolnosti jedince dle tabulky 5.1 a  $M$  je průměrný akceptovatelný počet obětí při povodních za rok.

**Tab. 5.1 Koeficient dobrovolnosti  $\beta$  dle [Jonkman, Gelder, Vrijling, 2002]**

$\beta$	Stupeň dobrovolnosti	Pravděpodobnost úmrtí	Příklad
10 - 100	zcela dobrovolná volba zvýšeného rizika	$10^{-3} - 10^{-2}$	„povodňová turistika“
1 - 10	vysoká míra dobrovolnosti a vlastního rozhodnutí	$10^{-4} - 10^{-3}$	záchranáři
0,1 - 1	malá dobrovolnost a ovlivnění rizika vlastním rozhodnutím	$10^{-5} - 10^{-4}$	ohrožení obyvatel - s varováním
0,01 - 0,1	nedobrovolné střetnutí s nebezpečím	$10^{-6} - 10^{-5}$	ohrožení obyvatel - bez varování

Hodnota  $M$  je specifická pro každou zemi (pro Nizozemí  $M = 100$ , pro Jižní Afriku  $M = 750$ ). V tomto parametru jsou započítány ukazatele jako výskyt nebezpečí v zemi, velikost a hustota populace, stav záchranného systému apod.

Pro přírodní povodně v ČR by mohla být odvozena hodnota členu na pravé straně  $\beta \cdot M$  s využitím počtu skutečných obětí  $M_i$  (111 osob), které zahynuly při českých povodních viz kap. 3, vázaných na koeficient dobrovolnosti  $\beta_i$  (Tab. 5.1). Celkově se jedná o povodňové události vyskytující se v období 14 let od roku 1997 do 2010. Pro české povodně lze tedy vztah upravit na:

$$E(LOL) + k \cdot \sigma(LOL) < \sum_{i=1}^4 \beta_i \cdot M_i \quad (5.4)$$

Pro zjištění přijatelné míry bylo finálně u všech obětí předpokládáno, že se povodně zúčastnili nedobrovolně, tedy  $\beta_i = 0,01$ . Do vztahu nejsou započítány 4 oběti, které přišly o život vlivem zcela dobrovolné volby zvýšeného rizika tzv. „povodňové turistiky“. Výsledná hodnota členu  $\beta_i \cdot M_i$  je uvedena v tab. 5.2.

**Tab. 5.2 Výpočet přijatelného ročního počtu obětí při povodni v rámci ČR**

Koeficient dobrovolnosti $\beta_i$	Počet skutečných obětí $M_i$	$\beta_i \cdot M_i$
0,01	111	1,11
	$\beta_i \cdot M_i / 14 \text{ let}$	<b>0,07929</b>

Uvedené číslo vyjadřuje přijatelný roční počet ztrát lidských životů vzniklých během jedné povodňové epizody v rámci České republiky.

## 5.2 Přijatelné riziko vyjádřené pomocí F-N křivek

Nejjednodušší konstrukce F-N křivek vychází z filozofie stejného přijatelného rizika. V tomto případě se uplatňuje zachování konstantního přijatelného (tolerovatelného) rizika [Říha a kol. 2008], tedy:

$$RI_P = konst. = C_P; \quad RI_T = konst. = C_T, \quad (5.5)$$

kde  $RI_P$ , resp.  $RI_T$  jsou meze přijatelného, resp. tolerovatelného rizika. Dosazením za  $RI_P$ , resp.  $RI_T$  do vztahu (5.5) dostaneme:

$$RI_P = G_P(LOL) \cdot LOL = C_P; \quad RI_T = G_T(LOL) \cdot LOL = C_T \quad (5.6)$$

Vynesením závislostí

$$G_P(LOL) = \frac{C_P}{LOL} \quad ; \quad G_T(LOL) = \frac{C_T}{LOL} \quad (5.7)$$

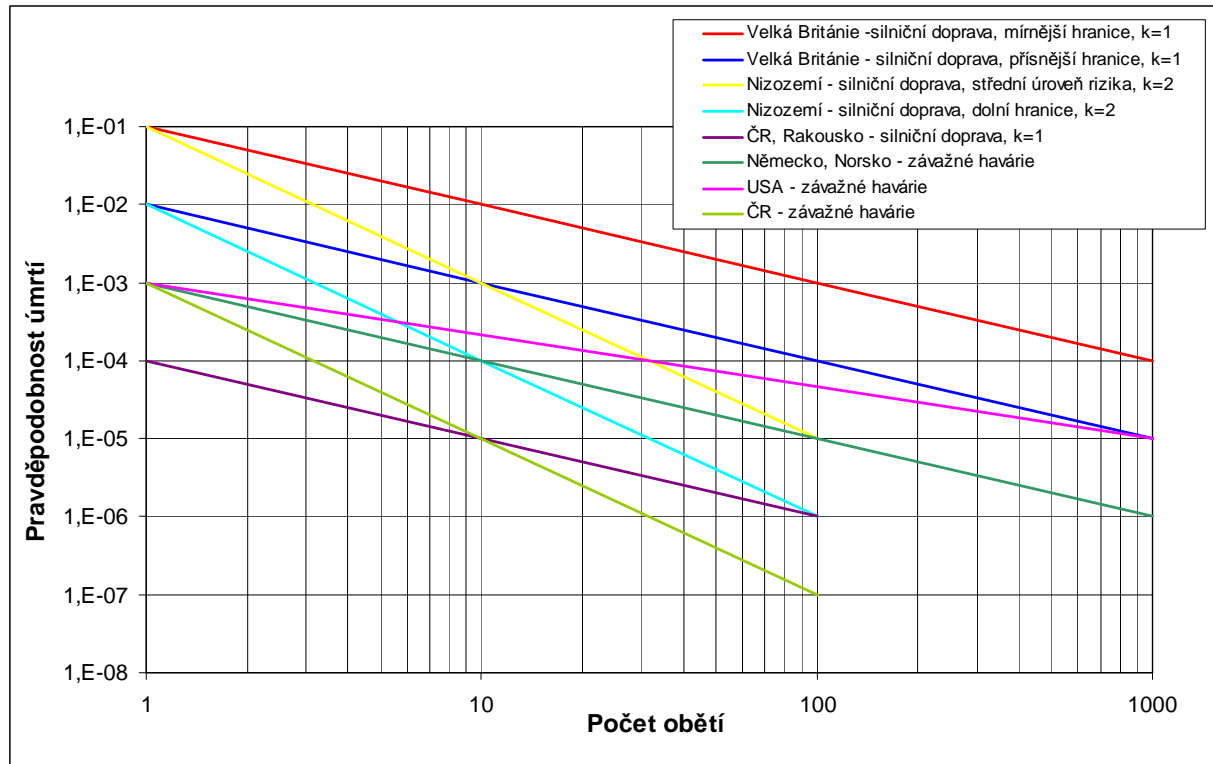
v logaritmickém měřítku se získají přímky se směrnicí -1. Meze přijatelnosti rizika tedy konstant  $C_P$  a  $C_T$  se liší dle oborů lidské činnosti (zvláštní povodně, závažné havárie, silniční a letecká doprava v tunelech) a lokality.

