



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

ÚSTAV SOUDNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF FORENSIC ENGINEERING

RIZIKO VODOHOSPODÁŘSKÝCH STAVEB Z POHLEDU TZV. ČERNÝCH LABUTÍ

RISK OF HYDRAULIC STRUCTURES FROM THE POINT OF VIEW OF THE SO
CALLED "BLACK SWANS"

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Kristýna Hrabová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Vladimír Adamec, CSc.

BRNO 2016

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav soudního inženýrství
Studentka:	Bc. Kristýna Hrabová
Studijní program:	Rizikové inženýrství
Studijní obor:	Řízení rizik stavebních konstrukcí
Vedoucí práce:	doc. Ing. Vladimír Adamec, CSc.
Akademický rok:	2015/16

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

Riziko vodohospodářských staveb z pohledu tzv. černých labutí

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

S existencí vodohospodářských děl je spojeno určité riziko jejich porušení, kdy může dojít k událostem s katastrofickými následky. Důsledkem mohou být nejen škody finanční, ale i škody na lidských životech a životním prostředí. Práce bude zaměřena na problematiku možných nepředvídatelných událostí a návrh opatření k jejich příp. eliminaci či snížení.

Cíle diplomové práce:

Provést analýzu rizik vybrané vodohospodářské stavby, včetně návrhu na snížení event. dopadů z pohledu vysoce nepravděpodobných událostí.

Seznam literatury:

TICHÝ, Milík. Ovládání rizika: analýza a management. Vyd. 1. Praha: C.H. Beck, 2006, xxvi, 396 s. ISBN 80-7179-415-5.

AVEN, Terje et al. Uncertainty in Risk Assessment: The Representation and Treatment of Uncertainties by Probabilistic and Non-Probabilistic Methods. John Wiley & Sons, 2014. 1th edition. Chichester. p 200. ISBN 978-1-118-48958-1.

OSTROOM, L. T., Wilhelmsen, CH.A. Risk Assessment – Tools, Techniques and Their Applications. John Wiley & Sons, 2012. 1th edition. Chichester. p. 416. ISBN 978 – 0-470-89203-9.

AVEN, Terje. Risk, surprises and black swans : fundamental ideas and concepts in risk assessment and risk management. New York: Taylor & Francis Group, 2014. 262 s. ISBN 978-0-415-73506-3

TALEB, Nassim. Černá labuť: následky vysoce nepravděpodobných událostí. Vyd. 1. Praha: Paseka, 2011, 478 s. ISBN 978-80-7432-128-3.

VOTRUBA, Ladislav, HEŘMAN, Jiří.: Spolehlivost vodohospodářských děl. Praha : Česká matice technická, 1993, 488 s.

ŠVIHÁLEK, Milan. Stavitel přehrad: putování legendárního moravského vodohospodáře Jana Čermáka 20. stoletím. 1. vyd. Praha: Grada, 2013, 134 s. ISBN 978-80-247-4465-0.

ŘÍHA, Jaromír. Riziková analýza záplavových území. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005, 286 s. ISBN 80-720-4404-4.

BROŽA, Vojtěch a Ladislav SATRAPA. Hydrotechnické stavby 2: přehrady. Vyd. 2. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007, 128 s. ISBN 978-80-01-03655-6.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Aleš Vémola, Ph.D.
ředitel

Abstrakt

Diplomová práce je zaměřena na problematiku černých labutí v oblasti vodohospodářských staveb. Detailněji potom na rizika a ohrožení vodních děl. Historie nám ukázala, že ani tak sofistikovaná stavba jako přehrada nemusí být vždy bezvadná. Ať už se jedná o přírodní katastrofu, neštěstí, či úmyslný útok. V práci je provedena analýza současného stavu, zmapovány černé labutě u přehrad, které se staly v historii. Součástí práce je i průzkum znalosti obyvatel o této problematice. Na základě analýzy a zjištěných informací byla navržena opatření pro zlepšení situace.

Abstract

The thesis is focused on the issue of black swans in the water structure. More detail risks and hazard dam. History has shown us that sophisticatedly structure as dam is not perfect. Failure can cause weather, natural disaster, bad chance or deliberate attack. A detailed analysis of the current situation, I mapped historic dam failure, which can cause black swan. In thesis is a reseach on knowledge of the population in this issue. Based on the analysis and obtained information was proposed measures to improve the situation.

Klíčová slova

Černá labuť, přehrady, porušení přehrady, povodeň, riziko povodně

Keywords

Black swan, dams, dam failure, floods, flood risks

Bibliografická citace

HRABOVÁ, K. *Riziko vodohospodářských staveb z pohledu tzv. černých labutí*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2016. 105 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Vladimír Adamec, CSc..

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne

.....

podpis diplomanta

Poděkování

Na tomto místě bych chtěla poděkovat vedoucímu mé diplomové práce doc. Ing. Vladimíru Adamcovi, CSc. za jeho vstřícnou pomoc a cenné rady při zpracování práce. Ráda bych poděkovala i Ing. Barboře Schüllerové za cenné rady a její věčný optimismus.

Obsah

1	ÚVOD.....	11
2	SOUČASNÝ STAV	12
2.1	Význam a historický vývoj stavby přehrad	14
2.2	Přehrady a jejich negativní dopady	16
2.3	Mimořádné události u vodních děl.....	17
2.4	Co je to riziko.....	22
2.4.1	<i>Budoucnost a nejistota.....</i>	25
2.4.2	<i>Nejčastější chyby při přemýšlení o rizicích.....</i>	26
2.5	Černá labuť	27
2.5.1	<i>V jakém světě žijeme?</i>	27
2.5.2	<i>Typy černých labutí.....</i>	30
2.5.3	<i>Jak nebýt krocanem.....</i>	31
2.5.4	<i>Nepředvídatelné události z historie</i>	33
2.5.5	<i>Znamé události, které jsou černými labutěmi.....</i>	33
2.5.6	<i>Vodní nádrže a výskyt černých labutí</i>	35
2.5.7	<i>Současné hrozby černých labutí</i>	53
2.6	Metodologie současný stav	56
3	FORMULACE PROBLÉMŮ A STANOVENÍ CÍLŮ PRÁCE	57
4	MATERIÁLY A METODY	58
4.1	Modelová oblast	58
4.1.1	<i>Historie.....</i>	59
4.2	Vybrané metody analýzy rizika	60
5	VÝSLEDKY	62
5.1	Analýza rizika	62
5.1.1	<i>Potenciální Výskyt černých labutí u Brněnské přehrady</i>	62

5.1.2	<i>Dopady černých labutí u brněnské přehrady</i>	73
5.2	Dotazníkové šetření	83
5.2.1	<i>Zpracování výsledků</i>	83
5.3	Návrhy na zlepšení situace	90
6	DISKUZE	92
7	ZÁVĚR	94
8	POUŽITÁ LITERATURA	95
9	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	102
10	SEZNAM TABULEK	102
11	SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ	103
12	PŘÍLOHY	105

1 ÚVOD

Lidská společnost je vystavena působení různých nahodilých nepředvídatelných událostí. Každé působení sil a jevů vyvolaných přírodními silami, činností člověka, haváriemi, které ohrožují život, zdraví, životní prostředí nazýváme mimořádnou událostí. Za mimořádnou událost můžeme považovat i náhlou závažnou událost, která naruší stabilitu systému s ohrožením jeho bezpečnosti nebo existence. Nepředvídatelné situace se mohou vyskytnout všude kolem nás, ani přehrady netvoří výjimku. Mimořádné situace vznikají z různých příčin, které mohou mít původ nejen v přírodních jevech, ale i v lidské činnosti. V současné době je stále více nutné mít na paměti i měnící se klimatické poměry na celé planetě Zemi. Tudíž i v našich poměrech se dějí změny, které mají v návaznosti vliv na spoustu dalších.

I s existencí vodohospodářských děl je spojeno určité riziko jejich porušení. Porušením těchto děl může dojít k událostem s katastrofickými následky. V dobách minulých se člověk snažil chránit před nebezpečím pomocí vcelku jednoduchých metod. Docházelo například k budování obydlí na vyvýšených místech. Později se začaly budovat dokonalejší opatření, mezi které můžeme zařadit i přehrady. Neuvědomujeme si ale, že nám mnohdy mohou být tato opatření obrovskou hrozbou tzv. černou labutí.

2 SOUČASNÝ STAV

Přehradby jsou vodní stavby, které obklopují náš život už od 4. až 5. tisíciletí před naším letopočtem. Se změnou klimatických podmínek a při teroristických útocích se zvyšuje poruchovost těchto staveb. I jedna jediná porucha může mít za následek devastaci vodního díla. Při poruše dochází nejen k devastaci prostředí, ale i ztrátě lidských životů, proto se ve své práci zabývám problematikou přehrad.

Údolní nádrže a přehradby patří k důležitým vodohospodářským stavbám. Vodní nádrží rozumíme omezený prostor, k hromadění vody pro její pozdější využití, k zachycení povodňových průtoků, ochraně údolí pod nádrží ohrazováním části území a umělým vytvořením vodního prostředí. Nádrže se budují za určitým účelem a plní obvykle jednu nebo více funkcí. Podle vzniku dělíme nádrže na **přírozené**, které vznikají v přírodě bez zásahu člověka a **umělé**, vytvořené záměrnou činností člověka. Umělé nádrže můžou být údolní, jedná se o přehrazené údolí přehradou, nádrže boční, vytvořené oddělením a uzavřením části území vedle toku obvodovou hrází, nádrže vyhloubené, vzniklé vyhloubením terénu, nádrže vrcholové, budované v pramenné oblasti na rozvodí dvou řek, nádrže postranní a podzemní, budované na přítoku [1].



Obr. 1 Přehrada Mauvoisin, Švýcarsko [1]

K nejdůležitějším objektům patří přehradní hráz, výpustná, odběrná zařízení a bezpečnostní přeliv. Při budování vodních děl má rozhodující význam nejen správný výběr přehradního místa a výška hladiny nádrže, ale i volba nejvhodnějšího typu přehradní hráze.

Přehrady se dělí dle použitého materiálu, stavební konstrukce. Podle použitého stavebního materiálu se přehradní hráze dělí do dvou skupin:

- **zemní hráze**, hráze z nesoudržných materiálů, u nichž podstatnou část tvoří zemina a **kamenité hráze**, kde stabilizační část tvoří kamenivo
- **betonové hráze** jsou tvořeny ze soudržných materiálů, těleso hráze je tvořeno z prostého betonu, železobetonu nebo předpjatého betonu, **hráze zděné** jsou nejčastěji tvořeny z kamene spojeného pojivem, dalšími typy jsou **hráze ocelové** a **dřevěné** [1,2].

Přehrady složitostí své struktury představují technicky velmi náročná díla. Uplatňuje se zde přímý vztah stavební struktury a horninového masivu v daném přírodním prostředí. To je jeden z důvodů, proč mnohdy riskantně či nevhodně postavené přehrady mají za následek katastrofu, jindy zase z velké opatrnosti byla postavena díla velmi nákladná. V minulosti byly přehrady stavěny ve výhodných geologických a morfologických podmínkách. Tyto místa, ale byla rychle využita a bylo nutno stavět v komplikovanějších podmínkách, kde se více uplatňuje vzájemný vztah stavební struktury a horniny. Vzhledem ke zvyšujícím nárokům na vodu a její energetické využití bylo nutno stavět hráze stále vyšší. V dnešní době se snažíme stavět větší technicky náročnější vodní stavby v různých geologických podmínkách, s ekonomickými parametry, s eliminací negativních vlivů na životní prostředí a s minimální mírou rizika.

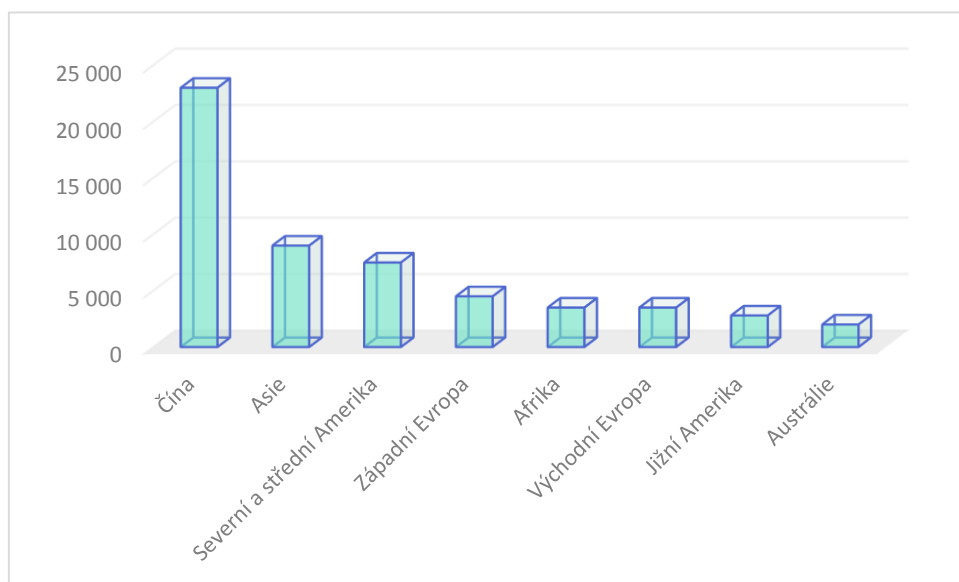
Projekt přehrady sestává z určení všech detailů, týkajících se umístění přehrady v daných přírodních podmínkách. Je potřeba určit typ a prostorové řešení hráze – rozměr hráze, umístění základních objektů, určení typu a požadovaných kubatur přirozených stavebních materiálů pro hráz a přidružené objekty. Důležitou součástí projektu je i vyjasnění střetů zájmů, vyvolaných investicí a studie vlivu vodní nádrže na ekologické změny životního prostředí. Přehrady se dá považovat za velmi složitý systém, jehož prvky jsou navzájem propojeny a vzájemně se ovlivňují.

Problém výběru místa pro výstavbu přehrady je ovlivněn nejen faktory rázu technického, ale i netechnického. Neexistují dvě stejné povodí, u nichž by faktory pro kritéria výběru nejvhodnější alternativy byla totožná. Liší se nejen z hlediska geologických a morfologických podmínek, ale i z hlediska vývoje kulturního, sociálního a ekonomického [3].

2.1 VÝZNAM A HISTORICKÝ VÝVOJ STAVBY PŘEHRAD

Historie budování přehrad začala někdy ve 4. až 5. tisíciletí před naším letopočtem. Se stopami po nich se setkáváme v různých částech světa, převážně na území dnešního Egypta a Iránu. Pozoruhodné je, že některé z nich plní svoji funkci dodnes. Například španělské město Merida je zásobováno vodou z nádrží Proserpina a Cornalbo vytvořených přehradami, které byly postaveny v době římské, kolem roku 100 našeho letopočtu. Největší rozvoj přehrad začal až od poloviny 19. století. Od počátku 20. století budování nádrží a výstavba přehrad v celém světě prudce stoupá co do počtu i do rozměru.

Příčinou jsou rostoucí požadavky na vodu spojené se závlahami, zásobením obyvatelstva a průmyslu vodou, ochranou před povodněmi. Tyto požadavky vyplývají ze zvyšování počtu obyvatel a jejich životní úrovně [4].



Obr. 2 Počet velkých přehrad na konci 20. století [4]

Z rozložení přehrad vyplývá, že v množství přehrad suverénně vede Asie, kde se nachází přibližně 60% všech velkých přehrad. Po Asii následuje Amerika, kde se výskyt odhaduje asi na 25%. Nejvíce přehrad se v posledních letech buduje v Čínské lidové republice [5].

Výstavba přehrad má dvě hlavní funkce – **funkci zásobovací a hydroenergetickou**. Přibývá také způsobů jak vodu využívat – protipovodňová ochrana, závlahování, rekreace, rybolov, vodní sporty,...

Zásoby vody v přehradní nádrži neustále rostou. Bez vody nemůžeme žít, proto se pro některé země přehrady staly nezbytnou součástí života. Lidstvo využívalo přehrady již před naším letopočtem. Budování prvních přehrad souviselo s usedlým životním stylem obyvatel, už v té době sloužily nádrže jako zdroj vody pitné a vody využívané na zemědělství. Vlivem růstu moderních technologií roste i spotřeba vody. Dnes přehradní nádrže akumulují asi pětkrát více vody než koryta všech světových řek. Plošně nejrozsáhlejší přehradní nádrží dlouho byla Akomombo v Ghaně na řece Voltě. Nádrž má ale obrovské problémy s hlísty. Jedná se o drobné a červovité živočichy, kteří žijí volně (ve vodě, zemině) nebo parazitují na rostlinách a živočiších. Nejobjemnější vodní nádrží byla nádrž Bratská na řece Angaře v Rusku, obsahující 170 km³ vody. Mezi další velmi objemné přehrady patří Násirova o objemu 169 km³, která se nachází v Egyptě na řece Nilu a nádrž Kariba na Zambezi. Dnešní nejobjemnější, zároveň i největší přehradou jsou Tři soutěsky na řece Jang-c'-'t'iang.



Obr. 3 Přehrada Tři soutěsky, Čína [4]

Tři soutěsky je 640 km dlouhá údolní nádrž, jež pojme 39 miliard kubických metrů vody. Kvůli stavbě muselo být přestěhováno přes dva miliony lidí. I když toto vodní dílo celkovými parametry zastíní všechny ostatní, přehrada s "pouhými" 185 m výšky naopak mezi ostatními zanikne. Druhou největší přehradou do rozlohy je přehrada na řece Tocantins v Brazílii. V české republice je nejobjemnější přehradou Orlík. Řeka Angara zadržuje největší množství vody na světě díky 4 přehradním nádržím na ní vybudovaných. Jedná se o Irkutskou, Bratskou, Ust'-Ilimskou a Bogučanskou vodní nádrž. Ani čínské Tři soutěsky nepřekonalý toto množství vody. Nejvíce elektrické energie vyrobené z vody využívá Paraguay, a to plných 100 %, neboť veškerou elektrickou energii odebírá z vodní elektrárny Itaipú na hranici s Brazílií [4,5].

Další důležitou funkcí přehrady je výroba energie. Elektrické energie z hydroelektráren v dnešní době představuje asi 20% z celkové výroby elektrické energie. Energie vyrobená hydroelektrárnami je využívána ve 150 zemích světa. Nejvíce této energie vyrobí Čína, USA a Kanada. Hydroelektrárny byly dlouho považovány za čistý zdroj energie, což není úplně pravdou [5].

2.2 PŘEHRADY A JEJICH NEGATIVNÍ DOPADY

O přehradách se tvrdilo, že vyřeší problémy se zásobováním vodou a elektrickou energií, v dnešní době se v mnoha zemích nepohlíží na přehrady tak příznivě. Přehrady bezpochyby přispěly a stále přispívají k rozvoji lidské společnosti. Přehrady ale nenesou jen hrozbu mimořádných událostí a následných dopadů, negativní dopady vznikají již při jejich stavbě. Příliš často se stávají terčem kritiky a pozornosti ekologických a humanitárních organizací. Předpoklad že užitek převyší náklady, je čím dál méně jistý. Na celém světě je postaveno více než 45 000 velkých a dalších asi 800 000 malých přehrad.

Cena, kterou za přehrady platíme, je možná vyšší, než jsme si představovali. Výstavba přehrad narušila přibližně 60% vodních toků. Z ekologického hlediska je to útok na řeky. Řeky jsou vysoušeny, odváděny ze svého koryta, znečišťovány a jsou na nich stavěny přehrady - a to v takové míře, že sladkovodní ekosystémy jsou narušeny na celém světě. Na více než polovině řek světa je alespoň jedna velká přehrada. A tak přehrady hrají v poškozování říční ekologie významnou roli. Například nejméně pětina sladkovodních ryb na světě již vyhynula nebo je nyní ohrožena [6].

Výstavba přehrad nenarušila jen vodní toky, ale i rotaci Země. Nedošlo k žádným velkým změnám, ale nějaké přece jen přišly. Nad pohnutím Zemí se zamýšlel už Archimédés – „Dejte mi pevný bod a pohnu Zemí“, nicméně k jeho vlastní praktické realizaci je i dnes lidstvo velmi daleko. Přesto Zemí může z její pravidelné rotace rozhodit celá řada nejrůznějších vlivů – od těch pravidelných, kterými jsou slapové síly s přílivem a odlivem, až k náhodnému zemětřesení. Také lidé působením na tvář naší planety, mohou způsobovat zásahy do rotace Země a tak zkrátit nebo prodloužit den. Při napuštění přehrady Tři soutěsky došlo k velkému přesunu vodní hmoty na povrchu Země a tak se změnilo rozložení hmotnosti Země vzhledem k ose otáčení. Důsledkem je nepatrné zpomalení zemské rotace a prodloužení dne o

6 setin mikrosekundy. Tak velká stavba na povrchu planety zahýbala rovněž se zemskými póly, které změnilly svou polohu o neuvěřitelné 2 cm [7].

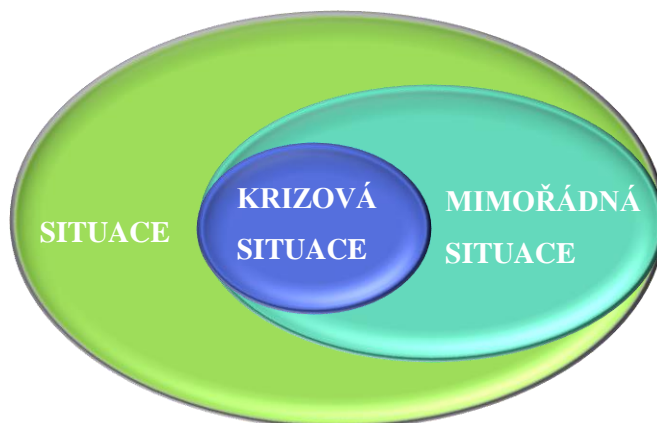
Přínosy přehrad jsou nadhodnocovány, přehrady s sebou nenesou jen ekologický dopad, ale i sociální, ekonomický, kulturní. Stavba přehrady vyžaduje vysídlení velkého množství obyvatel. Kvůli výstavbě přehrad se muselo přestěhovat 40 až 80 milionů obyvatel. Půda, jež museli opustit často patřila k nejurodnější. Přehrady můžou ovlivnit i vlastnosti vody. V mnohých přehradách dochází k rozmnožování řas a sinic, což způsobuje znečištění vody, úbytek kyslíku. Čímž dochází i k omezení rekreačního využití přehrad. Na kvalitu vody mají vliv i klimatické změny. Rostoucí teplota vody snižuje samočisticí schopnosti řek. V současnosti je vyvrácen i názor, že hydroelektrárny nepůsobí žádné znečištění. Z hnijícího materiálu, který se do nádrží dostane, se uvolňují skleníkové plyny. Vědci se domnívají, že až 30% skleníkových plynů pochází právě z těchto zdrojů. Hlavní příčinou je objem uhlíku z rostlin, který se do vody uvolňuje z rozkladu zatopené vegetace. Zbytky rostlin, usazené na dně nádrže, se rozkládají, přičemž vzniká metan. Přehrady tedy nejsou zdrojem čisté energie. Přehrady v rozvojových zemích mohou mít velký dopad i na lidské zdraví. V mnoha přehradách byl zjištěn zvýšený výskyt těchto nemocí – nemoci způsobené střevními parazity, cholera, břišní tyfus, encefalitida. Stojaté vody jsou ideálním místem pro rozmnožování komárů, moskytů a dalších živočichů přenášejících nebezpečné nemoci. Tyto negativní dopady bývají provázány a často se vzájemně zesilují. Mimo negativních důsledků, neplní přehrady ani své funkce. Více než 50 % hydroelektráren produkuje méně energie, než bylo předpokládáno, 70% přehrad neplní své cíle v oblasti zásobování a 50 % přehrad neplní cíle v oblasti zavlažování [6,8].

Výstavba přehrad s sebou nese i velké množství rizik. Přehradám nelze upřít, že jsou v určitých ohledech užitečné. Avšak stejně jako v mnoha jiných případech, je na budování přehrad patrné, že lidem chybí moudrost a předvídavost.

2.3 MIMOŘÁDNÉ UDÁLOSTI U VODNÍCH DĚL

Mimořádná událost je škodlivé působení sil a jevů, vyvolaných činností člověka, přírodními vlivy nebo jevy a havárie, které ohrožují život, zdraví, majetek nebo životní prostředí a vyžadují provedení záchranných a likvidačních prací. V průběhu života můžeme být svědky událostí nebo situací, které vznikají v důsledku živelné pohromy, havárie, ohrožení

kritické infrastruktury atd., které bývají řešeny orgány a složkami bezpečnostního systému dle zvláštních předpisů. Mimořádné události jsou dnes označovány i jako nouzové situace, mimořádné situace, pohromy, katastrofy, havárie. Mimořádné události bývají různě členěny ať už dle původu (přírodní, antropogenní, smíšené), času (krátkodobé, dlouhodobé), velikosti postiženého území (lokální, regionální, celostátní, globální) a dle rychlosti vzniku (skokové – trvají vteřiny či minuty, krátkodobé – hodiny, střednědobé – dny, dlouhodobé – měsíce) [9,10].



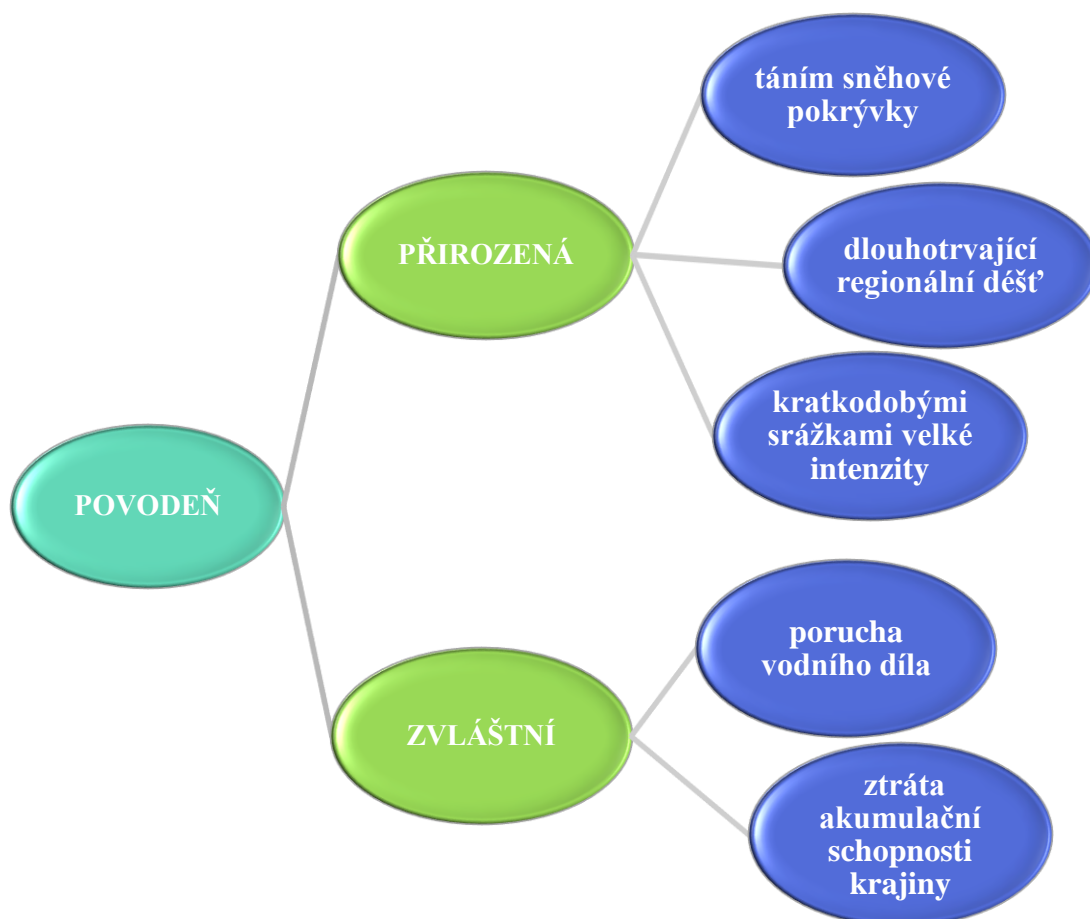
Obr. 4 Schématické vyjádření krizové situace

Nepravděpodobná událost, sebou nese nebezpečí zvláštní povodně. **Zvláštní povodeň (ZPV)** je povodeň způsobená umělými vlivy. Jde o situace, které mohou nastat při stavbě i provozu vodohospodářských děl vzdouvajících vodu.

Zvláštní povodeň může být způsobená poruchou nebo havárií nádrže. Tyto události velmi často vedou k protržení hráze, což vede ke vzniku mimořádné události. Předpisy rozlišují tři základní typy zvláštní povodně:

- **zvláštní povodeň typu 1**, jde o povodeň, která vzniká protržením vodního díla,
- **zvláštní povodeň typu 2**, vzniká poruchou hradící konstrukce bezpečnostních a výpustných zařízení vodního díla (neřízený odtok vody),
- **zvláštní povodeň typu 3**, vzniká nouzovým řešením kritické situace ohrožující bezpečnost vodního díla prostřednictvím nezbytného mimořádného vypouštění vody z vodního díla, zejména při nebezpečí havárie uzávěrů a hrazení bezpečnostních a výpustných zařízení nebo při nebezpečí protržení vodního díla [11].

