# Česká zemědělská univerzita v Praze

## Fakulta životního prostředí

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Obor: Vodní hospodářství

# Protipovodňová opatření, mobilní protipovodňové bariéry, jejich výhody a nevýhody a využití na území Roudnice nad Labem

## Bakalářská práce


Vedoucí bakalářské práce: Ing. Radek Roub, Ph.D.

Vypracoval: Vojtěch Hájek


Praha 2016

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Vojtěch Hájek

Vodní hospodářství

Název práce

**Protipovodňová opatření, mobilní protipovodňové bariéry, jejich výhody a nevýhody a využití na území Roudnice nad Labem**

Název anglicky

**Flood control measures, mobile flood barrier, their advantages and disadvantages and use on the territory of Roudnice nad Labem**

---

**Cíle práce**

Zjištění hlavních důvodů pro stavbu mobilních protipovodňových bariér oproti stavbě protipovodňových valů a hrází.
Výhody a nevýhody mobilních hrazení.
Zhodnocení využitelnosti jednotlivých mobilních protipovodňových opatření.
Charakteristika stávajících opatření v Roudnici nad Labem po povodních v roce 2002 a 2006.

**Metodika**

Význam protipovodňových opatření.

Porovnání možností mobilních protipovodňových bariér ve srovnání s hrází nebo valem.

Popis jednotlivých typů mobilních bariér.

Vzájemné srovnání jednotlivých typů mobilních bariér a jejich nejvhodnější použití pro určité podmínky.

Posouzení stávajících opatření v Roudnici nad Labem.

**Doporučený rozsah práce**

cca 30 stran + grafické přílohy

**Klíčová slova**

tiger dam system, protipovodňová opatření, hráz, průtok

---

**Doporučené zdroje informací**

Dokumentace povodně v srpnu 2002 v povodí Labe. Magdeburk: Mezinárodní komise pro ochranu Labe, 2004.

HLADNÝ, Josef, Martina KRÁTKÁ a Ladislav KAŠPÁREK. August 2002 catastrophic flood in the Czech Republic. Prague: Ministry of Environment of the Czech Republic, c2004. ISBN 80-7212-343-2.

TANGUY, Jean-Michel. Environmental hydraulics. 1st pub. London: ISTE, 2010. ISBN 978-1-84821-152-0.

---

**Předběžný termín obhajoby**

2015/16 LS – FŽP

**Vedoucí práce**

Ing. Radek Roub, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 29. 3. 2016

**prof. Ing. Pavel Pech, CSc.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 29. 3. 2016

**prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.**

Děkan

V Praze dne 08. 04. 2016

**Čestné prohlášení:**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci „Protipovodňová opatření, mobilní protipovodňové bariéry, jejich výhody a nevýhody a využití na území Roudnice nad Labem“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 12.4.2016 _____

**Poděkování:**

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce, Ing. Radku Roubovi Ph.D. za pomoc při vedení této práce. Dále bych rád poděkoval rodičům za podporu během studia.

# Abstrakt:

Cílem této práce je popsat charakteristické vlastnosti povodně, především pak příčiny a následky povodně v roce 2002. Popsat důvody a možnosti protipovodňové ochrany. Charakterizovat různá protipovodňová opatření, která jsou běžně používána. Především pak zaměření na mobilní protipovodňová opatření. Správné budování hrází z pytlů s pískem a možnosti využití těchto hrází. Budování a možné využití hrází z nafukovacích tubusů systému Tiger Dam. Charakteristiky a budování hradících stěn z lehkých slitin. V neposlední řadě pak popsat provedená protipovodňová opatření na území Roudnice nad Labem.

Hlavní přínos práce spočívá v posouzení jednotlivých možností mobilních protipovodňových opatření. Posouzení jejich kladů a záporů a vhodnosti použití v různých situacích.



Klíčová slova: Tiger Dam System, protipovodňová opatření, hráz, průtok

# Abstrakt:

The aim of this work is to describe the characteristics of floods, especially the causes and consequences of flood in 2002. Describe the ways and means of flood protection. Characterize the various flood protection measures that are commonly used. Especially focus on mobile flood protection measures. Proper building of sandbags dams and the possibility of using these dams. Building dams and possible use of inflatable tubes of Tiger Dam System. Characteristics and building alloy barrier walls. Finally, to describe the flood control measures implemented in the territory of Roudnice nad Labem.

The main contribution of this thesis is to assess the individual capabilities of mobile flood protection measures. Assess their strengths and weaknesses and suitability for use in different situations.



Key words: Tiger Dam System, flood, dam, flow

# Obsah

1. Úvod: ..... 10
2. Cíle práce ..... 11
3. Metodika ..... 11
4. Povodně ..... 11
4.1 Charakteristika povodně ..... 11
4.1.1 Typy povodní ..... 12
4.2 Katastrofální povodně roku 2002 ..... 13
4.2.1 Škody způsobené povodní 2002 ..... 13
4.2.2 Klimatické příčiny vzniku povodně roku 2002 ..... 13
4.2.3 Lidský faktor jako příčina povodní ..... 14
4.2.4 Průběh povodní 2002 ..... 15
4.2.5 Následky povodně 2002 ..... 16
5. Protipovodňová opatření ..... 16
5.1 Důvody výstavby protipovodňových opatření ..... 16
5.2 Základní protipovodňová opatření ..... 18
5.2.1 Železobetonové ochranné zdi ..... 19
5.2.2 Ochranné hráze a zemní valy ..... 21
5.2.3 Homogenní a nehomogenní hráze ..... 21
5.2.4 Opevnění ochranných hrází ..... 22
5.2.4 Podloží ochranných hrází ..... 22
5.2.4 Nedostatky ochranných zemních hrází ..... 23
5.2.5 Shrnutí Zemních valů a hrází ..... 23
6. Pytlové hráze ..... 24
6.1 Příprava pytlů se sypkým materiálem ..... 24
6.2 Plánování před výstavbou hráze ..... 24
6.3 Způsoby plnění pytlů ..... 25
6.4 Výstavba hráze z pytlů ..... 26
6.5 Další možnosti využití pytlů se sypkým materiálem ..... 28
6.6 Shrnutí využitelnosti pytlů se sypkým materiálem ..... 29

7. Tiger Dam System ..... 30
7.1 Základní informace ..... 30
7.2 Technický popis tubusů hráze ..... 31
7.3 Postup výstavby hráze ..... 34
7.3.1 Postup před montáží ..... 34
7.3.2 Samotný průběh výstavby ..... 35
7.4 Další možné využití systému Tiger Dam ..... 36
7.5 Shrnutí Systému Tiger Dam ..... 37
8. Systémy svislých ocelovo-hliníkový stěn ..... 38
8.1 Základní informace o systému Eko-system ..... 39
8.2 Pevné prvky systému ..... 40
6.3 Konstrukce ..... 41
8.4 Kanálové uzávěrky hradidlového typu ..... 43
8.5 Výhody a nevýhody systému svislých stěn ..... 44
9. Čerpací stanice a čerpadla ..... 46
10. Využití protipovodňových opatření v Roudnici nad Labem ..... 47
10.1 Popis zájmových území ..... 48
10.2 Protipovodňová opatření provedená v Roudnici nad Labem ..... 50
10.2.1 Opatření k ochraně náspu severního předmostí na pravém břehu ..... 50
10.2.2 Ochranná opatření na kanalizační síti ..... 50
10.2.3 Přeložka vodovodního řadu a sdělovacích kabelů ..... 50
10.2.4 Úprava území ..... 51
10.2.5 Mobilní opatření použitá na území Roudnice nad Labem ..... 51
10.3 Shrnutí protipovodňových opatření v Roudnici nad Labem ..... 52
11. Závěr ..... 53
12. Použité zdroje a literatura: ..... 54
12.1 Seznam obrázků ..... 56
13. Seznam příloh ..... 58

# 1. Úvod:

Povodně jsou jednou z nejčastějších přírodních katastrof v dnešní době postihující velkou část obydlené části planety Země. Četnost výskytu povodní se v posledních několika desetiletích zvýšila a zároveň s ní se také riziko extrémních povodní, které s sebou nesou obrovské problémy.

Nadměrný výskyt těchto extrémních povodní je zapříčiněn především změnou klimatu a tím způsobených extrémů počasí, mohou se vyskytovat velice nadprůměrně suché roky nebo naopak roky s nadměrným množstvím srážek nebo s velkým množstvím srážek během krátkého období doplněné například o tání ledu. Dalším důvodem výskytu jsou zásahy člověka do přirozených koryt toků, úprava břehů toků a jejich okolí. Což většinou napomáhá k šíření povodňové vlny a zároveň k snížení schopností okolní krajiny zachytit nadměrné množství vody.

Z hlediska člověka představují povodně obrovský problém. Zejména proto, že ničí a poškozují majetek a infrastrukturu, omezují dopravu, mohou kontaminovat úrodnou půdu po té, co se do vody dostane velké množství chemických a jiných látek a hlavně mohou ohrozit člověka na životě.

Z těchto důvodů se člověk pokouší zamezit tomu, aby se voda dostala do míst, kde by mohla napáchat škody, především do intravilánu obcí a měst. Budují se tedy protipovodňová opatření, která mají co nejvíce zmírnit nebo úplně zamezit škodám způsobeným povodní. Jedná se především o hráze a valy, které by měly zamezit, společně s opatřením na kanalizaci, tomu aby se povodeň, na kterou byla opatření navrhována, dostala do míst, která se před vodou snaží ochránit. Je ovšem možné použít i opatření, která nejsou trvalá a je možné je použít jen v případě ohrožení povodní a neomezují tak nijak chod obce. Jsou to mobilní protipovodňová opatření, zejména pak různé druhy skladných bariér, které je možno rychle vybudovat na předem určených místech a stejně jako u hrází a valů zamezit zvýšené hladině vody dostat se o míst, která se snažíme ochránit. Hned po povodni je možné je znovu rychle rozebrat a uskladnit k dalšímu použití bez toho aniž by se měnil nějak výrazně ráz krajiny.

Důvodem výběru tohoto tématu je především nutnost neustále budovat protipovodňová opatření na místech, která ještě nejsou chráněna, dále nutnost

oprav a zdokonalování stávajících opatření a také nepřímá zkušenost s povodněmi v roce, 2002 a 2006, která postihla obec na Labi, ve které žiji a především blízké město Roudnici nad Labem, které má již nyní systém mobilních bariér a další protipovodňová opatření.

# 2. Cíle práce

Hlavním cílem práce je zhodnocení důvodů pro výstavbu mobilních protipovodňových opatření, jejich srovnání s klasickými způsoby ochranných zemních valů a hrází, stanovení charakteristik jednotlivých typů mobilních protipovodňových opatření a jejich budování, popis stávajících protipovodňových opatření na území Roudnice nad Labem.

# 3. Metodika

Charakteristika povodně, především pak následky povodně v srpnu 2002. Význam protipovodňových opatření. Porovnání možností mobilních protipovodňových bariér ve srovnání s hrází nebo valem. Popis jednotlivých typů mobilních bariér. Vzájemné srovnání jednotlivých typů mobilních bariér a jejich nejvhodnější použití pro určité podmínky. Posouzení stávajících opatření v Roudnici nad Labem

# 4. Povodně

## 4.1 Charakteristika povodně

Jedná se o průtokovou povodňovou vlnu představující zvětšení a následný pokles vodních stavů způsobenou dešti, táním sněhu apod. Zvětšení průtoku pak může probíhat v korytě toku a zároveň v záplavovém území. Průběh je dán odtokem vody z povodí a postup vody v korytě a inundačním území.