V České republice nejsou meze přijatelného rizika pro přírodní povodně legislativně ani v národním měřítku vymezeny. Podkladem pro volbu konstanty  $C_P$  a  $C_T$  mohou být hodnoty uváděné pro ostatní druhy činnosti (závažné havárie, dopravu v tunelech, bezpečnost vodního díla atd.).

Dalším podkladem mohou být zahraniční mezní hodnoty, které však, stejně jako v ČR, nejsou stanoveny pro přírodní povodně, ale pro ostatní odvětví. Většina zahrnuje součinitel averze vůči riziku  $k$  nabývající hodnot  $k = 1$  až 3. Součinitel charakterizuje strmost přímky danou směrnicí. Pokud směrnice bude rovna -1 ( $k = 1$ ), pak averze vůči riziku bude neutrální. V případě směrnice -2, resp. -3 ( $k = 2$ , resp. 3) je zohledněna averze vůči riziku [Jonkman, Gelder, Vrijling 2002].

Ze zahraničí byly získány informace ohledně silniční dopravy (především v tunelech), letecké dopravy a závažných havárií. Na obrázku 5.1 jsou zobrazeny meze společenského rizika pro vybrané činnosti ve Velké Británii, Nizozemí, ČR, Rakousku, Německu a Norsku.

Souhrnný přehled hranic přijatelného a tolerovatelného rizika definovaných součiniteli  $C_P$  a  $C_T$  pro spol. riziko dle různých zemí a oblastí zájmu je uveden v tab. 5.3.



Obr. 5.1 Souhrnný přehled mezí společenského. rizika dle různých zemí a oblastí zájmu

**Tab. 5.3 Souhrnný přehled hranic pro spol. riziko dle různých zemí a účelu použití**

Oblast zájmu	Země	$C_P$	$k_P$	$C_T$	$k_T$	Zdroj
Povodně	ČR	$10^{-2}$	2	$10^{-1}$	1	[Posílení rizikové analýzy, 2004]
Zvláštní povodně	Velká Británie	$10^{-4}$	1	$10^{-2}$	1	[Brown, Gosden, 2004]
	Německo	$10^{-3}$	1	-	-	[Rettemeier a kol., 2001]
	Austrálie	$10^{-4}$	1	$10^{-3}$	1	[Marsden, 2007]
	Norsko	$10^{-3}$	1	-	-	NNCOLD 1997
	ČR (odhad)	$10^{-3}$	1	-	-	Vyhláška č. 367/2005 Sb.
Závažné havárie	Nizozemí	$10^{-5}$	2	$10^{-3}$	2	[Trbojevic, 2003]
	ČR	$10^{-4}$	2	$10^{-3}$	2	[SEVESO II]
	Velká Británie	$10^{-3}$	1	-	-	[HSE, 2004]
Silniční doprava – tunely	Nizozemí	$10^{-2}$	2	$10^{-1}$	2	[Holický, 2006]
	Velká Británie	$10^{-2}$	1	$10^{-1}$	1	[Holický, 2006]
	ČR	$10^{-4}$	1	$10^{-2}$	1	[Holický, 2006]
	Rakousko	$10^{-4}$	1	-	-	[Holický, 2006]

### 5.3 Meze přijatelného rizika pro přírodní povodně

V rámci řešení projektu [Drbal a kol. 2011] byly navrženy meze pro přírodní povodně. Vycházelo se z výše uvedených domácích i zahraničních podkladů a byly zohledněny dva faktory:

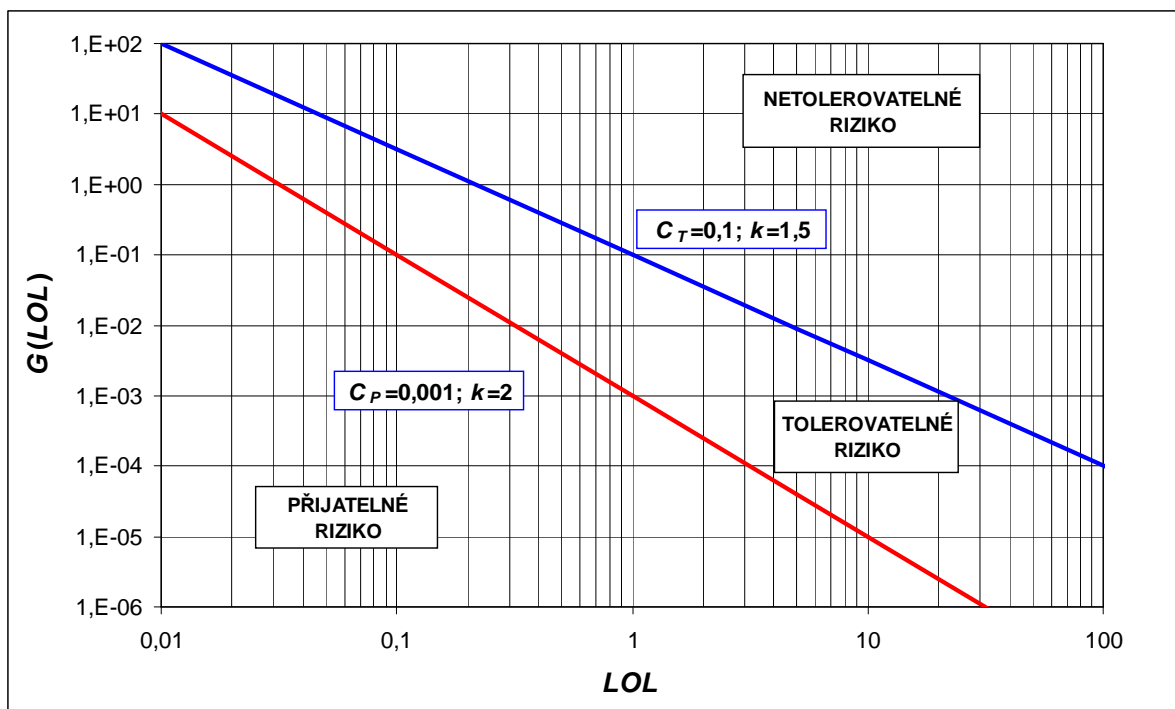
- Přírodní povodně jsou oproti zvláštním povodním vnímány jako nevyhnutelný jev, který nelze ovlivnit. Z tohoto důvodu je averze vůči těmto povodním menší než vůči povodním způsobeným poruchou technického díla.
- Averze společnosti vůči hromadným úmrtím při extrémních povodních s malou pravděpodobností výskytu je vyšší než u jednotlivých úmrtí. Je to způsobeno především nadměrnou medializací.