Zvláštní povodeň může na rozdíl od přirozené povodně vzniknout lidskou činností. Vzniká jako důsledek vojenské či teroristické činnosti. **Z hlediska škod a následků jsou zvláštní podstatně ničivější než povodně přirozené.** Zvláštní povodeň může vzniknout lidskou činností. Vzniká jako důsledek vojenské či teroristické činnosti. **Z hlediska škod a následků jsou zvláštní podstatně ničivější než povodně přirozené.**



Obr. 5 Dělení povodní

V České republice se můžeme setkat nejen se zvláštní povodní, ale i přirozenou. Vznik přirozených povodní souvisí s hydrologickými jevy. Přirozenou povodní je povodeň způsobená přírodními jevy, tj. situace, při kterých hrozí zaplavení území, nebo situace označené předpovědní povodňovou službou podle vodního zákona č. 254/2001 Sb., § 73 odst. 1 nebo povodňovými orgány [12].

Zvláštní povodeň souvisí s bezpečností a stabilitou hráze a souvisejících objektů, svoji roli zde hraje i spolehlivost funkce objektů a zařízení, která bývá často spojena se zanedbáním povinností technickobezpečnostního dohledu na vodními díly.

Technickobezpečnostní dohled (TBD) nad vodními díly je monitorování a vyhodnocování technického stavu díla z hlediska bezpečnosti, provozní spolehlivosti, možných příčin poruch a jejich následků. Součástí je i návrh efektivních nápravných opatření. I v české republice dochází k poruchám vodních děl. Dle TBD, jde spíše o poruchy malých vodních nádrží a rybníků, které vedou až k protržení hráze. Převážně se jedná o stavby, které z technickobezpečnostního dohledu spadají do kategorie IV. Jsou to převážně historické rybníky, se zemními, sypanými hrázemi. Technický stav těchto staveb nebývá monitorován. V ČR se vyskytuje přes 20 000 vodních děl spadajících do této kategorie. Stav velkých vodních děl I. a II. kategorie je kontrolován TBD [13,14].

Stupeň povodňové aktivity (SPA) z hlediska zvláštní povodně, je směrodatný limit pro třístupňové vyjádření míry povodňového nebezpečí ve vazbě na nebezpečí vzniku zvláštní povodně. SPA nastává při neobvyklém nebo nepříznivém vývoji jevů a skutečností, které mají vztah k bezpečnosti díla. S přehradami souvisí hlavně stupeň povodňové aktivity II. a III..

I. SPA se nazývá „bdělost“. Tento stav nastává v případě nebezpečí vzniku přirozené povodně, ohlášením předpovědní povodňovou službou nebo při zjištění mimořádných událostí, které by mohly vést ke vzniku zvláštní povodně. V této situaci se vodním tokům věnuje zvýšená pozornost, povodňové komise jsou v pohotovosti a hlídková služba spolu s hláskou povodňovou službou zahajují svou činnost.

II. SPA se nazývá „pohotovost“. Stav je vyhlášen v době, kdy se potenciální nebezpečí povodně stává skutečností, nebo při mimořádném vypouštění vody, dále při neřízeném odtoku VD, který vyvolá průtokovou vlnu. Za tohoto stavu se již povodňová komise aktivuje, jsou vyrozuměni všichni ostatní účastníci, kteří se budou podílet na ochraně před povodněmi, přičemž se současně uvádějí do provozu všechny prostředky pro zabezpečovací práce a provádí se jednotlivá preventivní opatření, která by měla následky povodně zmírnit

III. SPA je označován jako „ohrožení“. Je vyhlášen v případě kritické situace, hrozí havárie díla doprovázená ZVP. Povodně již představují přímé nebezpečí pro život obyvatel, dochází k vysokým škodám na majetku, nebo pokud hrozí protržení hráze. Při tomto stupni se provádí hlavní záchranné a zabezpečovací práce, popř. evakuace.

Tab. 1 Kategorizace přehrad dle scénáře nebezpečí[14]

I.	<ul style="list-style-type: none">- ohroženy řádově tisíce až desetitisíce lidí, předpokládány velké ztráty na životech- velké škody na vodním díle, obnova nákladná a složitá- v území na vodním toku pod určitým vodním díle vzniknou rozsáhlé škody na obytné a průmyslové zástavbě, silniční a železniční síti- škody na životním prostředí jsou vysoké, překračují význam kraje, ekonomické důsledky se dotýkají celého státu
II.	<ul style="list-style-type: none">- ohroženy řádově stovky až tisíce obyvatel, předpokládány ztráty na životech- značné škody na určeném vodním díle, jeho následná obnova je složitá a nákladná- v území na vodním toku pod určeným vodním dílem vzniknou škody na obytné a průmyslové zástavbě, dopravní síti- škody na životním prostředí překračují význam vyššího územního samosprávného celku
III.	<ul style="list-style-type: none">- ohroženy řádově desítky až stovky lidí, mohou být i ztráty na lidských životech- poškození určeného vodního díla, obnova je proveditelná- škody na životním prostředí nepřekračují význam vyššího územního samosprávného celku- ztráty způsobené vyřazením určeného vodního díla z provozu, z přerušení průmyslové výroby, dopravy nebo jiné ztráty jsou plně nahraditelné
IV.	<ul style="list-style-type: none">- ztráty na lidských životech jsou nepravděpodobné- poškození určeného vodního díla, obnova je proveditelná- v území na vodním toku pod určeným vodním dílem jsou malé materiální škody- ztráty způsobené vyřazením určeného vodního díla jsou malé

Lidstvo se od svého vzniku muselo v zájmu své existence vypořádat s mnoha nepříznivými vlivy, které ovlivňovaly či ovlivňují jeho jednání. Úsilí člověka podřídit si přírodu i za cenu porušování přírodních zákonů vytváří prostředí dle jeho představ, kdy jsou prosazovány především hospodářské zájmy bez ohledu na ostatní složky živé i neživé přírody. Vlivem neúměrných požadavků člověka na přírodu a nevhodných zásahů do přírodní rovnováhy dochází k zatížení ekosystému a vzniku živelných pohrom. Možná i proto lidstvo čím dál častěji ohrožují mimořádné události. Mimořádné události spojené s poruchou vodního díla s sebou nesou velké nebezpečí.

2.4 CO JE TO RIZIKO

Pojem riziko pochází z arabského slova „risk“, slovo označovalo jak nepříznivou, tak i příznivou událost v životě člověka. Později se jeho používání omezilo jen na nepříznivé události. Zpočátku se pojem riziko používal hlavně v oblasti pojištění, ale s rozvojem společnosti se rozšířil i do mnoha jiných vědních oborů [15]. Jiné zdroje popisují riziko jako historický výraz, pocházející údajně ze 17. století, kdy se objevil v souvislosti s lodní plavbou. Výraz „risico“ v tomto smyslu pochází z italštiny a označoval úskalí, kterému se museli plavci vyhnout. Následně se tím vyjadřovalo „vystavení nepříznivým okolnostem“ [16]. Milík Tichý ve své knize upozorňuje, že pojem riziko označuje kvalitativně dosti rozdílné, byť velice příbuzné pojmy. Existují skupiny definic technických, ekonomických a sociálních. Riziko můžeme chápat jako:

- nejistotu vztahující se k újmě, nejistotu vznikající v souvislosti s možným výskytem událostí,
- nebezpečí psychické, fyzické nebo ekonomické újmy,
- nebezpečí vzniku nějaké újmy,
- zdroj takového nebezpečí (přírodní jevy, lidí nebo zvířata a činnost),
- pravděpodobnost, vzniku příslušné újmy,
- pravděpodobná hodnota ztráty vzniklé nositeli, popř. příjemci rizika realizací scénáře nebezpečí, vyjádřená v penězích nebo jiných jednotkách,
- pravděpodobnost, že se skutečná hodnota ztrát odchýlí od očekávaných hodnot,

- možná nejistá událost nebo situace, která může mít záporný nebo kladný účinek na cíle projektu [17].

Z předchozích označení pro pojem riziko, můžeme říci, že v dnešní době neexistuje přesná definice rizika, která by byla platná pro všechny obory. Můžeme ale říci, že riziko se skládá ze dvou základních prvků. První složku tvoří pravděpodobnost vzniku nežádoucího jevu, druhou složkou jsou důsledky jevu.

$$R = p * D$$

p - pravděpodobnost toho, že nastane nežádoucí jev

D - důsledky realizace nežádoucího jevu

Dle závažnosti můžeme rizika dělit:

- **bezvýznamné** (zanedbatelné) riziko, není vyžadováno žádné zvláštní opatření,
- **akceptovatelné** (méně významné) riziko, nutné zvážit náklady na případné řešení či zlepšení,
- **významné** riziko vyžaduje urychlené provedení bezpečnostních opatření pro snížení rizika na přijatelnou úroveň,
- **nežádoucí** riziko, není tak závažné jak významné riziko, přesto vyžaduje provedení bezpečnostních opatření pro snížení rizika v určitém čase,
- **nepřijatelné** riziko, riziko s katastrofickými následky, vyžaduje okamžité zastavení činnosti [18].

Riziko je obsaženo ve veškerém lidském chování. Nejlepší metodou, která se při zvládání nežádoucích událostí osvědčila, je metoda pokusu a omylu. Jde o zkušenostní či empirický přístup. Je třeba připustit, že většina norem, standardů, technických předpisů i bezpečnostních předpisů je založena na tomto přístupu.

Riziko nelze zaměňovat s pojmem nebezpečí. Nebezpečí je bezrozměrným jevem. Jedná se o potenciální hrozbu, že v budoucnosti nežádoucí jev nastane. Hovoříme-li o nebezpečích, nemůžeme je objektivně popsat nějakými absolutními hodnotami, byť třebaš vícerozměrnými.

Nebezpečí jsme schopni pouze porovnávat. K porovnávání se dají vytvořit pomocné číselné nebo výrokové stupnice, ale vždy budou nakonec obsahovat jen relativní čísla, která budeme přiřazovat zcela subjektivně. Pro pojem "nebezpečí" se používají i jiné názvy: ohrožení, hrozba anebo i hazard. Dle původce se nebezpečí dělí do třech skupin, jedná se o nebezpečí přírodní – povodně, zemětřesení, tajfuny, nebezpečí společenské – je způsobené lidským faktorem, nebezpečí technické a technologické – poruchy, degradace materiálu [17].

Vývojové fáze rizika:

- **preriziko**, jde o fázi, kdy negativní vývoj (mimořádná událost) ještě neprobíhá, ale vznikají jeho podmínky, jde o velmi slabé až zcela zřetelné signály jeho vzniku (vytrvalé deště, konflikt mezi skupinami lidí,...),
 - o **období varování**
 - vystávají oprávněné obavy s průběhem z minulosti,
 - o **období ohrožení**
 - lidé dostávají zprávy o blížící se katastrofě nebo pozorují příznaky toho, že se blíží,
 - průvodním znakem je šířící se panika,
- **riziko-in**, fáze, kdy byly splněny všechny podmínky vzniku krizové situace, mimořádná událost se plně rozvíjí,
 - o **období úderu**
 - vznik katastrofy se svými destruktivními účinky,
 - mění se situace postiženého místa či oblasti,
 - větší část obyvatelstva je destruktivním dějem pohlcena a zaskočena, pouze 10–25 % lidí reaguje racionálně, dalších 10-25 % lidí se chová zmateně až hystericky,
 - o **období orientace**
 - postižení si uvědomují, co se vlastně stalo, vytváří si první obraz vzniklé situace,
 - kolují zvěsti, pověsti a fámy, které nejistoty umocňují,
- **postriziko**, fáze, kdy dochází vlivem negativních okolností a souvislostí ke vzniku mimořádné situace s nutností vzniklý stav (následky) napravovat a zabránit dalšímu šíření v jiných podobách – možnost vzniku domino efektu,

- **období záchrany**

- jde o poskytování první pomoci, je hašen požár, lidé se dostávají z dosahu vodního živlu,
- činnost má znaky živelnosti,
- část populace trpí katastrofickým syndromem [19].

2.4.1 Budoucnost a nejistota

Riziko a nejistota jsou základními charakteristikami postmoderní společnosti. Přestože se s rizikem lidstvo setkává již od počátku své existence, jeho povaha, působení a důsledky se změnily. Nejistota je neurčitost či náhodnost podmínek nebo výsledků analyzovaných procesů, jevů či událostí (tedy situace, kdy je známá množina možných výsledků, ale nikoli pravděpodobnosti s jakou se objeví). Riziko je potom taková nejistota, kdy je možno kvantifikovat pravděpodobnost vzniku odlišných alternativ. Z důvodu nerozlišování pojmu riziko a nejistota byla zpracována tabulka, která ukazuje rozdíly těchto pojmů.

Tab. 2 Význam rizika a nejistoty

	Riziko	Nejistota
Měřitelnost	měřitelné	neměřitelné
Metody	statistika a pravděpodobnost	subjektivní odhad
Data	kvantitativní data	kvalitativní data
-	znám všechny situace, které mohou nastat	znám sice všechny situace, ale neznám pravděpodobnosti, s nimiž mohou nastat
-	znám všechny pravděpodobnosti, s nimiž situace mohou nastat	neznám všechny situace, které mohou nastat

Budoucnost je vždy spojena s nejistotou. Nejistota nám často komplikuje život, někdy nás trápí, jindy demotivuje. Můžeme riziko nějak snížit? Dialektický materialismus tvrdí, že vědeckými přístupy lze vystihnout budoucnost. Opak je ale pravdou. I u sebevědečtější předpovědi musíme počítat s omyly způsobenými nemožností rozpoznat a zohlednit všechny okolnosti. Nejistota je dána množstvím faktorů ovlivňujících průběhy a procesy dopadů.

Objektivní nejistota je dána množstvím faktorů ovlivňujících průběhy a dopady procesů. Množina determinujících faktorů, vlivů, změn, událostí v bližší i vzdálené minulosti, které se podílejí na tom, že nějaký děj probíhá, a že probíhá právě teď a právě zde a právě tak, jak probíhá, a právě s těmito dopady, je tak velká, že ji lze považovat za nekonečnou. Tato nekonečnost se týká i faktorů podílejících se na formování jednotlivých lidí – účastníků událostí, jejich vlastností a osudů, jejich jednání a myšlení. A navíc: vedle popsatečných a srozumitelných vlivů existuje i množství dalších, jejichž úplné poznání je prakticky nemožné. Některé faktory se jeví (ale někdy možná jen na první pohled) jako důležitější (fatálnější) a zatlačují jiné, méně výrazné, do pozadí. I když je z praktických důvodů nutné přistoupit k cenzuře toho, které faktory mají a které nemají být považovány za vlivy podstatné, pak v žádném případě nelze pominout nekonečnou variabilitu jejich vzájemného kombinování (sčítání, kompenzování). Přitom součinnost rizik nebývá na první pohled patrná. A výsledek? Pro jedno riziko nevidíme druhé [20].

2.4.2 Nejčastější chyby při přemýšlení o rizicích

Některé ze zásadních chyb, kterých se při řešení rizik dopouštíme:

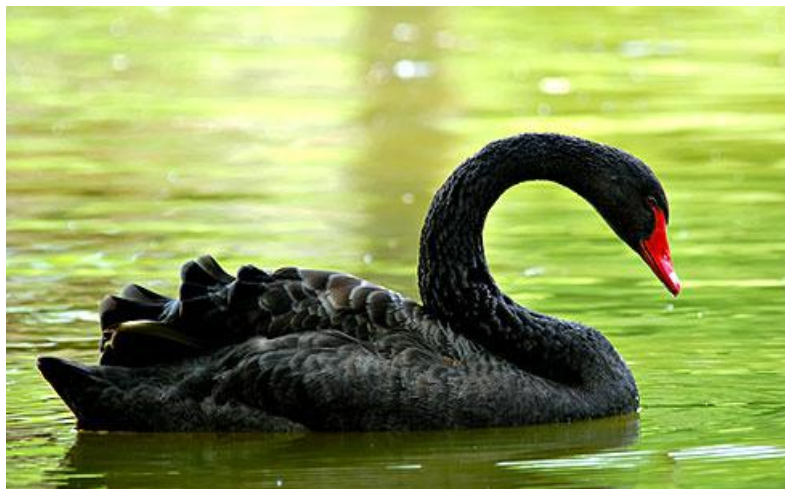
- děje a události, které kolem nás probíhají, vnímáme izolovaně, nikoliv komplexně, přitom jen málo který děj probíhá v rámci jedné soustavy,
- opomíjíme skutečnost, že rizika se vzájemně sčítají, mají tendenci se hromadit,
- zaměřujeme se pouze na vybrané oblasti a zapomínáme, že hrozby zůstávají zpravidla skryté,
- hledáme projevy, příznaky a následky rizik, zapomínáme však hledat kořeny příčin,
- rádi hledáme fakta, jež potvrzují naše hypotézy, zároveň ale nepřijímáme hypotézy, které naši pravdu vyvracejí,
- nevyužíváme rizika a neúspěchy jako příležitost.

Ne vždy při řešení rizik dochází k těmto chybám. Některé riziko vnímáme a reagujeme na něj, jiná rizika si ani neuvědomujeme. Největší chybou ale je, když riziko vnímáme, ale ignorujeme jej [22].

Tím se zabývat nebudeme, to je velmi málo pravděpodobné! Dosud jsme to nikdy nemuseli řešit, tak to neřešme ani teď [20]!

2.5 ČERNÁ LABUŤ

Pojem známý jako Černá labuť (black swan) se rychle zabydluje v mnoha terminologiích – ekonomické, politické, filozofické, prognostické a dalších. Znamená nepředvídatelnou a neočekávanou událost, která splňuje 3 charakteristické znaky. Zaprvé, leží mimo oblast toho, co se doposud dělo, a co je tedy předvídatelné. Zadruhé, jedná se o událost s obrovským dopadem. Zatřetí, jakmile se černá labuť přihodí a lidé si na její následky zvyknou, jeví se zpětně jako zcela předvídatelná a samozřejmá. Což vede k nesprávnému pocitu, že rozumíme světu.



Obr. 6 Černá labuť [82]

V šestnáctém století byli všichni přesvědčeni, že labuťe mají pouze bílou barvu. Miliony pozorovaných labutí toto tvrzení zdánlivě potvrzovaly. Lidé vycházeli z tisícileté zkušenosti – z empirického poznání. Přesto se s objevením Austrálie přišlo na to, že existuje druh labutí s černým peřím. Spatření černé labuťe ihned zbořilo do té doby absolutní pravdu, že labuťe jsou jen bílé.

2.5.1 V jakém světě žijeme?

Položili jste si někdy otázku, jak je možné že tenista Roger Federer vydělává mnohonásobně víc než jiní hráči z čela světového žebříčku? Nebo proč autorka Harryho Pottera Joanne Rowlingová vydělává stamiliony liber, přestože se při psaní těchto knih nadřela sotva více než jiný, docela dobrý, ale ne tak úspěšný spisovatel, který se svým psaním ani neuživí. A je to spravedlivé? Nasim Nicholas Taleb má odpověď. Obrovské a stále rostoucí rozdíly v příjmech mezi lidmi, jejichž rozdíly ve schopnostech jsou přitom velmi malé, jsou důsledkem

technologického vývoje. Operní pěvec Giacomo Puccini působící koncem 19. století byl sice velmi dobrý, ale protože ještě neexistoval zvukový záznam, vydělával jen na koncertních šňůrách, takže i na jeho méně nadané kolegy zbylo dost posluchačů, tedy i dost peněz. Úspěch byl rozložen rovnoměrně. Jakmile si však mohli posluchači na celém světě koupit desku od jednoho lepšího zpěváka, udělali to, čímž přišlo mnoho jiných zpěváků o svůj výdělek. Svět se díky průmyslové revoluci a globalizaci rychle posunul od relativně rovnoměrného průměru do světa nerovností, s čím dál většími extrémy, což vyvolává stále častěji příchod událostí, jež představují černé labutě. Potíž je v tom, že naše myšlení odmítá nové paradigma přijmout. Toužíme žít v jistotě, a proto se neustále obklopujeme experty, jež nás ujišťují, že světu kolem nás rozumějí a dokážou předvídat budoucnost [21].

Tab. 3 Průměrov x Extrémov [23]

<i>Průměrov</i>	<i>Extrémov</i>
Neškálovatelné	Škálovatelné
Nejtypičtější prvek je průměrný	Nejtypičtější je obr nebo trpaslík – neexistuje průměrný prvek
Vítězové získají jen malý kousek z celého koláče	Vítěz bere skoro vše
Výskyt spíše za časů našich předků	Výskyt spíše v současné době
Po krátkém pozorování lze pochopit, o co jde	Pochopit, oč běží, trvá velice dlouho
Dějiny se plazí	Dějiny se pohybují ve skocích
Neznámé se dá předvídat ze známého	Neznámé je těžce předvídatelné z historických dat
Jevy jsou rozděleny na Gaussově křivce	Rozdělení jevů je fraktálové nebo neurčité

Žijeme v Extrémově, ale snažíme se myslet jako v Průměrově. Nemáme rádi nepříjemná překvapení. Kořenem těchto příčin je lidská potřeba zprůměrnovat realitu a informace o ní, aby

se vešly do snadněji vnímatelných statistik. Tak se průměrnost stává kritériem všeho a výjimky z ní se berou jako vady. Bohužel, většina problémů či projektů se vyskytuje v otevřeném a špatně předvídatelném prostředí.

Zaměřujeme se na konkrétní věci, z nichž si vytváříme obraz nereálný, platonicky idealistický, ideálně uspořádaný. Jedná se o myšlenkový postup nazývaný platonifikace. Tento obraz světa naráží na realitu, ale nevnímá věci, které se nevejdou do ideálního uspořádání. Tak se mezi tím, co víme a tím, co si myslíme, že víme, rozevívá nebezpečná propast. Která se stává prostorem pro vznik černých labutí. Dochází zde ke přímé úměře, čím více máme vědomostí, tím větší je prostor, ve kterém může dojít ke vzniku černé labutě, tím je také jejich výskyt častější a účinek silnější. My se ale stále chováme tak, jako by černé labutě neexistovaly.

Tab. 4 Skepticismus x Platonismus [23]

Skeptický empirismus	Platonický přístup
Praktik s nohama na zemi	Nepraktický teoretik
Zpravidla nenosí obleky	Nosí obleky a košile
Při hledání řešení vychází z praxe	Řešení plánuje na papíře, až poté se zabývá praxí
Minimum teorie	Přehnaný důraz na abstraktní modely a teorie
Chce být přibližně správný v reálném světě	Chce být přesný v rámci úzkého modelu
Nevychází z věd, užívá vlastní metody výpočtu	Inspirovaný fyzikou, spoléhá na matematiku
Zdravá skepse, vědomí nepoznaného	Myslí si, že toho ví už docela dost
Vychází z předpokladu, že je v Extrémově	Předpokládá, že je v Průměrově

2.5.2 Typy černých labutí

Černá labuť může být tvořena třemi typy událostí, jsou to neznámé neznámo, neznáme známo, známá událost s vysoce nízkou pravděpodobností výskytu, která je považována za nevýznamnou [24].

Prvním zmíněným typem **neznámé neznámo** (unknown unknown) je událost, která je celkově neznámou pro vědecké prostředí. Příkladem může být uvádění nových léčiv, která byla vyvinuta pro ochranu obyvatel například při epidemiích (ptačí chřipka, H1N1). Tato léčiva bývají vyvinuta ve velmi krátké době bez možnosti řádného testování a sledování dlouhodobých účinků na lidskou populaci. Nastává tak složitý problém, zda je možné důvěřovat doporučením kompetentních orgánů (EU, WHO, vláda) a vakcínu využít při omezených standardních testovacích postupech. Jedná se o nový druh nákazy, nový neznámý lék a neznalost případných vedlejších účinků. Existují zde tak značné nejistoty, které musí být brány v úvahu při hodnocení těchto rizik.

Druhým typem **neznámé známo** (unknown knows), kterým může být událost, která není v rámci běžného hodnocení rizik odhalena nebo předpokládána pro jednu stranu hodnotitele. Pro jiné je naopak událost známá. Příkladem jsou události z 11. září 2001 (teroristický útok na WTC, New York), kdy nebyl předpoklad této události pro Spojené státy americké, naopak teroristy byl předem plánovaný a byli zcela seznámeni s cílem této události.

Třetím typem jsou **události známé s vysoce nízkou pravděpodobností výskytu, které jsou považovány za nevýznamné** (known events that occur despite the fact that the probability of occurrence is judged to be negligible) pro daný systém (známé například z historických událostí). Pro hodnocený subjekt je ovšem velmi málo pravděpodobná a proto bývá ignorována. Takovou událostí byla například katastrofa v jaderné elektrárně ve Fukušimě. Obecně je znám proces podmořských erupcí, které mohou vyvolat vlny tsunami. Taková událost byla v případě hodnocení rizik pro tuto jadernou elektrárnu zanedbána [22].

Labuť se nemusí vyskytovat jen v černé podobě, ne vždy s sebou musí nést nežádoucí účinky. Labuť mohou být **bílé**, jedná se o labuť, díky níž nedochází k nežádoucím událostem, ba naopak se stávají pro subjekt přínosnými. Příkladem bílé labuť může být například investice majetku do výrobku, který se stal bestsellerem na trhu, přestože to při jeho výrobě nebylo předpokládáno. Dalším typem labutí je **téměř černá labuť**, jedná se o situaci,

jež je nečekaná ovšem bez fatálních dopadů. Přístup k hodnocení této formy by měl být stejný, jako u labutě černé. **Šedá labuť** je labutí, kterou lze částečně předvídat, není však možné identifikovat všechna všechny její vlastnosti a provádět přesné výpočty. Jedná se o zemětřesení, pády akcií na burze. Šedé labuť se tak týkají extrémních událostí, které můžeme modelovat [23,22,24].

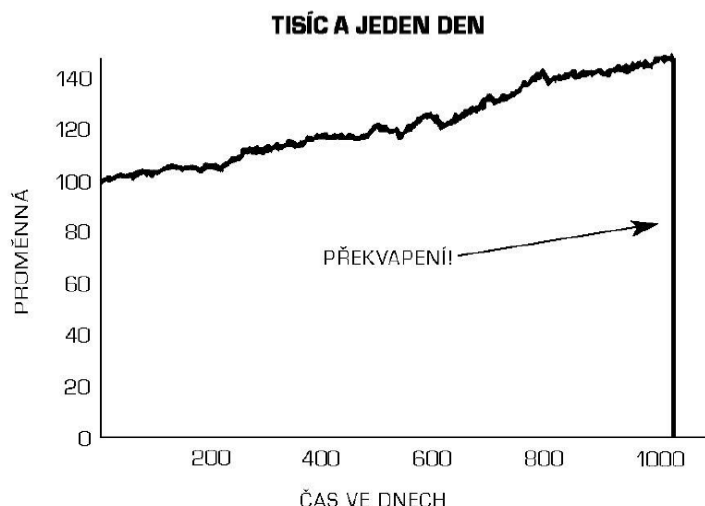
Černé labuť mohou být nazvány pojmem **dokonalá bouře**, jedná se o velmi vzácný jev, kterého si je člověk vědom. Dokonalá bouře je vysvětlována jevem, který se zřídka objevuje, kdy k dokonalé bouři dochází spojením klasických bouří nad Spojenými státy, studenou frontou ze severu a částí tropické bouře. Pokud dojde ke spojení těchto tří meteorologických jevů, neexistuje téměř žádná šance na přežití pro osoby pohybující se na moři v této bouři. Přesto riziko někteří rybáři podstupují s cílem velkého úlovku ryb. Odborníci mohou u těchto událostí stanovit pravděpodobnost jejich vzniku a predikovat vývoj této události. Pojem dokonalá bouře je nejčastěji přirovnán k černé labuti třetího typu, jde o události známé s vysoce nízkou pravděpodobností výskytu, které jsou považovány za nevýznamné. Riziko není bráno jako významné a může být ignorováno [22,24,25].

Mávnutí motýlích křídel, myšlenka, že i nenápadná a zdánlivě bezvýznamná akce může v konečném důsledku způsobit bouři. Matematik Ian Stewart z univerzity v Coventry píše ve své knize Číslo přírody: **Zvykli jsme si myslet, že jednoduché příčiny musí vyvolat jednoduché následky a složité následky musí mít složité příčiny. Nyní však víme, že jednoduché příčiny mohou mít složité následky. Chápeme už, že když známe pravidla, neznamená to ještě, že jsme schopni předpovědět budoucí vývoj.**

Název se vztahuje k myšlence, že i něco tak malého jako třepetání motýlích křídel, může v konečném důsledku vyvolat tajfun. Pravděpodobnost, že daná motýlí křídla vyvolají dané velké následky, je stejná té, že jiná motýlí křídla působící opačně oněm následkům zabrání [26].

2.5.3 Jak nebýt krocánem

Každá činnost je provázena nejistotou, která může být zdrojem hrozby. Příkladem může být příběh krocana, který žije na farmě a jeho lidský kamarád mu přinese každý den vodu a zrní. Krocán by na základě minulých zkušeností mohl usoudit, že mu nehrozí žádné nebezpečí, že ho má farmář rád. Pak se ale přiblíží den díkuvzdání a krocánův život je ukončen rukou farmáře. Krocán prostě příliš spoléhal na minulá data [23].



Obr. 7 Příklad problému indukce [23]

Uvědomme si, že:

- Každá činnost je provázána nejistotou, která může být zdrojem hrozby.
- Jsou-li dlouhodobě zavedeny určitá opatření, riziko přestává být vyhledáváno - „iluze bezpečí“.
- Pokud nevíme o nebezpečí, neznamená to, že neexistuje [21].