Tvar povodňové vlny lze vyjádřit hodnotami průtoků, určující její počátek, vrchol a konec. Pata vlny, tedy počátek, je časový údaj, během kterého velmi často došlo ke skokovému a prudkému zvětšování průtoků. Největší průtok je pak označován jako doba vrcholení nebo kulminace. Doba mezi počátkem povodně a vrcholem se nazývá doba stoupání. Jako konec povodně lze označit dobu, kdy se

rychlost poklesu průtoku sníží a dochází k mírnějšímu poklesu průtoku. Určení konce povodně je však velice obtížné z důvodu nevýraznosti a může tak docházet k různému určení konce povodně.

Jednou z nejvýznamnějších vlastností povodňové vlny je rychlost průběhu. Tento údaj je nutný především pro předpovědi jejich vývoje v čase. Jedná se o čas, za který proběhne povodeň mezi dvěma vodoměrnými stanicemi. Určení rychlosti se pak provádí určením z rozdílu času, kdy dosáhla vlna na těchto stanicích kulminačního průtoku. Tento časový údaj se posléze vydělí vzdáleností obou stanic. Tato rychlost je však pouze odhadem pro chování v dalších úsecích, kde má koryto a inundační oblast odlišné vlastnosti.

Hodnoty kulminačních průtoků během povodní pak určují maximální N-letý průtok v daném profilu, který je za toto období jednou dosažen nebo překročen. Tento průtok se však může reálně vyskytnout za toto období několikrát. (Online: Říční povodně, 2010)

### 4.1.1 Typy povodní

V České Republice se vyskytují tři základní typy povodní. Závisí pak především na meteorologických příčinách.

První příčinou pro vznik povodně jsou krátké velice intensivní srážky na malém území. Vyskytují se převážně v letním období a mají za následek především lokální bleskové povodně. Velké množství vody, které dopadlo na malé území, rychle naplní místní toky, protože půda není schopna tak velké množství srážek zachytit a dochází tak k povrchovému odtoku.

Další příčinou jsou vytrvalé deště. Tyto srážky dopadají na velké území a zároveň mají dlouhodobější charakter v rámci desítek hodin až dní. Velké množství vody, která stále dopadá na území, již není půda schopna pojmout a odtéká dále do toků. Množství srážek a délka trvání deště je pak rozhodujícím faktorem síly povodňové vlny.

Posledním typem povodně, které se u nás vyskytují, je povodeň způsobená táním sněhové pokrývky. Jsou závislé především na hodnotě sněhové pokrývky,

rychlosti oteplení, stavu půdy, rychlosti větru při vyšších teplotách a případně dešťovými srážkami. Vyskytují se převážně v jarních měsících. Povodeň také může způsobit led, který vytvoří na tocích ledové zácpy, což vede k omezení toku. (Kakos, 1978)

Tyto tři základní typy se však mohou vyskytovat v různých kombinacích, kdy jsou toky po lokálních intensivních deštích naplněny a na území začnou dopadat dlouho trvající deště apod.

Ve světě pak mohou být povodně způsobeny mnoha dalšími faktory. Například v Jižní a Jihovýchodní Asii jsou pravidelně způsobovány monzunovými dešti. V ojedinělých případech pak může povodeň způsobit například výbuch sopky, kdy se do toků dostane velké množství roztátého sněhu a bahna. Tyto povodně jsou o to ničivější, že se jedná spíše o bahno toky, plné sopečného popela a splaveného materiálu, než o klasické povodně.

## 4.2 Katastrofální povodně roku 2002

### 4.2.1 Škody způsobené povodní 2002

V srpnu roku 2002 postihly Českou republiku nejhorší povodně v moderní historii země. Jednalo se o nejhorší přírodní katastrofu postihující tuto zemi během několika posledních století. Odhadované škody způsobené touto povodní přesahovaly hodnotu 73 miliard korun. Zničeno nebo poškozeno, mnohdy i nenávratně, bylo několik tisíc budov. Nutná byla evakuace několika set tisíc obyvatel a 38 lidí během této povodně zahynulo. (L. AMBROZEK, 2004)

### 4.2.2 Klimatické příčiny vzniku povodně roku 2002

Jednalo se o velice silné povodně, kdy na mnoha tocích přesáhla hodnota průtoku N=100let, tedy maximální odhadovaný průtok na toku během 100 let. Bylo to způsobeno především vytrvalým neustávajícím deštěm, který nedovoloval půdě pojmout již další vlhkost, protože půda byla plně nasycená. Voda proto odtékala a hromadila se v tocích, kde neustávající déšť zvedal hladinu a koryta již nebyla schopna pojmout obrovské průtoky vody.

Během 6. srpna 2002 se nad Střední Evropu dostala oblast nízkého tlaku vzduchu, která původně vznikla v západní části Středozemního moře. Přinesla s sebou vytrvalý déšť doprovázený místy přívalovými dešti. Tyto srážky přetrvávaly až do ranních hodin 8. srpna. Během této doby dopadlo na povrch až 2,4 $km^3$ srážek.

Další oblast nízkého tlaku vzduchu zasáhla Českou republiku 11. srpna 2002. Přinesla s sebou opět vytrvalé srážky doprovázené bouřkami. Tyto srážky postupně zasáhly celou republiku. Srážky začaly polevovat až 14. srpna 2002. Během této doby dopadlo na povrch až 6,7$km^3$ srážek.

Kombinací pomalého přesunu přes území České republiky a také díky jejich rychlému sledu způsobily tyto brázdy nízkého tlaku obrovské srážkové úhrny, na některých místech byly dokonce rekordní za dobu měření. Největší množství srážek bylo zaznamenáno v Novohradských horách, kde během 10 dní napršelo 400mm srážek.(J. HLADNÝ a kol., 2004)

### 4.2.3 Lidský faktor jako příčina povodní

Velké množství škod způsobených povodní bylo zaviněno zásahem člověka do okolí toků nebo jejich přímou úpravou. Jedná se především o změnu směru toku a jeho zarovnání, dále velká plocha polí doprovázející tok, vykácení lesů a lužních lesů, což zásadně snížilo množství vody, která byla tak zachycena v těchto přirozených prostorech. Dále změna břehů a koryt především jejich pokryv a sklon.

Škody byly, také způsobeny nevhodným umístěním budov a infrastruktury v místech, kde mohlo dojít k přímému ohrožení povodní. Dalo se tomu, tak zabránit například omezením výstavky na fluviálních půdách, které vznikají naplavením a následnou sedimentací. Ovšem na místech, kde je vysoká eroze, jak větrná, tak vodní, docházelo k odnosu těchto povrchových fluviálních půd a nemuselo být zřejmé, že jde o historicky zaplavovanou oblast.

Zásahy člověka do toků ovšem nemusí být jen negativní. Díky 117 vybudovaným údolním nádržím a rybníkům s objemem nad 0,3 mil. $m^3$. Celkový ovladatelný objem těchto vodních ploch činí 2 530 mil. $m^3$. Dle manipulačních

řádů vodních děl byl ve 38 z těchto nádrží vymezen ochranný ovladatelný prostor o objemu 173,2 mil. $m^3$. Některé další nádrže bez vymezeného ochranného objemu ovšem tento ochranný prostor mají. Díky tomu byly tyto nádrže schopny zadržet a transformovat část povodňové vlny a snížit tak průtoky na tocích. Podobně pak fungovali retenční prostory na rybnících, především pak rozsáhlá rybniční síť v Jižních Čechách. Hodnocené nádrže tak byly schopny zachytit až 122,3 mil. $m^3$ retenčního prostoru. Díky předešlým suchům navíc byl částečně vyprázdněn i prostor zásobní, což poskytlo dalších 147,3 mil. $m^3$ volného prostoru. Přes tento volný objem, který byly nádrže schopny zachytit. Povodňová vlna byla tak velká, že nádrže zadržely pouze první povodňovou vlnou ze srážek v první oblasti nízkého tlaku. Následnou povodňovou vlnu již nebyly schopné zachytit. Jasně tak vyplývá, že účinek nádrží byl na snížení kulminačních průtoků kladný. (Mezinárodní komise pro ochranu Labe, 2004)

### 4.2.4 Průběh povodní 2002

Již během prvních dní těchto srážkových úhrnů se zvedla hladina mnoha toků především v jižní části republiky a nesla s sebou první povodňovou vlnu, která zasáhla přehrady Vltavské kaskády 8. srpna 2002, čímž značně snížila možnost zadržení druhé a podstatně silnější povodňové vlny způsobené druhou brázdou nízkého tlaku. Přes to však byli schopné přehrady Vltavské kaskády, především pak Lipno I a Orlík, zadržet až 950 $m^3.s^{-1}$ vody (Orlík 800 $m^3.s^{-1}$, Lipno I 150 $m^3.s^{-1}$). Orlík ovšem přesáhl povolenou hodnotu výšky hladiny o 1,5m.

Přes to všechno dosáhla povodňová vlna hodnot přesahujících na mnoha místech N>=1000let. V Praze v noci mezi 14. a 15. srpnem 2002 dosáhl kulminační průtok na Vltavě hodnot 5160 $m^3.s^{-1}$. V noci z 16. na 17. srpna 2002 se na řece Labi v Hřensku dostala do Německa, měla zde hodnotu téměř 4800 $m^3.s^{-1}$. V obou případech se jednalo o nejvyšší naměřený průtok. (J. HLADNÝ a kol., 2004)

### 4.2.5 Následky povodně 2002

Povodeň s sebou přinesla mnoho negativních následků. Jedním z nich bylo znečištění povrchových i podzemních vod v okolí toků. Podzemní zdroje vody byly znečištěny, jak přímým zaplavením studní, tak průsakem vody do zvodnělých vrstev. Jednalo se především o organické znečištění různými oxidy nebo sloučeninami uhlíku, ale také znečištění chemické, způsobené vytopením velkého množství podniků a rodinných domů, kde se do vody dostaly čisticí prostředky apod.

Dalším následkem byla geologická změna koryt a jejich okolí. Docházelo především k vymílání půdy a její následný transport a sedimentace v jiné části toku a jeho okolí. Dále mohlo docházet k posunu koryta nebo ke změně jeho trasy. Sesuvy břehů nebo jiných zasažených částí svahů byly dalším poměrně častým následkem. Docházelo také ke změně hydrogeologických podmínek, následovaly tak změny ve zvodnělých vrstvách a v rezervoárech podzemní vody a jejich propojení. (J. HLADNÝ a kol., 2004)

Pro většinu obyvatelstva byly však nejvíce patrné následky na infrastruktuře obcí a měst. Zničení nebo poškození budov, znehodnocení půdy na polích a především ztráty na životech.

Všechny tyto následky povodní přiměly vládu a obce k přehodnocení stávajících protipovodňových opatření a k vybudování nových tam, kde bylo zjevné, že jsou potřeba. Povodně roku 2006 pak ještě zvýšily důležitost těchto opatření, protože bylo zřejmé, že extrémní povodně nejsou v poslední době ničím výjimečným, obzvláště pak díky změně klimatu, která s sebou nese extrémy v počasí a klimatu jako takovém.