Při zařazení koeficientu averze  $k$  získáme tvar:

$$RI_P = G_P(LOL) \cdot LOL^{k_P} = C_P; \quad RI_T = G_T(LOL) \cdot LOL^{k_T} = C_T \quad (5.8)$$

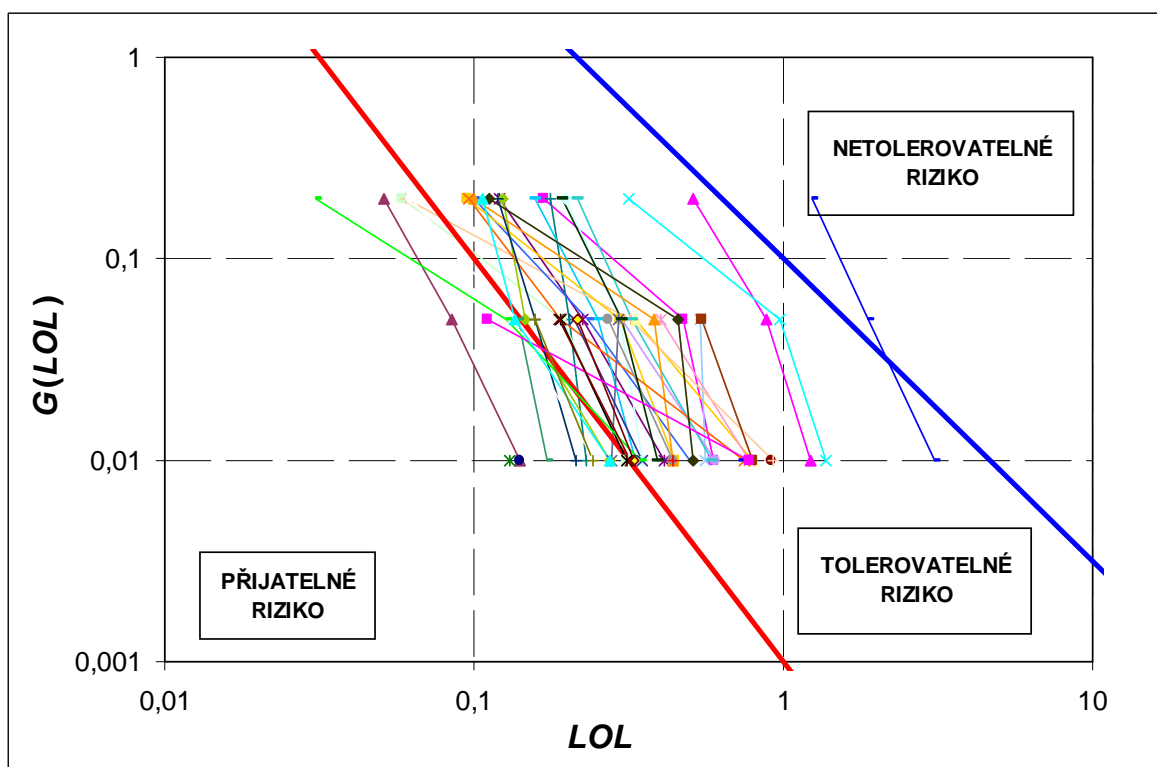
kde  $RI_P$ , resp.  $RI_T$  jsou meze přijatelného, resp. tolerovatelného rizika,  $LOL$  je počet obětí při povodni,  $k_P$ , resp.  $k_T$  jsou koeficienty averze pro přijatelné, resp. tolerovatelné riziko,  $C_P$ , resp.  $C_T$  jsou konstanty pro mezní hodnotu přijatelného, resp. tolerovatelného rizika.

Na základě výše uvedených zjištění byly navrženy mezní hodnoty pro tolerovatelné riziko  $C_T = 10^{-1}$  s koeficientem společenské averze  $k = 1,5$ . U přijatelného rizika je doporučeno volit hodnoty o řád mírnější než určuje vyhláška č. 367/2005 Sb. pro stanovení bezpečnosti přehrad při povodních (havárie technického zařízení) avšak s poněkud vyšší averzí vůči hromadným úmrtím, tedy  $C_P = 10^{-3}$  s koeficientem společenské averze  $k = 2$ . Odvozené F-N křivky jsou uvedeny na obr. 5.2.



Obr. 5.2 Navržené hranice přijatelného a tolerovatelného rizika [Drbal a kol. 2011]

Pro zjištění vhodnosti zvolených hranic bylo provedeno hodnocení na vybraných 42 lokalitách v povodí řek Moravy a Odry viz obr. 5.3 pro doby opakování povodně 5, 20 a 100 let. Řešení bylo provedeno za předpokladu, že na těchto lokalitách nebyla dosud provedena zamýšlená opatření na ochranu před povodněmi.