V životě se často vyskytujeme v podobné krocaní situaci. Máme nutkání předpovědět budoucnost. Svět se nechová dle vzorců a známé Gaussovo rozdělení je jedním z největších podvodů v našich dějinách [23].

Žádná činnost není zcela odolná proti negativním dopadům černých labutí. Můžeme však změnit způsob jak o rizicích uvažujeme.

- Nesnažme se černé labutě předvídat. Buďme radši ve střehu na cokoli nečekaného.
- Naučme se rozlišovat mezi Extrémovem a Průměrovem a přizpůsobit tomu naši strategii. Přestaňme myslet v rámci průměrnosti, naučme se cenit si extrémů. V Extrémově nelze spoléhat na statické předpovědi.
- Budoucnost je nejistá. Neuvažujme o ní, jako by se jednalo o hotovou věc. Vycházejme z faktů a berme nejistotu a nedořešenost jako přirozený stav. I odpověď já nevím je odpovědí.

- Zpětně si ověřujeme úspěšnost minulých předpovědí. Neberme krizi jako tragédii, ale jako příležitost. Přiznejme svou chybu.

2.5.4 Nepředvídatelné události z historie

Historie je neprůhledná. Vidíme jen výsledek, ale nikoliv scénář, podle něhož se události řídí. Onen generátor dějin. Naše porozumění těmto událostem je tak již od základu neúplné, neboť nám není umožněno podívat se dovnitř na to, jak celý mechanismus funguje. To, čemu říkám generátor dějin, není totéž, co historické události samotné, stejně jako nelze číst myšlenky božstev tím, že pozorujeme jejich skutky. Velmi pravděpodobně si tak o jejich záměrech uděláme falešnou představu. Je to tak trochu jako rozdíl mezi jídlem, jež dostanete v restauraci na stůl, a procesem jeho přípravy, který byste pozorovali v kuchyni.

Lidská mysl při vnímání běhu dějin trpí třemi chorobami, tzv. trojí mlhou. S touto myšlenkou přichází Nassim Nicholas Taleb v rámci konceptu Černých labutí. V první řadě jde o iluzi porozumění neboli všeobecné přesvědčení, že chápeme dění, jež je ve skutečnosti mnohem komplikovanější a nahodilejší. Za druhé jde o retrospektivní zkreslení. Problémy dokážeme posuzovat až zpětně, proto se dějiny v knihách zdají být méně komplikované. A nakonec jde o přecenění hodnoty faktů a nešvar, jímž bývají postiženi vzdělaní lidé – platonizují. Tato trojí mlha nás provází při každém našem poznání. Když budeme mluvit o pravděpodobnosti, nutně se odkážeme na Gaussovu křivku. Ta je dle pana Taleba platná jen pro Průměrov. Tím označuje svět, ve kterém se operuje zásadně s neškálovatelnými veličinami – váhou, délkou, úmrtností atd. Přitom ale upozorňuje, že v dnešní době žijeme v tzv. Extrémově. A právě ten je na výskyt Černých labutí velmi citlivý [23].

2.5.5 Známé události, které jsou černými labutěmi

Havárie Černobylu

V roce 1986 došlo k tragédii, která se stala smutným synonymem jaderné energetiky. Do reaktoru vnikl vzduch a reakcí vodní páry s rozžhaveným grafitem vznikl vodík, který vzápětí explodoval a rozmetl do okolí palivo a 700 tun radioaktivního hořícího grafitu, což způsobilo požár. V okolí černobylské elektrárny bylo usmrceno 56 lidí, v důsledku radioaktivnímu záření onemocnělo rakovinou podle odhadů asi 4 000 lidí [24,27].

Teroristické útoky 11. září

Koordinovaných teroristických útoků, které se uskutečnily 11. září 2001, je dodnes označován za den, který změnil svět. Arabští teroristé unesli čtyři dopravní letadla, která použili k teroristickým útokům. Dvě z nich narazila do Světového obchodního centra, které se následně zřítilo, jedno do budovy Pentagonu a poslední stroj se zřítil v Pensylvánii. Při útocích celkem zemřelo 2996 lidí včetně 19 únosců, jednalo se převážně o civilisty.

Bhopálská katastrofa

Je největší průmyslová havárie v historii. V Bhopálu došlo v noci 2. na 3. prosinci 1984 v chemické továrně k nehodě. Do chemického reaktoru vnikla lidským nedopatřením voda, což způsobilo explozi. Do okolí továrny uniklo více než 27 tun methylisokyanátu, kyanovodíku a dalších látek. Toxické látky zasáhly skoro půl milionů obyvatel, během několika dní po havárii zemřelo okolo 8 000 lidí. Lidé na následky této tragédie umírají dodnes [28].

Velkou lidskou chybou je, že se připravujeme na nějakou konkrétní černou labuť, která už někdy nastala. Místo ní ale nastane jiná, na kterou už připraveni nejsme. Bojujeme bitvy minulé, proto prohráváme bitvy budoucí. Nevnímáme široký kontext událostí, zaměřujeme se na fakta, nikoli na pravidla, principy či souvislosti. Vše ovlivňují i naše životy, v nichž usilujeme o určitou pravidelnost a jistotu. Černé labutě jsou příčinou mimořádných úspěchů i krachů [23]. Mnohé černé labutě jsou běžné události, které se nepředvídatelnými událostmi staly jen díky lidské nepřipravenosti. Nejedná se o události, které by byly samy o sobě nepřírozené, nýbrž takové, které byly z přirozenosti vytlačeny naším způsobem myšlení. Když se podíváme do historie, spatříme velké množství černých labutí. My se ale dále chováme jako by se dějiny daly předvídat, měnit, vytvářet. Konáme tak z přílišné důvěry ve své vědomosti a z přeceňování toho mála co víme, přičemž zapomínáme zkoumat co mnohé, co nevíme. Studujeme stále věci známé a vyhýbáme se neznámým. Je snadnější říci „bůh ví“ než „já nevím“. To je jeden z důvodů, proč dochází k nepředvídatelným událostem. Místo skutečného terénu studujeme mapy, na nichž není všechno zaznamenáno. Stavíme svůj život a plánování na tom co se v životě osvědčilo. Ne vždy se to opakuje. Přesto osvědčené poznatky z minula bereme jako definitivní a všeobecně platné. Možná proto si v sobě pěstujeme neschopnost chápat černé labutě.

2.5.6 Vodní nádrže a výskyt černých labutí

Hrozbu můžeme definovat nejen jako náhodu, ale i jako úmyslně vyvolanou událost, která může mít negativní dopad. Každý systém je vystaven působení mnoha hrozeb, pokud těmto hrozbám chceme čelit, musíme zjistit, které to jsou. Identifikace hrozeb je složitým proces, hrozby mohou být nejen náhodné a úmyslné, ale i vnitřní a vnější. Matice hrozeb může sloužit jako vodítko při hledání rizik, nejen známých, ale i neočekávaných [29].

Tab. 5 Matice hrozeb

hrozby	náhodné	úmyslné
externí	přírodního původu	hacking
interní	technické selhání, lidská chyba	sabotáž

Černé labutě přichází z nenadání a mohou přinést obrovskou zkázu. Vědci se marně snaží předpovědět, kdy a kde mohou udeřit. Nepředvídatelné situace se mohou vyskytnout všude kolem nás, ani přehrady netvoří výjimku. Mimořádné, nepředvídatelné situace vznikají z různých příčin, které mohou mít původ nejen v přírodních jevech, ale i v lidské činnosti. Mezi **přírodní jevy** můžeme zařadit zemětřesení, vichřice, tornáda, sesuvy půdy, skalní zřícení, povodně vyvolané hydrometeorologickými jevy. Naopak mezi **lidskou činností** patří ovlivnění režimu povrchových a podzemních vod, změna funkce vodního díla (výrazná změna vodní hladiny), terorismus, sabotáž.



Obr. 8 Mimořádné události vodních děl

Antropogenní činnost

Teroristický útok

Terorismus je dnes velmi častě se vyskytující pojem, se kterým už se nesetkáváme jen v televizi a na internetových stránkách. Dříve byly teroristické útoky typické jen pro pár světových oblastí, dnes se ale s terorismem můžeme setkat kdekoliv a kdykoliv. Jedná se o celosvětově závažný problém.

Terorismus je plánované, promyšlené a politicky motivované násilí, zaměřené proti nezúčastněným osobám, sloužící k dosažení vytčených cílů. Terorismus je propočítané použití násilí nebo hrozby násilím, obvykle zaměřené proti nezúčastněným osobám, s cílem vyvolat strach, jehož prostřednictvím jsou dosahovány politické, náboženské nebo ideologické cíle. Terorismus zahrnuje i kriminální zločiny, jež jsou ve své podstatě symbolické a jsou cestou k dosažení jiných cílů, než na které je kriminální čin zaměřen [9].

Terorismus je zvlášť nebezpečný zejména proto, že představuje výraznou asymetrickou hrozbu, z čehož vyplývá, že předpovídání teroristických událostí a ochrana proti nim je velkým problémem. Útoky jsou černými labutěmi, víme sice, že k nějaké takové události může dojít, nemáme ale ponětí kdy a jak. Útok na přehradu může být proveden mnoha způsoby. Jde například o tyto možnosti – protržení přehradu výbušninou, kyberterorismus, kontaminace vody v nádrži, útok na personál či sabotáž. Jednotlivé útoky nemusí být izolované, naopak spolu mohou souviset.

Garanci ochrany obyvatelstva před současným terorismem dnes nemohou zabezpečit ani ekonomicky nejvyspělejší země. Ohrožení obyvatelstva závisí na způsobu útoku a použitém prostředku:

- **jaderný teroristický útok**, bezprostřední a zprostředkované ohrožení zdraví a života osob účinky tlakové vlny, světelného a tepelného záření, pronikavé radiace,
- **chemický teroristický útok**, bezprostřední a zprostředkované ohrožení zdraví a života osob účinky jedovaté chemické látky, nebo ohrožení života pomocí potravinových zdrojů,
- **biologické teroristický útok**, bezprostřední ohrožení života osob účinky biologické látky,
- **bombový atentát**, zranění nebo usmrcení osob přímými účinky výbuchu, druhotnými následky (úniky nebezpečných látek, záplavy),
- **psychický účinek** hrozby teroristického útoku [30].

Protržení přehrad explozí

Protržení přehrad explozí, je hrozbou hlavně pro přehradu betonové. Ačkoliv se jedná o masivní betonovou stavbu, která je konstruována k odolnosti vůči obrovským tlakům, nejsou tyto stavby nezranitelné. O zranitelnosti přehradu rozhodují mnohé faktory, jedná se o stáří přehradu, kvalitu provedení, typ a množství výbušnin, ... Teroristický útok může být proveden i na přehradu zemní, nedojde k protržení hráze, ale výbušnina naruší okolní infrastrukturu. Může dojít například k sesuvu okolní zeminy a následnému přelití hráze.

Anna Doro – on ve své publikaci Risk Assessment for water Infrastrukturu [31] uvádí devatenáct výbušnin, které jsou vzhledem ke své dostupnosti a ceně považovány za

nejpravděpodobnější při útocích na vodní infrastrukturu. Patří sem: peroxin acetonu, dusičnan amonný, azid olovnatý, plastická trhavina (semtex), cyklonit (RDX), nitroglycerin, oktoden (HMX), hexanitroazobenzen (HNAB), hexanitrodidenylamin (HND), atd. Při provedení útoku není důležitá jen trhavina, ale místo jejího umístění. K protržení přehrad je zapotřebí obrovského množství výbušniny, můžeme hovořit až o 3 tunách výbušné látky. Z historie víme, že vhodným přepravním prostředkem je letadlo, které je schopné přemístit výbušniny takové hmotnosti. Za méně nápadný prostředek můžeme považovat nákladní automobil. Nákladní automobil může být využit jako IED (improvised explosive device), což při snaze protržení přehrad nemusí být nejvhodnější variantou, protože automobil působí jako kontejner, čili pohltí část energie výbuchu. Další možnou variantou je lodní doprava, například využití člunu se jeví jako nejvýhodnější pro instalaci výbušnin. Na rozdíl od silniční přepravy nemusí dojít k vyložení a přesunu do vody. Beton dobře odolává stlačení, nikoliv však rozpínání, a proto nejlepším způsobem je zničení nárazovou vlnou, při které vzniká stlačení i podtlak. Jenže nárazová vlna se ve vzduchu rychle vybije a ztrácí své účinky. Nejlepším je ji umístit do nějakého hutného prostředí. Jenže bomba se do přehrad nezavrtá, nejvhodnějším způsobem tedy je umístění pod vodu [32,34,31]. Příkladem může být útok na přehradu Sorpe, Möhne a Eder, útok na přehradu Chingaza a mnoho dalších.

Útok na přehradu Sorpe, Möhne a Eder

Protržení přehrad v Porúří v průběhu 2. světové války. Na podzim 1939 začala snaha o to, jak nejcitelněji zasáhnout Hitlerovské Německo. Myšlenka vykryštovala, že nejlepší bude zničení energetické zdroje. Po delším uvažování vyšly nejlépe přehradu v Porúří, a to Möhne, Eder a Sorpe. Möhne regulovala výši hladiny v Mittellandském kanálu, který byl jednou z největších dopravních tepen v Německu, po kterém se dopravovala ocel z Porúří, Eder a Sorpe zásobovala vodou ocelářské podniky. Po dlouhých výpočtech došli k výsledku, že k protržení hráze by musela mít konveční bomba alespoň 10 tun. RAF neměla stroj, který by něco takového unesl. Wallis zkoušel na modelu přehrad nejlepší způsob, jak ji zničit, až přišel na nápad tzv. skákající bomby. Inspirovala ho prostá zábava malých kluků – házení žabek. Podle jeho návrhu měla bomba po hladině přeskákat protitorpédové sítě, narazit do hráze, po té se podél ní potopit pod vodu zhruba do poloviny její výšky a následně vybuchnout. Aby bomba mohla po hladině skákat, dal jí tvar válce, který se měl před odhozením roztočit. Takovéto řešení navíc nevyžadovalo extrémní váhu bomby, stačila váha okolo 3 tun trhaviny.

Provedení útoku bylo naplánováno ve třech vlnách. První vlna o 9 letounech letěla jižní trasou a zaútočila na Möhne a Eder. Druhá vlna o 5 letounech útočila Munro na Sorpe, vedla severní trasou a třetí vlna, též o 5 letounech, letící o dvě hodiny později byla zálohou pro první a druhou vlnu. 16. května byla spuštěna operace CHASTISE. Z 19 nasazených letounů se 133 muži se z náletu vrátilo jen 11.



Obr. 9 Přepraha Moehne po útoku [35]

Škody, napáchané německému průmyslu pouhými 19 letouny, byly nedozírné. 330 milionů kubických metrů vody zaplavilo vše do vzdálenosti 80 km. Byly strženy důležité mosty, zaplaveny doly, města, továrny i vojenské objekty. Zničeno bylo 125 továren, odplaveno 3 000 ha orné půdy, 25 mostů strženo a 21 těžce poškozeno, utonulo přes 6 500 hospodářských zvířat a 1 294 osob. Po náletu Němci přeprahy opravili a zabezpečili proti dalším útokům, ale bylo již pozdě. Na přeprahy už zaútočeno nikdy nebylo [35,36].



Obr. 10 Následky na přepradě po operaci CHASTISE [35]

Útok na přehradu Chingaza v Kolumbii

Další ze známých útoků byl uskutečněn v lednu roku 2002, když kolumbijské ozbrojené síly FARC zaútočily na přehradu Chingaza, která slouží jako zásobárna vody pro město Bogota. Skupina se snažila porušit strukturu přehrady, narušit dodávky pitné vody do Bogoty a zaplavit město, které leželo po proudu od přehrady. Útok nebyl úspěšný, přehrada nebyla protržena [29].

Útok na Mosulskou přehradu

Mosulská přehrada v Iráku je životně důležitý zdroj vody i elektřiny pro skoro dvoumilionové město Mosul. Kdo přehradu ovládá, drží v rukou klíče k městu. Porušení přehrady by mohlo ovlivnit život až 1,5 milionu obyvatel. Tohoto faktu si byli vědomi i radikální sunnitě z Islámského státu, kteří roku 2014 přehradu a okolí zaminovali, jejich útok se podařilo zastavit [5].

Kontaminace vody vodní nádrže

Ke kontaminaci vody může docházet několika způsoby, užitím chemickým zbraní, biologických zbraní, radiologických zbraní.

Kontaminace vody užitím chemické zbraně

Prudký vývoj chemie pronikl do všech odvětví lidské činnosti. Kontaminace vodní nádrže je velmi složitý proces. Chemické zbraně nejsou velmi vhodným prostředkem. Pro uskutečnění by bylo potřeba pořídit obrovské množství chemické látky, hovoříme až o desítkách tun, tak aby dokázal na správnou koncentraci naředit statisíce až miliony kubíků vody, jež se v přehradě ukrývají. Muselo by se jednat o látku, která si ve vodě zachová své vlastnosti. Navíc by musela působit okamžitě. Při okamžitém působení, by mohlo dojít k masivní nákaze obyvatelstva, ovšem při pomalejším působení by se lehce došlo k příčině potíží. Nedá se zde předpokládat velké mortalita. Větším problémem by potom bylo, co dále s infikovanou vodou? Infikovanou vodu by nebylo možné jen tak vypustit do toku.

Na světě se vyskytuje celá řada chemických látek, které by mohly být využity při teroristických útocích. Nejedná se jen o bojové látky, ale i o pesticidy, které jsou běžně užívané v průmyslu nebo zemědělství, tudíž i běžně dostupné. Dle Anna Doro – on za kritické můžeme

považovat tyto látky: kyanid, arzen, nervové plyny (VX, SARIN), industriální chemikálie (pesticidy), benzinová aditiva (MTBE), skupina organických i anorganických kontaminantů, [30,32,31].

Kontaminace biologickou zbraní

Otrávení přehrady pomocí biologických zbraní se jeví jako reálnější, i přesto že se o něm veřejně hovoří jen ve velmi malé míře. Úmyslné šíření choroby dalo nový rozměr hrozbě, která je vyvolána infekčními a toxickými agenty tradičně přenášenými jen přirozeným způsobem. Výhodou je, že k otravě není potřeba tolika tun látky jako u zbraní chemických. Jedná se tedy o snadnější způsob přepravy. Problémem jsou podmínky, ve kterých musí být biologické zbraně uchovány a také to, že voda není pro všechny látky vhodným nosičem. Nejčastěji užívanými biologickými zbraněmi jsou bakterie, viry a toxiny. I přesto, že se jedná o látky rozdílné a většina z nich se dá zneškodnit chlorováním, převařením (zvýšenou teplotou, způsobenou např. i slunečním zahřátím), mohou biologické zbraně způsobit větší úmrtnost než zbraně chemické. Obecně tady mohou vyvolat větší paniku.

Biologické zbraně patří nepochybně mezi zbraně hromadného ničení, přesněji mezi zbraně působící hromadné ztráty, protože neovlivňují neživou sílu. Ve srovnání s ostatními zbraněmi jsou unikátní svou rozmanitostí. Nejnebezpečnější biologické zbraně jsou: antrax, mor, botulotoxin, který je považován za nejjedovatější člověku známou látku, virové hemoragické horečky a tyfus.

Za nejpravděpodobněji použitelné jsou považovány tyto látky: antrax, salmonela, botulotoxin, stafylokok enterotoxin B, některé formy shigelly. Za nejnebezpečnější se dá považovat antrax, který se ve vodě vyskytuje ještě po dvou letech. Sněť slezinná čili antrax můžeme považovat za nejvhodnější biologickou zbraň, jelikož oplývá excelentními zabijáckými parametry. Odhaduje se, že na onen svět člověka pošle méně než miliontina gramu. Naopak například botulotoxin se dá zneškodnit chlorováním [31,32].

Kontaminace a radiologické zbraně

Útok radiologickou zbraní v souvislosti s vodní infrastrukturou, je nejméně pravděpodobný. V rámci terorismu se jedná o nejrizikovější zbraň. Radiologická zbraň se nazývá špinavou bombou. Tyto zbraně jsou řazeny mezi zbraně hromadného ničení. K rozptýlení radioaktivních materiálů využívá konvekční náplň. Její působení spočívá v

zamoření určitého území radioaktivním zářením, přičemž nejčastěji diskutovanými materiály pro tento účel jsou: gama-záření produkující kobalt 60, cesium 137, iridium 192 nebo částice alfa vysílající amerícium 241 a plutonium 238.

Účinky špinavé bomby závisejí především na druhu, době a intenzitě záření, jakož i na množství použitého materiálu. Dalšími ovlivňujícími faktory jsou hustota obyvatelstva v oblasti nasazení, povětrnostní podmínky během a po výbuchu (děšť, směr a síla větru) či stavební materiály používané v oblasti (některé radioaktivní substance se chemicky spojují s materiály jako beton, sklo či asfalt). Důležité pro výraznější efekt špinavé bomby je vytvořit substanci, na jejímž základě by vznikl radioaktivní mrak distribuující záření na širokém prostoru. Vhodný je především aerosol.

Boj proti radiologické zbrani, se musí soustředit především na prevenci, protože po případné explozi dojde k negativním účinkům vyžadujícím nasazení značného a nákladného počtu jednotek a techniky pro dekontaminaci. Pro případ útoku je však třeba vycvičit příslušné armádní i civilní složky a obyvatele alespoň v základních rysech připravit na žádoucí chování. Mimořádně důležité je zabránit panice, která může mít za určitých okolností tragičtější dopady než účinky bomby samotné [32].

Kyberterorismus

S rostoucím významem internetu je čím dál naléhavější také význam informační bezpečnosti. Definice kyberterorismu je počítačový útok může být definován jako kyberterorismus pokud jsou jeho následky dostatečně zničující nebo narušující, aby vyvolaly strach srovnatelný s teroristickým útokem. Vzrůst počtu útoků souvisí s automatizací protokolů a systémů. Výhodou také je, že útok lze provést na dálku, třeba z druhé polokoule.

V současnosti probíhá debata o tom, je-li hrozba kyberterorismu vůbec reálná. Hlavním argumentem proti její závažnosti je to, že účinky kyberterorismu se nemohou srovnávat s psychologickými účinky kinetických teroristických útoků. Útoky nemají potenciál splnit základní cíl teroristů – vyvolání paniky. Kyberteroristický útok může být nejatraktivnější a zároveň mít i největší efekt, pokud bude použit jako umocňovatel teroristického útoku [37].

Nejen v průmyslu, ale i ve vodním hospodářství dochází k čím dál větší automatizaci a standardizaci komunikačních protokolů. To má za následek větší cenovou efektivitu a je tím

do velké míry snížena možnost lidského selhání. Tento proces však zároveň otevírá prostor pro napadení informačních systémů. Nalezení slabého místa v systému či objevení zranitelnosti je velice prestižní záležitostí, protože počet zranitelností rok od roku klesá. Přesto se najdou jedinci takových schopností, pro něž je to hračka. Kyberútoky jsou nejdiskutovanější v USA. Denně americký arzenál čelí až milionu útoků. Kyberútoky v posledních letech stouply o stovky procent. Z čehož vyplývá, že elektronické útoky na různá citlivá místa jsou reálně proveditelné. Mnoho systémů je na vysoké úrovni, kyberútoky pro ně nejsou hrozbou. Pro útok je lepší vybrat si méně významný cíl, který je méně či vůbec zabezpečený, tedy snáze zranitelný. I přes jednoduchost útoku, není kyberútok u přehrad častým jevem, asi z důvodu, že nemůže způsobit žádný závažný problém. Počítá se jen se dvěma možnými scénáři, jde o otevření výpusti a vyřazení přehrady z provozu, čímž dojde k přerušení dodávky vody a energie. Otevření výpusti se jeví jako závažnější problém, ale není tomu tak, protože vypuštění nádrže může trvat až několik dní. Není možné, aby správa vodního díla takovou činnost nezaregistrovala [37].

Konstrukční vady

Přehrada může zhavarovat i na základě jediné konstrukční chyby. Při poruše konstrukce, nebo konstrukčního prvku obvykle dochází při akumulaci více příčin. Cílem každého návrhu je předcházet příčinám, které vedou k poruchám. Prozatím to nevypadá, že by se podařilo zajistit, aby lidé při návrhu, stavbě a údržbě chyby nedělali.

Příčiny vad:

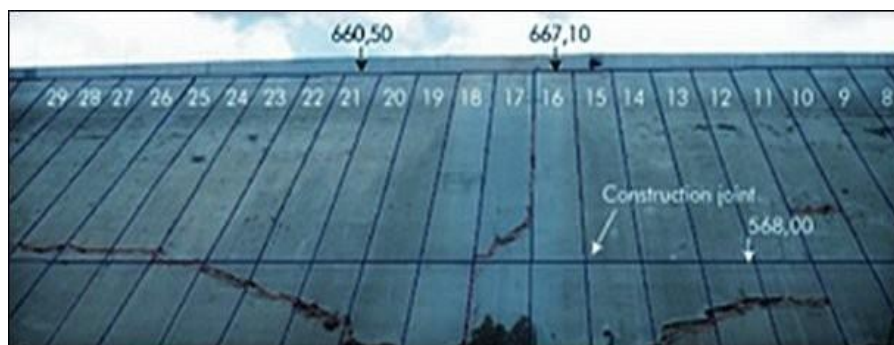
- vady projektů,
- nekvalitní výstavba, materiál, hutnění,
- provozní okolnosti, stárnutí konstrukce, nedostatečná údržba, mimořádná hydrologická situace [38].

Hlavní příčiny vad projektu:

- nedostatečné podklady, geologické, hydrologické, pedologické, hydrogeologické,
- nedostatky v návrhu jako vadná koncepce díla,
- nevhodně navržené vegetační úpravy,
- vady v technickém řešení, nedostatky ve výpočtech, nevhodné řešení hráze [38].

Přehrada Campos Novos

Přehrada Campos Novos je 202 m vysoká a 600 m dlouhá. Stavbu nalezneme v jižní Brazílii. Problémy se projevíly hned po dokončení stavby v roce 2006.



Obr. 11 Kvalita stavby Campos Novos [39]

Hned roku 2006 došlo k nekontrolovanému vypuštění celé přehradě. Po naplnění nádrže vodou, začala voda unikat. Únik vody z přehradě nezpůsobil žádné problémy, protože k úniku došlo v období sucha. Dle prohlášení, ale nebyla přehrada narušena. Nalezena byla údajně jen porucha na odtokovém tunelu. Trhliny v hrázi, ale dokazují, že nedošlo jen k poruše odtokového tunelu [39].

Přehrada Malpasset

Nedostatečný geologický průzkum a souhra náhod vedly k protržení francouzské přehradě Malpasset, ležící u východní části středomořského azurového pobřeží. Dne 2. prosince 1959 došlo k tragédii, která si vyžádala přes 400 lidských životů. Záplavová vlna, která byla z počátku 40 m vysoká se řítila do údolí rychlostí 70 kmh^{-1} , smetla z povrchu dvě vesnice a další město částečně zaplavila. Tragédii způsobil tektonický pohyb okolních skal v kombinaci s vydatnými srážkami, které způsobily přeplnění nádrže, která nevydržela tlak hornin i vody.

Protržení nádrže v Brazílii

V Brazílii se 5. listopadu 2015 protrhla přehradní nádrž s odpadní vodou z rudného dolu. Nádrž byla umístěna nedaleko rudného dolu ve městě Minas Gerais na jihovýchodě Brazílie. Hráz měla zadržovat vodu odčerpanou při důlních pracích. Protržení přehradě rozpoutalo masivní vlnu vody a bahna s obsahem důlních produktů a chemikálií, které způsobily dlouhodobé škody na tamním ekosystému [40].



Obr. 12 Vesnice zasažená důlní katastrofou [41]

Přibližně 60 milionů m³ „vody s odpadem“ teklo do řeky Doce. Povodeň kontaminovala nejen řeku, ale o několik dní později se dostala až do Atlantického oceánu. Vlna bahna ničila až ve vzdálenosti větší 400 km. Tato událost je považována za největší ekologickou katastrofu v Brazílské historii.



Obr. 13 Kontaminace Atlantického oceánu [41]

Katastrofa si vyžádala 17 obětí, asi 600 lidí přišlo o své domovy, největší škody jsou zaznamenány na životním prostředí. Po katastrofě bylo zjištěno, že bahno obsahovalo arsen a další toxické látky. Dle odhadů by obnova regionu mohla trvat až 50 let. Dopady neštěstí jsou katastrofální. Bahno zničilo 800 km dlouhou řeku Rio Dolce, zabilo miliony ryb. Byla zničena fauna a znečištěny zásoby pitné vody. Tisíce rybářů bylo na řece závislých kvůli obživě. Za viníka je považována společnost, která zanedbala své povinnosti. Odborníci tvrdí, že společnost mohla odvrátit katastrofu a minimalizovat škody [41,40].



Obr. 14 Letecký snímek den po Brazílské tragédii [41]

Přírodní jevy

Svahové pohyby, sesuvy půdy

Svahové pohyby jsou jedním z nejrozšířenějších environmentálních hazardů. Svahový pohyb je přemístění hornin z vyšší polohy svahu do nižší, způsobený účinkem zemské tíže. Svahové pohyby patří mezi přírodní rizikové jevy a procesy v horninovém prostředí, které jsou mnohdy vyvolané lidskou činností. Sesuvy bývají náhlé, rychlé a zcela nečekané. Mohou způsobit značné škody nejen na majetku, ale i na životním prostředí a lidských životech.