# 5. Protipovodňová opatření

## 5.1 Důvody výstavby protipovodňových opatření

Důvody výstavby protipovodňových opatření jsou patrné již z předchozího textu. Jde především o ochranu intravilánu obcí a měst, dále o ochranu infrastruktury a především o ochranu lidských životů.

Povodeň s sebou přináší velké množství škody především na majetku občanů a státu. Dochází k poškození staveb, které byly vystaveny působení vody a splavenin stržených proudem. Proud vody samotný je schopen stavbu strhnout a odnést jí dále po proudu nebo úplně zničit. Často tak dochází k fatálním poškození, která vedou ke stržení staveb. Podemletí, narušení nosných zdí apod. jsou důvod k následnému stržení staveb po povodni.

Zvýšení tečného napětí způsobené především zvýšením hloubky a rychlosti průtoku dochází ke zvýšení transportu dnových splavenin. Může docházet až k protržení pokryvné vrstvy, což vede k velkému nárůstu transportu dnových splavenin. Tyto splaveniny jsou kontaminované a je nutné je odstranit. Pokud by nedošlo k odstranění těchto naplavenin, může to vést ke zhoršení zdravotního stavu obyvatel. Voda a splaveniny obsahují totiž velké množství organických látek, které se do vody dostanou splachem půdy z polí, zastavěných území a vyplavením kanalizačních systémů. Množství pesticidů a chemických látek, jako například ropné látky, se do vody dostane vytopením průmyslových a chemických podniků v blízkosti toku. Tyto splaveniny se také usazují na úrodných půdách v okolí toku a znehodnocují tak jeho kvalitu, ale nezpůsobují tak značné finanční ztráty, proto se zemědělská půda ve většině případů nezahrnuje do protipovodňové ochrany. Stavby jsou po povodni nasáklé vodou, což podporuje výskyt plísní, které představují pro člověka také riziko, a je nutné je vysušit. Většina majetku uvnitř staveb je zničena vodou nebo je kontaminována a je nutné jeho odstranění. Mnoho lidí je zraněno a přijde o veškerý majetek. Někteří lidé přijdou při povodni i o život. (Mezinárodní komise pro ochranu Labe, 2004)

Povodním jako takovým se nedá v dnešní době nijak zabránit, ale je velké množství možností, jak zmírnit nebo téměř zamezit jejich následkům. Proto se začínají čím dál častěji budovat protipovodňová opatření, která jsou koncipována, tak aby odolala alespoň N=100let povodním. Jedná se o poslední ochranu obcí před hrozící katastrofou poté, co nejsou již přehrady a nádrže na tocích schopné efektivně regulovat průtok vody.

Je tedy nutné se snažit podporovat výstavbu protipovodňových opatření, která sníží následky této katastrofy na minimum.

## 5.2 Základní protipovodňová opatření

Jako protipovodňové opatření lze považovat jakýkoliv zásah do krajiny nebo toku, který zmírní nebo zabrání vzniku nebo šíření povodňové vlny. Jako základní protipovodňové opatření by se dala označit úprava samotného koryta a toku, řeky. Především pak ponechání slepých ramen navrácení toku do původního koryta a celková rekultivace toku a vegetačního pokryvu břehů a okolí vodního toku.

Další neméně důležitou funkci plní zadržovací nádrže, může se jednat o přehrady, rybníky apod. Většina nově vystavovaných vodních nádrží je již navrhováno tak, aby měly ochranný retenční prostor sloužící k zachycení části vody, která by mohla zvýšit hladinu toku.

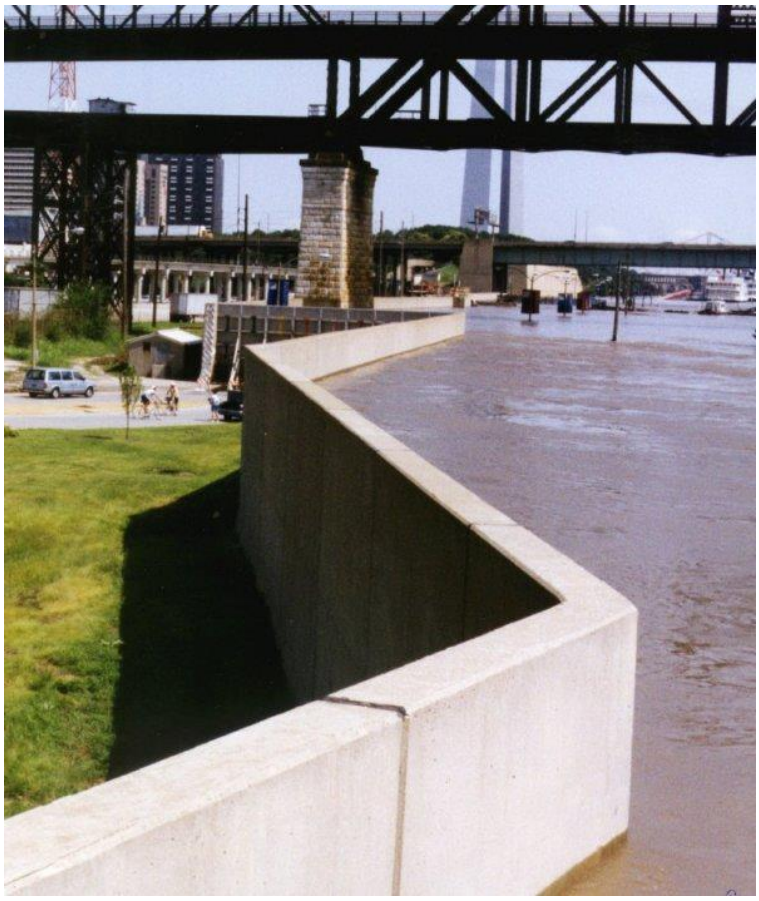
K ochraně intravilánu obce pak slouží především uměle vybudované protipovodňové stavby různého charakteru. Jedná se zejména o hráze a valy ze štěrku a zeminy, železniční náspy, železobetonové zdi, v místě komunikace protipovodňová vrata apod. (Mezinárodní komise pro ochranu Labe, 2004)

Někdy však není možná výstavba trvalých protipovodňových opatření, která by změnila ráz krajiny nebo by jinak zasahovala do fungování obce a jakkoliv by omezovala pohyb v určité oblasti. Pro tyto případy se tedy používají různé mobilní protipovodňové systémy, které nijak neomezují chod obce a jsou vystavovány jen v případě ohrožení. V případě kdy dojde k ohrožení, jsou přivezeny ze skladovacích prostorů a za pomoci hasičů a dobrovolníků jsou sestaveny během několika hodin. Společně pak s uzávěry na kanalizační síti jsou tyto systémy schopny zabránit povodňové vlně, aby se dostala do chráněných míst. Po skončení ohrožení je možné tyto systémy opětovně očistit, rozebrat a znovu uskladnit k dalšímu použití. Místo bude tak opět možné použít jako před jejich výstavbou. Mezi tyto systémy lze označit hráze z pytlů písku, plastové vaky plněné vodou a ocelovo-hliníkové svislé stěny, které jediné mají na místě své výstavby připravené základy zapuštěné do podloží.

*Obr. 1 Příklad mobilní protipovodňové stěny z lehkých slitin bránící rozvodněné Dunaji v zaplavení Rakouského města Grein. (strudengau.tv, 2013)*

### 5.2.1 Železobetonové ochranné zdi

Železobetonové protipovodňové zdi jsou budovány především v intravilánu obcí. Hlavním důvodem je jejich pevnost proti proudící vodě, která je vyšší než u hrází zemních. V mnoha zastavěných oblastech je tok značně upraven a dochází zde k vyšší rychlosti průtoků, proto je zde vhodnější použití těchto zdí. Dále železobetonové ochranné zdi lépe zapadají do městské struktury a nezabírají tolik prostoru jako hráze zemní. Zároveň mohou plnit funkci oplocení.



*Obr. 2 Železobetonová hráz v Britském městě Morpeth.(anonym)*

Zpravidla jsou tyto zdi tvořeny podzemní a nadzemní částí. Podzemní část brání průsakům podzemní vody a může zasahovat až několik metrů do podloží. Nadzemní část pak chrání před zvýšenou hladinou během povodně a může dosahovat výšky několika metrů v závislosti na kvalitě použitých materiálů a na navrhované ochranné výšce. Nadzemní část je také někdy tvořena poli z pevného skla nebo plexiskla umístěného mezi ocelové nebo betonové sloupky. Takto tvořené zdi propouští více světla a jsou více estetická než železobetonové zdi, zároveň však mají dostatečnou pevnost, aby odolaly zvýšené hladině vody. Výstavba samotných zdí je poměrně náročná, jak z technické stránky, tak ze stránky finanční. Jedná se však o velice účinné protipovodňové opatření. Jejich využitelnost je obdobná, jako u dále zmíněných hrází z lehkých slitin. S tím rozdílem, že se nejedná o hrazení mobilní, je tedy vystavováno celoročně povětrnostním podmínkám, vandalům, a může bránit v plném využívání území.

### 5.2.2 Ochranné hráze a zemní valy

Jedná se o vodohospodářská díla, která slouží především k ochraně sídel, průmyslových objektů, dopravních komunikací a dalších užitkových ploch za ochrannou hrází. Jedná se o zvýšený pás terénu, který vede po délce toku nebo je umístěn kolem chráněného území. Ochranné hráze lze považovat za první vodohospodářská díla, která byla budována již několik tisíc let před naším letopočtem. V té době byla však jejich výstavba spíše zakládána na empirických pozorováních. Znalosti hydrologie, hydrauliky a mechaniky zemin, které byly nutné pro výstavbu efektivních hrází, dosaženo jich bylo až v druhé polovině 20. století. Z tohoto důvodu řada starších hrází nevyhovuje moderním parametrům.(J. ŘÍHA, 2010)

### 5.2.3 Homogenní a nehomogenní hráze

Hráze jsou budovány především, pokud se v lokalitě nachází vhodný zdroj, z místních materiálů. Použití místních materiálů je ideální především z logistických a ekonomických důvodů, kdy není třeba přivážet velké množství zeminy a kamene ze vzdálených lokalit. Stavba zemních valů a hrází je na materiál velice náročná.

U homogenních hrází je celé těleso hráze tvořeno jedním druhem zeminy. Bývají to především hlinito-písčité štěrky nebo jílovito-písčité zeminy. Povrch je pak pokryt travním porostem.(J. VESELÝ, 2004)

Nehomogenní hráze jsou složeny z několika druhů materiálů. Většinou jde o kombinaci stabilizačního a těsnícího materiálu. V prvním případě je na povrchu návodní strany nehomogenní hráze materiál s těsnící funkcí. Ke koruně se pak šířka těsnícího materiálu snižuje. Těsnící materiál musí být alespoň dvojnásobně více nepropustný než materiál stabilizační. V druhém případě jde o těsnění vnitřní, kdy je těsnící materiál umístěn uvnitř hráze pod korunou. Výhodu pak představuje ochrana tohoto těsnícího prvku před vnějšími vlivy okolního prostředí. Výjimečně se vyskytuje i těsnění z umělých materiálů, může být opět povrchové nebo vnitřní. Mezi vnitřní lze použít ocelové, jílocementové nebo

betonové stěny. Vnější těsnění jsou pak často plastové folie nebo beton popř. asfaltobeton. (J. ŘÍHA, 2010)

### 5.2.4 Opevnění ochranných hrází

Povrchové opevnění ochranných hrází bývá nejčastěji vegetačním pokryvem. Tato opevnění jsou prováděna zejména, aby hráz lépe zapadla do krajiny, vytvoření stanovišť pro živočichy, protierozní ochrana atd. Zhoršuje však možnost vizuální kontroly hráze, může bránit obsluze v přístupu a může znemožňovat nebo omezovat určité činnosti během povodní.