Obr. 5.3 F-N křivky pro povodňové události s dobami opakování 5, 20 a 100 let ve 42 vybraných lokalitách

## 6 PRAKTICKÁ APLIKACE STANOVENÍ POČTU OBĚTÍ A VYJÁDŘENÍ RIZIKA NA KONKRÉTNÍ LOKALITĚ

Pro praktickou ukázkou stanovení počtu obětí a vyjádření rizika byla zvolena lokalita Krnov na řece Opavě v Moravskoslezském kraji. Potřebná data byla získána z posuzovaných akcí dle [Strategie, 2000]. Tato oblast, nacházející se v bývalém okrese Bruntál, byla zasažena povodní v roce 1997, kdy kulminační průtok přesahoval  $Q_{100}$ . Celkové škody v okrese Bruntál činily 3,276 mil. Kč a o život přišlo 7 osob. Území horního toku řeky Opavy je v současnosti jedním z nejohroženějších území v rámci celé České republiky. Pro zvýšení povodňové ochrany je v plánu výstavba přehrady Nové Heřminovy, která má za účel převést povodňové průtoky do  $Q_{100}$ .

Analýza byla tedy provedena ve dvou variantách, a to pro stávající stav lokality Krnov, kde byly zvoleny povodňové scénáře s dobou opakování  $N = 2, 5, 10, 20, 50, 100$  a 500 let, a pro Krnov s výstavbou Nových Heřminovů (NH) pro povodňové scénáře s dobou opakování 100 a 500 let. Pro jednotlivé doby opakování  $N$  byla spočítána pravděpodobnost překročení povodně, kterou lze vypočítat následovně:

$$G(LOL) = 1 - e^{-\frac{1}{N}} \quad (6.1)$$

Pomocí  $G(LOL)$  byla dále spočítána distribuční funkce  $F(LOL) = 1 - G(LOL)$ . Dále byl k dispozici pro dané povodňové scénáře odhad materiálních škod  $D$ , který se stanovil postupem založeným na aplikaci křivek poškození [Metodika, 2011]. Poté se provedlo ocenění skupin faktorů připravenosti  $P$  dle vztahu (2.2) a varování  $W$  dle vztahu (2.3) viz kap. 2.2. Následně byl proveden odhad počtu obětí dle vztahu (4.3) viz tab. 6.1.

**Tab. 6.1 Odhad počtu obětí pro lokalitu Opava - Krnov**

Doba opakování $N$	$G(LOL)$	$F(LOL)$	$D$ [mil. USD]	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P$	$W_1$	$W_2$	$W_3$	$W$	Odhad $LOL$
500	0,0020	0,9980	3,709	0,50	0,60	0,50	0,55	0,60	0,50	0,50	0,52	0,486
100	0,0100	0,9900	2,659	0,70	0,60	0,50	0,61	0,60	0,50	0,50	0,52	0,399
50	0,0198	0,9802	1,426	0,70	0,60	0,60	0,63	0,60	0,50	0,50	0,52	0,306
20	0,0488	0,9512	0,536	0,70	0,60	0,60	0,63	0,60	0,50	0,50	0,52	0,210
10	0,0952	0,9048	0,314	0,80	0,70	0,70	0,73	0,60	0,50	0,50	0,52	0,152
5	0,1813	0,8187	0,105	0,80	0,70	0,70	0,73	0,60	0,50	0,50	0,52	0,100
2	0,3935	0,6065	0	0,80	0,70	0,70	0,73	0,60	0,50	0,50	0,52	0,000

### 6.1 Stanovení průměrného ročního společenského rizika ze ztrát lidských životů

Z provedeného odhadu počtu obětí (Tab. 6.1) bylo stanoveno průměrné roční společenské riziko  $RI_S$  dle vztahu (5.1) viz tab. 6.2. se zvoleným součinitelem averze  $k = 0,1,2$ , které je blíže specifikováno v kap. 5.

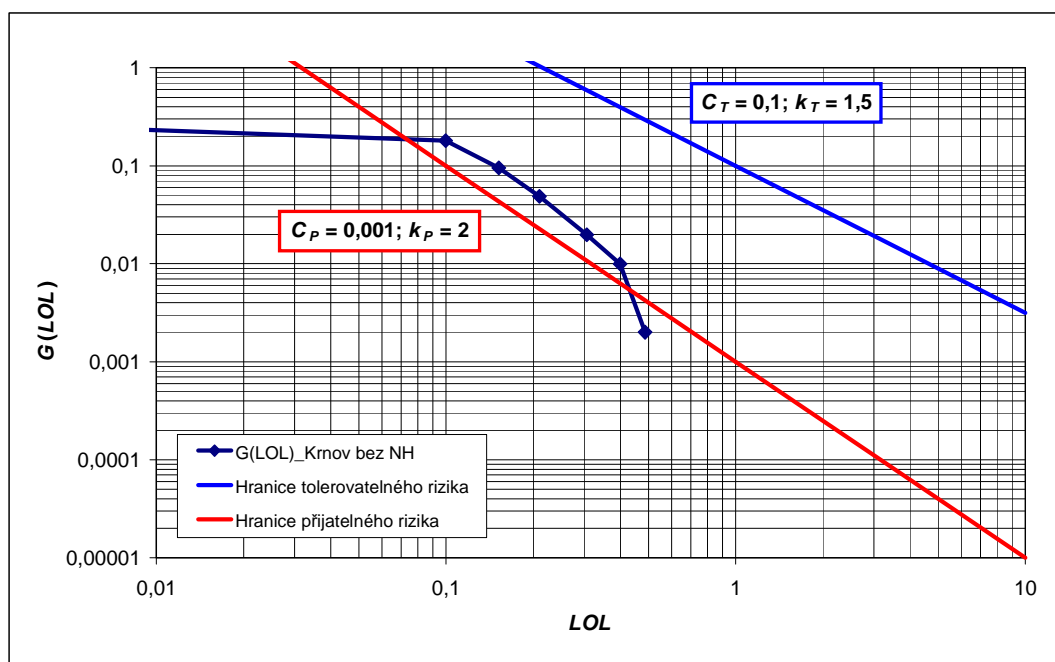
**Tab. 6.2** Výsledné vypočtené hodnoty průměrného ročního společenského rizika  $RI_S$  dle (5.1) pro variantu Krnov - stávající stav a Krnov s výstavbou NH v porovnání s přijatelným rizikem  $RI_A$