Z geologického hlediska není žádný svah trvale stabilní. Největší problémy způsobují svahové pohyby vzniklé porušením stability svahu způsobené přírodními faktory nebo činností člověka. K nestabilitě svahů přispívá i zvýšený obsah vody v půdě, sutí nebo horninách. Nestabilitu svahu mohou způsobit i změny porostu či odstranění vegetace. Sesuvy v historii pobořily celé města, vyřadily zemědělské plochy z normálního využití, ohrozily stavební objekty, ohrozily práci v lomech. Velké obtíže způsobily i při stavbě tunelů a přehrad [42,43].

Svahové pohyby mají mezi hazardy zvláštní postavení, jejich příčiny mohou být různorodé. Svahové pohyby mohou být označovány za endogenní hazardy (pohyb způsobený zemětřesením), exogenní hazardy (způsobené např. srážkovou činností), mohou být ale způsobeny i přírodními a lidmi podmíněnými riziky (umělé úpravy svahů). Sesuvy mohou bez pochyb způsobit protržení přehrad, v historii najdeme ale i výjimky, kdy sesuv půdy, který nezpůsobil protržení přehrady. Přes hráz se přelila voda, ale nádrž zůstala nepoškozena.

Vajontská tragédie

Vajont je přehrada vybudovaná na řece Vajont v Itálii. Při výstavbě přehrady vypadalo, že jde o stavbu nejúchvatnějšího technického projektu. Šlo o stavbu prohnuté hráze, která měla vyplnit soutěsku a vytvořit jezero o 180 milionech m³. K sesuvům půdy docházelo již při výstavbě a napouštění přehrady. Práce přesto pokračovaly. Po jednom větším sesuvu, bylo rozhodnuto, že přehrada Vajont nebude z důvodu bezpečnosti plně napuštěna, aby nedošlo ke krizovému scénáři. Lidé zapomínají velmi rychle, proto netrvalo dlouho, než byla voda napuštěna nad plánovanou hladinu. Večer 9. října 1963 došlo k obrovské tragédii. Z úbočí se hory se odtrhla ohromná masa skály, lesa a zeminy a během 45 sekund se rychlostí asi 100 km/h sesunula do nádrže. Jednalo se asi o 260 milionů m³ hmoty, šlo o větší objem, než byl objem nádrže. Sesuv nádrž zcela zavalil a způsobil dvě vlny. Vlna mířící k hrázi byla 250 m vysoká a měla podstatně větší dopad. Vlna se převalila přes hráz a dopadla plnou silou na obec situovanou pod Vajontskou soutěskou. Gigantická masa vody dopadla na vesnici a vytvořila zde 60 metrů hluboký kráter. Vesnice byla zcela zničena, katastrofa si vyžádala přes 2 000 lidských obětí. Vajontská přehrada zůstala bez úhony [43].

Zemětřesení

I zemětřesení je rizikem, které může vést ke vzniku mimořádné události. Zemětřesení nelze časově ani prostorově předvídat. Může se projevit kdekoliv, místo nejpravděpodobnějšího ohrožení není možno stanovit. Když se země začne třást, nastane doslova peklo. Pojmeme zemětřesení rozumíme: Zemětřesení představuje rychlé, krátkodobé otřesy zemské kůry různé intenzity. Zemětřesení je zpravidla vázáno na geologicky mladé, tektonicky neklidné oblasti, okraje litosférických desek, nebo okolí velkých hlubinných zlomů. Největší intenzita zemětřesení na povrchu je v epicentru, od kterého se postupně snižuje [44].

Zemětřesení je asi největším přírodním hazardem. To platí nejen pro počty obětí a míru škod, ale i pro velikost zasaženého území. K tomu přispívá i psychologický faktor. Otřesy většinou přichází náhle, často bez jediného varování, za několik desítek sekund za sebou zanechávají obrovské neštěstí. I v současné době, přes pokroky ve výzkumu seismiky a dynamiky zemského tělesa, je předpověď zemětřesení a ochrana před touto katastrofou stále velmi obtížná.

Primární účinky zemětřesení souvisí přímo s otřesy povrchu. Velikost rizika je závislá na velikosti zemětřesení, na epicentrální vzdálenosti a na místních geologických a topografických podmínkách. Mezi sekundární účinky patří svahové pohyby, vlny tsunami [44,45,46].

Přehrada zavinila zemětřesení

I člověk dokáže svou činností spustit zemětřesení. Překvapivé je, jak malý podnět k tomu stačí. Napuštění přehrady a zatížení hornin vodní masou se už mnohokrát ukázalo jako dostatečný impuls k uvolnění napětí na geologických zlomech. Seizmologové zaznamenali desítky zemětřesení o síle až 6 stupňů Richterovy škály, které odstartovalo právě napuštění přehrad.

Přehrada C'pching – pchu

Naplnění a rychlé vypuštění přehradní nádrže bylo nejspíše příčinou jednoho z nejničivějších zemětřesení. V květnu roku 2008 zasáhlo čínskou provincii Sečuán velmi silné zemětřesení. O život přišlo asi 70 000 lidí. Tato katastrofa přebírá primární místo mezi přehradními zemětřeseními. Přehrada C'pching – pchu se nachází půl kilometru od zlomu, na němž vzniklo sečuánské zemětřesení. Během dvou let stoupla hladina vody o 120 metrů. Stovky milionů tun vody zatlačily na blízký geologický zlom, což spustilo zemětřesení. Klíčovým faktorem byla velká hloubka přehradní nádrže a její rychlé napuštění. Voda prosakovala hluboko do hornin a na zlomu oslabila vzájemné zaklesnutí horninových mas. Došlo k náhlému a výraznému snížení hladiny vody v nádrži. Týden poté přišlo zemětřesení [47].



Obr. 15 Sečuánské zemětřesení [47]

Přehrada Kariba

Kariba je přehradní nádrž, která se nachází v Africe na řece Zambezi, na hranicích států Zambie a Zimbabwe. Přehrada je 223 km dlouhá, maximální šířka přehrady je 40 km. Objem nádrže je 185 miliard tun. Vybudování přehrady přineslo zemi přínosy v podobě výroby elektřiny a rybolovu. Jak už to tak ale bývá, s výstavbou nastaly i problémy. Přehrada se nachází na tektonicky aktivní oblasti. Napuštění nádrže způsobilo zatížení nestabilního geologického podkladu. Zatížení podloží způsobilo několik zemětřesení [48].

Eroze vnitřní a povrchová

Eroze ovlivňuje přehrady sypané. Jde o proces rozrušení a transportu půdy, horniny, skály na zemském povrchu. Při erozi povrchové i vnitřní dojde v konečné fázi k poruše hráze jejím přelitím. Při přelití těleso hráze zprvu odolává účinku proudu přepadající vody, jejíž rychlost je funkcí průtočného množství vztaženého na jednotku délky koruny hráze, dále funkcí sklonu vzdušního líce hráze, materiálu a rovnoměrnosti vzdušního líce.

K vnitřní erozi dochází, když materiály tělesa hráze nesplňují geometrické a hydraulické podmínky stability proti vzniku sufoze nebo vzniku privilegovaných průsakových cest. Vnitřní eroze je zahájena průsaky, které vyplavují drobné pevné částice a unáší je po proudu. Následně dochází ke vzniku privilegované cesty. Voda prosakuje hrází a vytváří otevřenou cestu pro tok nesoucí částice, což vede k úbytku materiálu a následně ke ztrátě stability. Při vyplavení většího množství materiálu může dojít ke zhroucení stropu průsakového kanálu a k poklesu koruny hráze. To vede k následnému porušení celé hráze [81].

Přehrada Teton

Přehrada Teton byla zemní sypaná hráz, která v roce 1976 přehradila kaňon říčky Teton river. Již dva dny předtím, než dospěla přehrada svého vrcholu, bylo zpozorováno dvoumetrové prosakování vody asi 30 m pod vrcholem u břehu hráze. Napouštění nebylo zastaveno. Kolem deváté hodiny ráno do pravé stěny hráze vyryla kalná voda prosakující průtokem 50 l s^{-1} zřetelná jizva. Trhlinu se snažily zasypat 4 buldozery, ty se však propadly do desetimetrové jámy, která vznikla propadem erodované přehradní zeminy.



Obr. 16 Trhlina přehrady Teton [49]

V 10:53 se vytvořil na návodní straně hráze zřetelný, zdrojově stabilizovaný vír, vyhlodávající rychle tunel pro unikající vody. Bahnitá říčka na své divoké cestě odnášela v minutách tolik hmoty, kolik jí lidé kdysi naváželi po hodinách. Nerovnováha souboje byla zřejmá. Jáma se začala hrozivě zvětšovat spolu s rostoucí divokostí unikající vody. V 11:57 dosáhla hrana jámy hladiny jezera a hráz začala být přelévána. V těch okamžicích byla nejmocnějším vodopádem na zemi trhlina v Tetonské přehradě. Říční se bahnité spousty se po opuštění kaňonu rozlily do ploché krajiny, aby v podobě sedmimetrové vlny udeřily na města a zemědělské usedlosti. O život přišlo 14 lidí a 25 000 lidí přišlo o domovy. Celkové hmotné škody na přehradě i na postiženém kraji dosáhly miliardy dolarů [49].



Obr. 17 Protržení přehrady Teton [49]

Přehrada Desná

Ani přehrady v České republice nejsou bezporuchové. Důkazem je i sypaná hráz Desná na řece Bílé Desné v Jizerských horách. Přehrada se 18. září 1916, asi rok po dokončení, protrhla a smetla část obce Desná. Jde o největší katastrofu v rámci protržení přehrady v Čechách. Osudného dne si kolemjdoucí všimli pramínku vody, který tryskal z hráze. Přehrada v té době nebyla ještě zcela napuštěná, obsahovala asi 290 000 m³ vody. I přes pokus vypustit přehradu, došlo k protržení hráze. Voda se z přehrady valila 18 m širokou průrvou, brala s sebou stromy i s kořeny. Údolím proudila voda o rychlosti 150 m³s⁻¹. Povodňová vlna způsobila obrovské materiální škody – 33 domů bylo zničeno, 69 poškozeno, navíc si katastrofa vyžádala kolem 60 lidských životů. Za příčinu neštěstí se považoval nevhodně zvolený materiál tělesa hráze. Firma Geotechnika a. s. tuto příčinu ale vylučuje. Za příčinu označují erozi v podloží hráze či na kontaktu hráze s podložím, dále vlastní erozi hráze [50].



Obr. 18 Protržení přehrady Desná [50]

Počasí

Teplejší atmosféra zvyšuje frekvenci extrémních výkyvů počasí. Proto přibývá silných dešťů, vln mimořádného sucha nebo horka, hurikánů, tajfunů či vichřic. Při vyšší koncentraci oxidu uhličitého ve vzduchu se patrně zvýší síla tropických cyklónů [51].

Extrémní deště

Myšlenka, že rozlehlé vodní plochy ovlivňují srážky, není nijak nová. Vědci z Technické univerzity v Tennessee sledovali silné deště v okolí 633 největších přehrad světa a porovnávali četnost jejich výskytu před a po dostavení přehrady. Zjistili, že se vznikem nádrží

úroveň extrémních srážek na mnoha místech vzrostla až o 4% za rok a dvojnásobně se zvýšil i počet deštivých dní. Intenzita odparu závisí na atmosférických podmínkách. Se zvyšováním teploty vody se zvyšuje rychlost vodních molekul a ty, které získaly dostatečnou kinetickou energii, vyletují z hladiny a dostávají se do atmosféry. Molekuly, které unikly z kapalně fáze, se srážejí s molekulami obsaženými ve vzduchu. Některé se z nich se mohou odrazem společně s těmi, které zkondenzovaly díky velkým rychlostem, dostat zpět do nádrže.

Protržení přehrady Delhi kvůli extrémním srážkám

Přibližně dvě stovky budov strhly mohutné masy vody z protržené přehrady v severoamerické Iowě. Hráz nevydržela nápor vytrvalých dešťů. Třiaosmdesát let stará přehrada Lake Delho, která leží na řece Maquoketa nevydržela nápor několikadenních prudkých dešťů a protrhla se. O střechu nad hlavou přišlo okolo osmi tisíc lidí z okolních městeček [52].



Obr. 19 Protržení přehrady Delhi [52]

Sucho

Hrozbou, která je stále více chápána jako jedna ze základních hrozeb pro 21. století je nedostatek vody. Mnoho studií poukazuje na „*limity růstu*“ využívání vodních zdrojů. Spolu s růstem spotřeby vody lidskou civilizací předpovídají brzký nedostatek tohoto přírodního zdroje se závažnými dopady na produkci potravin, zdraví obyvatel. Voda by v budoucnu mohla zažehnout mnoho konfliktů, jak uvnitř států, tak i mezi nimi.

Sucho je forma přírodní katastrofy, která se projevuje nedostatkem srážkové vody, podzemní vody nebo jejich kombinací. Důsledkem toho dochází k odumírání rostlinstva v

zasazené oblasti a k následnému vymírání živočichů, či ke zhroucení celého ekosystému. Příčiny vzniku mohou být dvojího charakteru – přirozené (procesy v atmosféře) nebo vyvolané činností člověka (vysoušení jezer, skleníkový efekt). Důsledkem je zvýšené riziko vzniku požáru, popraskání půdy, dezertifikace krajiny, ztráty v zemědělské produkci, migrace obyvatelstva a další. Doprovodným negativním efektem může být i větrná eroze zejména zemědělské půdy v případě silného větru v otevřené krajině.

Spodních vod ubývá a povrch země je suchý. Absorpci vody a doplňování spodních zásob brání technologiemi udusaná půdy, ze které voda odtéká, místo aby se vsakovala. Vybetonované a vyasfaltované plochy, dnes tvoří 10% povrchu Země. Zhutněné půdy, nevsakují vodu z důvodu vodní eroze, která odvádí horní vrstvu orné půdy.

Abychom zabránili suchu, stavíme přehrady. Místo stavbě přehrad bychom se ale měli více věnovat půdě. Vitální půda dokáže na jednom metru krychlovém svého profilu zadržet až 400 litrů vody. Pokud je půda degradovaná, množství se výrazně zmenší. Při celkové rozloze zemědělské bychom došli k obrovskému číslu. Na Zemi je asi 50% poškozené půdy, kdybychom o ni pečovali, zadržela by pravděpodobně mnohem více vody než spousty nových přehrad [53].

2.5.7 Současné hrozby černých labutí

Stane se Mosulská přehrada další Černou labutí?

Mosulská přehrada je největší vodní dílo v Iráku. Přehrada byla dostavěna roku 1986 a původně nesla jméno Saddáma Husajna. Přehrada vybudovaná na řece Tigris se stala symbolem iráckých ambicí vybědnout z chudoby a stát se moderní zemí. Již od svého dokončení ale vyžaduje neustálé kontroly, přehradu trápí posuny nestabilního podloží ze sádrovce. Podle odhadů amerických expertů se může přehrada v nejbližší době zřítit. I přestože se závažnou situace pokouší napravit zpevněním celé konstrukce, výsledky této akce jsou nejisté. Stabilitu díla bylo nutné zajišťovat již v minulosti pomocí betonu, jež byl vstříkován do podloží. Stabilitě díla nepřispělo její dobytí teroristy z Islámského státu, jež přehradu převzali v roce 2014. Dobytím přehradu byly opravy podloží přerušeny. Z důvodu přerušování oprav se v základech stavby objevily nové dutiny, což vedlo k dalšímu geologickému rozpouštění a erozím. Dle odhadů by porucha přehradu vytvořila 30 metrovou povodňovou vlnu. Kvůli poruše by mohlo přijít o život až 500 000 obyvatel, další miliony lidí by byli nuceni opustit své domovy [54,55].

Přehrada skrývající mnoho černých labutí

Přehrada **Tři soutěsky** na řece Jang-c'-ťiang. Řeka Jang-c'-ťiang pramení z ledovců a je třetí největší řekou na světě. Na veletoku jsou závislé miliony lidí. Stejně jako umí voda život dát, umí ho i vzít. Jedním z hlavních důvodů k vybudování přehrady byla kromě generování elektrické energie také snaha omezit dopady devastujících povodní vyskytujících se v povodí řeky Jang-c'-ťiang. Čínské úřady odhadují, že si povodně mohly během 20. století vyžádat až 300 000 lidských životů a způsobit nespočetné škody na zemědělské půdě. S kapacitou více než 20 milionů m³ pro účely povodňové regulace by měla nádrž ochránit obyvatelé přilehlých oblastí před desetiletými povodněmi.

Neustále se zvyšující ekonomický růst Číny vyžaduje vyšší produkci energií. Většina energií pochází z tepelných elektráren, které mají negativní dopad na životní prostředí. Čína je v současnosti největším znečišťovatelem ovzduší na světě, současně je i největším producentem oxidu uhličitého. I proto se Čína v posledních letech snaží zaměřit na vodní elektrárny. Přehrada Tři soutěsky se stala nejen největší vodní elektrárnou na světě, ale také nejvýkonnější elektrárnou vůbec. Se svým celkovým instalovaným výkonem 22 500 MW předstihla druhou největší elektrárnu světa Itaip. Stěžejní částí tohoto vodního díla je více než 2 300 metrů dlouhá a 185 metrů vysoká hráz, která je schopna zadržet až 39,3 miliard m³ vody. Při plném zaplnění, kdy rozdíl hladin vody dosahuje 110 metrů, se nádrž s délkou 600 km rozprostírá na ploše přesahující 1000 km², což je pro představu plocha dvakrát větší než Praha [56,57].

Největší přehrada, největší betonová stavba planety, při její výstavbě bylo spotřebováno 28 milionů m³ betonu (tímto množstvím by se dalo vyplnit metr široké potrubí obtočené kolem zeměkoule), největší elektrárna, největší víceúčelové dílo na světě. To vše se jeví jako ideální **cíl teroristů**. Přehrada by například při válečném konfliktu mohla představovat velkou slabinu Číny. Protržení hráze a následné vylití skoro 40 miliard m³, by mělo za následek ohromné škody. Nejen škody finanční, ale i na lidských životech. K teroristickým útokům by nemělo dojít, protože přehrada je dobře střežena. Navíc na přehradě proběhlo několik protiteroristických cvičení. Čína disponuje řadou studií eventuálního protržení přehrady, pro tyto události byly zřízeny nouzové plány.



Obr. 20 Odstřel ochranné hráze hlavní opěrné zdi [56]

Další černou labutí jsou **eroze a sesuvy půdy**, ke kterým začalo docházet z důvodu vykácení zeleně, aby mohlo dojít ke stavbě přehrady. I přesto, že byla vysázená nová vegetace, množství zeleně se výrazně snížilo. Důsledkem půdní eroze není jen zničení tamní flóry, ale i přeměna svahů na zemědělskou půdu, dále působení větru a vody. Důsledkem eroze jsou potom sesuvy půdy, které dosahují obrovských rozměrů. Došlo už k několika sesuvům, díky kterým došlo i ke ztrátám na životech. Největší sesuv nastal roku 2003, kdy se do řeky sesunulo asi 24 milionů m³ půdy. Tento sesuv, zničil stovky domů, zabral cca 70 hektarů zemědělské půdy, vyžádal si asi 10 lidských životů. Následkem sesuvu bylo i poškození břehu přehrady o délce 36 km. Tyto sesuvy mohou mít podstatně větší následky. Při sesuvu půdy do vody, by mohlo dojít k přelití hráze. Vznikly by vysoké vlny, které by zasáhly oblast několika kilometrů pod přehradou. Pře přelití přehrady by mohlo dojít i k odplavení či destrukci hráze. Přelitím hráze dochází k oslabení podloží u paty hráze, to je pak náchylné vůči podemletí. Silný proud vymílá horninu v těsné blízkosti hráze, stěna tak ztrácí oporu základů. Jakmile dojde ke ztrátě stability základů, netrvá dlouho, než dojde k destrukci stěny. Při selhání přehrady se do údolí vyvalí vysoká stěna vody, která smete všechno, co se jí postaví do cesty [56,57,58,59].

K obavám geologů nepatří jen sesuvy, ale i možné **zemětřesení**. Nádrže mohou způsobit seismickou činnost, navíc přehrada leží na dvou zlomových liniích. V okolí přehrady byly již zaznamenány menší otřesy.

Často je také poukazováno na problémy zanášení nádrže usazováním plavenin. Vědci se domnívají, že do nádrže ročně pronikne až 600 milionů tun bahna. Čínská vláda sice tvrdí,

že má tuto situaci pod kontrolou, ale jestli je tomu skutečně tak, se dozvíme až v dalších letech. Problémem by nemusela jen ztráta funkce díla, ale i **nemoci**. Bahno je ideálním místem pro množení vodních plžů, kteří jsou mezihostitelem motolic. Přehrada se se může stát vhodným místem pro šíření malárie, schistostomózy [56,60].

2.6 METODOLIGIE SOUČASNÝ STAV

Člověk velice často vnímá jen rizika, která jsou mu známá. Způsoby identifikace rizik ve spojení s určitým procesem jsou detekována na základě znalostí a to z pohledu hodnotitele nebo externího subjektu. Nesmíme ale opomenout i další rizika, která mohou výrazně ovlivnit celý proces. Abychom mohli identifikovat a hodnotit všechna pravděpodobná rizika, není možné aplikovat pouze jednu metodu analýzy rizika, ale jejich kombinaci, které zastupují metody kvalitativní, kvantitativní a semi-kvantitativní. Dále je nezbytné vymezit oblast, pro kterou je analýza prováděna a stanovit tzv. hranice akceptovatelnosti, kdy při realizaci rizika nemohou být způsobeny závažné škody. V této fázi mohou být však opomenuta rizika, která jsou tak málo pravděpodobná, že nepředpokládáme jejich výskyt. Stejným způsobem mohou být opomenuta rizika, která se ve spojení s daným procesem dříve neobjevila.

I přestože není snadné přesně předpovědět výskyt a rozsah dopadů černých labutí, je alespoň možné minimalizovat a dostatečnými prostředky snížit následná rizika:

- stanovení cílů odezvy a zavedení komunikační sítě v případě nastalé krizové situace,
- stanovit cíle bezprostřední reakce a hodnocení dopadů s cílem minimalizace dopadu,
- plánovat a provádět sekundární opatření pro případ, že primární opatření selžou,
- znalost dostupných zdrojů k odvrácení nežádoucích událostmi,
- zahrnout i externí posouzení a zkušenosti s nežádoucími událostmi,
- udržovat objektivní přístup k procesu analýzy, hodnocení a reakce na nežádoucí událost,
- plánovat opatření s ohledem na lidskou společnost
- konzultovat opatření s nezávislou stranou, která může pomoci k identifikaci dalších slabých míst [3].

Zdůrazněna je potřeba vyhledávání kombinace varovných signálů, rychlé detekce a brzké odezvy. Průběžný monitoring signálů, zabránění jejich ignorace a zpětné zkoumání již vzniklých událostí, může vést k včasnému odvrácení černé labutě, nebo alespoň zmírnění jejich

dopadu. Doporučeny jsou proto obecné přístupy, které zahrnují možnost vytváření hypotéz a aplikace kombinace metod analýzy rizika. Součástí metod boje proti černým labutím spadá důraz na řádné vyšetření příčin nehodových událostí. V historii došlo k mnohým poruchám přehrad, ze kterých se můžeme poučit. Je potřeba sledovat historické události, analyzovat je a poučit se z těchto chyb. Musíme také sledovat varovné signály a mít neustále na paměti, že i malá trhlinka může způsobit obrovský malér. K metodologii řešení se dá zařadit i rozšíření pojmu do širšího okruhu lidí, například do vzdělání osob. Měly by být zaváděny postupy a systémy vyšetřování všech nežádoucích událostí a odchylek.

3 FORMULACE PROBLÉMU A STANOVENÍ CÍLŮ PRÁCE

Žádná konstrukce nezajišťuje absolutní bezpečnost. I vodní díla, která splňují požadovaná kritéria bezpečnosti, mají určitou pravděpodobnost porušení. Potřeba společnosti vyvíjet nové, rychlejší, účinnější technologie, stavět stavby značných rozměrů s minimální spotřebou materiálu a financí spolu nese i větší riziko toho, že při používání těchto staveb dojde v důsledku často uspěchané realizace k jejich poruše. Poruchy přehrad v minulosti tato rizika dokazují. Přehrady vždy představují určité hrozby. Poruchu hráze můžeme považovat za nepředvídatelnou událost, proto se i v této problematice můžeme setkat s výskytem černých labutí. Černá labuť je pojem, který se rychle zabydluje v mnoha terminologiích – ekonomické, politické, filozofické, prognostické a dalších. Znamená nepředvídatelnou a neočekávanou událost, která splňuje 3 charakteristické znaky. Zaprvé, leží mimo oblast toho, co se doposud dělo, a co je tedy předvídatelné. Zadruhé, jedná se o událost s obrovským dopadem. Zatřetí, jakmile se černá labuť přihodí a lidé si na její následky zvyknou, jeví se zpětně jako zcela předvídatelná a samozřejmá. Což vede k nesprávnému pocitu, že rozumíme světu.

Nepředvídatelné situace se mohou vyskytnout všude kolem nás, ani přehradý netvoří výjimku. Mimořádné, nepředvídatelné situace vznikají z různých příčin, které mohou mít původ nejen v přírodních jevech, ale i v lidské činnosti. Mezi přírodní jevy můžeme zařadit zemětřesení, vichřice, tornáda, sesuvy půdy, skalní zřícení, povodně vyvolané hydrometeorologickými jevy. Naopak mezi lidskou činností patří ovlivnění režimu povrchových a podzemních vod, terorismus, sabotáž. Výskyt černých labutí úzce souvisí s pojmem riziko, proto část své práce věnuji i tomuto tématu.

Cílem práce je zmapovat danou problematiku a provést analýzu rizik vybrané stavby, včetně návrhu na snížení eventuálních dopadů z pohledu vysoce nepravděpodobných událostí.

4 MATERIÁLY A METODY

4.1 MODELOVÁ OBLAST

Jako modelová oblast byla zvolena Brněnská přehrada. Brněnská přehrada je někdy nazývána jako Brněnské moře, jindy dle místní hantýrky za Prýgl. Vodní nádrž nalezneme na severním okraji města Brna na řece Svratce. Řeka Svratka pramení v oblasti Vysočiny na úbočí Žákovy hory, následně protéká obcí Svratkou, podle níž nese svůj název. Nádrž se rozkládá asi 8 km severozápadně od středu města na území městských částí Bystrc a Kníničky. Přehrada se nachází v poměrně teplém s mírně suchém podnebí, což je dáno mírným srážkovým stínem českomoravské vrchoviny. Hráz přehrady je betonová gravitační a dosahuje výšky 23,5 metru nade dnem údolí. Nádrž by měla zadržet 21 milionů m^3 vody. Zatopená plocha nádrže je 259 ha, rybářský revír tvoří 220 ha. Délka vzdutí je 10 km. Maximální hloubka nádrže je 19 m. Průměrná teplota vody v nádrži je kolem 11 °C. Kapacita bezpečnostního přelivu je $400 m^3s^{-1}$, neškodný odtok je $360 m^3s^{-1}$. K vypouštění nádrže slouží spodní výpustné potrubí o rozměru 2 metry, které má kapacitu $48 m^3s^{-1}$ [61].



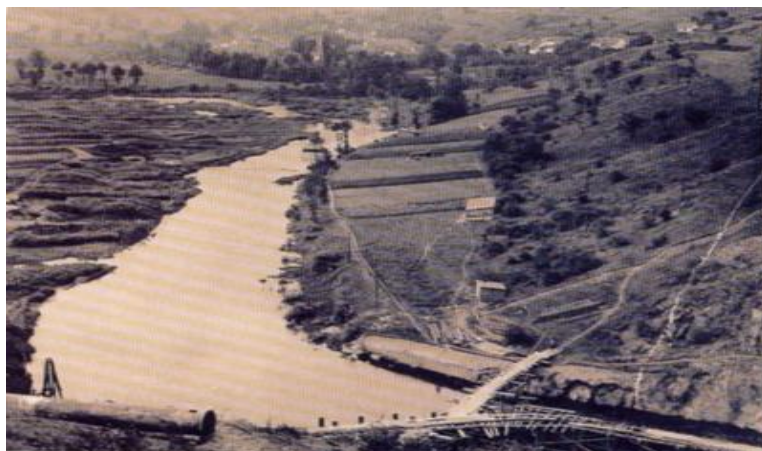
Obr. 21 Brněnská přehrada letecký pohled [61]

Tab. 6 Základní údaje o Brněnské přehradě

Katastrální území	Brno – Bystrc
Zatopená plocha	259 ha
Maximální hloubka	23,5 m
Maximální objem	21 milionů m ³
Stálý objem	7,6 milionů m ³
Objem zásobního prostoru	10,8 milionů m ³
Délka hráze	120 m
Délka nádrže	9,3 km

4.1.1 Historie

Myšlenky na stavbu přehrady se objevovaly již v roce 1907, k její realizaci došlo až v letech 1936 – 1940. Koryto řeky se pravidelně rozlévalo a způsobovalo povodně, které způsobovaly velké škody na okolních domech a pozemcích. Vybudování přehrady záplavám zabránilo. Přehrada byla vybudována i z dalších důvodů – zdroj a zásobárna vody pro město Brno, výroba elektrické energie, zdroj pro závlahu, rekreace. Jako nejvhodnější místo pro vybudování přehrady byla obec Kníničky. Z důvodu zatopení obce došlo k vystěhování více než pětiset obyvatel, kterým byly přiděleny pozemky poblíž staré obce, začala zde vznikat nová obec Kníničky [62].