Nejlepší variantou je ucelený travní drn, který poskytuje velice účinnou protierozní ochranu návodní strany, vzdušné strany i koruny hráze, pokud to podmínky dovolují. Zabarvení travního drnu může být indikátorem průsaků hráze a dobře prokořeněný travní drn zpevňuje povrch tělesa hráze. (J. ŘÍHA, 2014)

V místech kde je hráz vedena v namáhaných úsecích je vhodné zvolit jiný typ pokryvu. Mezi tyto úseky může patřit úsek s vysokou hodnotou sklonu návodního svahu, v úsecích s nárazovými břehy apod. V těchto místech je ideální použití odolnější materiál, který snese vyšší rychlost proudící vody a nedocházelo, tak k vymílání. Vhodné je použít například gabiony, štěrkový pohoz, rovnaninu z kamene, dlažbu z betonových nebo tvárnic přírodního kamene, popřípadě z prefabrikovaných desek apod. Je důležité, aby byly použité materiály správně umístěny a spojeny.

### 5.2.4 Podloží ochranných hrází

Před budováním samotné hráze je nutné posoudit charakteristiky podloží, především z hlediska pevnosti a propustnosti. Únosnost podloží vzhledem k tíze hráze musí být dostatečná. Je tedy nutné předem posoudit výšku hráze, sklon návodní a vzdušné strany hráze, zatížení koruny, zohlednění proudění vody během povodně a po jejím ukončení, a v neposlední řadě smyková pevnost zvolených materiálů. Samotná hráz by neměla vyvolávat rozdíly v napětí podloží, vedlo by to k nerovnoměrnému sedání tělesa hráze, což by mohlo vést až

k nestabilitě celé hráze. Je nutné tedy zohlednit postupné sedání hráze především v místech těžby nerostných surovin a v místech s rozdílným podložím. (J. ŘÍHA, 2014)

### 5.2.4 Nedostatky ochranných zemních hrází

Již povodeň v roce 2002 ukázala na mnoho nedostatků již vybudovaných ochranných hrází. Velice závažným nedostatkem je nedostatečná výška těchto hrází, které jsou koncipovány na menší výšku povodňové vlny. Dochází tak k jejich přelévání, s nímž je spojena zpětná eroze samotného tělesa hráze což vede k oslabení a může skončit až protržením hráze. Dále může docházet k vyplavování podloží a samotné hráze proudovým tlakem což může opět vést ke značnému oslabení a protržení. Průsaky jsou také jedním z nedostatku především starších hrází. Způsobeny jsou především nedostatečným zhutněním tělesa hráze a dále například napadení hráze drobnými hlodavci. Vestavby a nadstavby také spíše zhoršují vlastnosti ochranných hrází. Stromy a keře rostoucí na koruně hráze mohou také svými kořeny rozrušit těleso hráze, ve většině případů ovšem spíše hráz zpevní. (Mezinárodní komise pro ochranu Labe, 2004)

### 5.2.5 Shrnutí Zemních valů a hrází

Jedná se o jedna z nejběžnějších a nejstarších protipovodňových opatření. Ze všech nadzemních protipovodňových opatření nejlépe zapadají do krajiny. Mají vysokou odolnost proti tlaku vysoké hladiny vody. Proudící voda však může hráz podemlít a tím ji značně poškodit a způsobit její protržení. Je tedy vhodné tyto hráze budovat spíše v místech s předpokládanou nižší rychlostí průtoku. Tělesem hráze také může docházet ke značným průsakům, což také vede k poklesu integrity. Hráz je velice závislá na podloží. Pro její vytvoření je nutné přesunutí velkého množství materiálu z tohoto hlediska je poměrně náročná na výstavbu.

# 6. Pytlové hráze

Jedním z nejzákladnějších a zároveň poměrně účinných mobilních opatření před zaplavením patří správné použití pytlů plněných sypkým materiálem. Z pytlů je možné stavět různé typy zábran sloužících k utěsnění oken, dveří, kanálů apod. a dále je možné pytle použít při výstavbě improvizovaných protipovodňových hrází. Pro dostatečnou odolnost hráze proti tlaku vody, průsaku a celkové pevnosti je nutné dodržet zásady přípravy pytlů a jejich správné kladení do vazby vůči tlaku vody, proudu apod.

## 6.1 Příprava pytlů se sypkým materiálem

Pro výstavbu hráze je možné použít běžné pytle používané v zemědělství na ukládání brambor, obilí a jiných sypkých plodin a materiálů. Ideální je použití jutových pytlů nebo pytlů z hustě tkaných umělých vláken. Pytle z umělých PE folií nejsou vhodné pro svoji nedostatečnou pevnost a nedostatečnost těsnění a pevnosti vazby.

V zásadě se používají dva základní typy pytlů. Menší typ o šířce 40-50 cm, délce 60cm a hmotnosti od 20 do 25 kg se používá k utěsnění menších otvorů, jako jsou například okna dveře, kanály apod. Větší typ o šířce 60-70cm, délce 90cm a hmotnosti od 30 do 50 kg se používá ke tvorbě samotných protipovodňových hrází. Pro manipulaci s většími pytle je doporučena spolupráce alespoň dvou osob. (Ministerstvo vnitra, 2011)

## 6.2 Plánování před výstavbou hráze

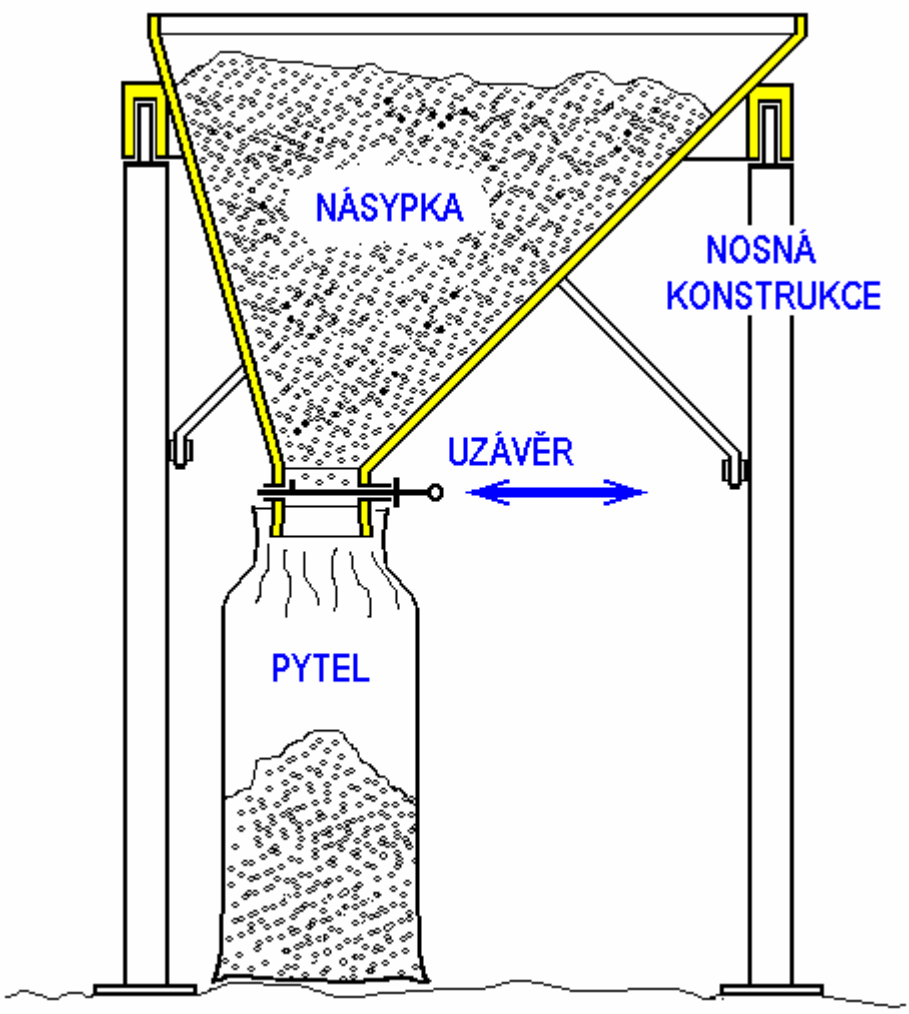
Je nutné předem naplánovat těžbu sypkého materiálu nebo způsob jeho získání z připravených zdrojů, jeho nakládku na nákladní automobily a samotnou přepravu. Dále je nutné zajistit techniku, pytle, nářadí a lidskou sílu. Zvolit ideální vzdálenost od místa těžby k místu plnění pytlů, aby byla zajištěna co nejvyšší efektivita a zároveň průchodnost terénu pro těžkou techniku. Měla by být také zajištěna správná konzistence materiálu. Materiál musí být dostatečně sypký, nesmí obsahovat velké kameny nebo ekologicky škodlivé látky. Neměl by být

snadno propustný pro vodu. Nejvhodnější je použití zeminy, písčité zeminy nebo naplavených písků s příměsí jílu méně vhodný je pak čistý křemičitý písek, který má zvýšenou propustnost vody. Je nutné také předem provést důkladnou prohlídku terénu v místě hráze. Zaměřit se na podloží a trasy kanalizace a ostatní infrastruktury v místě hráze.

## 6.3 Způsoby plnění pytlů

Pytle lze plnit několika různými způsoby. Nejzákladnějším způsobem je plnění pytlů přímo materiálem z korby nákladních automobilů nebo navezeným materiálem. Dále je možné využít mobilních plniček, které jsou připraveny pro tyto případy ve skladech. Tento způsob plnění je až trojnásobně efektivnější než klasické ruční plnění z korby nebo navezeného materiálu. Časový odhad pro naplnění jednoho pytle nelze přesně určit, je závislá především na velikosti pytle, fyzické vzdálenosti, zručnosti a únavě. Odhaduje se ovšem, že by naplnění a přesunutí velkého pytle do vzdálenosti 20m mělo trvat zhruba 1-3 minuty.