Součinitel averze $k$	Stávající stav		S výstavbou NH	
	$RI_S$	$RI_S < RI_A = 0,0793$ [osoba/rok]	$RI_S$	$RI_S < RI_A = 0,0793$ [osoba/rok]
0	0,0443	vyhovuje	0,0035	vyhovuje
1	0,2266	nevyhovuje	0,0413	vyhovuje
2	0,4089	nevyhovuje	0,0791	vyhovuje

Po srovnání vypočtených hodnot průměrného ročního společenského rizika  $RI_S$  pro Krnov – stávající stav viz tab. 6.2 s přijatelným ročním počtem ztrát lidských životů při povodni  $RI_A = 0,0793$  osoby/rok spočítaného dle postupu viz kap. 5.1 vztah (5.4) lze konstatovat, že se hodnota společenského rizika  $RI_S$  dostává do nepřijatelných mezí. Je tedy zapotřebí realizovat taková opatření, která by společenské riziko snížila. Z tohoto důvodu je uvedeno porovnání hodnot  $RI_S$  a  $RI_A$  v případě výstavby přehrady Nové Heřminovy, z čehož je zřejmé, že se výstavbou průměrné společenské riziko sníží na přijatelnou úroveň.

## 6.2 F-N křivky

Dále bylo zhodnoceno přijatelné riziko pomocí F-N křivek, kdy byla závislost  $G(LOL)$  na odhadu  $LOL$  pro variantu Krnov – stávající stav vynesena do F-N grafu (Obr. 6.1). Jsou v něm znázorněny meze dle doporučení uvedeného v kapitole 5.3 a na obr. 5.2. Z grafu vyplývá, že povodně s dobami opakování 5 až 100 let nevyhovují z hlediska přijatelnosti ztrát na lidských životech požadavkům přijatelného rizika. Z tohoto důvodu je opět potřeba realizovat odpovídající nápravná opatření, v tomto případě výstavbu přehrady Nové Heřminovy. Pro návrhový stav s NH povodeň s dobou opakování  $Q_{500}$  vyhovuje požadavkům přijatelného rizika. Pro  $Q_{100}$  by bylo vhodné provést analýzu ALARP (As Low As Reasonably Practicable), která však není předmětem této práce.



**Obr. 6.1** F-N křivka pro lokalitu Opava - Krnov

## 7 ZÁVĚR

Disertační práce obsahuje jeden z možných postupů pro stanovení mimoekonomických škod, resp. odhadu počtu obětí při povodních. Před řešením daného tématu byla provedena rešerše dostupných podkladů týkajících se všeobecně analýzy povodňového rizika a rovněž klasifikace povodňových škod dle jejich vzniku a povahy, což vyplývalo z původního zadaného tématu „Analýza škod při povodních“. Na základě přístupných podkladů bylo zjištěno, že jak v ČR, tak i v zahraničí se nejméně prostudovanou oblastí jeví přímé mimoekonomické škody, které zahrnují ztráty lidských životů. Z tohoto důvodu bylo téma disertační práce upřesněno na „Odhad ztrát lidských životů při povodni“.

V prvotní fázi bylo důležité vymezit a definovat pojmy týkající se přímých mimoekonomických škod. Jednalo se o pojmy jako např. povodňové riziko, nebezpečí, expozice, zranitelnost, charakteristiky průběhu povodně, ochrana před povodněmi, povodňové ohrožení a řadu dalších. Samotný návrh modelu vycházel nejdříve z podrobné kvalitativní analýzy, která zahrnovala identifikaci a rozbor faktorů ovlivňujících ohroženého jedince při povodni. Z důvodu jejich značného počtu byla provedena agregace pouze do tří základních skupin D zohledňující materiální škody, P připravenost a W varování, které byly posléze podrobeny analýze vzájemných závislostí. Následoval rozbor historických povodňových událostí u nás i ve světě (cca 235 povodní). Výsledkem pak byla evidence 19-ti povodní v Evropě (Česká republika, Slovensko, Rakousko, Polsko, Německo a Švýcarsko), které proběhly v letech 1997 až 2010 a splňovaly předem stanovená kritéria. Na základě výsledků srovnání byl navržen a s využitím dat ze skutečných povodní nakalibrován model pro odhad počtu obětí při povodni. Z hodnoty spočítané pomocí výsledného vztahu bylo odvozeno roční společenské riziko, které bylo následně srovnáno s přijatelným rizikem. Pro určení hranic přijatelného rizika v současné době nejsou dostupná jednotná národní či mezinárodní doporučení. Byly tedy využity podklady týkající se nejen povodňové problematiky (protržení hráze), ale rovněž i dalších odvětví (závažné havárie, doprava v tunelech atd.). S ohledem na získané informace byly navrženy hranice pro přírodní povodně. K zjištění, zda jsou hranice správně zvoleny, bylo provedeno hodnocení na vybraných 42 lokalitách v povodí řek Moravy a Odry. Na závěr byl model otestován na konkrétní lokalitě Krnov na řece Opavě.

Dílejší práce byly zpracovávány v rámci projektů SP/1c2/121/07 - Mapy rizik vyplývajících z povodňového nebezpečí v ČR, FAST-S-10-24/210 - Analýza rizik vyplývajících z ohrožení obyvatelstva při povodních a FAST-J-11-50 - Návrh modelu pro odhad ztrát na lidských životech při povodni.

### 7.1 Zhodnocení výsledků disertační práce

Cílem disertační práce bylo nalézt nový přístup řešení při stanovení odhadu ztrát lidských životů při povodni. Lze konstatovat, že tento cíl byl ve všech bodech splněn.