Obr. 22 Zahájení stavby Brněnské přehrady [62]

Hlavním investorem bylo tehdejší ministerstvo veřejných prací a země Moravsko-slezská. Generální projekt přehrady byl vypracován roku 1924, přípravy na stavbu započaly roku 1929 získáním povolení na stavbu díla. Začátek příprav na stavbu hráze byl zahájen roku 1936. Při stavbě byl využíván kámen ze skály, která byla odstraněna pro vytvoření základu přehrady. Ze starého kníničského hřiště byl těžen vodní štěrk. Byla založena pravá část přehradní zdi. Dále byl postaven domek hrázného a příslušenství k domku. Některé ze staveb jsou zachovány dodnes, jiné byly po ukončení stavby odstraněny.



Obr. 23 Brněnská přehrada při výstavbě roku 1939 [62]

Realizace díla začala v období hospodářské krize, cílem stavby bylo zaměstnat co nejvíc dělníků. Jelikož se jednalo o obrovskou zakázku, byl o ni velký zájem. Podmínky pro získání zakázky nebyly jednoduché – podnikatel ručil za splnění závazků celým svým majetkem, po celou dobu výstavby musel pobývat v místě stavby a musel zajistit zaměstnání lidí z okolí. Z těchto důvodů bylo používáno minimum mechanizace [62,63,64].

V roce 1937 přišla velká voda, která ověřila sílu vybudované stavby, ale způsobila velké škody. V roce 1938 přišla další povodeň, která způsobila největší škody. Odstranění škod trvalo několik měsíců. Stavba měla být dokončena za 2 roky a 6 měsíců, kvůli povodním byla stavba opožděna [63,64].

4.2 VYBRANÉ METODY ANALÝZY RIZIKA

V teoretické práci je provedena důkladná analýza historických nepředvídatelných událostí. Získané poznatky z teorie jsou aplikovány v praktické části. Je zde provedena analýza

možných teoretických útoků, mapové rozbory půdy a počasí. Dále jsou použity rizikové analýzy ETA, FMEA, PHA, Paretovo pravidlo.

ETA

Analýza stromu událostí, je deduktivní metodou umožňující modelovat a analyzovat možné stavy konstrukce včetně provozních stavů a vyhodnotit sled událostí, který vede k poruše vodního díla. Cílem je identifikovat prvek či prvky, díky jejichž nefunkčnosti se vygeneroval analyzovaný stav daného systému. Metoda stromu událostí umožňuje kvantifikovat spolehlivost a riziko navržené konstrukce, provést srovnání jednotlivých variant a lokalizovat slabá místa v analyzované konstrukci. Analýza je založena na binární logice. Konečným výsledkem analýzy stromu událostí je seznam možných stavů systému odpovídajících počáteční události [66].

FMEA

Metoda analýzy způsobu poruch a jejich důsledků je označována jako FMEA (Failure Mode and Effect Analysis). Jedná se o kvalitativní analýzu, která slouží ke strukturované identifikaci způsobů poruch systémů, jejich příčin a následků. Metoda slouží k vytvoření komplexního soupisu všech možných druhů poruch systému. Metoda slouží k hodnocení rizika existujících systémů. FMEA je účinná metoda analýzy rizika, je-li aplikována na analýzu prvků, které mohou způsobit poruchu celého systému. Pro její vypracování je nutné získat velké množství informací o systému, je potřeba znát dokonale konstrukci, její funkce, technologie, způsoby provozu [66].

PARETOVO PRAVIDLO

Analýza je velice jednoduchý, přesto efektivní nástroj, který ukazuje co je skutečně důležité. Diagram se zaměřuje na hlavní příčiny, které způsobují ústřední potíže. Diagram představuje jednotlivá rizika, která jsou řazena od nejčastější po méně častá. Metoda pomáhá stanovit priority odstraňování hlavních problémů. Vilfredo Pareto definoval, že 80% následků je způsobeno pouze 20% příčin [67].

PHA

Metoda PHA (Preliminary Hazard Analysis) je předběžná analýza ohrožení. Analýza je indukivní metodou. Jedná se o postup vyhledávání nebezpečných stavů, nouzových situací, jejich příčin a dopadů. Základní myšlenkou metody je zvolit předmět studia a identifikovat,

které problémy mohou vzniknout. Cílem analýzy je určit všechna potenciální nebezpečí a možné následné události, jež by mohly vést k nehodě. Identifikovat pořadí náhodných událostí v závislosti na závažnosti. Metoda poskytuje hrubý odhad toho, jak závažná může být každá náhodná událost, která nastane [68].

5 VÝSLEDKY

5.1 ANALÝZA RIZIKA

5.1.1 Potenciální Výskyt černých labutí u Brněnské přehrady

Teroristický útok

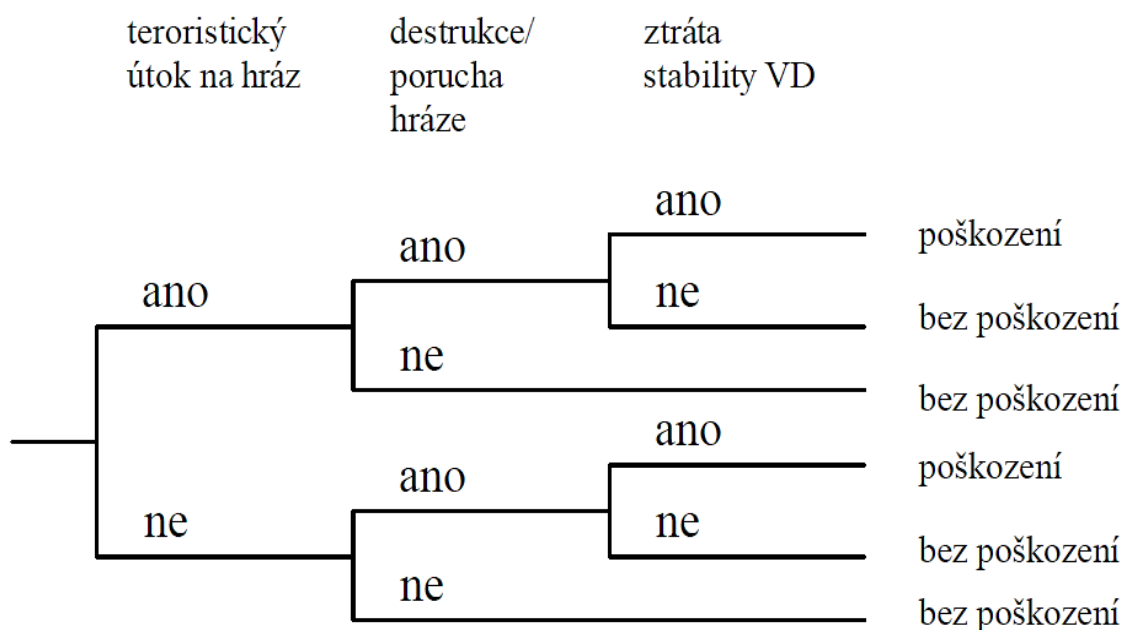
Terorismus není fenoménem poslední doby, ale v současnosti dochází k jeho rychlé globalizaci a nabývá fanatických forem. Jestliže ještě relativně nedávno byly cíle teroristických útoků lokalizovány jen do několika málo oblastí světa, dnes je zřejmé, že k teroristickému útoku může dojít kdekoliv a kdykoliv. Terorismus se stává neodmyslitelnou součástí našeho každodenního života.

Teroristické útoky v Evropě nejsou v poslední době neznámým pojmem. Konkrétní provedení, místo ani skupinu nemůžeme předem předvídat, i přesto se dá počítat, že se v budoucnu vyskytnou další útoky. Nedávné útoky ukazují, že v ohrožení je jakékoliv evropské město. Teroristická hrozba není nevyhnutelná ani pro Českou republiku. I přestože si útočníci vybírají větší státy, neznamená to, že bychom byli vůči islámskému terorismu imunní. I v České republice může dojít k radikalizaci skupiny muslimů. Podle odborníka Miroslava Mareše [69] v současné době na starém kontinentu operuje několik skrytých teroristických buněk, které připravují útoky. Česká republika má výhodu v tom, že se zde nachází jen menší komunita muslimů. Česká republika není pro teroristy ve srovnání se západoevropskými státy tak atraktivním cílem. Čím ale naše republika vyčnívá, jsou protiislámské postoje vyjadřované vysoce postavenými politiky. I přestože je u nás menší pravděpodobnost útoku oproti západním zemím, nemůžeme jej vylučovat [69]. I přestože se Česká republika zatím nestala dějištěm žádného teroristického útoku, po útocích v Bruselu vyhlásila česká vláda první stupeň ohrožení terorismem. Policisté a armáda preventivně zavádějí bezpečnostní opatření. Jednotky hlídají na místech s vyšší koncentrací lidí.

Útok na Brněnskou přehradu se nejeví jako příliš pravděpodobný, jde o menší vodní dílo, které neslouží ani jako vodárenská nádrž. Při útoku na město Brno by došlo k velkému momentu překvapení. To by mohl být jeden z důvodů, proč by mohlo dojít k přesunu teroristických útoků do státu, který nepatřil k primárním cílům. Útok na Brněnskou přehradu nikdo nepředpokládá. Přehrady nejsou tolik vyhledávaným cílem, jako jsou letiště, jaderné elektrárny, prostory s velkou koncentrací lidí. Přesto by se přehrada mohla stát cílem, její poloha na okraji města a rozlehlé okolí plné lesů a chat by umožnilo útočnickům velké přípravy. Protržení přehrad a následná zvláštní povodeň si může ohrozit až 60 000 osob, což není zrovna málo.

Kontaminace vody v nádrži pomocí biologické a chemické zbraně můžeme u Brněnské přehrady zcela vyloučit. Nádrž neslouží jako zásobárna pitné vody, útok by tedy nedosáhl svých cílů. Jedinou variantou útoku je kontaminace vody v nádrži v letních měsících látkou, která se do těla dostává kůží a nepůsobí okamžitě. Takový útok by si mezi návštěvníky přehrady mohl vyžádat nějakou oběť a přinést velký psychologický efekt. Kyberútok můžeme považovat za větší hrozbu. Brněnská přehrada není příliš významná, proto by se mohla stát snadným cílem teroristů. Její systém je méně zabezpečený, tedy snáze zranitelný. I přes jednoduchost útoku, nepředpokládám, že by se přehrada měla stát cílem útoku. Kyberútok nemůže způsobit žádný závažný problém. Počítá se jen se dvěma možnými scénáři, jde o otevření výpusti a vyřazení přehrad z provozu, čímž dojde k přerušení dodávky vody a energie. Otevření výpusti se jeví jako závažný problém, ale není tomu tak, protože vypouštění přehrad je pomalý proces, který může trvat až několik dní. Vypuštění Brněnské přehrad by trvalo cca 6 dní. Není možné, aby správa vodního díla takovou činnost nezaregistrovala. Ani výkon přehrad 3 MW, čímž nedojde k žádnému narušení dodávky elektrické energie. I přestože je protržení hráze pomocí výbušniny považováno za vyloučené, útok by měl obrovský katastrofický potenciál. Útok by si vyžádal velký počet obětí i psychologický dopad. Příprava útoku není vůbec jednoduchá, k protržení přehrad je potřeba několika tun trhaviny. K přípravě útoku by byla potřeba zjistit informace o přehradě, najít její nejzranitelnější místo. Protržení přehrad by šlo provést více způsoby, jsou to například přeprava výbušniny autem a ponechání auta na koruně hráze, přeprava výbušnin lodí ke stěně hráze a odpálení lodí.

Pro případ terorismu byla vytvořena jednoduchá analýza ETA, bez pravděpodobností, která ukazuje, v jakých případech hrozí poškození hráze.



Obr. 24 Analýza ETA teroristický útok

Útok na Brněnskou přehradu za 2. světové války

I přestože předpokládáme, že útok na Brněnskou přehradu není reálný, již v historii došlo k pokusu o zničení. Tato událost by se mohla považovat za důkaz, že útok úplně tak nereálný není. Na konci 2. světové války v dubnu 1945 hrozilo v té době ještě Kníničské přehradě poškození, protože ustupující vojska německé armády 26. 4. 1945 ukryly 9 protitankových min pod dlažební kostky a čekali na nájezd sovětských tanků. Došlo by k explozi a poškození celého zařízení. Tání sněhu a jarní deště zvedly hladinu přehrady na výšku 230,6 m. Protržení přehrady by zničilo průmyslové objekty, zpomalilo postup Rudé armády a pomohlo německému vojsku uniknout z obklíčení. Předpokládalo se, že by mohlo být tisíce utonulých a stotisíc ohrožených. Výška destrukční vlny v korytě řeky - Bystrc 12 m, Žabovřesky 7 m, ještě v Pisárkách a v jižní části města by byly domy strženy do základů a vyvrácené stromy. Této katastrofě zabránil hrázný Šikula, který nejenže tajně vypouštěl vodu z nádrže tak, aby se snižování hladiny jevilo jako přirozené a nebyl odhalen jeho sabotážní charakter, ale také přesně informoval velitele čety Rudé armády o zaminování přehrady. Odstraňování výbušnin trvalo asi hodinu. I přes neúspěch Němců, byl prostor přehrady odstřelován až do 7. května. Škody na přehradě a elektrárně byly značné, nicméně podstata vodního díla zůstala nepoškozena [70].

Konstrukční vady

Přehrada stejně jako každá jiná konstrukce může zhavarovat i na základě jediné konstrukční chyby. Při poruše konstrukce, nebo konstrukčního prvku obvykle dochází při akumulaci více příčin. Konstrukce je během své životnosti vystavena nejrůznějším účinkům namáhání, které jsou vyvolány různými účinky zatížení a jsou také ovlivněny nedodržením nebo postupnými změnami vlastností použitých stavebních materiálů, případně přeceněním funkční způsobilosti těchto konstrukcí.

Příčiny vad:

- vady projektů,
- nekvalitní výstavba, materiál, hutnění,
- provozní okolnosti, stárnutí konstrukce, nedostatečná údržba, mimořádná hydrologická situace [38].

Hlavní příčiny vad projektu:

- nedostatečné podklady, geologické, hydrologické, pedologické, hydrogeologické,
- nedostatky v návrhu jako vadná koncepce díla,
- nevhodně navržené vegetační úpravy,
- vady v technickém řešení, nedostatky ve výpočtech, nevhodné řešení hráze [38].

Jakost betonu a jeho zpracování podmiňuje spolehlivost, bezpečnosti a životnost betonové přehrady. Vodní díla mají specifické požadavky na složení a zpracování betonové směsi. Přehradní beton musí splňovat řadu požadavků, musí být dostatečně vodotěsný, trvanlivý, pevný, odolný proti působení agresivní vody a musí být zajištěn nízký vývin hydratačního tepla. Hydratace má za následek uvolnění značného množství tepla, které je příčinou vzniku napjatosti nepříznivě namáhající beton. Napjatost v počáteční době výstavby vede k riziku vzniku trhlin a tím i nebezpečí nedodržení vodotěsnosti, trvanlivosti a odolnosti betonu. Důležitým požadavkem je minimalizování vývinu hydratačního tepla, složením betonové směsi s minimálním obsahem cementu, vhodným druhem cementu s použitím příměsí nebo chlazení betonu. Nejběžnějším prostředkem snížení teploty je použití betonu s nízkým obsahem cementu. Snížení teploty uloženého betonu lze docílit snížením počáteční teploty záměsové vody a kameniva, případně umělým chlazením betonu pomocí chladících trubek zabetonovaných v přehradě [71].

Poruchy vznikají v **předvýrobním období**, jedná se o poruchy vznikající v důsledku nedostatečného geologického průzkumu, chybám v projekci. Poruchy **zaviněné výrobou**, mezi tyto poruchy patří důsledky všech druhů technologické a výrobní nekázně. Další poruchy jsou vyvolané **provozními účinky**. Účinky mohou být způsobeny předčasným uvedením konstrukce do funkce, překročením zatížení, účinky vody a změnami ve statickém působení. Poruchy mohou být způsobené i účinky prostředí, jsou to poruchy **vyvolané prostředím** nebo činnostmi v okolí stavby.



Obr. 25 Fáze výstavby

Z hlediska inženýrsko – geologického průzkumu nás zajímají hlavně faktory technického rázu, jejichž podíl je většinou rozhodující pro výběr místa přehradní nádrže. Jedná se zejména o tyto faktory – možnosti založení přehrady v daných geologických a morfologických podmínkách bez rizik a v příznivých ekonomických mezích, propustnost staveniště a možnosti využití stávající a vybudování doplňující komunikační sítě a infrastruktury. Srovnání vybraného přehradního profilu s jinými alternativami umístění přehrady a zhodnocení použitelnosti a výhodnosti alternativ ve vztahu ke zvažovaným faktorům. Mezi základní průzkumné metody patří inženýrsko – geologické mapování, geofyzikální průzkum, hydrogeologický průzkum a další. Kvalitně provedený průzkum znamená pro investora významnou úsporu prostředků při vlastní výstavbě, a to jak eliminací víceprací v důsledku výskytu nečekaných geologických anomálií, tak i efektivnějším návrhem základových konstrukcí v souladu s ověřenou geologickou stavbou [71].

Pro případ konstrukčních vad byla zpracována analýza FMEA, která je rozdělena na segmenty příprava, realizace, užívání. Jako nejrizikovější při výstavbě se jeví geodetický průzkum, při výstavbě nedostatečné chladnutí betonu, při užívání nedostatečná údržba. Analýza

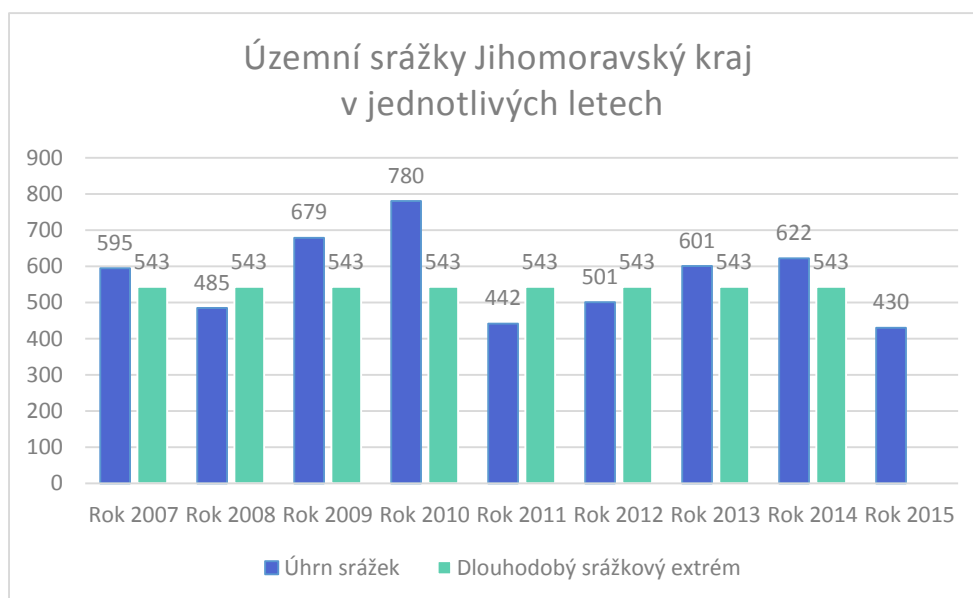
FMEA je umístěna v příloze. Dále byla vytvořena tabulka s radami, které by mohly vést ke snížení výskytu nepravděpodobných událostí, černých labutí.

Tab. 7 Rady pro možné snížení černých labutí v jednotlivých fázích výstavby

Fáze projektování
<ul style="list-style-type: none"> - zkoumání historických poruch přehrad - do rizikových analýz uvádět i vysoce nepravděpodobné rizika a jejich možné scénáře (kvůli udržení povědomí o jejich výskytu) - zvolit více metod analýzy rizika, analýzy provádět v týmu odborníků - zjištění mimořádných událostí a rizik v okolí projektu a jejich vliv na VD - plánování sekundárních opatření a modelování havarijní situace - plán komunikační sítě pro případ nastání MU a stanovení odpovědných osob
Fáze výstavby
<ul style="list-style-type: none"> - monitoring situace v okolí (přírodní jevy, technické havárie, antropogenní činnost, sledování politické situace – hrozba teroristických útoků) - záznam nestandardních situací a odchylek, i těch drobných - důkladný monitoring výstavby, zkouška funkčnosti, zjistit zda není potřeba sekundárních opatření
Fáze užívání
<ul style="list-style-type: none"> - monitorování situace na VD - nácvik nestandardních situací a kontrola efektivity bezpečnostních opatření - monitorování situace v okolí, zda odstranění vegetace, nové stavby, rozvoj infrastruktury nemají vliv na VD

Extrémní srážky

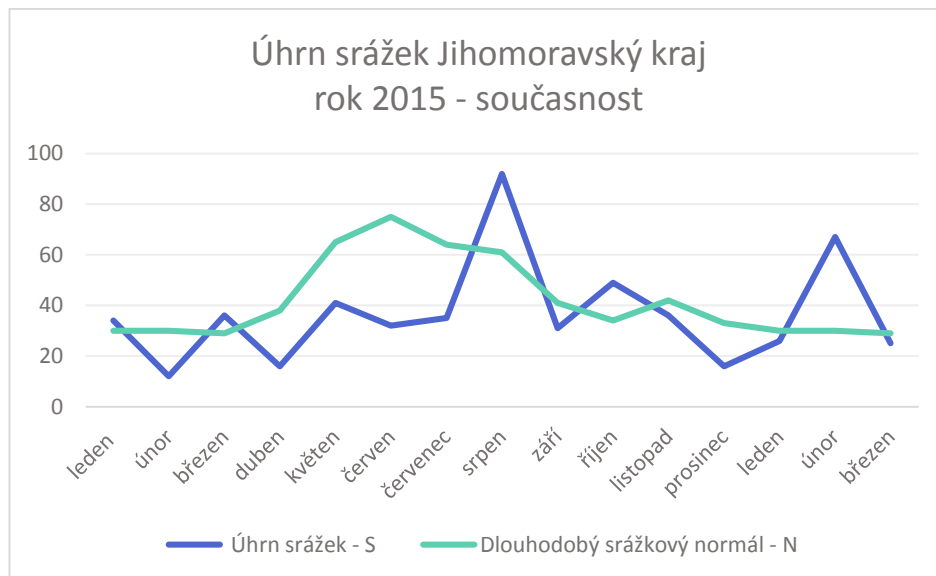
Vyšší koncentrace oxidu uhličitého ve vzduchu zvýší sílu tropických cyklón, bouří, dojde ke zvýšení rychlosti větru i intenzity deště. Celkový počet srážek s největší pravděpodobností poklesne, dojde ke snížení frekvence slabších bouří. Zvýší se i četnost prudkých srážek, které vyvolávají povodně. Déšť se koncentruje do nižšího počtu intenzivních srážek, střídaných prodlouženým obdobím sucha. Extrémní srážky mohou způsobit nejen utrpení a ekonomický rozvrat, ale i lidské oběti. Zároveň ničí půdu, na které závisí živobytí. V posledních desetiletích rostou finanční škody vzniklé v důsledku katastrof. Na vzrůst finančních škod nemá vliv četnost extrémních výkyvů počasí, ale rostoucí bohatství lidí. Na větším majetku napáchá stejná povodeň větší škody [72].



Obr. 26 Územní srážky v jednotlivých letech [72]

Jedním z hlavních problémů přivalových povodní je jejich předpověď, která je téměř nemožná. Srážky zasahují relativně malé území a nejsou ve většině případů včas zaznamenány srážkovou sítí. Výstrahy vydávané Českým hydrometeorologickým ústavem jsou stále málo spolehlivé.

V současné době je stále více nutné mít na paměti měnící se klimatické poměry na celé planetě Zemi a tudíž i v našich poměrech se dějí změny, které mají v návaznosti vliv na spoustu dalších věcí.



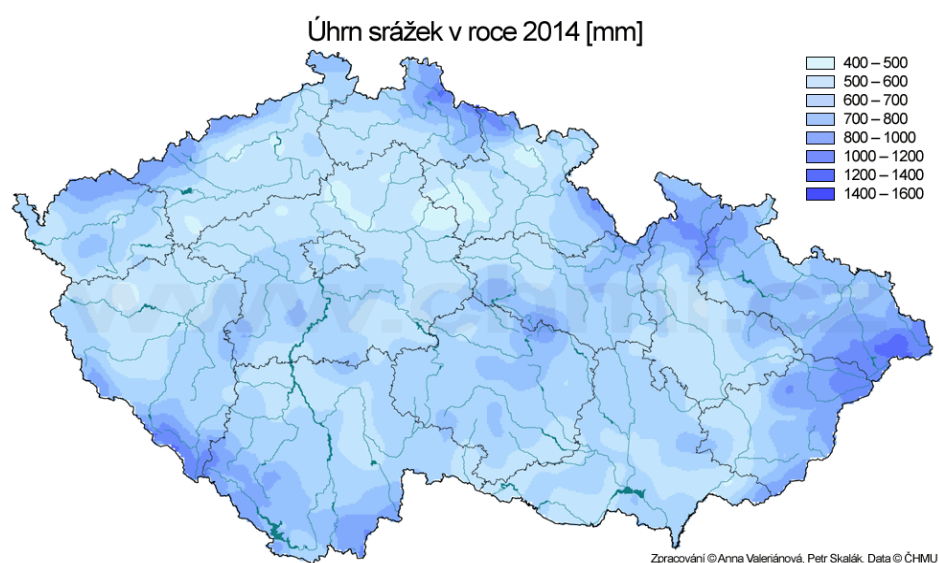
Obr. 27 Úhrn srážek rok 2015 – současnost [72]

Dlouhodobý srážkový normál je průměrem určité hodnoty (úhrn srážek, četnost srážek, intenzita). Měří se od roku 1961 do roku 1990. Tento dlouhodobý normál se bude používat až do roku 2020. Tato metodika se řídí normou Světové meteorologické organizace. Na grafech sledujeme značné odchýlení od dlouhodobého normálu. Například v loňském roce se typické rozložení srážek během roku naprosto změnilo. Měsíce bohaté na srážky (duben, květen, červen), které jsou důležité zejména pro vegetaci, zaznamenaly téměř poloviční pokles srážkového úhrnu. Naopak měsíce chudší na srážky dosáhly vyššího úhrnu. Tyto změny mají dopad nejen na zemědělskou úrodu, ale i na veškerý život spojený s vodou. Nepravidelná a nižší intenzita srážek má vliv na:

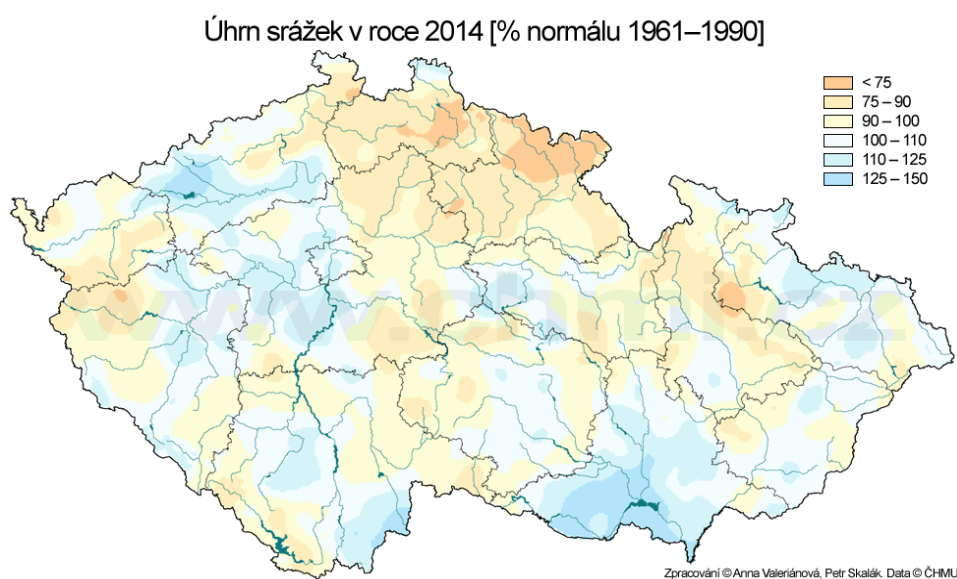
- **kvalita vody v řece**, při nízkých průtocích dochází k přehřívání vody, což snižuje obsah kyslíku ve vodě, který je důležitý pro živočichy a samočisticí schopnost vody, nízký vodní stav a špatná kvalita vody má za důsledek zarůstání koryta (ze břehu vegetací a z koryta vodním květem). Naopak, při vysokých průtocích (zejména z bleskových povodní) se do koryta řeky dostávají splaveniny z lesů a polí, které se usazují v nižší části toku.
- **kvalita vody v nádržích**, v nádržích pro odběr pitné vody dochází ke zhoršení kvality, či k jejímu nedostatku. To zvyšuje náklady na její úpravu. V nádržích určených pro rekreaci (Brněnská přehrada) dochází k silnému prohřívání horní vrstvy vody tzv. epilimnionu, které vede ke snížení kvality vody. Se vzrůstající teplotou vody roste aktivita nižších organismů a sinic. Voda může zapáchat, zanechávat na pokožce

člověka film. Může vést k vyrážkách, ekzém, až k virovým onemocněním. Je zřejmé, že všechny tyto události jsou propojeny a vzájemně se ovlivňují.