Pytle plníme takovým způsobem, aby byla hmotnost jednotlivých pytlů úměrná fyzické zdatnosti jednotlivých osob, které budou s pytli manipulovat. Mnohem důležitější je ovšem plnit pytle tak, aby měl pytel schopnost těsnit ve vazbě s ostatními pytli. Při nadměrném naplnění není pytel tvárný a nedokáže se přizpůsobit tvarem vazbě na okolní pytle. Způsobí tak netěsnost hráze. Méně naplněný pytel pak vede ke zbytečně nadměrné spotřebě pytlů a může vést k následnému nedostatku. V ideálním případě jsou pytle přibližně stejně naplněny, lépe na sebe dosedají a samotná výstavba hráze je jednodušší. (F. KOVAŘÍK)



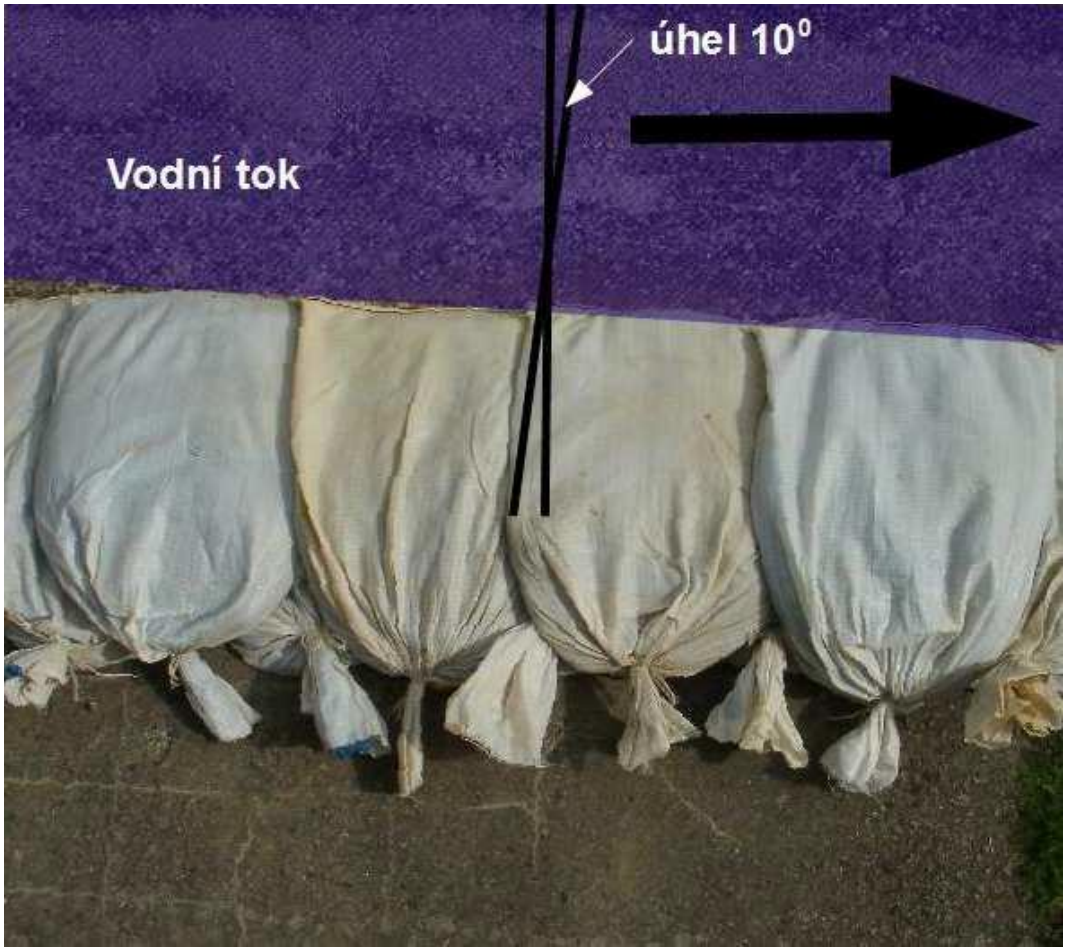

*Obr. 3 Schéma plnění pytlů na sypký materiál za pomocí násypky. (Kovařík, F.)*

## 6.4 Výstavba hráze z pytlů

Způsob kladení pytlů je dán výškou hráze. Pro nižší výšky se používá jednořadé kladení, pro vyšší hráze pak víceřadé a víceřadé kombinované.

Jednořadé kladení se často používá při zvyšování stávajících sypaných hrází a valů nebo při výstavbě menších a nižších hrází. Maximální stabilní výška je do 1,5m. Pytle jsou pokládány na další vrstvu tak, aby docházelo k překryvu spáru pytlů z nižší vrstvy obdobně, jako je to patrné u většiny cihlových zdí. Docílí se tak zvýšení celkové pevnosti hráze. Pytle je nutné vždy ukládat mírně šikmo po směru proudění vody v odklonu zhruba 10 stupňů, pata pytle musí směřovat k vodě. Je tím ovlivněno proudění vody kolem pat pytlů. Množství kalu unášeného proudící vodou se usazuje ve spárách, které vznikly ve vazbě pytlů. Těsnost hráze je tak zvýšena přetlakem stoupající vody. První vrstvu je v ideálním

případě, umožňuje-li to podklad, vázat do terénu, tak že je první vrstva umístěna do zahloubení v zemině. Je tak zvýšena pevnost spojení první vrstvy s terénem. Po vytyčení směru hráze se začne s výstavbou od spodního konce proti směru toku vody. Nutné je stavět vrstvu po vrstvě, aby se hráz postupně zvyšovala s rostoucí hladinou vody. (Ministerstvo vnitra, 2011)




*Obr. 4 Naznačení správného kladení pytlů s ohledem na vodní tok. (Kovařík, F.)*

Víceřadé hráze se budují převážně v místech s vyšším množstvím a rychlostí proudící vody. Předpokládá se, že hráz bude muset zadržet alespoň jeden metr hloubky proudící vody. Pokládání pytlů a jejich vazba se provádí tak, aby zavázání pytlů bylo umístěno vždy směrem od proudící vody. Obdobně jako u jednořadého kladení jsou vrstvy kladeny tak, aby překrývaly spáry spodní vrstvy. Úvazky pytlů je nutné přesadit přes paty pytlů řady vnitřní, docílí se tím zpevnění hráze, kdy nebude mezi jednotlivými řadami volný prostor, který by mohl narušit stabilitu hráze. Velmi často se poslední řada pytlů položí kolmo na směr hráze.

Překryje se tím tak spojení obou řad pytlů. Doporučená maximální výška těchto hrází je 1,5m.

Kombinované víceřadé hráze jsou prováděny především, když je nutné docílit co nejvyšší stability a pevnosti hráze. Vrstvy se střídají tak, že se jedna vrstva pokládá ve směru hráze a další pak kolmo na směr hráze, obdobně jako při stavbě zděných zdí. Docílí se tak zvýšené pevnosti celé stavby. Vhodné je také vysypávat prostor mezi jednotlivými pytli zeminou, docílí se tak zvýšené pevnosti a snížené propustnosti. Při výstavbě vyšších hrází je možné vazbu několikanásobně zesílit, při čemž by měl být poměr šířky k výšce zhruba 1 : 3 pokud použijeme velké pytle. Lze tak postavit mnohem vyšší hráz než v předešlých dvou případech. Výsledná hráz tak může být několik metrů vysoká, kdy se bude od paty hráze směrem nahoru postupně zužovat. Takovouto hráz je možné postavit pouze, pokud nedochází k jejímu podemílání, tedy v místech kde je voda klidná nebo kde proud působí podél hráze.

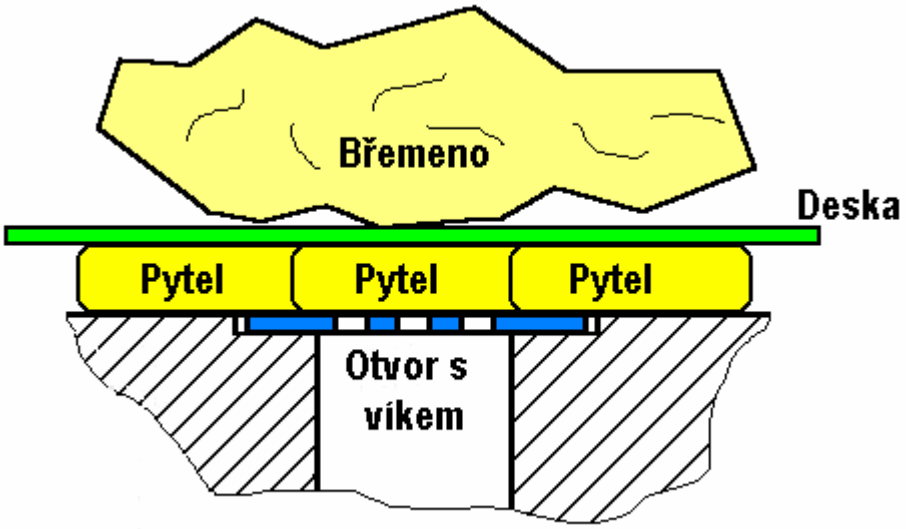
## 6.5 Další možnosti využití pytlů se sypkým materiálem

Kromě stavby hrází se pytle využívají především k utěsňování otvorů, jako jsou dveře, okna, kanalizace apod. Pytle se pokládají těsně vedle sebe tak, aby vyplnili celý prostor. Paty pytlů lehce přesahují přes okraj otvoru směrem k vodě. Nelze však provést účinné utěsnění v celé výšce otvoru vzhledem k poslední vrstvě. Pokud je nutné provést celkové utěsnění otvoru, je vhodnější použít utěsnění, kdy jsou pytle přiloženy z vnějšku a mohou tak pokrýt celou výšku otvoru. Je nutné provést přesah, alespoň 25cm na obě strany otvoru, aby se zajistila dostatečná pevnost a nepropustnost.

Dále je možné za pomocí pytlů a desky nebo prken zakrýt větší otvor. Kdy pytle zakrývají celý prostor desky a tlačí jí tak na otvor. Pytle musí na obě strany přesahovat, protože by deska sama o sobě nebyla schopna účinně těsnit.

Je možné také za pomocí pytlů utěsnit otvory, které jsou v zemi, jako například poklopy kanalizace apod. Deska nebo poklop je přiložena na otvor a následně je na ni umístěna jedna až dvě vrstvy pytlů, opět s přesahem aby byla zajištěna co nejvyšší těsnost. Pytle se umisťují patou proti směru toku vody. Dále

je možné pro zvýšení těsnících vlastností pytle ještě překrýt deskou nebo prkny, na které je umístěna další vrstva pytlů jako zátěž. Lze použít i jiné těžké předměty místo poslední vrstvy pytlů, jako například těžké kameny apod.




*Obr. 5 Schéma utěsnění vertikálního otvoru za pomocí pytlů se sypkým materiálem. (Kovařík, F.)*

Pytle je také možné použít k ochraně zdroje vody, jako je studna. Je vytvořen kruh kolem skruže studny. Kdy paty pytlů směřují směrem ven. Kolem skruže je ponechán prostor k možnému odběru prosáklé povodňové vody a co nejvíce tak snížit kontaminaci vody ve studni. (F. KOVAŘÍK)

## 6.6 Shrnutí využitelnosti pytlů se sypkým materiálem

Ze všech mobilních protipovodňových opatření se dá říci, že se jedná o nejvíce variabilní a dostupný způsob mobilní ochrany před záplavou. Pytle je možné použít mnoha odlišnými způsoby, především pak k utěsnění jednotlivých otvorů nebo vyplnění míst kudy by mohla proudit voda. Mohou sloužit k utěsnění kanalizace apod. Je možné s jejich pomocí zvýšit již stávající protipovodňová opatření nebo z nich vybudovat hráze.

Z mobilních protipovodňových opatření se ovšem jedná o nejpomalejší způsob ochrany ve větším měřítku, kdy je zapotřebí velké množství lidské síly, mechanizace a organizace k vybudování hrází apod. Je tedy vhodné používat pytle

pouze v případech, není-li k dispozici jiný z dalších mobilních systémů, nebo pokud by tyto systémy nebyly schopny účinně ochránit oblast, z důvodů přílišné různorodosti terénu apod.