Při odvozování modelu pro odhad ztrát lidských životů byl použit postup založený na předpokladu, že ekonomická a sociální sféra jsou vzájemně propojeny. Tedy výše počtu obětí koreluje s výší materiálních škod. Z toho je zřejmé, že do výsledného vztahu byly započítány materiální škody  $D$  a pro zpřesnění modelu také skupiny faktorů  $P$  a  $W$  zahrnující nejvýznamnější faktory, které mohou ovlivňovat jedince během povodně. V materiálních škodách je zohledněn počet ohrožených obyvatel  $PAR$ . Praktické využití nově navrženého modelu bylo ověřeno na konkrétní lokalitě Krnov na řece Opavě.

I když model vykazuje u nízkého počtu obětí relativně vysokou odchylku od skutečných hodnot (Tab. 4.1), absolutní odchylka činní pouze 2 až 3 úmrtí. V případě vyššího počtu obětí

se odhad s dobrou shodou přibližuje ke skutečnosti. Z hlediska věcné přesnosti podkladů a postupů při stanovení materiálních škod lze považovat výsledky za přijatelné. Odchyly od skutečných hodnot jsou dány především nejistotami, které jsou obsaženy již v odhadu materiálních škod, určitou subjektivitou hodnocení, nedostatkem přesných údajů v bodování skupin faktorů P a W a také zanedbáním zbývajících méně důležitých dílčích faktorů. Nejistoty se rovněž nacházejí v nahodilosti vzniku úmrtí při povodních.

## 7.2 Přínos disertační práce a její využití v praxi

Disertační práce se zabývá aktuální otázkou vyvstávající nejen vlivem rozsáhlých povodní, které se v posledních letech často objevují, ale rovněž vydáním evropské směrnice [ES, 2007] řešící předběžné vyhodnocení povodňových rizik.

Hlavním přínosem je návrh relativně jednoduchého modelu pro odhad ztrát lidských životů při povodni, který lze, v případě dostupných podkladů, využít v praxi. Získání povědomí o tom, kolik osob může během povodně přijít o život, je důležité především pro odbornou veřejnost, např. při rozhodování, zda uskutečnit výstavbu protipovodňových opatření (PPO) nebo zda bude vybudování PPO rentabilní.

Navržený model lze dále aplikovat ve studiích protipovodňové ochrany při posuzování přijatelnosti počtu obětí během povodní (F-N diagramy) a také při odhadu povodňového rizika pomocí vícekritériálních metod.

## 7.3 Námět na další výzkum

Pro další výzkum lze doporučit tyto činnosti:

- rozšířit evidenci historických povodňových událostí a verifikovat nově navržený model,
- zpřesnění hodnocení skupin faktorů P a W,
- zahrnout do modelu povodně s nulovým počtem obětí,
- zohlednit velikost zasaženého území.

## 8 SEZNAM VELIČIN A PROMĚNNÝCH

$a$	exponent odvozený kalibrací pomocí metody nejmenších čtverců
$b$	exponent odvozený kalibrací pomocí metody nejmenších čtverců
$c$	exponent odvozený kalibrací pomocí metody nejmenších čtverců
$C_P$	konstanta pro mezní hodnotu přijatelného rizika
$C_T$	konstanta pro mezní hodnotu tolerovatelného rizika
$d$	exponent odvozený kalibrací pomocí metody nejmenších čtverců
$D_i$	materiální škody při $i$ -tém povodňovém scénáři (např. daného dobou opakování $N = 5, 20, 100, 300, \dots$ let)
$E(LOL)$	střední hodnota odhadu počtu obětí při povodních
$F$	frekvence, resp. pravděpodobnost výskytu nebezpečné události
$F_{d,j}$	celkový vážený průměr pro $j$ -tý dílčí faktor
$k$	koeficient averze vůči riziku

$k_{1-6}$	součinitele regresní závislosti odvozené kalibrací MNČ
$k_P$	koeficient averze pro přijatelné riziko
$k_T$	koeficient averze pro tolerovatelné riziko
$LOL$	počet obětí následkem povodně
$M$	průměrný (akceptovatelný) počet obětí při povodních za rok
$M_i$	počet skutečných obětí při povodni v letech 1997 až 2010
$n$	počet dílčích faktorů
$N$	doba opakování příslušného kulminačního průtoku
$P$	bodové hodnocení skupiny faktorů P zohledňující připravenost
$P_i$	bodové hodnocení dílčích faktorů P
$p$	pravděpodobnost dosažení nebo překročení příslušného $N$ -letého kulminačního průtoku
$p_{ij}$	pořadí $j$ -tého dílčího faktoru získaného $i$ -tým postupem
$PAR$	počet ohrožených obyvatel (population at risk)
$Q_{100}$	průtok dosažený nebo překročený jednou za 100 let
$\mathbf{R}$	výběrová korelační matice
$RI_A$	přijatelné (akceptovatelné) riziko
$RI_P$	meze přijatelného rizika
$RI_S$	průměrné roční společenské riziko vyjádřené počtem obětí $LOL$ (stanovené např. ze vztahu 4.3) za rok
$RI_T$	meze tolerovatelného rizika
$W$	bodové hodnocení skupiny faktorů W zohledňující varování
$W_i$	bodové hodnocení dílčích faktorů W
$w_i$	váha dílčího faktoru dle jeho významnosti
$w_{pi}$	váha přiřazená $i$ -tému postupu
$\alpha$	součinitel averze vůči riziku
$\beta$	koeficient dobrovolnosti
$\beta_i$	koeficient dobrovolnosti příslušející počtu obětí $M_i$
$\sigma$	směrodatná odchylka

## 9 VYBRANÉ PODKLADY

### 9.1 Internetové odkazy

- [A] [www.chmu.cz](http://www.chmu.cz) . Český hydrometeorologický ústav. Praha
- [B] [www.kurzy.cz](http://www.kurzy.cz). Kurzy.cz – finanční portál pro odborníky i laiky
- [C] [www.mzp.cz](http://www.mzp.cz). Ministerstvo životního prostředí České republiky

### 9.2 Literární podklady

- ABT, S.R. et al. 1989. Human Stability in a high flood hazard zone. Water Resources Bulletin. p. 881-890.