Dochází k jinému rozložení srážek. Dříve typické dlouhotrvající deště s malou intenzitou (do 2 mm.h^{-1}) byly nahrazeny krátkými dešti s vysokou intenzitou (nad 30 mm.h^{-1}). To má za následek, že půda nestačí vodu zadržovat do svého podloží. Voda odtéká ze svahů do údolí a strhává s sebou půdní částice. Tento jev může ohrožovat nejen koryta řek, ale hlavně i údolní nádrže, ve kterých se splavený materiál usazuje. Dále prudký déšť může mít přímý negativní vliv na zemní hráze rybníků, přehrad či ochranné hráze.



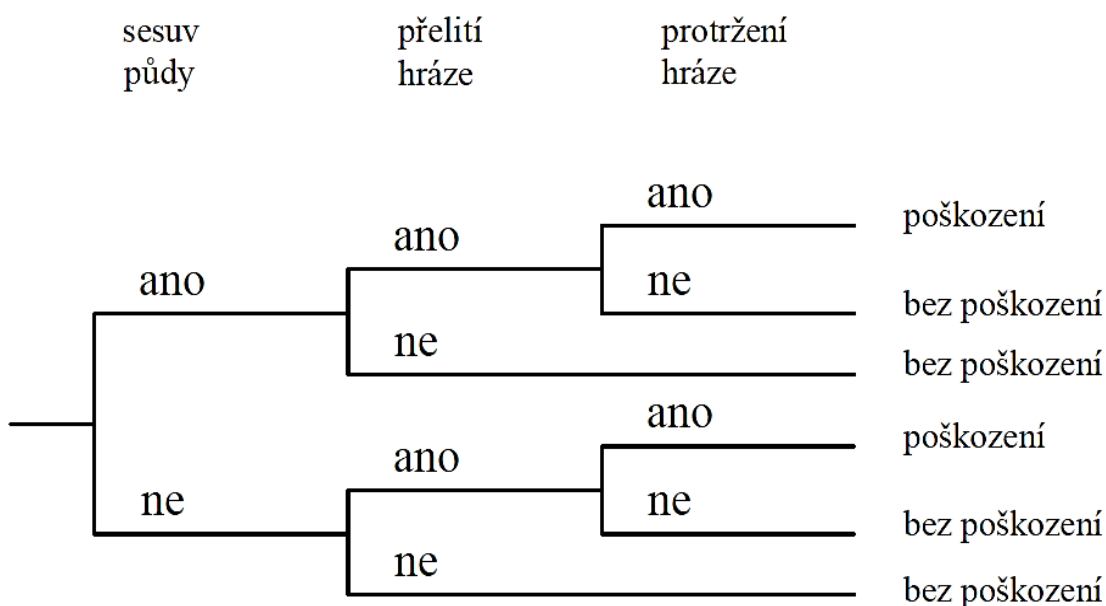
Obr. 28 Roční úhrn srážek 2014 [73]



Obr. 29 Úhrn srážek v roce 2014 (% z normálu) [73]

Tyto jevy ovlivňují i provoz a chod Brněnské přehrady. Za poslední rok i přes snahu provozovatelů vodního díla došlo ke snížení množství a kvality vody. Přelítí přehrady způsobený vydatným deštěm a následné vyčerpání kapacity zásobního prostoru vodního díla prakticky nehrozí. Povodí Brněnské přehrady patří mezi tradičně sušší oblast s průměrným ročním úhrnem srážek v České republice. Při takovéto události by mohlo dojít vlivem síly vody k posunutí a následnému uplávání betonové hráze jako celku. Vodní díla jsou dimenzována na různé stavy s určitým bezpečnostním faktorem. Příroda se ale ukazuje jako nevyzpytatelná a to, co se v letech výstavby přehrady považovalo za bezpečné, nemusí dnes platit.

U ohrožení přehrady extrémními srážkami byly porovnávány data z Českého hydrometeorologického ústavu. Dále byla vytvořena jednoduchá analýza ETA, bez pravděpodobností, která ukazuje, že k poruše přehrady může dojít i díky extrémním srážkám.



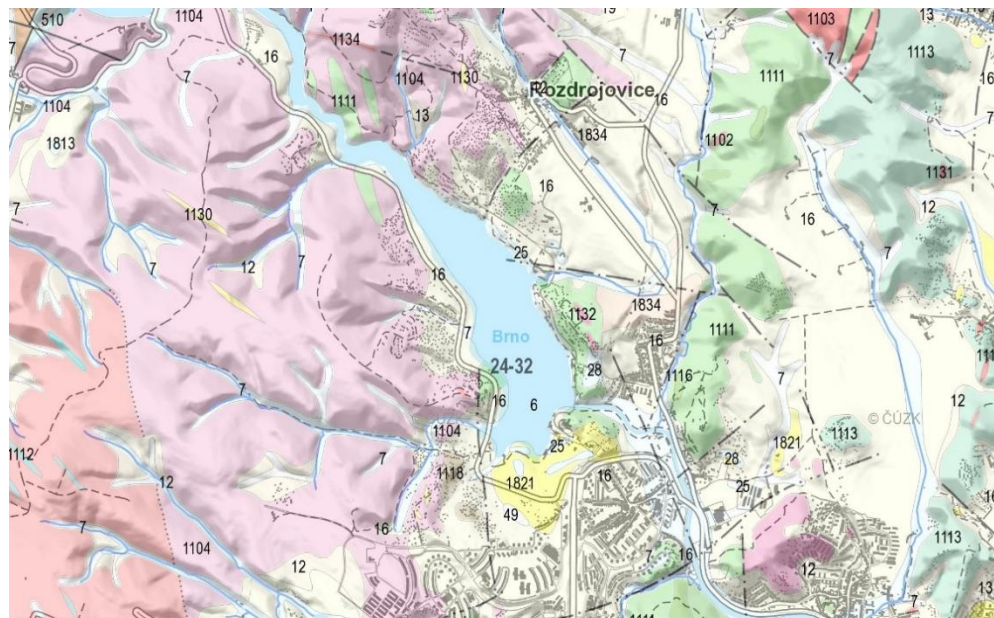
Obr. 30 Analýza ETA extrémní srážky

Sesuvy

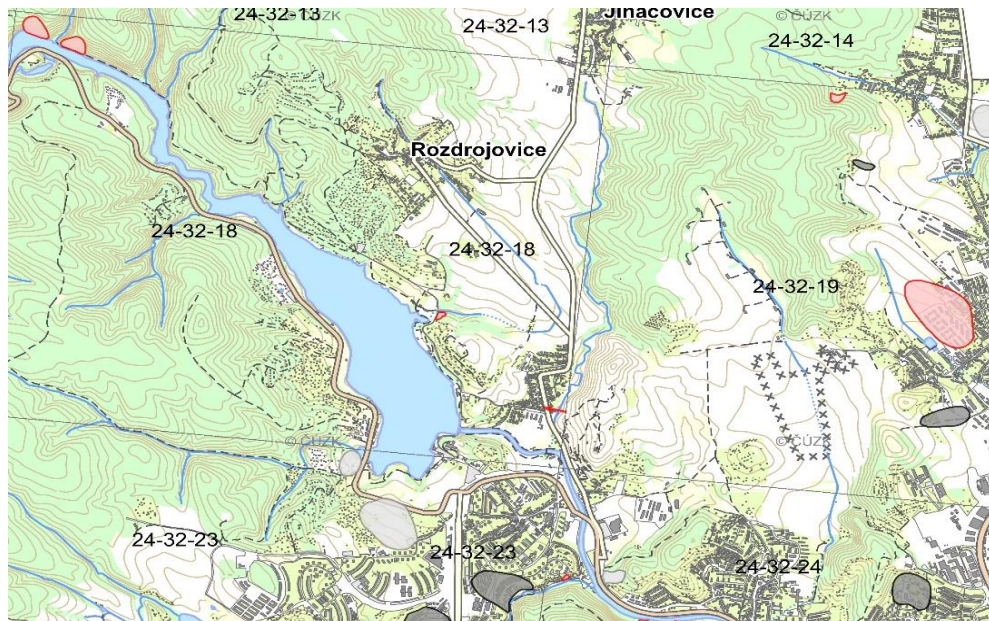
Každé VD dle své velikosti a funkce mění přírodní prostředí. Ke změnám krajiny dochází i v oblasti styku vodní hladiny a pobřeží, kde údolní svahy v důsledku rušivé činnosti vln postupně ustupují. Jedná se o proces abraze. Vlnová abraze je proces mechanického obrousování a ohlazování povrchu hornin účinkem vlnění. K procesu dochází především

v částech pobřeží, kde je značný sklon dna a k němu přiléhajících údolních svahů. V hluboké vodě vlna ztrácí jenom malou část své energie a její největší účinek na pobřežní materiál se soustřeďuje do úzkého pásu na styku vodní hladiny a břehu. Odnosem materiálu vzniká abrazní srub. Na strmějších svazích může abraze způsobit sesuvy půd. Rozvoj abrazních jevů můžeme pozorovat na levém břehu Brněnské přehrady. Proces je podmíněn odolností údolní svahů, proto se abraze nachází až od úrovně Sokolského koupaliště, skalní podklad je zde pokryt nezpevněnými zeminami [74].

V okolí přehrady se nalezneme magmatit hlubinný – granodiorit (fialová barva), magmatit hlubinný – diorit (zelená barva), sediment nezpevněný – spraš, sprašová hlína. I přestože je Brně mnoho míst, kde sesuvy způsobují problémy, nepředpokládám, že by v okolí přehrady mohlo dojít k sesuvu, jež by přehradu mohl ohrozit.



Obr. 31 Geologická mapa [75]



Obr. 32 Svahové nestability [75]

5.1.2 Dopady černých labutí u brněnské přehrady

Zvláštní povodeň vyvolaná protržením Brněnské přehrady se příliš neliší od rozlivu 100 leté vody. Rozliv zvláštní povodně je o něco větší. Z hlediska škod se nejedná o značný rozdíl, i přesto že jsou zasaženy významné objekty. Největší rozdíl nastává v počtu obětí. Větší rozliv vlny a nečekanost zvláštní povodně si může navíc vyžádat až 8 000 obětí. Do městské části Komín dorazí povodňová vlna během 4 minut.

Rozsah a ohrožení v závislosti na čase a dalších podmínkách

Rozsah zvláštní povodně a stupeň ohrožení mohou dosáhnout mimořádných rozměrů, může dojít až k totální devastaci postižené oblasti. Rozsah a ohrožení ovlivňují:

- časový prostor pro varování obyvatelstva a provedení potřebných opatření,
- charakter a rozsah poruchy vodního díla,
- množství zadržené vody v nádrži,

- charakter terénu pod VD,
- hustota osídlení,
- rozsah průmyslové a zemědělské výroby a infrastruktury,
- komplikace s rozvíjením sil a prostředků v místě zásahu (voda, bahnitý terén),
- ztížená evakuace osob,
- v noční době větší koncentrace lidí v obydlích, následné prodloužení doby zásahu,
- omezení dopravy a zásobování,
- možnost druhotných následků (nedostatek pitné vody, potravin,...) [30].

Při jakékoliv poruše vodního díla (VD), ať už předvídatelní či nikoliv, může dojít k obrovským škodám. Jedná se nejen o škody finanční, ale i škody na životech, které se dají jen velmi těžko vyčíslit.

Škody, které mohou nastat při poruše VD:

- škody na zástavbě – určují škodní křivky,
- škody v zemědělství – živočišná výroba, škody na pozemcích,
- škody na životech a zdraví,
- ekologická újma [65].

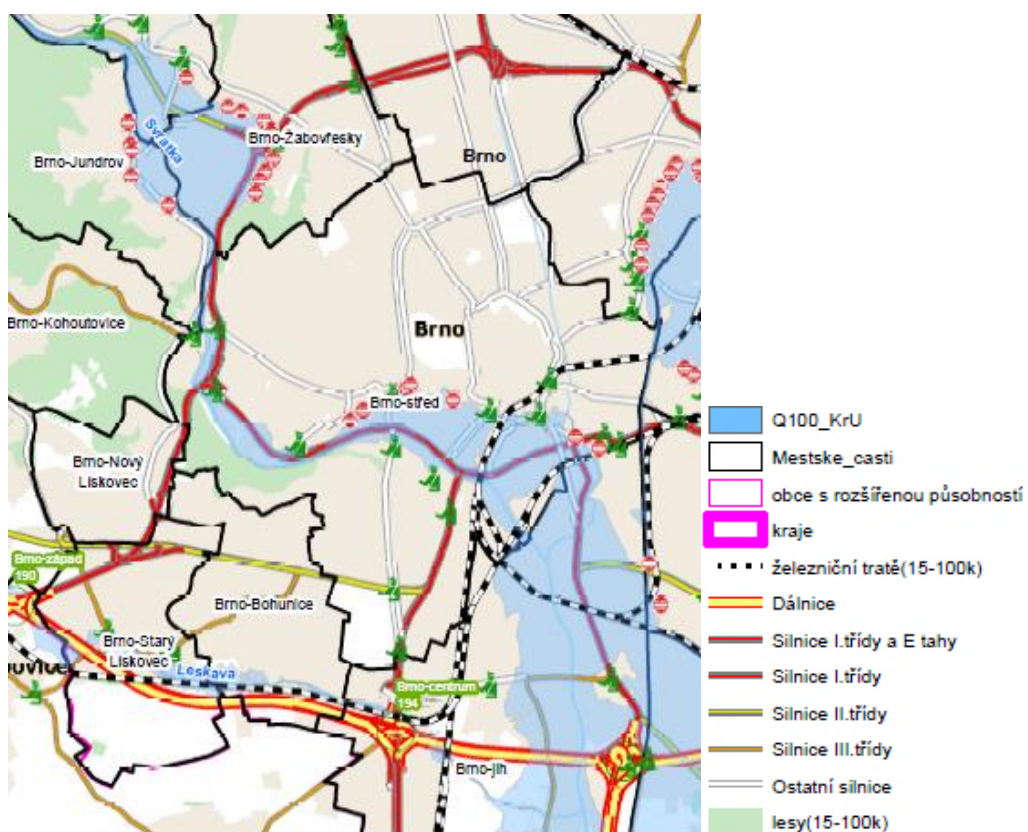
Předpokládané škody:

- poškození nebo zničení objektů obytné, občanské a průmyslové zástavby,
- poškození nebo zničené sítě energetických, vodárenských, plynárenských a telekomunikačních,
- poškození či zničení silničních komunikací a železničních tratí,
- kontaminace prostředí uniklými nebezpečnými látkami,
- narušení hráze vodního díla,

- škody na majetku a polních kulturách,
- usmrcení nebo zranění hospodářských zvířat,
- celkové narušení života v postižené oblasti [30].

Finanční škody

Nejen škodu finanční, ale i zásadní problém pro město by způsobilo narušení dopravní infrastruktury. Protržení Brněnské přehrady by ochromilo dopravu nejen v záplavovém území. Zaplavení více než 10 částí města Brna by mohlo vést až ke kolapsu městské hromadné dopravy. Zvláštní povodeň by nezasáhla jen městskou hromadnou dopravu, ale i silnice I. třídy, železnici a dálnici. Zaplavení velkého městského okruhu, dálnice D1 a D2, by způsobilo značné objížďky a následné kolony.



Obr. 33 Zasažené území [30]

Škody by nevznikaly jen na dopravní infrastruktuře, ale i na průmyslových a komerčních objektech. V záplavovém území se nachází mnoho významných budov,

supermarketů, hotelů, firem, škol, nemocnic. Jde například o areál Brněnského výstaviště a přilehlého okolí, kde se nachází hotel Voroněž, mezi další zasažené budovy by patřila Hala Rondo, M – palác, Galerie Vaňkovka, Avion Shopping Park, centrum Olympia a další supermarkety jako jsou Tesco, Makro, Billa, Lidl, ... V postiženém území se nachází i téměř dvě desítky škol, zasaženy by byly školy mateřské, základní, střední i budovy Masarykovy univerzity a Vysokého učení technického. Značných škody by dosahovaly i zničené či poškozené obytné budovy. Finanční škody se vyjadřují pomocí škodní křivky. Škodní křivka pro stavbu je vyjádřena jako procento nákladů na vybudování nové stavby daného druhu, škoda vyjadřuje náklady na uvedení stavby do původního stavu. Škody na nemovitém majetku se stanovují v závislosti na 4 základních parametrech. Jedná se o hloubku vody (výška vodního sloupce v objektu), dobu trvání (voda na povrchu v objektu), vliv podloží, rychlost proudící vody. Značné škody by utrpěly i firmy nacházející se v záplavovém území.

Finanční škody by způsobily i dopady na technickou infrastrukturu. S problémy by se týkaly i inženýrských sítí. Poškození sítí by mohlo mít vliv na dodávky pitné vody, plynu, elektrické energie. Problémům by se nevyhnula ani kanalizační síť a ČOV. Poruchy elektrického vedení by mohly způsobit až blackout, jde o rozsáhlý výpadek dodávky elektrické energie na velkém území po dobu desítek hodin či dní, který zasáhne velké množství obyvatel. Značné škody může způsobit i lokální výpadek části města. Porucha VD Brno může způsobit domino efekt: zvláštní povodeň → pád stromů na elektrické vedení → přerušování dodávky elektrické energie odběratelům → narušení rovnováhy mezi výrobou a spotřebou elektrické energie → automatické odpojování nezátížených výrobních zařízení. Nejen že se během těchto výpadků projeví fakt, jak příliš závislé je lidstvo na elektrické energii a jak je obtížné tento druh energie skladovat, ale škody způsobené těmito výpadky jdou do neuvěřitelných částek.

Dopady na životní prostředí

Povodňová vlna způsobí rozsáhlé škody přímo na vodních tocích, může dojít nejen k poškození koryt, ale i jezů, opevnění břehů. Dopadem pro životní prostředí, ale i lidská obydlí, jsou naplaveniny (nánosy bahna), které po ničivé povodni zůstávají. Velká voda může vypláchnout kanály i žumpy, někdy dochází až k přetečení čističky odpadních vod. Může dojít k znečištění studní i veřejných vodovodů. To že se splašky dostanou do řek, by na jejich znečištění nemělo mít velký vliv. Voda už je znečištěná od vyplavených předmětů a naředěná látkami, které se do ní dostaly. Velkým problémem by se mohl stát znečištění od nebezpečných

průmyslových zdrojů. V okolí Brněnské přehrady se nenachází žádná firma, ve které se vyskytují nebezpečné látky. Voda může být kontaminována benzínem, protože mají pohonné hmoty menší hustotu než voda vytvářejí skvrny na hladině vody. Zmíněné případy mohou mít dopad na jakost vod. Zvláštní povodeň může postihnout i chráněná území, jde o památné stromy, přírodní památky, národní přírodní rezervace. Můžeme očekávat i úhyn živočichů a dopady u lesního porostu. Povodňová vlna podemele kořeny stromů, které se vyvrátí. Hrozí podmáčení povrchu a následné eroze půdy. Jelikož se Brněnská přehrada nachází v blízkosti ZOO, dá se předpokládat i úhyn některých z těchto živočichů.

Ohrožení obyvatelstva a ztráty na lidských životech

Počet ohrožených lidských životů PAR (population at risk) v případě protržení hráze se odvozuje z rozmístění obytné a průmyslové zástavby v území pod přehradou a z míry osídlení tohoto území. Rozsah postiženého území je ovlivněn parametry průlomové vlny a průběhem zvláštní povodně [22]. Za klíčové faktory můžeme považovat počet ohrožených osob, včasnost varování a rozsah záplav. Za další faktory můžeme brát například dobu, ve které povodeň zasáhne, předpokládá se, že v noci či víkendech bude v domech větší koncentrace lidí.

Ohrožení obyvatelstva:

- zranění nebo usmrcení osob povodňovou vlnou,
- zranění nebo usmrcení v důsledku druhotných následků (destrukce budovy, úniky nebezpečných látek, nehody v dopravě),
- onemocnění nebo úmrtí osob jako následek vzniklých epidemií,
- zamoření zdrojů pitné vody,
- nepřímé ohrožení jako důsledek omezení nebo přerušení dodávky elektrické energie, plynu, tepla, zásobování,
- ohrožení zdraví a života v důsledku paniky [30].

Graham ve své publikaci A Procedur efor Estimating Loss of life Caused by Dam Failure [97] uvádí podíl úmrtí z celkového počtu ohrožených obyvatel PAR, jako funkci povodňového nebezpečí, doby varování a skutečnosti, zda byla přijata a správně pochopena

zpráva o poruše přehrady a příchodu zvláštní povodně. Za nejdůležitější faktory ovlivňující úmrtnost při protržení VD:

- příčina a typ selhání,
- počet ohrožených osob,
- včasnost varování,
- rychlost a hloubka toku před i po protržení přehrady,
- míra varování,
- čas kdy zvláštní povodeň deň, den v týdnu i den v roce kdy udeří,
- počasí, teplota vzduchu i vody,
- náročnost evakuace [22].

Při porušení Brněnské přehrady se nedá přesně vyčíslit množství ohrožených lidí. Počty ohrožených obyvatel v povodňových plánech nemusí být přesné, navíc počet ohrožených ovlivní i doba příchodu povodňové vlny. Při mimořádné události např. teroristickém útoku se nedá předpokládat včasné varování obyvatelstva. Obyvatelstvo by tak mohlo být varováno a evakuováno až po selhání nádrže. Množství ohrožených a usmrčených obyvatel by z toho důvodu mohl být vyšší než při povodni přirozené.

Pro odhad počtu obětí je nejdůležitějším údajem rozsah záplavového území. Při poruše VD by došlo k zaplavení těchto částí Brna – Bystrc, Kníničky, Brno – střed, Brno – jih, Kohoutovice Chrlice, Jundrov, Žabovřesky, Komín, Tuřany, Nový Lískovec. Nástup povodně je rychlý, do Komína dorazí zvláštní povodeň do 4 minut, do Přízřenic za 109 minut. Celkově se při poruše vodního díla předpokládá až 60 000 ohrožených osob. Z toho se více než 20 000 obyvatel nachází v oblastech, kde hrozí nebezpečí utonutí, výška vlny přesahuje 1,5 m. V blízkosti přehrady je pro obyvatele nebezpečná samotná vlna. Rychlost a síla vlny se s větší vzdáleností snižuje, vlna ale obsahuje kmeny stromů a jiné plovoucí předměty. Náráz s plovoucím předmětem může být smrtelný. Ztráty na životech si můžou vyžádat i záchranné práce a následné epidemie. Nejvíce zasaženou oblastí je **Brno střed**, kde může být ohroženo až **35 000 osob**.

Povodňový plán MČ Brno – jih

Městská část Brno – jih se nachází na jižní části města Brna. Tato městská část zahrnuje katastrální území Komárov, Horní a Dolní Heršpice, Přízřenice a Nové Moravany. V městské části Brno – jih může být ohroženo asi 16 000 lidí [76].

Tab. 8 Brno - jih zvláštní povodeň [76]

Příchod čela povodně	0:50 až 1:00 hod
Kulminace zvláštní povodně	3:00 až 4:00 hod
Kulminační průtok	726 m ³ s ⁻¹
Dosažená kóta hladiny	199,71 m n. m.
Hloubka vody	1,7 až 1,8 m

Povodňový plán MČ Kníničky

Povodňový plán městské části Kníničky se zabývá řekou Svratkou a Mniším potokem. V plánu je zahrnuta i zvláštní povodeň způsobená umělými vlivy. Při ohrožení bezpečnosti VD – Brněnské přehrady, v případě porušení stability hráze nebo porušení konstrukce funkčních objektů hrozí nebezpečí městské části a to zejména ulici – Přehradní, Ondrova, Rekreační a Dolní Louky. Dle povodňového plánu by zvláštní povodeň mohla ohrozit 92 lidí [77].

Tab. 9 Ulice zasažené zvláštní povodní MČ Kníničky [77]

Ulice	Ohrožení	Počet ohrožených osob
Přehradní	rodinný a bytový dům	20
Rekreační	část areálu ZOO	10
Dolní Louky	rodinné domy	50
Ondrova	rodinné domy	12

Povodňový plán MČ Bystrc

Povodňový plán městské části Brno – Bystrc se zabývá řekou Svratkou, Vrbovcem a Mniším potokem. V případě poruchy vodního díla se počet ohrožených osob vyšplhá až na číslo 875. Ohroženy jsou zejména ulice – U ZOO, Komínská a části ulic Heyrovského, Nám. 28. dubna, ... Předpokládaný počet ohrožených je 875 osob [78].

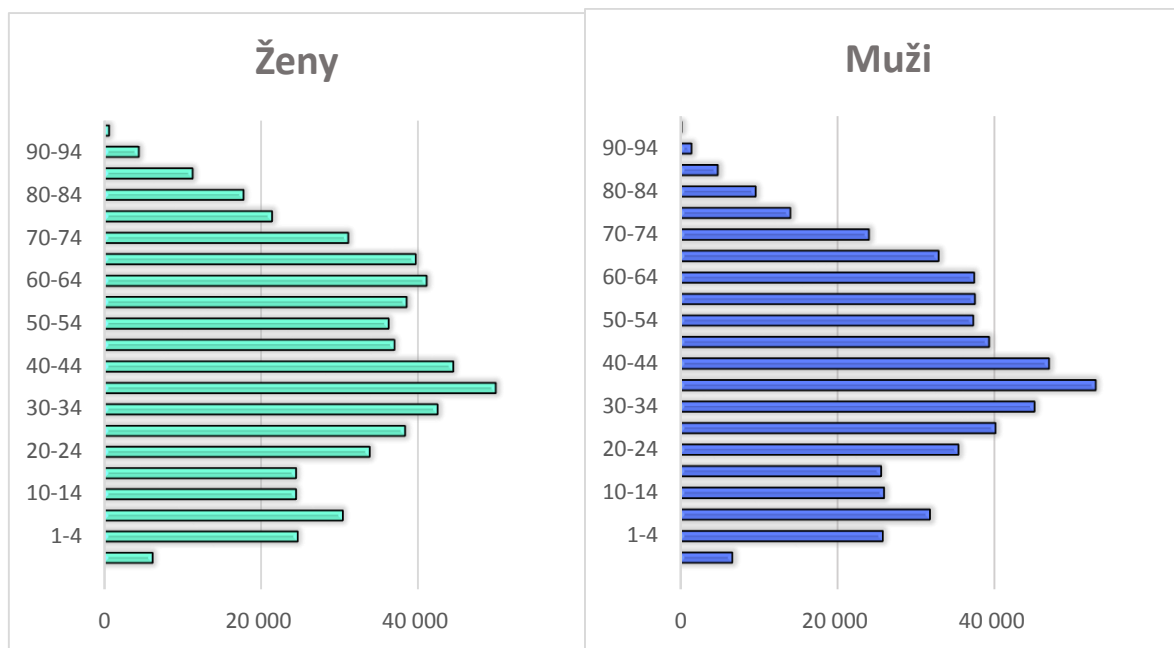
Psychologické důsledky

Když přejde ničivá voda, začínají se vzdouvat emoce. Počáteční šok pomine a lidé si začínají uvědomovat, v jak těžké životní situaci se ocitli. To platí nejen pro povodně přírodní, ale i zvláštní. Zasažení obyvatelé mnohdy zažívají paniku a vysokou úroveň stresu. Trauma je negativní důsledek zážitků vyvolávajících stres. Bezprostřední příčinou může být i „velká voda“. Traumata přinášejí bezprostřední strádání, ať už se jedná o zranění, onemocnění, bolest, ztrátu blízké osoby, majetkovou újmu. Trauma vyvolává i obviňující úvahy typu: „Proč se to stalo zrovna nám? Kdo za to může?“.

Extrémní zážitek vyvolaný zvláštní povodní může zasáhnout každého, nejen toho kdo si povodní prošel. Tyto události zasahují i osoby, které situaci sledují zprostředkovaně. Nejvíce zranitelnými jsou bez pochyb děti, staří lidé, osoby se zdravotním handicapem, osoby žijící osaměle. Z následujícího grafu vidíme, že v Brně žije přes 100 000 obyvatel, kteří spadají mezi nejzranitelnější osoby.

Tab. 10 Počet obyvatel Brna [79]

celkem	377 400
z toho muži	181 885
z toho ženy	195 555
předproduktivní věk (0 – 14)	54 492
produktivní věk (16 – 64)	248 709
poproduktivní věk (65 +)	74 239



Obr. 34 Věkové složení obyvatelstva města Brna [79]

Lidé zasažení zvláštní povodní mohou prožívat bezmoc, nejistotu, vinu, strach, vztek, smutek, únavu, mohou mít i problémy se spánkem. Povodeň může mít dopad i na vztahy mezi lidmi, lidé si závidí. Může se jednat i o závist mezi sousedy týkající se banálních věcí: „Mu přišlo pomoci více lidí. Bylo mu přiděleno více lahví s vodou.“ I závist totiž bývá jedním z projevů vzedmutých emocí. Většina lidí se s neštěstím časem vyrovná, někteří ale trpí posttraumatickou poruchou. Chaos může být vyvolán i z důvodu nedostatečného zásobování pitnou vodou, či ze šíření nemocí [80].