Hráze z pytlů svojí pevností nedosahují vlastností, jaké mají hráze sypané. Ovšem i přes to jsou tyto hráze schopny zadržet velké množství vody a ochránit tak majetek.

# 7. Tiger Dam System

## 7.1 Základní informace

Systém Tiger Dam byl vyvinut v Kanadě již v roce 1990. Jedná se především o náhradní a modernější alternativu za pytle s pískem. Systém jako takový využívá velkých plastových tubusů plněných vodou, které jsou spojeny a ukotveny k zemi a vytvoří tak pevnou hráz bránící zvýšené hladině vody v průtoku do míst, která se snažíme hrází ochránit. Ve Střední Evropě je výhradním dodavatelem tohoto systému společnost JOHNNY SERVIS. (J. KUČERA, 2011)

*Obr. 6 Využití systému Tiger Dam k ochraně před zvýšenou hladinou vody.(anonym)*

## 7.2 Technický popis tubusů hráze

Tubusy jsou 15,25m dlouhé o průměru 0,48m. Vyrobené jsou z pevného PVC, které je vyztuženo skleněnými vlákny a potaženo vinylem. Jeden nenaplněný tubus váží okolo 27 kilogramů. Po napuštění se celková hmotnost tubusu může zvýšit až na hodnotu kolem 2800 kg, v závislosti na použité vodě, a pojme vodu o objemu 28hl. Tubusy jsou po celé délce svařené, stejně tomu tak je i na koncích. Ve stěnách jsou dva otvory sloužící k napouštění (černý) a k vypouštění vody nebo větrání (žlutý). Hráz je možné různě tvarovat díky její pružné konstrukci. Délka hráze není nijak omezena, je tedy možné postavit hráz od základní délky 15m (délka tubusu) až do délky několika kilometrů. Maximální navrhovaná výška hráze je až 5m, což se v praxi příliš často nepoužívá, standardně se výška pohybuje od 0,85 m (2 vrstvy tubusů) do 2,1m (5 vrstev tubusů). Jeden tubus nahradí okolo 500 pytlů s pískem a zároveň je možné jeden tubus napustit během 90 sekund, což značně urychlí výstavbu hráze a zároveň sníží nároky na výstavbu.

*Obr. 7 Vypuštěné tubusy připravené k napuštění, nalevo spojení za pomocí manžety 2 tubusů a jejich utěsnění na koncích také manžetou, napravo samostatný tubus utěsněný na obou koncích manžetou. (Johny Servis, 2009)*

K napouštění se používají v zásadě standardní hasičské hadice napojená na hydrant a z druhé strany na napouštěcí ventil za pomocí adaptéru s kulovým uzávěrem. Při použití například samotné povodňové vody je potřeba čerpadlo se sací hadicí opatřenou na konci košovým sítem.(Johny Servis, 2009)

*Obr. 8 Napouštění tubusů za pomoci adaptéru na klasické hasičské hadici. (Johny Servis, 2009)*

K podélnému spojování jednotlivých tubusů slouží 1,8m dlouhé 0,45m široké manžety, které jsou vyrobeny ze stejného materiálu jako samotný tubus. Na koncích jsou manžety otevřeny, aby se do nich daly zasunout konce dvou spojovaných tubusů. Manžety slouží také ke skladování tubusů, kdy jsou po vypuštění a srolování umístěny do těchto manžet, je tím usnadněna manipulace a zmenšen nutný skladovací prostor.

Zpevnění celé hráze je prováděno za pomocí spojovacích popruhů, které jsou vyrobeny z nylonové tkaniny. Široké jsou 5cm a umisťují se standardně 1,5m od sebe. Hráze je těmito popruhy svázána dohromady což značně zvýší pevnost celé konstrukce.

Dále se používá polyethylenová folie, která se prokládá mezi jednotlivé tubusy hráze. Používá se kvůli zabránění průsaků vody hrází. Je ovšem možné hráz vybudovat i bez této folie bude tak sice docházet k mírným průsakům vody, hráz ovšem i nadále bude schopna zadržet účinně vodu.

K zajištění stability hráze se dále používají plastové klíny, které jsou využívány především ve svažitém terénu. Brání posunu hráze a zajišťují jí tak

zvýšenou stabilitu. Používají se také při plnění více vrstev, omezí se tak možnost sesunutí při plnění. (J. KUČERA, 2011)

*Obr. 9 Pokládání druhé vrstvy tubusů s jasně patrnými spojovacími popruhy a plastovými klíny, pro omezení pohybu při napouštění. (Johny Servis, 2009)*

Jako další stabilizační součástí se mohou použít závrtné kotvy, materiál těchto kotev se může lišit v závislosti na podloží do, kterého budou kotvy umístěny, délka kotvy je 66cm. K tubusům jsou připojeny ocelovými lanky a zabraňují tak posunu způsobeném tlakem povodňové vody.

Často jsou dodávány také elektrické vrtáky sloužící k upevnění kotev do podloží. Dále záplaty sloužící k opravě protržených tubusů a v neposlední řadě sada pro práci s jednotlivými ventily na hrázi. Dodávány jsou také čerpadla pro napouštění tubusů společně s vybavením sloužícím k jejich provozu.

## 7.3 Postup výstavby hráze

### 7.3.1 Postup před montáží

Jako první je nutné zajistit povolení pro výstavbu této hráze. Musí se určit zdroj vody, kterým bude hráz plněna, díky variabilitě hráze může posloužit i samotná povodňová voda. Určí se počáteční bod hráze a směr jakým bude hráz vedena. Před výstavbou je také nutné rozhodnou zda bude použita plastová folie proti průsaku. Musí se spočítat potřebné množství tubusů v závislosti na délce a výšce hráze. Odhadnout sklon hráze, protože by hráz měla být plněna od spodní části. V neposlední řadě se projde a prohledá trasa vedení hráze, jestli se zde nevyskytují nějaké ostré předměty, které by mohly hráz poškodit. Veškeré předměty, které by mohly při výstavbě vadit nebo by mohly snížit účinnost hráze, je nutné také odstranit.

*Obr. 10 Spojování jednotlivých vrstev spojovacími popruhy čtyřvrstvé hráze. (International Flood Control, 2014)*

### 7.3.2 Samotný průběh výstavby

Při použití folie proti průsaku, se umístí folie na zem jako první. Na folii se rozloží ve vzdálenosti 1,5m od sebe spojovací a upevňovací popruhy. Všechny konce popruhů musí směřovat stejným směrem. Rozloží se první tubus tak, aby nebylo nezměněno umístění popruhů. Z pravidla je strana s napouštěcím ventilem umístěna do nižší části svahu. Nejdůležitějším faktorem pro umístění napouštěcího ventilu je co nejvíce ulehčit napouštění a vypouštění tubusů.

Na koncových stranách hráze se složí konce tubusů a je na nasazena manžetu. Přesahující část manžety se složí pod tubus, váha tubusu pak zajistí, že se manžeta nebude pohybovat. Při spojování dvou tubusů je nasazena nejprve na jeden manžeta. Po té je přes první tubus položen druhý zhruba do překryvu 75cm. Tubusy jsou přehnuty přes sebe, až vzniknou 4 vrstvy, zajistí se tak co největší pevnost spoje. V dalším kroku se přetáhne manžeta přes tento spoj. Takto se postupuje, až do dosažení požadované délky hráze.

*Obr. 11 Přeložení dvou tubusů před fixací manžetou. (Johny Servis, 2009)*

Před plnění se vloží pod tubus klíny proti směru svahu, aby nedocházelo k jeho sesunu ze svahu, před tím, než je spojen s ostatními. Nyní je možné začít postupně plnit tubusy vodou, začíná se z pravidla ve směru od níže položené strany hráze. Jakmile jsou naplněny všechny tubusy spodní řady, je možné je svázat do hromady za pomocí popruhů. Další vrstvu se začíná obdobně jen s tím rozdílem, že v další vrstvě je vždy o jednu řadu tubusů méně, ve finální podobě má hráz v průřezu tvar trojúhelníku. Pokud byla použita nepropustná folie, její konec se přeloží přes stranu, která bude vystavena vodě a zatíží jakýmkoliv dostupným závažím. K dosažení maximální pevnosti a odolnosti jsou do povrchu země zapuštěny kotvy a ocelovými lanky spojeny s hrází.

Při vypouštění hráze se postupuje opačným způsobem, než při její výstavbě. Voda je vyčerpána za pomocí čerpadla z tubusů. Tubusy jsou následně odděleny od sebe, složeny a uskladněny pro další použití. Tuto hráz je možné použít opakovaně. Životnost je odhadována na více jak 17 let. (Johny Servis, 2009)

## 7.4 Další možné využití systému Tiger Dam

Je možné použít variantu tubusů, které jsou plněny betonem. Tyto hráze jsou mnohonásobně pevnější a hmotnější, po navezení zeminy se stávají pevnou

protipovodňovou barierou, která nenarušuje ráz krajiny. Materiál je zároveň zvolen, tak aby nepoškozoval přírodu.

Systém Tiger Dam je také vhodný pro krátkodobé odklonění toku nebo ochraně stavby před vodou. Může tak sloužit například při výstavbě mostních konstrukcí, lávek nebo samotných protipovodňových opatření.

Během povodní dochází často ke kontaminace pitné vody nebo k poškození vodovodního řadu zásobujícího určitou oblast. Je tedy možné použít vodu, kterou byla hráz naplněna jako náhradní dočasný zdroj vody pro tuto lokalitu. Hráz však musela být naplněna vodou pitnou. Díky své nepropustnosti a materiálu, ze kterého je hráz vyrobena, by neměla být voda v tubusech nijak znehodnocena.

Hráze je také možné využít pro potřeby závlahy. Zejména pak pro přepravu vody nebo odklon části toku. Jsou tak vytvořeny provisorní kanály. Není tedy nutná výstavba zavlažovacích kanálu, které by byly využívány jen v krátkém časovém úseku během roku. Je možné také hráze použít jako zadržovací nádrže pro pozdější potřebu vody.

Další možností využití je ochrana kanalizační sítě v době nadměrných srážek, kdy hráze slouží k tomu, aby se velké množství dešťové vody nedostalo do kanalizace. Většina obcí používá kombinovanou kanalizační síť a nadměrný průtok by způsobil, že by čistírna vody nebyla schopna veškerou vodu vyčistit a dešťová voda smíšená s vodou odpadní by se dostala do vodních toků.

Mohou také sloužit při úniku nebezpečných chemických látek v továrnách, kdy zachytí povrchový odtok této chemikálie a není tak nutné provádět zemní práce, vhodné je to především tam, kde je nepropustné podloží a tyto látky postupují po povrchu. (J. KUČERA, 2011)

## 7.5 Shrnutí Systému Tiger Dam

Jedná se o finančně velice výhodné řešení pro ochranu před záplavou. Zastává tak především funkci pytlů s pískem. Zároveň je však mnohem jednodušší na výstavbu a také mnohem rychlejší. Pro výstavbu je potřeba mnohem méně lidí.