- BOWLES, D. S. – McCLELLAND, D. M. 2002. Estimating life loss for dam safety risk assessment a review and new approach. IWR REPORT 02-R-3. Institute for Water Resources, U.S. Army Corps of Engineers. p. 420.
- BROWN, C. A. – GRAHAM, W. J. 1988. Assessing the threat to life from dam failure. Water Resour Bull: 1303-1309.
- DEFRA. 2003. Guide to the Management of Floodplains to reduce Flood Risks, HR Wallingford Ltd. 2003. p. 114.
- DEKAY, M. L. – MCCLELLAND, G. H. 1993. Predicting loss of life in cases of dam failure and flash flood. Risk Anal 13(2):193–205.
- DRBAL, K. a kol. 2001. Optimalizace strategie, přístupu a metod ochrany před povodněmi ve velkých celcích povodí. VÚV T.G.M. Brno. 2001.
- DRBAL, K. a kol. 2002. Optimalizace strategie, přístupu a metod ochrany před povodněmi ve velkých celcích povodí. VÚV T.G.M. Brno. 2002.
- DRBAL, K. a kol. 2003. Návrh metodiky stanovování povodňových rizik a škod v záplavovém území a její ověření v povodí Labe. VÚV T.G.M. Brno. 2003.
- DRBAL, K. a kol. 2004. Návrh metodiky stanovování povodňových rizik a škod v záplavovém území a její ověření v povodí Labe. VÚV T.G.M. Brno. 2004.
- DRBAL, K. a kol. 2005. Návrh metodiky stanovování povodňových rizik a škod v záplavovém území a její ověření v povodí Labe. VÚV T.G.M. Brno. 2005.
- DRBAL, K. a kol. 2007. Mapy rizik vyplývajících z povodňového nebezpečí v ČR. VÚV T.G.M. Brno. 2007.
- DRBAL, K. a kol. 2008. Zpráva výzkumného úkolu č. SP/1c2/121/07 Metodika stanovování povodňových rizik a škod v záplavovém území. VÚV T.G.M. Brno. 2008.
- DRBAL, K. a kol. 2009. Mapy rizik vyplývajících z povodňového nebezpečí v ČR. Závěrečná zpráva. Brno. 2009. p. 1 - 84.
- DRBAL, K. a kol. 2010. Mapy rizik vyplývajících z povodňového nebezpečí v ČR. Závěrečná zpráva. Brno. 2010.
- DRBAL, K. a kol. 2011. Mapy rizik vyplývajících z povodňového nebezpečí v ČR. Závěrečná zpráva. Brno. 2011.
- FRIEDMAN, D. G. 1975. Computer simulation in natural hazard assessment. Institute of Behavioral Science. University of Colorado, Boulder. Colorado. p. 194.
- GRAHAM, W. J. 1999. Floods caused by dam failure. Dam safety office report DSO-99-6.
- HOLICKÝ, M. 2006. Kritéria rizik silničních tunelů. Pravděpodobnost porušování konstrukcí – PPK 2006. ISBN 80-214-3251-9. VUT v Brně. Brno. S. 13 – 18.
- HSE. 2004. Guidance on 'as low as reasonably practicable' (ALARP) Decision in Control Of major Accident Hazards (COMAH), SPC/Permissioning/12.
- JONKMAN, S.N. 2007. Loss of life estimation in flood risk assessment. Theory and applications. Disertation. Delft University of Technology. 2007.
- JONKMAN, S.N. - GELDER, P.H.A.J.M. - VRIJLING, J.K. 2002. Loss of life models for sea and river floods. In: Flood Defense 2002, Wu et. al. (editors). Vol. I. Science Press, New York.
- KELMAN, I. Physical vulnerability of residential properties in coastal, eastern England, PhD dissertation. Cambridge University. 2002.
- LIND, N. – HARTFORD, D. 2000. Probability of human instability in a flooding: a hydrodynamic model. Proceedings Applications of statistics and probability. Balkema. Rotterdam. p. 1151-1156.
- POSÍLENÍ RIZIKOVÉ ANALÝZY. 2004. Posílení rizikové analýzy a stanovení aktivních zón v českém vodním hospodářství. Ministerstvo zemědělství ČR. Nizozemský program „Partners for Water“. 110302/OF4/102/000852/LE. s. 108.
- PRIEST, S. a kol. 2007. Building a model to estimate Risk to Life for European flood events - Final Report. Floodsite. Report number T10-07-10. United Kingdom. p. 174.
- RAMSBOTTOM, D. - FLOYD, P. - PENNING-ROUSELL, E. 2003. Flood Risks to People, Phase 1, R&D Technical Report FD 2317, Defra/Environment Agency, Flood and Coastal Defence R&D Programme, ISBN 1844321355, London, p. 109.

- RESCDAM. 2000. The Use of physical Models in Dam- break Flood Analysis, Final report. Helsinki University of Technology. 2000. p. 57.
- ŘÍHA, J. a kol. 2005. Riziková analýza záplavových území, Práce a studie Ústavu vodních staveb FAST VUT Brno, Sešit 7, CERM, ISBN 80-7204-404-4. Brno. 2005. p. 286.
- ŘÍHA, J. a kol. 2008. Úvod do rizikové analýzy přehrad, Práce a studie Ústavu vodních staveb FAST VUT Brno, Sešit 11, CERM, ISBN 978-80-7204-608-9. Brno. 2008. p. 355.
- SALAJ, M. 2009. Analýza povodňových rizik osob. Disertační práce ČVUT. Praha, 85 s.
- SURENDRAN, S a kol. 2006. Outputs-Flood Risks to People. Phase 2. FD 2321/TR1 The Flood Risk to People Methodology. Defra/Environment Agency, Flood and Coastal Defence R&D Programme. London. p. 92.
- TRBOJEVIC, V. M. 2003. Development of Risk Criteria for Road Tunnels. 5th International Conference – Safety in Road and Rail Tunnels. Marseille.
- VROUWENVELDER, A. C. W. M. – STEEHUIS, C. M. 1997. secondary flood defences in the Hoeksche Waard, calculation of the number of fatalities for various flood scenarios . 1997.
- WAARTS, P. H. 1992. Metod for determining los sof life cause by inundation. 1992.