V souvislosti s dopady černých labutí u Brněnské přehrady byla vytvořena analýza PHA. Jedná se o analýzu předběžného hodnocení. Jde o postup vyhledávání nebezpečných stavů, nouzových situací, jejich příčin a dopadů. Základní myšlenkou metody je zvolit předmět studia a identifikovat, které problémy mohou vzniknout. Analýza je zaměřena na ohrožení obyvatel a životního prostředí, analýza by mohla být zaměřena i na jiné ohrožené části, jako je například infrastruktura. Analýza ukazuje, že příčiny ohrožení jsou u přehrad všude stejné.

ANALÝZA PHA

Ohrožení	Příčina	Následek	Pravděpodobnost v důsledku ohrožení	Náprava, preventivní opatření
Ohrožení obyvatel	Teroristický útok	Protržení hráze	Méně pravděpodobná	Zlepšení politické situace, větší kontrola VD
	Odstranění vegetace	Trhliny, sesuvy půd, přelítí	Pravděpodobná	Neodstraňování vegetace v okolí stavby, po vybudování přehrady vysázení vegetace
	Nedostatečná kontrola	Porucha, neplnění funkce	Nepravděpodobná	Větší kontrolovanost TBD
	Konstrukční vady	Trhliny, protržení hráze	Pravděpodobná	Větší kontrolovanost při výstavbě
	Extrémní srážky	Přelítí, protržení hráze	Pravděpodobná	Zlepšení klimatických podmínek a oteplování klimatu
	Sucho	Nedostatek vody	Pravděpodobná	Zlepšení klimatických podmínek a oteplování klimatu
	Sesuvy půd	Přelítí přehrady	Méně pravděpodobná	Neodstraňování vegetace, dostatečný geologický průzkum
	Zemětřesení	Porucha, protržení přehrady	Nepravděpodobná	Nestavět přehrady v seismické oblasti ani v místech, kde by mohly samy přehrady zemětřesení způsobit
Ohrožení životního prostředí	Teroristický útok	Protržení hráze	Méně pravděpodobná	Zlepšení politické situace, větší kontrola VD
	Odstranění vegetace	Trhliny, sesuvy půd, přelítí	Pravděpodobná	Neodstraňování vegetace v okolí stavby, po vybudování přehrady vysázení vegetace
	Nedostatečná kontrola	Porucha, neplnění funkce	Nepravděpodobná	Větší kontrolovanost TBD
	Konstrukční vady	Trhliny, protržení hráze	Pravděpodobná	Větší kontrolovanost při výstavbě
	Extrémní srážky	Přelítí, protržení hráze	Pravděpodobná	Zlepšení klimatických podmínek a oteplování klimatu
	Sucho	Nedostatek vody	Pravděpodobná	Zlepšení klimatických podmínek a oteplování klimatu
	Sesuvy půd	Přelítí přehrady	Méně pravděpodobná	Neodstraňování vegetace, dostatečný geologický průzkum
	Zemětřesení	Porucha, protržení přehrady	Nepravděpodobná	Nestavět přehrady v seismické oblasti ani v místech, kde by mohly samy přehrady zemětřesení způsobit

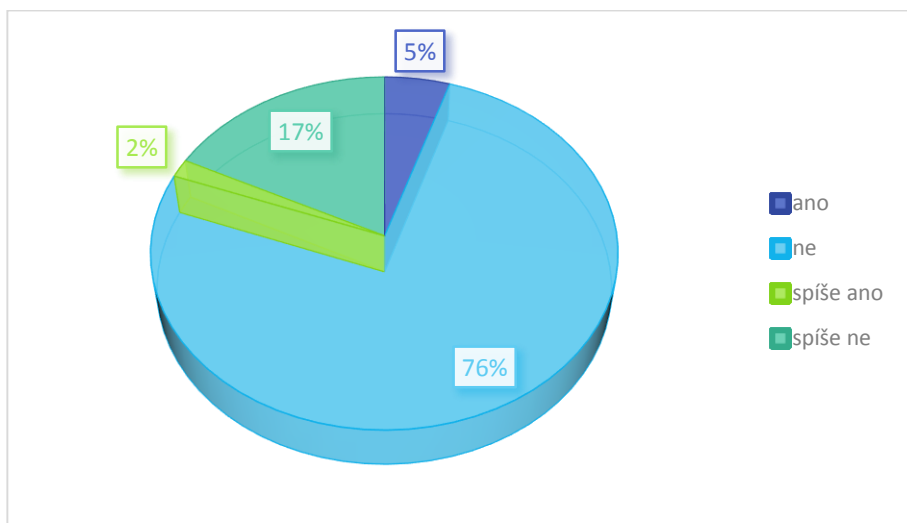
5.2 DOTAZNÍKOVÉ ŠETŘENÍ

Pro účely průzkumu byl vytvořen dotazník obsahující 12 otázek. Dotazník byl vytvořen za účelem zjištění, jaké povědomí mají lidé o černých labutích, zvláštní povodni, jestli ví, které události patří mezi mimořádné. Není důležité mít přehled jen o pojmech, ale i vědět jak se v nastalé situaci zachovat. Je důležité, aby lidé věděli, jak dlouho zní varovný signál všeobecná výstraha, kdy probíhá zkouška sirén, nebo co si sbalit do evakuačního zavazadla. I z tohoto důvodu jsou tyto otázky součástí dotazníku. Cílem dotazníku bylo zjistit jaké je povědomí obyvatel o dané problematice. Výzkumu se účastnilo 282 osob. Šetření probíhalo nejen na internetu, ale i dotazníkovou formou na fakultě stavební. V podkapitole zpracování výsledků jsou uvedeny jednotlivé otázky a grafově zpracované odpovědi. Z výsledků dotazníků vyplývá, že dotazovaní o této problematice nemají přehled. U některých otázek je zřejmé, že znalost problematiky je nedostatečná. Překvapující je i zjištění, že si jenom 13 % dotazovaných myslí, že by je přehrada mohla ohrozit. Asi 15% dotazovaných pokládá za možný útok na přehradu.

5.2.1 Zpracování výsledků

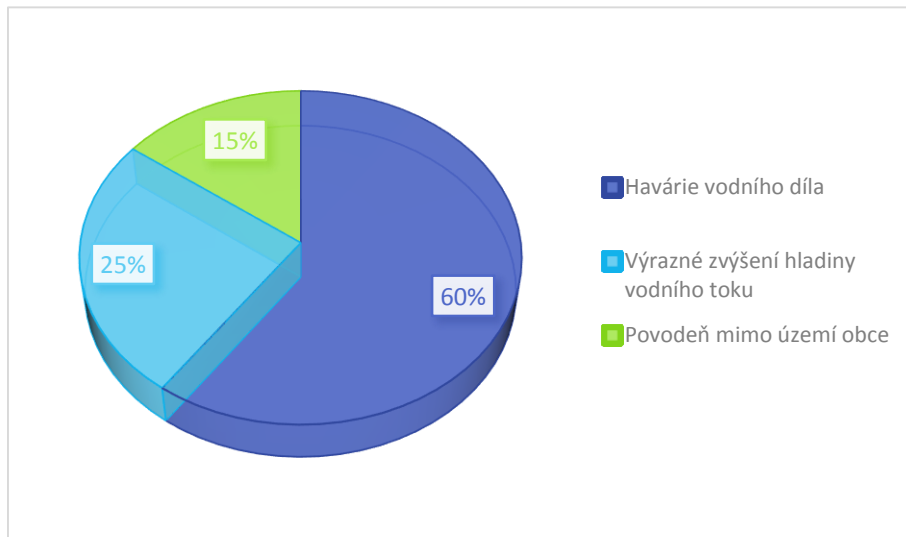
1. Víte co by v souvislosti s přehradou mohl znamenat pojem Černá labuť?

- a) Ano
- b) Ne
- c) Spíše ano
- d) Spíše ne



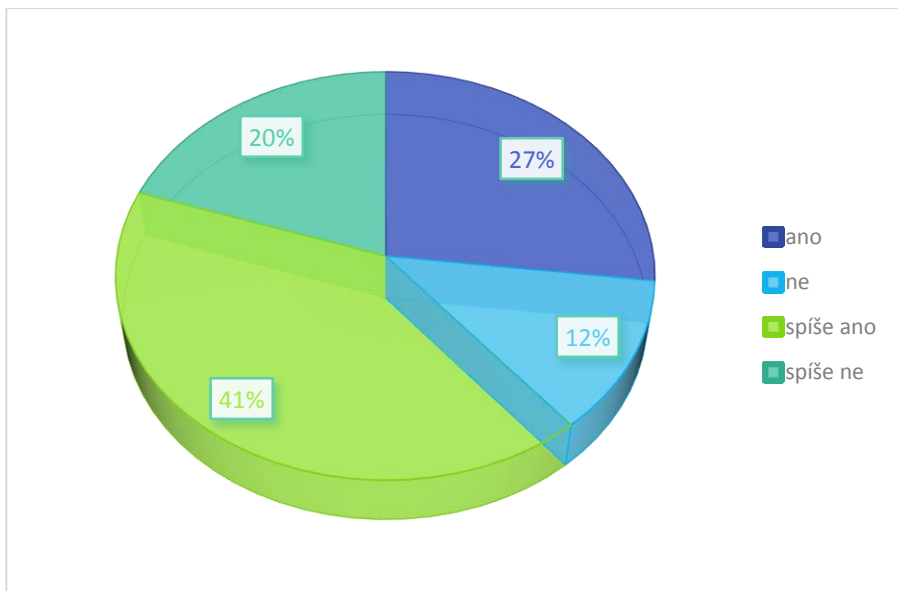
2. Zvláštní povodeň je:

- a) *Havárie vodního díla*
- b) Výrazné zvýšení hladiny vodního toku
- c) Povodeň mimo území obce



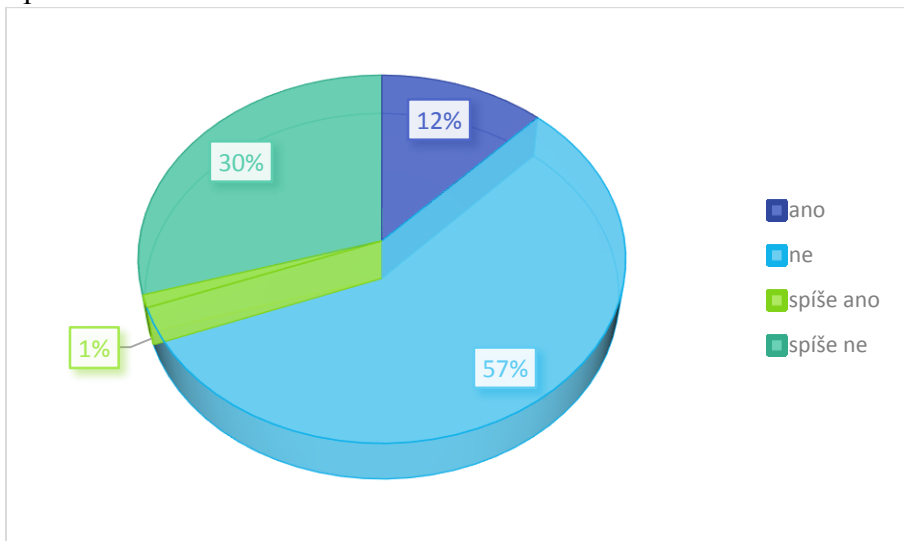
3. Víte, které události patří mezi mimořádné?

- a) Ano
- b) Ne
- c) Spíše ano
- d) Spíše ne



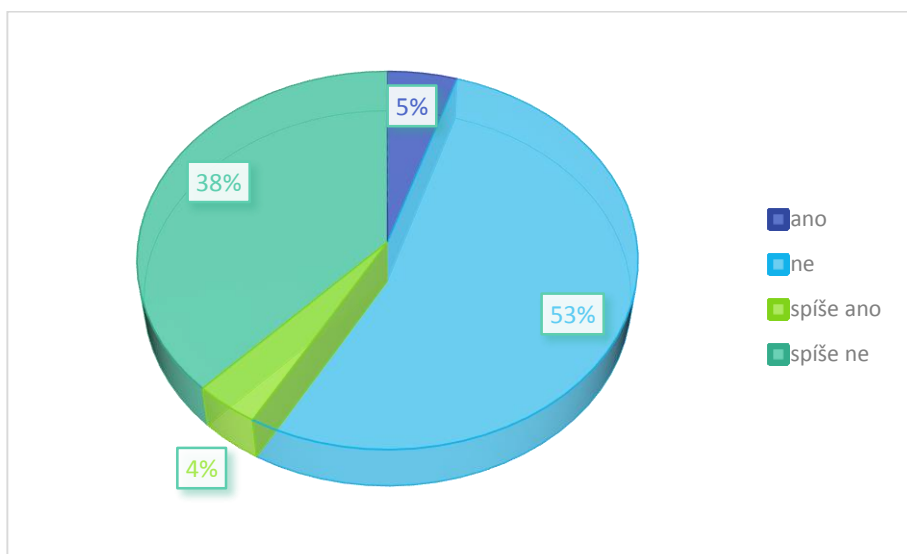
4. Myslíte si, že Vás může přehrada nějak ohrozit (její přelití, protržení,...)?

- a) Ano
- b) Ne
- c) Spíše ano
- d) Spíše ne



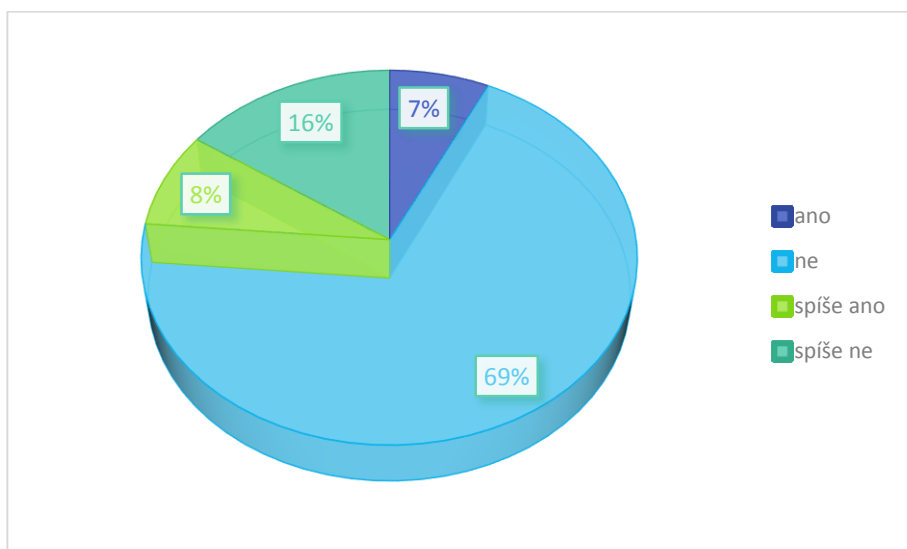
5. Myslíte si, že by v Brně mohlo dojít k teroristickému útoku?

- a) Ano
- b) Ne
- c) Spíše ano
- d) Spíše ne



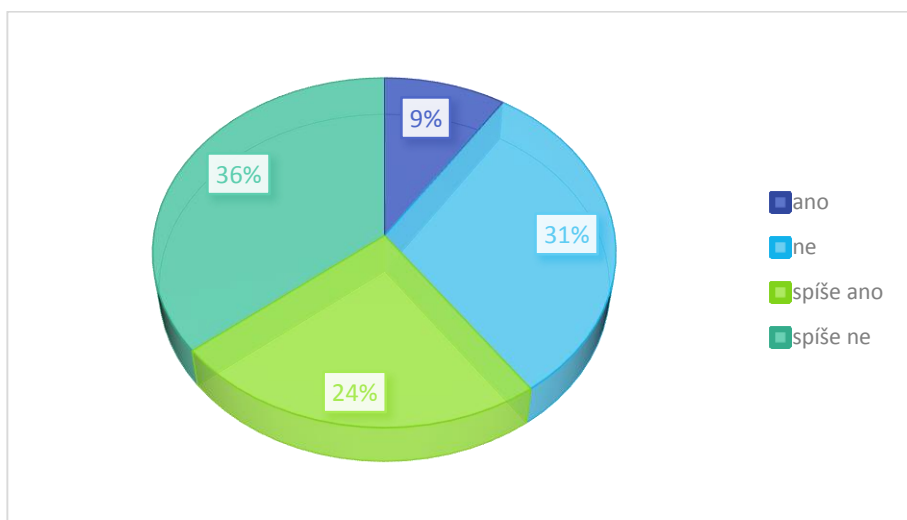
6. Myslíte si, že by mohlo dojít k teroristickému útoku na přehradu?

- a) Ano
- b) Ne
- c) Spíše ano
- d) Spíše ne



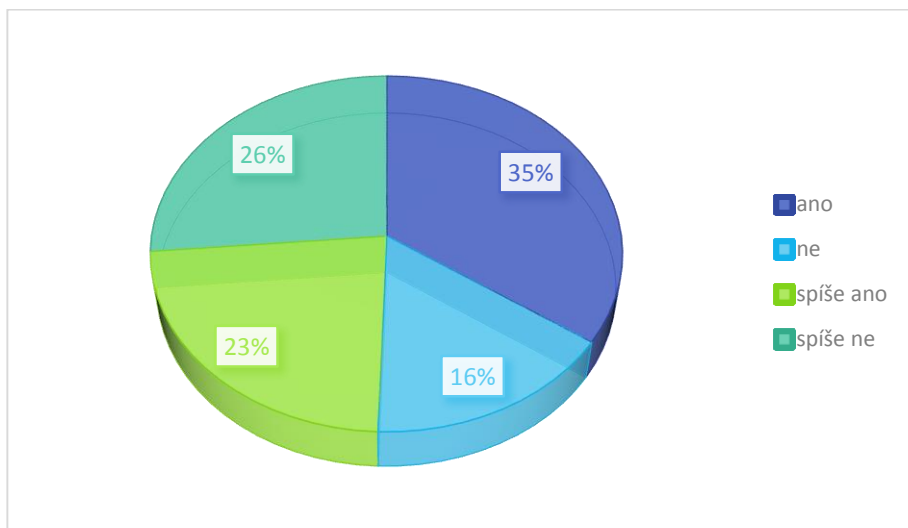
7. Víte co udělat, když nastane povodeň?

- a) Ano
- b) Ne
- c) Spíše ano
- d) Spíše ne



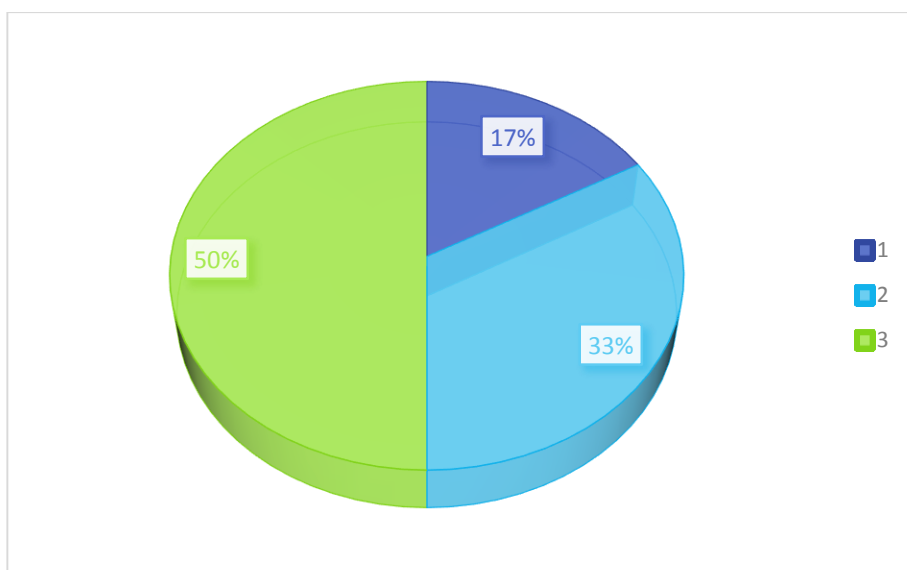
8. Víte co udělat, když zazní siréna?

- a) Ano
- b) Ne
- c) Spíše ano
- d) Spíše ne



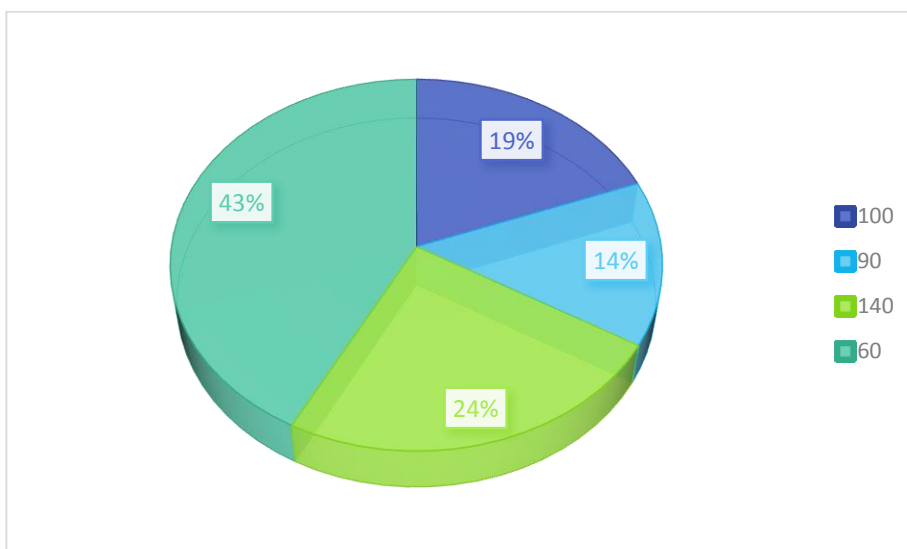
9. Kolik máme v České republice varovných signálů?

- a) 1
- b) 2
- c) 3



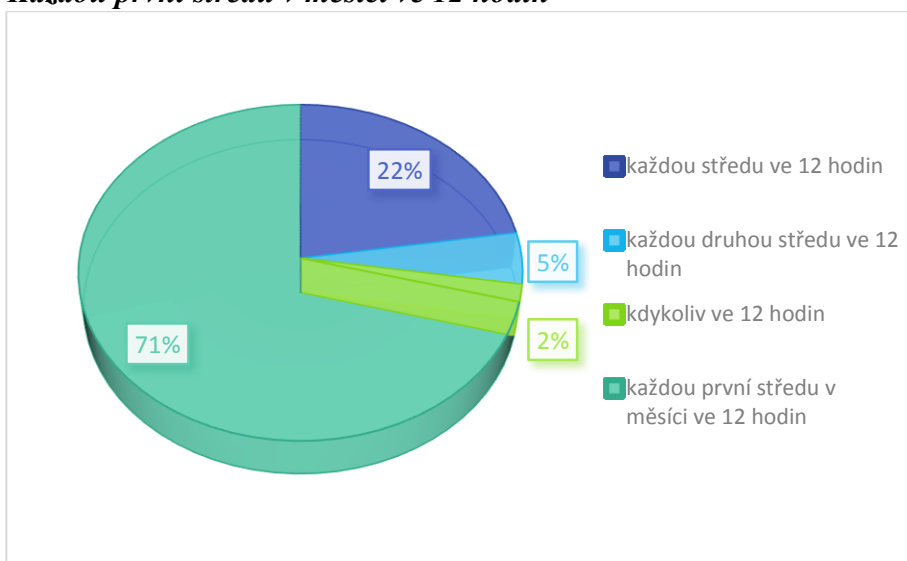
10. Jak dlouhý je varovný signál všeobecná výstraha?

- a) 100 sekund
- b) 90 sekund
- c) **140 sekund**
- d) 60 sekund



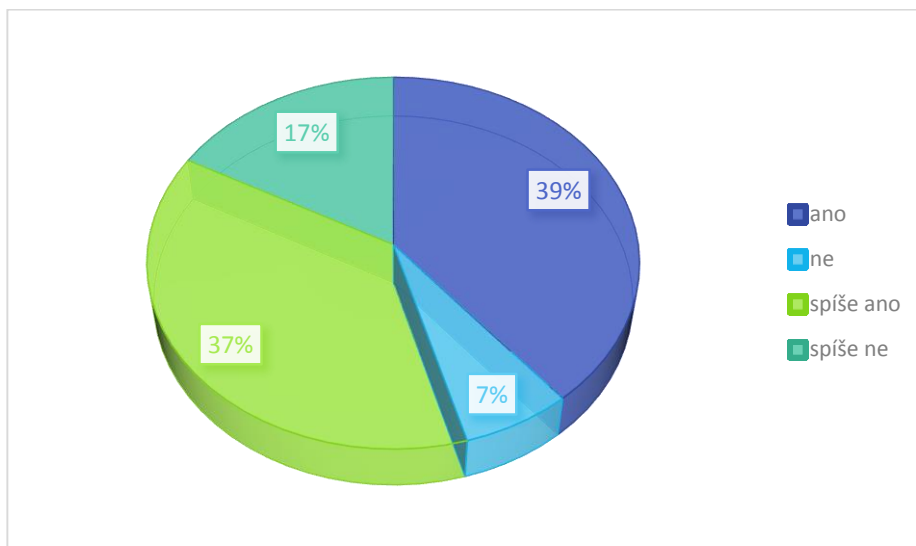
11. Kdy na území České republiky probíhá zkouška sirén?

- a) Každou středu ve 12 hodin
- b) Každou druhou středu ve 12 hodin
- c) Kdykoliv ve 12 hodin
- d) **Každou první středu v měsíci ve 12 hodin**



12. Víte co musí obsahovat evakuační zavazadlo?

- a) Ano
- b) Ne
- c) Spíše ano
- d) Spíše ne



5.3 NÁVRHY NA ZLEPŠENÍ SITUACE

Z průzkumu vyplývá, že společnost nemá o problematice černých labutí dostatečné znalosti. Ukázalo se, že většina dotázaných neví, co daný pojem znamená. Díky této neznalosti nemohou na vzniklou nečekanou událost adekvátně reagovat. Netýká se to pouze oblasti vodního hospodářství. Alarmující je skutečnost, že přes 80 % dotazovaných neví jak dlouhý je varovný signál všeobecná výstraha. Většina dotazovaných ani neví, že výstražný signál je pouze jeden.

Informovanost lidí by se v této oblasti měla zaměřit na předávání základních informací o výstraze. Informace o číslech integrovaného záchranného systému jsou vyvěšeny v každé škole, ordinaci, prostředcích MHD, atd.. Nebylo by od věci, kdyby se zde umístila i informace o varovném signálu. Další slabinou v dotazníku byla otázka ohledně evakuačního zavazadla. Jedna věc je vědět, co do něj patří, další pak jestli doma nějaké přichystané máme. O vybavení evakuačního zavazadla, by se mohly učit děti již od útlého věku. Nejlepším systémem by dle mého názoru bylo spojení hry a zisku informací. Dítě by mělo na sestavení nejlepšího evakuačního zavazadla omezený čas v místnosti s různými předměty. Různorodost předmětů zde hraje zásadní roli. Po čem by dítě sáhlo první, kdyby vidělo plyšového medvídka a konzervu fazolí? Obtížnost úkolu by se dala nastavit i například tím, že by dopředu nevěděli jak velký batoh zvolit, či kolik předmětů by měl obsahovat celkem. Vyhodnocení by mohlo probíhat v rámci skupiny – jedné třídy. A to tak, že by byly postupně odhalovány předměty z jednotlivých zavazadel. Po vytažení předmětu ze zavazadla by instruktor (učitel) vysvětlil, k čemu daný předmět slouží a jestli je vhodný do evakuačního zavazadla. Dětem například klademe na srdce čištění zubů dvakrát denně. Ovšem při mimořádné události je potřeba zaměřit se na jiné důležité věci. Teprve po představení posledního batohu by byl odhalen ten správný obsah evakuačního zavazadla s výkladem, proč dané předměty obsahuje, k čemu slouží a jak se používají.

Na zlepšení situace nestačí jen naučit děti sbalit evakuační zavazadlo. Je potřeba zaměřit se i na projektanty a stavitele přehrad. Je potřeba, aby byly sledovány poruchy historických děl a provedení důkladné analýzy. Zjištěním příčiny, proč k dané události došlo, bychom se jí v dalších návrzích mohli vyvarovat. Důležité je i sledování a pravidelná kontrola staveb po jejich dokončení. Myslet na to, že i malá trhлина může ohrozit celé dílo. Pro získání objektivního názoru by bylo dobré zapojit i externisty. Pro zlepšení situace by bylo dobré zavádět postupy a

systémy šetření všech nežádoucích událostí a odchylek. Získané poznatky by měly být začleněny do obecných zásad a norem.

Z historie víme, že přehrady mohou praskat a také to, že následná povodňová vlna na sebe nenechá dlouho čekat. Kolik času při takové události budou mít lidé pod hrází, aby si šli sbalit nejnnutnější? Lidé by si měli uvědomit, že žádná stavba na Zemi není bezporuchová. Možná je i ta nejméně pravděpodobná událost. Lidé pod přehradou by měli minimálně vědět, kolik času budou mít, když se stane nepředvídatelná událost. Tento čas je totiž to nejdůležitější, aby měli šanci dostat se do bezpečí. S tímto souvisí další informace a to je ta, které místo při zvláštní povodni bude bezpečné. Může to být například vyvýšené místo. Pro tyto účely by mohl být vytvořen leták, který by lidem prozradil, kolik minut na útěk při zvláštní povodni mají, kam se ukrýt, co nejnnutnějšího sbalit a další potřebné informace. I přestože o problematice povodní probíhají různá školení, kampaně. Výsledky ukazují, že tato forma není dostačující. Je třeba na tyto akce klást větší důraz, zvýšit jejich pravidelnost. Zaměřme se více na kampaně v tramvajích a trolejbusu, kterými denně jezdí velká část obyvatelstva města. Možná je i tohle cesta, jak zvýšit povědomí lidí o problematice povodní, možnost jak zachránit lidské životy.