Hráz jako celek je také mnohem pevnější. Další výhodu představuje její variabilita. Hráz může kopírovat téměř jakýkoliv terén a je možné jí vystavit do výšky až 5m což značně převyšuje možnosti hráze z pytlů písku. I přes to, že je materiál hráze velice odolný, může však dojít k jeho protržení. Toto protržení může vést k celkové ztrátě integrity, což by mohlo vést až ke katastrofální destabilizaci hráze a její protržení. Možnost opětovného použití z ní však dělají velice užitečnou v mnoha různých situacích.

*Obr. 12 Finální podoba čtyřvrstvé hráze zatížená náporem vody. (International Flood Control, 2014)*

## 8. Systémy svislých ocelovo-hliníkový stěn

Tento systém patří do kategorie mobilních protipovodňových opatření. Na rozdíl od předchozích systémů však potřebuje tento systém určitou stavební přípravu. Systém funguje jako mobilní stěna, která je při povodňové situaci vybudována na připravených základech. Stěna zpravidla sestává z ocelových sloupků, které jsou připevněny k připraveným základům, proto je možné stěny stavět pouze na místech, kde byly tyto základy navrženy a vybudovány. Je tedy předem nutné zvážit umístění těchto stěn a jejich přínos při ochraně určité oblasti. Dále do tohoto systému paří hradidlové prvky, které se horizontálně umisťují mezi sloupky. Hradidla bývají zpravidla hliníkové slitiny, které zajišťují dostatečnou pevnost a zároveň mají nízkou hmotnost usnadňující manipulaci.

*Obr. 13 Systém svislých stěn z lehkých slitin chránící Rakouské město Grein před rozvodněnou Dunají. (strudengau.tv, 2013)*

Mezi zástupce v České republice lze zmínit například systém od společnosti Eko-system, který je použit pro ochranu hlavního města Prahy. Dále pak SDP-Kovo, Lekosta s.r.o, Noah Water Systems a další.

## 8.1 Základní informace o systému Eko-system

Jedná se o mobilní hrazení, které ovšem na rozdíl od systému Tiger Dam musí být postaven na předem určených místech, jelikož jsou nutné předem vybudované základy, do kterých bude systém upevněn. Tento systém funguje jako stěna o libovolné délce (podle základů), která je schopna po namontování zadržet zvýšenou hladinu toku. Zároveň je však systém díky základům schopen zadržet i spodní vodu.

*Obr. 14 Svislá stěna od firmy Eko-system umístěná v Praze. (Eko-system, 2010)*

## 8.2 Pevné prvky systému

Základním prvkem je do podloží zapuštěná podzemní stěna, která slouží k ochraně před spodní vodou. Tato stěna se zvedá společně s rostoucí hladinou toku. Hloubka stěny je ovlivněna především podložím a výšce, do které bude vystaveno hrazení. Na armaturu podzemní stěny jsou připojeny díly mobilního hrazení. Mezi tyto díly patří především kotevní desky, které jsou určeny k připevnění mobilních sloupků (slupic). Dále pak boční vedení sloužící k napojení na různé trvalé stavby, které v tomto případě slouží také jako část protipovodňového opatření. Jedná se především o různé stavby, zídky, mostní pilíře apod. Naposledy pak spodní dosedací prahy. Tyto prahy jsou umístěny mezi kotevními deskami a slouží jako dosedací plocha pro vodorovná hradidla. Tyto prahy bývají vyrobeny z betonu, ocele nebo kamene.

*Obr. 15 Podzemní část připravované protipovodňové zdi.(anonym, 2013)*

## 6.3 Konstrukce

Hlavními prvky jsou svislé sloupky (slupice), hradidlo a při vyšších výškách hrazení také podpěry.

Hradidla jsou vodorovné části stěny. Vkládají se mezi jednotlivé sloupky nebo mezi sloupek a boční vedení. Jako materiál se používá hliníkový tažený profil (slitina hliníku), který má ideální vlastnosti. Je dostatečně pevný aby udržel tlak vody a zároveň je dostatečně lehký na to aby se s ním dalo jednoduše manipulovat. Profily mají 4 základní rozměry 50/215, 90/165, 100/200 a 150/200mm. Délka profilů se pohybuje v zásadě do délky 3,6m, především kvůli zachování pevnosti a skladovatelnosti. Spodní část jednotlivých hradidel je opatřena těsněním, aby nedocházelo k průsaku. K zachování těsnosti hradidel slouží také stahovací zařízení umístěné ve sloupcích nebo bočních připojeních. Slouží ke stažení jednotlivých hradidel.

*Obr. 16 Vkládání jednotlivých hradidel mezi slupici a boční vedení. (Eko-system, 2010)*

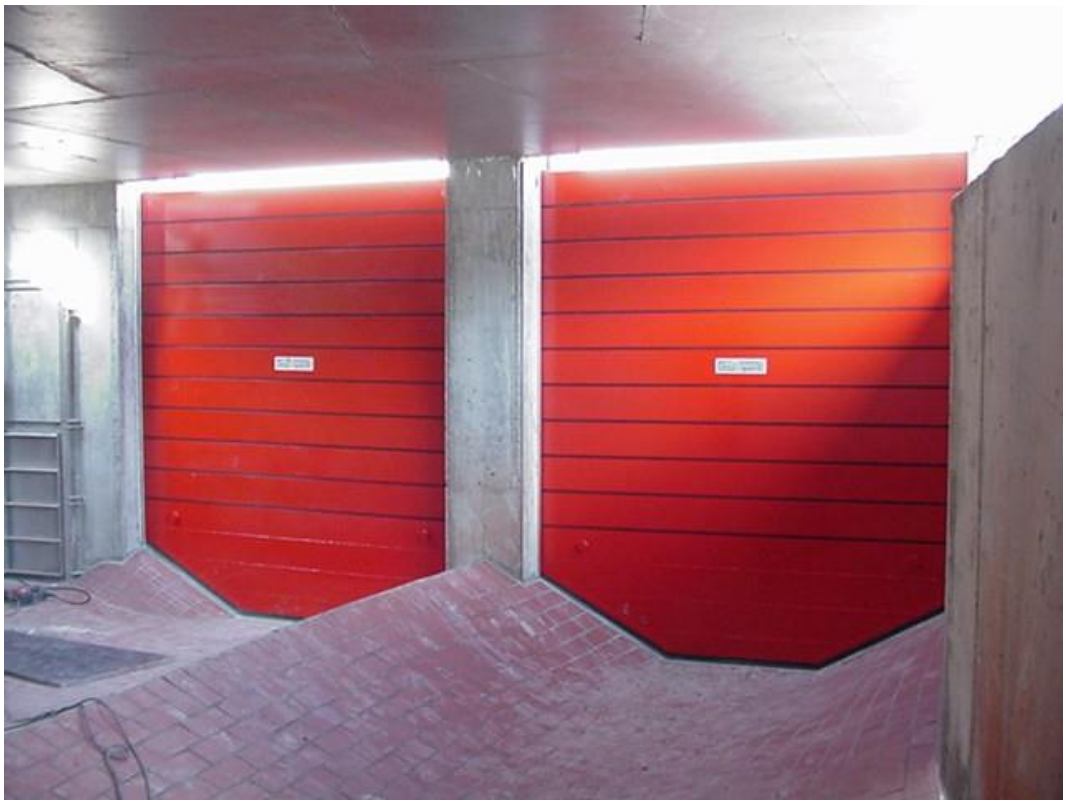
Svislé sloupky (slupice) slouží jako nosná část celé konstrukce. Vyrobeny jsou z pozinkované oceli. Do základů s kotevní deskou jsou přichyceny za pomoci šroubů. Po upevnění těchto svislých sloupků jsou do nich zasouvána jednotlivá hradidla směrem ze shora, jelikož sloupky mají průřez tvaru H. Pokud stěna nepřesahuje výšku 2,6m není nutné používat podpěry pro jednotlivé sloupky. Při přesažení výšky 2,6m je nutné osadit podpěry, které zlepšují stabilitu jednotlivých sloupků. Jedná se o ocelové svařence, které se ke sloupkům připevňují za pomoci čepů.

*Obr. 17 Vzdušná strana stěny s jasně patrnými podpěrami pro zajištění co největší pevnosti. (Eko-system, 2006)*

Montáž celého systému je velice rychlá a není potřeba žádné speciální těžké techniky. Jednotlivé komponenty je schopen usazovat i nezaškolený člověk. Jednotlivá hradidla je možné umístit kamkoliv v jednom systému, nemůže tedy docházet ke špatnému umístění.

## 8.4 Kanálové uzávěrky hradidlového typu

Dalším prvkem této ochrany mohou být i hradidlové kanálové uzávěry, které slouží na stejném principu, jako předchozí protipovodňová stěna jen s tím rozdílem, že se hradidla zasunují do bočního vedení, které je v případě kruhového nebo vejčitého tvaru stoky, lomené. Je zde také použito stahovací zařízení určené k zajištění jednotlivých hradidel.



*Obr. 18 Dvojice kanálových uzávěrů. (Eko-system, 2010)*

## 8.5 Výhody a nevýhody systému svislých stěn

Mezi hlavní výhody této konstrukce patří možnost montáže a demontáže pouze v ohrožení nebo zkoušce systému. Nijak tak nebrání v běžném používání prostorů, ve kterých je stěna v případě potřeby budována. Není nijak narušen ráz krajiny. Je tedy možné tato místa používat i k dalším účelům bez jakýchkoliv nebo s minimálními omezeními.

Oproti sypaným hrázím a valům sloužícím jako protipovodňová opatření jsou zemní a stavební práce spojené s tímto systémem mnohem méně náročná na realizaci a materiál. Díky těmto základů jsou tyto systémy mnohem stabilnější a omezují nebo zabraňují průsakům podzemní vody. Zároveň je však není možné vybudovat do jakýchkoliv míst. Samotné podloží může být velice omezujícím faktorem. Stěny je také možné vybudovat pouze na již vybudované základy, je tedy nutné předem zhodnotit, jak velký dopad mohou mít na ochranu před povodňovou vlnou a v jakých místech je ideální jejich výstavba, jak z ekonomického tak ochranného hlediska a jejich začlenění do ostatních protipovodňových opatření.

*Obr. 19 Protipovodňová stěna u Rakouského města Grein, s jen minimálními průsaky, chránící před zvýšenou hladinou řeky Dunaj. (strudengau.tv, 2013)*

Další výhodou je možnost jejich opětovného použití a uskladnění. Tyto systémy jsou v zásadě vyráběny z pevných a zároveň lehkých materiálů, jako jsou například různé slitiny hliníku apod. Je tedy možné je vybudovat i bez použití těžké techniky. Systémy jsou navrženy tak, aby je byl schopný postavit i neškolený jedinec. Jednotlivá hradidla a sloupky jsou zároveň zaměnitelná, aby byla co nejvíce urychlena výstavba a nebylo nutné hledat specifické komponenty. Výstavba celé konstrukce by tak měla zabrat pouze několik hodin i za pomoci neškolených dobrovolníků. Ke zrychlení výstavby systému zkouší sbory hasičů, dobrovolných hasičů a některých složek armády výstavbu těchto stěn i bez ohrožení povodňovou vlnou. Zpravidla je to prováděno alespoň jednou za rok. Systém je natolik variabilní, že je možné měnit výšku hrazení s postupující výškou. Lze tedy nejprve vystavět stěnu v celé délce do určité výšky a poté následně zvyšovat přidáváním hradidel až do maximální navrhované výšky pro určitou oblast. Po použití je možné jednotlivé komponenty systému opětovně rozebrat, očistit a přemístit do místa uskladnění. Prostor, který tak tento systém zabíral, je opět možné volně využívat.