### **9.3 Předpisy**

- ES 2007. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2007/60/ES ze dne 23.října 2007 o vyhodnocování a zvládnání povodňových rizik.
- MP SEVESO II. Metodický pokyn závažné havárie SEVESO II.
- METODIKA. 2011. Metodika tvorby map povodňového nebezpečí a povodňových rizik. Ministerstvo životního prostředí České republiky, Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka. Květen 2011.
- Zákon č. 254/2001 Sb. o vodách a změně některých zákonů.

## 10 ŽIVOTOPIS A PUBLIKAČNÍ ČINNOST

### **Jméno:**

Ing. Miriam Brázdová, roz. Marčíková

### **Narozena:**

19.1.1984 v Brně

### **Vzdělání:**

1996 – 2003 I. Německé zemské gymnasium v Brně, obor - všeobecné vzdělávání s jazykovým zaměřením

2003 – 2008 Stavební fakulta Vysokého učení technického v Brně, obor Vodní stavby.

Téma diplomové práce: „Vodácký kanál Brno – Pisárky“

- studie pro Klub turistů a lyžařů v Brně

- diplomová práce oceněna 1. místem v soutěži Stavba Jihomoravského kraje 2008 – studentské projekty

od 2008 doktorský studijní program Vodní hospodářství a vodní stavby na Ústavu vodních staveb Fakulty stavební VUT v Brně

### **Zahraniční stáž:**

Země: Rakousko, Vídeň

Hostitelská organizace: Universität für Bodenkultur Wien (BOKU) Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiver Wasserbau (Ústav vodního hospodářství, hydrologie a vodních staveb)

Délka pobytu: 3 měsíce (září – prosinec 2010)

### **Ostatní aktivity:**

2008 – 2010 Pedagogická činnost na Ústavu vodních staveb v rámci doktorského studia: Výuka předmětu BS01 – Vodohospodářské stavby

od 2011 Projektantská činnost - částečný úvazek v Pöyry Environment a.s., Středisko vodohospodářského plánování

### **Jazykové znalosti:**

Němčina - aktivní znalost

- Malá státní jazyková zkouška

- zkouška Zentrale Mittelstufenprüfung (mezinárodní státní jazyková zkouška)

Angličtina - částečná znalost

### **Ostatní znalosti:**

#### **Práce na PC**

Operační systém MS Windows, MS Office Excel, MS Office Word, AutoCAD, ArcGIS, výpočtový program HEC-RAS

#### **Řidičský průkaz**

Skupina A, B

### **Spolupráce na projektech v rámci doktorského studia:**

SP/1c2/121/07 - Mapy rizik vyplývajících z povodňového nebezpečí v ČR .

FAST – S – 10- 24/210 - Analýza rizik vyplývajících z ohrožení obyvatelstva při povodních.

FAST-J-11-50 - Návrh modelu pro odhad ztrát na lidských životech při povodni

NAZV QH 81223 - Návrhy na zvýšení spolehlivosti ochranných hrází ve změněných klimatických podmínkách.

FAST-J-11-40 - Hodnocení spolehlivosti zemních hrází ohrožených filtračními deformacemi

FAST-S-11-62 - Hodnocení rizik ochranných prvků z pohledu vlivu podzemních vod se zaměřením na filtrační stabilitu.

FAST-S-11-64/1415- Hodnocení nejistot v rizikové analýze záplavových území

Železniční uzel Brno. Studie průsakových poměrů v prostoru protipovodňových prvků pro ŽUB Brno.

Překladatelská činnost odborných textů z němčiny do češtiny.

### **Příspěvky na konferencích:**

ŘÍHA, J. - MARČÍKOVÁ, M. 2009. Classification and Estimate of Flood Losses. In Eleventh International Symposium on Water Management and Hydraulic Engineering, volume 2. Skopje, Macedonia, Faculty of Civil Engineering, Ss.Cyril and Methodius University. Skopje, Macedonia. 2009. p. 863 - 872. ISBN 978-9989-2469-7-5. Ohrid.

ŘÍHA, J. - MARČÍKOVÁ, M. 2010. Poznámky k vybraným návrhovým parametrům ochranných hrází. XXXII. Priehradné dni. Slovenský vodohospodársky podnik, štátny podnik. Banská Bystrica, Slovenská republika. 2010. Prijato konferenčným výborem.

MARČÍKOVÁ, M. - ŘÍHA, J. 2010. Faktory ovlivňující ztráty na životech lidí. Konference s mezinárodní účastí-Rizika ve vodním hospodářství. Akademické nakladatelství CERM, s.r.o.

BRÁZDOVÁ, M. - ŘÍHA, J. 2011. Model pro odhad počtu obětí při povodních. Konference s mezinárodní účastí-Vodní toky. Hradec Králové.

### **Výzkumné zprávy a studie:**

DRBAL, K. a kol. 2008, 2009, 2010, 2011. Mapy rizik vyplývajících z povodňového nebezpečí v ČR. Závěrečné zprávy. Brno,CZ, FAST VUT.

ŘÍHA, J.- JULÍNEK, T.- MARČÍKOVÁ, M.- CHLUBNA, L. 2009. Železniční uzel Brno. Studie průsakových poměrů v prostoru protipovodňových prvků pro ŽUB Brno. Pöyry Environment a.s. p. 1 - 32.

KOČMAN, T. Kuřim. 2008. Generel odvodnění. Monitoring na stokové síti města Kuřimi, monitoring průběhů srážek, monitoring kvality vody. Závěrečná zpráva, Hydroprojekt CZ, a.s., Brno. 10/2008.

### **Příspěvky v odborných časopisech:**

MARČÍKOVÁ, M. - ŘÍHA, J. 2010. K vybraným návrhovým parametrům ochranných hrází. Domáci a zahraniční podklady. Vodní hospodářství. 4/2010. p. 75 – 79.

BRÁZDOVÁ, M. - ŘÍHA, J. 2011. Faktory ovlivňující ztráty na životech lidí při povodni. Stavební obzor. 3/2012. s. 90 – 96.

BRÁZDOVÁ, M. - ŘÍHA, J. 2012. A Simple Model for the Estimate of Fatalities due to the Flood. Natural Hazards and Earth System Science. Zasláno do redakce.