6 DISKUZE

Diplomová práce se zaměřila na problematiku černých labutí v oblasti vodního hospodářství. Detailněji potom na rizika a ohrožení vodních děl. Historie nám ukázala, že ani tak sofistikovaná stavba jako hráz přehrady nemusí být vždy bezvadná. Ať už se jedná o přírodní katastrofu, neštěstí, schodu náhod, či úmyslný útok. Riziko spojené s poruchou přehrady se do podvědomí lidí nedostalo tak hluboko, aby si toto riziko uvědomovali, či se na něj připravovali. Důležitý faktor zde hraje i zub kazu, který je neúprosný. Jaká je životnost vodohospodářských staveb? Jak dlouho budou plnit svoji funkci? Je vůbec možné provozovat vodní dílo stovky let? Modernizace tradičních přehrad probíhá po celém světě. Modernizace zařízení, opravování netěsností, moderní řízení provozu a další technické vymoženosti dnešní doby pomáhají provozovatelům přehrad udržovat zařízení v chodu. Ani všechny tyto vymoženosti nemohou zabránit únavě materiálu. I přesto, že se největší množství poruší hned po vybudování, ve světě najdeme ročně mnoho poruch starších přehrad. Za spoustu z nich si můžeme sami.

Z mého průzkumu vyplývá, že se lidé necítí přehradou ohroženi. Lidé nevnímají přehradu jako hrozbu. Nepočítají s možností, že by mohla porucha nastat. Možná je to způsobené tím, že si toto riziko nechtějí připustit. Lidé si toto riziko většinou uvědomí pozdě, až když přijde povodeň. Je potřeba zlepšit povědomí obyvatel o této situaci. I přesto, že existuje spousta kampaní, lidé nejsou poučeni. V horším případě ani netuší, že takové kampaně existují. Ke zlepšení by mohlo vést informovanost formou letáků, varovných směrnic, cedulí, vytvoření krizových plánů, které budou rozeslány pomocí emailů, sociálních sítí, které navštíví větší množství lidí. Ne každý občan má doma internet, proto by bylo dobré umístit letáky na veřejná přístupná místa, jakou jsou linky MHD (autobusy, trolejbusy, tramvaje), ordinace lékařů, informační tabule, obchodní centra. Informovanost lidí vede k podvědomému vystavení rizika. Srovnáme-li tuto situaci s jízdou v autě, u které jsme si vědomi, že je to rychlá doprava, která se řídí předpisy a pravidly. Nic méně nehody se stávají. Ať už jde o velké či malé nehody, riziko si uvědomuje každý řidič a vědomě ho podstupuje. To samé platí i o přehradách. Pakliže si budeme tohle riziko uvědomovat – vědomě ho přijímat, budeme si uvědomovat možné následky, které mohou nastat. Na tyto následky se tak můžeme připravit a tím popřípadě minimalizovat důsledky.

V mé diplomové práci jsem se snažila popsat hrozby a nebezpečí spojené s vodními díly. Shrnula jsem, jaké černé labutě ve spojení s přehradou mohou nastat. Cílem práce bylo vytipovat možné nepředvídatelné události a detailně je popsat, aby se s nimi dalo déle pracovat. Při detailnějším zkoumání, jsem prostřednictvím dotazníku zjistila, že si lidé tato rizika neuvědomují a ani by nevěděli jak se v takové situaci zachovat. Práce by mohla přispět při tvorbě rizikových plánů, protože v dnešní době nejistot si člověk nemůže bát ničím jistý. Dalším přínosem je zmapování historických černých labutí u přehrad, které není nikde provedeno.

7 ZÁVĚR

Svět se rychle posunul od relativně rovnoměrného průměru do světa nerovností, s čím dál většími extrémny, což vyvolává stále častěji příchod událostí, jež představují černé labutě. Potíž je v tom, že naše myšlení odmítá nové paradigma přijmout. Toužíme žít v jistotě, a proto se neustále obklopujeme experty, jež nás ujišťují, že světu kolem nás rozumějí a dokážou předvídat budoucnost. Černé labutě u vodních nádrží mohou mít katastrofické následky. Můžeme přijít nejen o majetek, ale i vlastní život. Voda je živel, se kterým si není radno zahrávat. Ve své práci se zabývám problematikou černých labutí. Žádná stavba není bezporuchová a ani přehrady netvoří výjimku. Z toho důvodu můžeme pojem černá labuť využít i v souvislosti s vodními nádržemi. V práci se snažím shrnout některá fakta o přehradách a následně dojít k nepředvídatelným událostem, jež jim hrozí. V dnešní době, kdy dochází ke změnám klimatu, teroristickým útokům, sabotážím, je větší pravděpodobnost vzniku nepředvídatelných událostí. V praktické části jsem aplikovala své nashromážděné poznatky z literární rešerše na Brněnskou přehradu. Útok na přehradu není předpokládán, nedá se ale ani vyloučit. I přestože se jedná o malou přehradu, která neslouží ani jako zásobárna pitné vody, její devastace by měla katastrofické následky. Součástí práce je i dotazníkový průzkum mezi obyvateli města Brna, ze kterého vyplývá, že znalost lidí o této problematice není dostačující. Většina lidí žije v přesvědčení, že přehrada je dílo, u kterého žádný kolaps nehrozí. Mnoho dotazovaných ani neví, kolik máme varovných signálů, či jaký je délka varovného signálu všeobecná výstraha. Myslím si, že je potřeba tuto problematiku dostat více mezi lidi.

Dá se říci, že vnímání rizik společností je bizarní. Ve většině případů se hledání příčin mimořádné události zastaví na odhalení příčin a následků. To, co celý jev odstartovalo, ale často zůstává mimo pozornost. Protože příčina, která událost vyvolala, není mnohdy nalezena, není možné ani poučení z této chyby. Žijeme v přesvědčení, že blesk do jedné hráze dvakrát neudeří, tak proč bychom zjišťovali příčiny událostí. Možná je i to jeden z důvodů, proč řešení mimořádných událostí zatím nepřináší odpovídající efekt.

Měli bychom si uvědomit, že krizi nemusíme brát jako tragédii, ale jako příležitost. Protože i to, že jsme naživu, je mimořádné štěstí a nepravděpodobnost obrovských rozměrů. A pamatovat si, že i my jsme černá labuť.

8 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Říha, Jaromír. Hydrotechnické stavby II: Přehrady. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006.
- [2] Doc. Ing. Aleš Havlík, CSc. Nádrže a přehrady [online]. In: . Praha [cit. 2016-03-03]. Dostupné z: http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Vin/ke_stazeni/Nadrze_prehrady.pdf
- [3] Inženýrskogeologický průzkum pro přehrady. In: Otto Horský [online]. [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <http://www.horsky.estranky.cz/clanky/odborna-literatura/inzenyrsko-geologicky-pruzkum-pro-prehrady.html>
- [4] Zásoby vody na Zemi. In: ZEMĚPIS [online]. [cit. 2016-03-03]. Dostupné z: <http://www.zemepis.com/zasoby.php>
- [5] Půl milionů lidí v ohrožení: ‚Saddámově přehradě‘ hrozí zřícení. In: ECHO 24 [online]. [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <http://echo24.cz/a/iciEF/pul-milionu-lidi-v-ohrozeni-saddamove-prehrade-hrozi-zriceni>
- [6] Přehodnocení významu přehrad. Online knihovna [online]. 2002 [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <http://wol.jw.org/cs/wol/d/r29/lp-b/102002049#h=6>
- [7] Číňané zkrátí všem lidem délku dne. In: FYZMATIK píše [online]. [cit. 2016-04-13].
- [8] WCD – Dams and Development. A New Framework for Decision-making. The Report of World Commission on Dams. Earthscan Publications Ltd, London and Sterling, VA, 2000. 404 s. ISBN: 1-85383-798-9
- [9] Mimořádná událost. In: MINISTERSTVO VNITRA ČR [online]. [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <http://www.mvcr.cz/clanek/mimoradna-udalost-851851.aspx>
- [10] ROUDNÝ, R., LINHART, P. *Krizový management I : Ochrana obyvatelstva, mimořádné události*. Pardubice : 2004. Univerzita Pardubice. 97 s. ISBN 80-7194-674-5.
- [11] Zvláštní povodeň. In: HZS Kraje Vysočina [online]. [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <http://www.hzscr.cz/clanek/zvlastni-povodne.aspx>
- [12] Druhy povodní a rozsah ohrožení. In: OPATŘENÍ K OCHRANĚ PŘED POVODNĚMI [online]. [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <https://maps.kraj-lbc.cz/mapserv/dpp/dokumenty/opatreninew.htm>

- [13] Pojmy. In: Povodňový portál [online]. [cit. 2016-03-18]. Dostupné z: <https://www.povodnovyportal.cz/povodnovy-plan/umyslovice-427/pojmy>
- [14] Technickobezpečnostní dohled. In: VODNÍ DÍLA - TBD [online]. [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <http://www.vdtbd.cz/bezpecnost-vodnich-del>
- [15] Rizika (Risks). In: MANAGEMENT MANIA [online]. 2015 [cit. 2016-03-01]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/rizika>
- [16] Smejkal, Vladimír a Karel Rais. Řízení rizik ve firmách a jiných organizacích. 4., aktualiz. a rozš. vyd. Praha: Grada, 2013. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-4644-9.
- [17] Tichý, Milík. Ovládání rizika: analýza a management. Praha: C.H. Beck, 2006. Beckova edice ekonomie. ISBN 80-7179-415-5.
- [18] Ing. Ctirad Koudelka a Doc. Ing. Václav Vrána, CSc. RIZIKA A JEJICH ANALÝZA [online]. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2006 [cit. 2016-03-04]. Dostupné z: <http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/Magisterske%20nav/prednasky/web/RIZIKA.pdf>
- [19] Krize a příčiny jejich vzniku. In: HÁLEK INFO [online]. [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <http://halek.info/www/prezentace/krizovy-management-prednasky4/kmpr4-print.php?projection&l=02#strana01>
- [20] Weinberger, Jiří. Sborník reflexí akce Kulatý stůl na téma „Jak řídit rizika událostí, které jsou považovány za mimořádně nepravděpodobné“. Praha.
- [21] Střežte se ekonomů. In: RESPEKT [online]. 2015 [cit. 2016-02-01]. Dostupné z: <http://www.respekt.cz/tydenik/2012/2/strezte-se-ekonomu>
- [22] Adamec, Vladimír, Barbora Schullerová a Jiří Konečný. Můžeme zkrotit černé labutě?. Brno.
- [23] Taleb, Nassim. Černá labuť: následky vysoce nepravděpodobných událostí. Praha: Paseka, 2011. ISBN 978-80-7432-128-3.
- [24] Aven , Implications of black swans to the foundations and practice of risk assessment and management.
- [25] Patté Cornelle, E., On black swans and perfect storms: risk analysis and management when statistics are not enough.

- [26] Může mávnutí motýlích křídel způsobit hurikán? In: NOVÁKOVINY: Stránky publicisty Jana A. Nováka [online]. 2012 [cit. 2016-02-13]. Dostupné z: <http://www.novakoviny.eu/archiv/veda/634-chaos-teorie-motyl>
- [27] Černobylská havárie. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2016 [cit. 2016-03-02]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/%C4%8Cernobylsk%C3%A1_hav%C3%A1rie
- [28] Bhópálská katastrofa. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2016 [cit. 2016-04-01]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Bh%C3%B3p%C3%A1lsk%C3%A1_katastrofa
- [29] Analýza rizik. In: Clever and smart [online]. [cit. 2016-03-18]. Dostupné z: <http://www.cleverandsmart.cz/clanky/>
- [30] Mimořádné události. In: Portál pro krizové řízení pro JMK [online]. [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <http://krizport.firebrno.cz/ohrozeni/mimoradne-udalosti>
- [31] Doro - on, Anna Maricel. Risk assessment for water infrastructure safety and security. London: IWA, c2012. ISBN 978-143-9853-412.
- [32] Biological and Chemical Terrorism: Strategic Plan for Preparedness and Response [online]. In: .2000 [cit. 2016-03-13]. Dostupné z: <http://www.cdc.gov/mmwr/pdf/rr/rr4904.pdf>
- [34] James Parkes. Impact of Explosions on Embankment Dams and Levees [online]. In: . New York: Parsons Brinckerhoff, 2014 [cit. 2016-03-10]. Dostupné z: <http://cdn.wspgroup.com/8kzmue/impact-of-explosions-on-embankment-dams-and-levees.pdf>
- [27] Bořitelé hrází: díl I., II., III. In: VÁLKA [online]. 2005 [cit. 2016-03-05]. Dostupné z: http://www.valka.cz/10949-Boritele-hrazi-I-dil?utm_source=valka_cz&utm_medium=article&utm_campaign=serial
- [35] Gleick, Peter H. Water and terrorism [online]. In: . Oakland, California, USA, 2006 [cit. 2016-03-07]. Dostupné z: http://www2.pacinst.org/reports/water_terrorism.pdf
- [36] <http://www.hydroworld.com/articles/print/volume-20/issue-2/articles/dam-safety/how-explosives-affect.html>
- [37] Kyberhrozby a kyberterorismus [online]. In: . [cit. 2016-03-18]. Dostupné z: <http://www.ceses.cuni.cz/CESES-70-version1-Kyber.pdf>

- [38] ŘÍHA, Jaromír. Návrh a realizace suchých nádrží z pohledu technickobezpečnostního dohledu: a new framework for decision-making [online]. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2014 [cit. 2016-05-01]. ISBN 978-80-7212-600-2.
- [39] Major Dam failures [online]. In: [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: http://pgea.in/info/Major_Dam_failures
- [40] Seeking answers to catastrophic Brazil mine disaster. In: ALJAZEERA [online]. [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <http://www.aljazeera.com/indepth/features/2015/12/seeking-answers-catastrophic-brazil-disaster-151224071626923.html>
- [41] Brazil's mining tragedy: was it a preventable disaster? In: THE GUARDIAN [online]. [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <http://www.theguardian.com/sustainable-business/2015/nov/25/brazils-mining-tragedy-dam-preventable-disaster-samarco-vale-bhp-billiton>
- [42] Sesuv. In: Geohazardy [online]. [cit. 2016-03-18]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/aplikace/geohazardy/katalog/geohazard-22/>
- [43] Den vajontské tragédie [dokumentární film]. Scénář a režie Pavel Zuna. ČR, 2015
- [44] James Parkes. Impact of Explosions on Embankment Dams and Levees [online]. In: . New York: Parsons Brinckerhoff, 2014 [cit. 2016-03-10]. Dostupné z: <http://cdn.wspgroup.com/8kzmue/impact-of-explosions-on-embankment-dams-and-levees.pdf>
- [45] Zemětřesení. In: VUT FAST [online]. [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <http://geotech.fce.vutbr.cz/studium/geologie/skripta/ZEMETR.htm>
- [46] Zemětřesení. In: MUNI [online]. [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <http://www.sci.muni.cz/~herber/quake.htm#1>
- [47] Přehrada zavinila zemětřesení. In: LIDOVKY [online]. 2009 [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: http://relax.lidovky.cz/prehrada-zavinila-zemetreseni-dzi/veda.aspx?c=A090119_103243_In_veda_glu
- [48] Dams and development: a new framework for decision-making [online]. London: Earthscan, 2000 [cit. 2016-05-01]. ISBN 18-538-3798-9.
- [49] Teton 1976 [online]. In: [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <https://sites.google.com/site/malevodnielektrarny/teton-1976>

- [50] Jechumtálová, Zuzana. Posouzení dopadu provozu GTE v Tanvaldu na nedaleké hráze. V Holešovičkách, 2014.
- [51] Fakta. In: Změna klimatu [online]. [cit. 2016-04-01]. Dostupné z: <http://www.zmenaklimatu.cz/cz/fakta/46-dusledky/1273-fakta>
- [52] Delhi Dam. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2016 [cit. 2016-05-26]. Dostupné z:
- [53] Sucho bude, varují odborníci. Otázkou však zůstává, jestli umíme zareagovat. In: ČESKÝ ROZHLAS [online]. [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: http://www.rozhlas.cz/dvojka/kupredudominulosti/_zprava/sucho-bude-varuji-odbornici-otazkou-vsak-zustava-jestli-umime-zareagovat--1408807
- [54] Mosulská přehrada. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2016 [cit. 2016-04-01]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Mosulsk%C3%A1_p%C5%99ehrada
- [55] Půl milionů lidí v ohrožení: ‚Saddámově přehradě‘ hrozí zřícení. In: ECHO 24 [online]. [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <http://echo24.cz/a/iciEF/pul-milionu-lidi-v-ohrozeni-saddamove-prehrade-hrozi-zriceni>
- [56] Velký, větší, největší: Přehrada Tři soutěsky [dokumentární film]. Scénář a režie Robert Hartel, Ian Bremner. USA, 2008
- [57] Tři soutěsky - symbol čínské megalománie. In: Gnosis9 [online]. 2005 [cit. 2016-03-18]. Dostupné z: <http://gnosis9.net/view.php?cisloclanku=2005070025>
- [58] Čína přiznává: Přehrada Tři soutěsky je katastrofa. In: TÝDEN [online]. 2007 [cit. 2016-03-18]. Dostupné z: http://www.tyden.cz/rubriky/zahranici/rudy-obr-na-vzestupu/cina-priznava-prehrada-tri-soutesky-je-katastrofa_24092.html
- [59] Gleick, Peter H. Three Gorges Dam Project, Yangtze River, China. In: WATER BRIEF [online]. 2009 [cit. 2016-03-18]. Dostupné z: <http://www2.worldwater.org/data20082009/WB03.pdf>
- [60] Troops sent to protect China dam. In: BBC [online]. 2004 [cit. 2016-03-18]. Dostupné z: <http://news.bbc.co.uk/2/hi/asia-pacific/3654772.stm>

- [61] Vodní dílo Brno. In: Povodí moravy [online]. [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <http://www.pmo.cz/download/vd-brno.pdf>
- [62] Kníničská přehrada. In: Úřad MČ Brno Kníničky [online]. 2008 [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <http://www.kninicky.eu/obec/kapitoly-z-historie/knincska-prehrada/>
- [63] Šlezinger, M. Brněnská přehrada a lidé kolem ní. Brno: VUT-FAST, 1998, 84 s. ISBN 80-214-1127-9. 21.
- [64] Šlezinger, M. Historie stavby přehradní zdi údolní nádrže Brno. *Zpravodaj*. Brno: Povodí Moravy, 2000, číslo 2
- [65] Říha, Jaromír. Riziková analýza záplavových území. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. ISBN 80-7204-404-4.
- [66] Říha, Jaromír. Úvod do rizikové analýzy přehrad. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008. ISBN 978-80-7204-608-9.
- [67] Pareto analýza. Vlastní cesta[online]. [cit. 2016-04-26]. Dostupné z: <http://www.vlastnicesta.cz/metody/pareto-analyza/>
- [68] Metody analýzy rizik [online]. In: . [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: www.jh.cz/filemanager/files/file.php?file=132160
- [69] Teroristický útok v Česku vyloučit nemůžeme, říká politolog Mareš. In: LEMUR [online]. [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <http://lemur.mu/teroristicky-utok-v-cesku-vyloucit-nemuzeme-rika-politolog-mares/>
- [70] Na trvalou paměť Františku Šikulovi a jeho druhů za záchranu Kníničské přehrad v dubnu 1945. In: Brněnská přehrada [online]. [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <http://www.brnenskaprehrada.cz/sikula.pdf>
- [71]] Říha, Jaromír. Hydrotechnické stavby II: Přehrady. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006.
- [72] Měsíční přehledy pozorování. In: ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV [online]. [cit. 2016-04-01]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mesicni-data#>
- [73] Mapy charakteristik klimatu. In: ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV [online]. [cit. 2016-04-01]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mapy-charakteristik-klimatu#>

- [74] Brněnská přehrada, jak ji neznáte. In: NEzávislé Sociálně Ekologické hnutí [online]. [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <http://nesehnuti.ecn.cz/cz/stezka/tab5.htm>
- [75] České geologické služby [online]. [cit. 2016-04-26]. Dostupné z: http://mapy.geology.cz/geocr_25/
- [76] Ochrana obyvatelstva. In: Statutární město Brno, městská část Brno-Jih [online]. [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <http://www.brno-jih.cz/mestska-cast/ochrana-obyvatelstva>
- [77] Povodňový plán pro městskou část Brno - Kníničky [online]. In: . [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <http://kninicky.eu/underwood/download/files/povodnovyplan.pdf>
- [78] Povodňový plán pro městskou část Brno - Bystrc [online]. In: . [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <http://kninicky.eu/underwood/download/files/povodnovyplan.pdf>
- [79] Věkové složení a pohyb obyvatelstva v Jihomoravském kraji. In: ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD [online]. [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/vekove-slozeni-a-pohyb-obyvatelstva-v-jihomoravskem-kraji-2014>
- [80] Trauma může mít člověk i z toho, že ho povodeň minula. In: Vitalia [online]. [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <http://www.vitalia.cz/clanky/trauma-muze-mit-clovek-i-z-toho-ze-ho-povoden-minula/>
- [81] Eroze [online]. [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: http://geography.upol.cz/soubory/lide/smolova/PPR/PPR_Eroze_2014_web.pdf
- [82] Chov okrasných vodních ptáků. I receptář [online]. [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <http://www.ireceptar.cz/zvirata/ptaci/operene-vodni-krasavice/?pid=20679>

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

MU – mimořádná událost

VD – vodní dílo

MHD – městská hromadná doprava

ETA – Event tree analysis

FMEA – Failure Mode and Effect Analysis

PHA – Preliminary Hazard Analysis

TBD – technicko bezpečnostní dohled

10 SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Kategorizace přehrad dle scénáře nebezpečí [14].....	21
Tab. 2 Význam rizika a nejistoty	25
Tab. 3 Průměrov x Extrémov [23]	28
Tab. 4 Skepticismus x Platonismus [23]	29
Tab. 5 Matice hrozeb.....	35
Tab. 6 Základní údaje o Brněnské přehradě	59
Tab. 7 Rady pro možné snížení černých labutí v jednotlivých fázích výstavby.....	67
Tab. 8 Brno - jih zvláštní povodeň [76]	79
Tab. 9 Ulice zasažené zvláštní povodní MČ Kníničky [77]	79
Tab. 10 Počet obyvatel Brna [79]	80

11 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

Obr. 1 Přehrada Mauvoisin, Švýcarsko [1].....	12
Obr. 2 Počet velkých přehrad na konci 20. století [4].....	14
Obr. 3 Přehrada Tři soutěsky, Čína [4]	15
Obr. 4 Schématické vyjádření krizové situace	18
Obr. 5 Dělení povodní.....	19
Obr. 6 Černá labuť [82].....	27
Obr. 7 Příklad problému indukce [23]	32
Obr. 8 Mimořádné události vodních děl	36
Obr. 9 Přehrada Moehne po útoku [35]	39
Obr. 10 Následky na přehradě po operaci CHASTISE [35]	39
Obr. 11 Kvalita stavby Campos Novos [39]	44
Obr. 13 Vesnice zasažená důlní katastrofou [41].....	45
Obr. 14 Kontaminace Atlantického oceánu [41].....	45
Obr. 15 Letecký snímek den po Brazílské tragédii [41]	46
Obr. 17 Sečuánské zemětřesení [47].....	48
Obr. 18 Trhlina přehrady Teton [49].....	50
Obr. 19 Protržení přehrady Teton [49].....	50
Obr. 20 Protržení přehrady Desná [50]	51
Obr. 21 Protržení přehrady Delhi [52]	52
Obr. 23 Odstřel ochranné hráze hlavní opěrné zdi [56]	55
Obr. 24 Brněnská přehrada letecký pohled [61]	58
Obr. 26 Zahájení stavby Brněnské přehrady [62]	59
Obr. 27 Brněnská přehrada při výstavbě roku 1939 [62].....	60
Obr. 29 Analýza ETA teroristický útok	64

Obr. 30 Fáze výstavby.....	66
Obr. 31 Územní srážky v jednotlivých letech [72]	68
Obr. 32 Úhrn srážek rok 2015 – současnost [72].....	69
Obr. 33 Roční úhrn srážek 2014 [73].....	70
Obr. 34 Úhrn srážek v roce 2014 (% z normálu) [73]	70
Obr. 35 Analýza ETA extrémní srážky.....	71
Obr. 36 Geologická mapa [75].....	72
Obr. 37 Svahové nestability [75]	73
Obr. 38 Zasažené území [30]	75
Obr. 39 Věkové složení obyvatelstva města Brna [79].....	81

12 PŘÍLOHY

Příloha 1 – Analýza FMEA

TABULKY FMEA – STUPNICE HODNOCENÍ

Pravděpodobnost výskytu	Popis	Klasifikace
Velmi slabá	nepravděpodobný výskyt	1
Nízká	ojedinělý výskyt	2
Střední	vyskytuje se příležitostně	3
Vysoká	vyskytuje se často	4
Velmi vysoká	riziko je téměř nevyhnutelné	5

Význam vady	Popis	Klasifikace
Žádný	žádný zjistitelný důsledek	1
Málo významný	objekt není ve shodě s požadavky	2
Nízký	zhoršená provozuschopnost	3
Střední	neprovozeroschopnost	4
Vysoký	vysoká závažnost	5

Pravděpodobnost odhalení	Popis	Klasifikace
Téměř jisté	je téměř jisté, že se závada odhalí	1
Vysoké	nízká pravděpodobnost odhalení	2
Střední	střední pravděpodobnost odhalení	3
Nízké	nízká pravděpodobnost odhalení	4
Téměř nemožné	neexistuje způsob odhalení	5

ANALÝZA FMEA

Součást (název, číslo):	Analýza možností vzniku vad a jejich následků							FMEA číslo:	Jméno/oddělení/dodavatel				
	Systém:							Datum:					
Segment	Možné vady, jejich projev	Předpokl. důsledky vady	Předpokl. příčina vady	Opatření				Doporučená opatření	Pravděpodobnost výskytu	Význam vady	Pravděpodobnost odhalení	Míra rizika / priorita	
				Pravděpodobnost výskytu	Význam vady	Pravděpodobnost odhalení	Míra rizika / priorita						
PŘÍPRAVA	Nevhodně provedený návrh	Porucha přehrad	Nezkušenost	1	5	2	10	Kontrola PD	1	5	2	10	
	Nesprávné statický výpočet	Porucha přehrad	Nekvalifikace statika	1	5	3	15	Kontrola statických výpočtů	1	5	3	15	
	Nedostatky v návrhu	Trhliny, porušení	Nezkušenost	2	3	2	12	Kontrola PD	2	3	2	12	
	Vady v technickém řešení	Trhliny, porušení	Nekvalifikace projektanta	1	4	2	8	Kontrola PD	1	4	2	8	
	Nevhodné řešení hráze	Porucha přehrad	Nekvalifikace projektanta	1	3	2	6	Kontrola PD	1	3	2	6	
	Nedostatečné geologické podklady	Porucha přehrad	Neodbornost geodeta	3	5	4	45	Kontrola průzkumu	2	5	3	30	
	Nedostatečné hydrologické podklady	Přelítí hráze	Nezkušenost	1	2	3	6	Kontrola PD	1	2	3	6	
REALIZACE	Nevhodně navržené vegetační úpravy	Trhliny, porušení	Nezkušenost	2	3	2	12	Kontrola PD	2	3	2	12	
	Nekvalitní výstavba	Trhliny, porušení	Neprovedená kontrola výstavby	3	2	3	18	Kontrola výstavby	2	2	3	12	
	Nekvalitní materiál	Trhliny	Neprovedená kontrola převzetí	2	2	2	8	Kontrola materiálu při převzetí	1	2	2	4	
	Nekvalitní hutnění betonu	Trhliny	Neprovedená kontrola výstavby	2	4	3	24	Kontrola výstavby	1	4	3	12	
	Použití chybné technologie	Trhliny, porušení	Nezkušenost	2	3	2	12	Kontrola výstavby	1	3	2	6	
	Nesprávné odvedení toku	Nedokončení (zpoždění) výstavby	Špatný návrh	1	2	1	2	Kontrola PD	1	2	1	2	
	Neodostatečné chlazení betonu	Trhliny	Nedodržení předpisů výstavby	3	4	4	36	Dodržení TP	2	4	3	24	
UŽIVÁNÍ	Provozní okolnosti	Trhliny	Nedostatečná kontrola	2	2	4	16	Kontrola stavby v provozu	2	2	4	16	
	Stárnutí konstrukce	Nemožnost plnění fce	Špatný návrh	2	2	3	12	Kontrola stavby v provozu	1	2	3	6	
	Nedostatečná údržba	Trhliny, nemožnost plnění fce	Nedostatečná kontrola	3	3	4	36	Kontrola stavby v provozu	2	3	4	24	
	Mimořádná hydrologická situace	Přelítí hráze	Nedostatečná kontrola	2	2	3	12	Kontrola stavby v provozu	2	2	3	12	
							290						
								217					

PARETŮV GRAF