Mezi nevýhody tohoto systému oproti trvalým hrázím a valům patří nutnost jejich vybudování. Při rychlém nástupu povodňové vlny, tak nemusí být stěna včas postavena. Dále i přes pevnost materiálů nedosahuje takové pevnosti,

jako masivní sypaná hráz o stejné výšce, ovšem odolnost proti rychle protékající vodě je vyšší u těchto hrází, nedochází totiž k odnosu materiálu hráze. Při porušení nějakého z komponentů nebo závadě na něm může dojít až k protržení stěny, což by s sebou neslo fatální následky. Oproti ostatním mobilním systémům, pak největší nevýhodu představuje nutnost vybudování základů. Snižuje se tak variabilita a je nutné tyto základy předem vytvořit.

*Obr. 20 Muž sekající trávník za protipovodňovou stěnou v Rakouském městě Stein-Krems* (Leonhard Foeger, 2013)

## 9. Čerpací stanice a čerpadla

Mezi nedílnou složku mobilních protipovodňových opatření patří také různé typy vodních čerpadel. Tyto čerpadla slouží především v místech průsaků hrází, stěn z pytlů se sypkým materiálem apod. Kde odčerpávají vodu zpět to toku. Dále jsou využívány na stokové síti, odčerpávají vodu, která by se jinak dostala kanalizační sítí za ostatní protipovodňová hrazení nebo by mohla poškodit hrazení v kanalizační síti. V neposlední řadě pak slouží k odčerpávání vody z již zatopených míst, především pak sklepů a podzemních částí domů po opadu povodňové vlny.

Nejvhodnější je použití benzinových čerpadel, která nejsou závislá na dodávce elektrické energie. Během výpadků dodávky elektrického proudu, nebo

pokud není možné se jakkoliv napojit jsou mnohem vhodnější. Zpravidla bývají také mnohem výkonnější než čerpadla elektrická. Těmito čerpadly je vyzbrojena většina hasičských jednotek. Elektrická čerpadla, je možné napájet benzinovou centrálou. Jak jsem již zmínil, jsou však méně výkonná a nejsou tolik vhodná k použití.

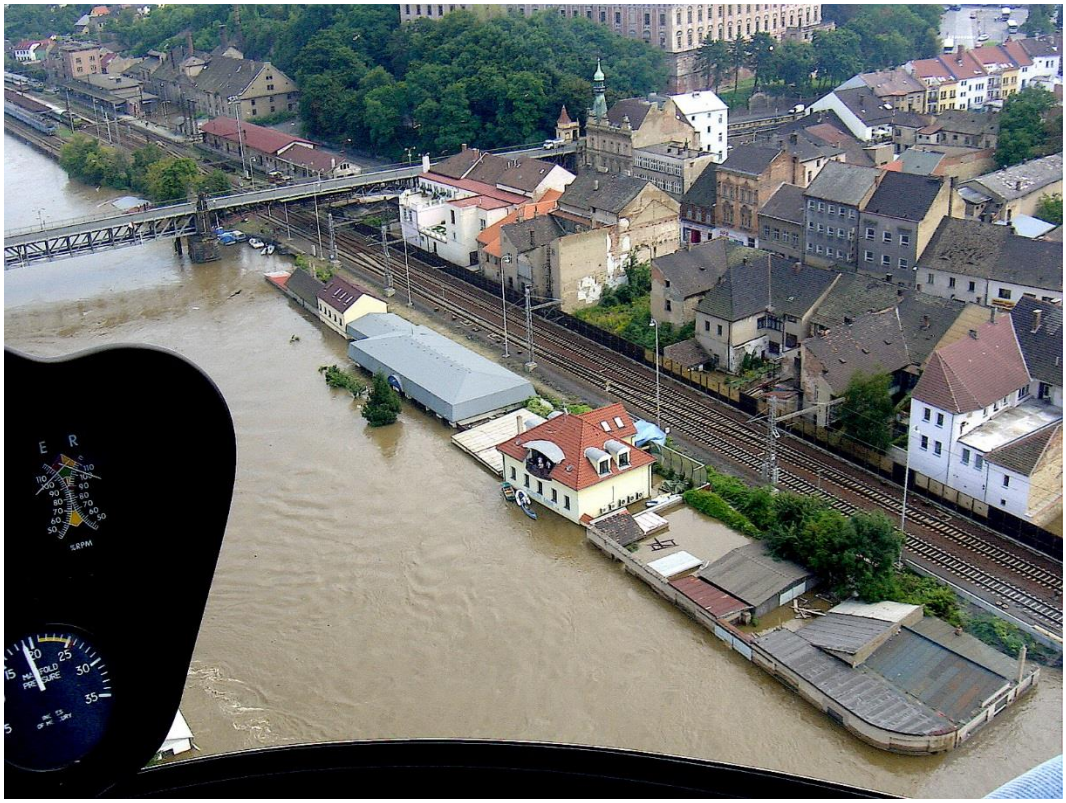
Pro odčerpání kalné vody ze sklepů a níže položených míst po opadu vody jsou nejvhodnější ponorná kalová čerpadla. Dokáží vyčerpat vodu obsahující velký podíl bahna a nečistot. Ideální je použít taková čerpadla, která mohou běžet na sucho a neporouchají se, kdy odsáváme posledních několik centimetrů vody.

# 10. Využití protipovodňových opatření v Roudnici nad Labem

*Obr. 21 Pohled na zatopené gymnasium (vpravo) a kostel Narození Pany Marie v Roudnici nad Labem (vlevo). (Anonym, 2002)*

Roudnice nad Labem a její okolí bylo silně zasaženo povodněmi v letech 2002 a 2006. Bylo tedy nutné přijít s řešením ochrany města a snížení škod, které

by mohly budoucí povodně způsobit. Ve městě byly povodní zasaženy především níže položené oblasti na levém břehu řeky Labe. Jednalo se převážně o ulice Havlíčkova a Poděbradova, které leží vlevo za železničním náspem, který leží mezi plavebním kanálem řeky Labe a městem, zde došlo například k zatopení nádražní budovy, střední odborné školy a gymnasia. Mezi železničním náspem a plavebním kanálem byly vodě plně vystaveny budovy Povodí Labe a plavební komory. Na pravém břehu došlo k výraznějšímu rozlivu, jelikož zde terén nestoupá tak prudce, jako na levém břehu. Došlo zde k zatopení plaveckého bazénu, baseballového a fotbalového hřiště, sportovní haly a dalších sportovišť apod. Povodeň v roce 2002 na pravé straně poškodila severní předmostí a komunikaci vedoucí na most.



*Obr. 22 Povodeň 2002 V Roudnici nad Labem. Na obrázku jsou budovy patřící především státnímu podniku Povodí Labe. (Anonym, 2002)*

## 10.1 Popis zájmových území

Při povodni jsou ohroženy obě strany okolí toku řeky Labe. Na pravé straně řeky je to inundační ploché území, kde se nachází několik staveb v lužním

lese. Tyto stavby slouží především ke sportovním účelům. Je zde umístěna malá vodní elektrárna, plavecký bazén, baseballové hřiště, fotbalové hřiště atd. Toto inundační území je protnuto vysokým náspem silničního mostu přes řeku Labe. Během povodní dochází k zatopení až stovek metrů širokého pásu území od pravého břehu řeky podle velikosti povodně. Na levém břehu se jedná především o zastavěné území města Roudnice nad Labem. V tomto území vede vysoký železniční násep vzdálený několik desítek metrů od laterálního kanálu plavebních komor VD Roudnice nad Labem. Mezi tímto náspem a kanálem jsou především budovy státního podniku Povodí Labe, správa toku, plavebních komor apod. Za náspem ve směru od řeky jsou nejvíce ohroženy ulice Havlíčkova a Poděbradova, které vedou ve směru náspu. Během povodní byly budovy obou těchto ulic vystaveny zatopení, patří mezi ně i střední škola a gymnasium. Dále směrem do města dochází k poměrně strmému stoupání terénu, díky němuž se voda nemůže šířit dále do intravilánu města.

*Obr. 23 Plavební komory v Roudnici nad Labem, které nejsou pod zvýšenou hladinou Labe vůbec patrné. (Anonym, 2002)*

## 10.2 Protipovodňová opatření provedená v Roudnici nad Labem

### 10.2.1 Opatření k ochraně náspu severního předmostí na pravém břehu

Jedná se o ochranu velmi důležitého mostu spojující oba břehy řeky. Předmostí, tvořeno zemním násypem starým přibližně 100 let, bylo v roce 2002 vystaveno povodni a částečně poškozeno. Tento slabý článek bylo nutné ochránit před účinky vzduté vody a zvýšit tak jeho stabilitu během záplav.

Jako ochrana byla zvolena stabilizace návodní paty severního předmostí. Štětovnicová stěna o délce 7m v koruně opatřenou železobetonovou římsou. Dále došlo k odtěžení části svahu, aby bylo možné provést návodní těsnění tělesa náspu. Líc návodního svahu byl znovu dosypán filtračním a zatěžovacím přísypem o šířce 2-3m. Sklon svahu v těchto místech byl snížen na hodnotu 1:2,5 a byl opevněn dlažbou z lomového kamene do výšky 155,85 m.n.m. , což odpovídá výšce N= Q100 let. Jako součást tohoto opatření lze považovat i umístění zpětné klapky na propustku potrubí DN = 1000 odvodňující rybníky, které prochází tělesem náspu silničního předmostí. (M. DADEJÍK, 2010)

### 10.2.2 Ochranná opatření na kanalizační síti

Jednalo se o výstavbu 6 nových šachet na kanalizační síti z toho 3 v ulici Poděbradova a 3 v ulici Havlíčkova. Nově vybudované hradítkové šachty jsou vybaveny zpětnou klapkou a vřetenovým šoupětem. Dále úprava 3 již vybudovaných kanalizačních šachet, aby bylo možné umožnit čerpání vody přes linii protipovodňových opatření do Labe. Úprava rozdělovacích komor v Jateční a Náplavní ulici umožnila možnost osazení těsnícími vaky na odlehčovacím potrubí.

### 10.2.3 Přeložka vodovodního řadu a sdělovacích kabelů

Tento přivaděč pitné vody DN 350 pro Roudnici nad Labem nacházející se v části paty severního předmostí, bylo nutné přeložit o 11 – 12 m ve směru vedení. Délka přeložky z tvárné litiny DN 400 je 156,2 m. Nedochází tak ke

křížení s linií protipovodňových opatření. Společně s přeložkou přivaděče pitné vody v severním předmostí bylo nutné přeložení svazků sdělovacích kabelů na třech místech.

### 10.2.4 Úprava území

V první řadě bylo nutné odstranění zhruba 100 kusů náletových dřevin včetně pařezů rostoucích na návodním svahu náspu severního předmostí a příjezdové komunikace. Zároveň došlo k rekonstrukci schodiště širokého 3m a stezky široké 1,5m, které se nacházeli na návodní straně náspu předmostí. Dále bylo nutné vysadit zhruba 120ks autochtonních stromů a křovin. (Vodohospodářská kancelář, 2014)

### 10.2.5 Mobilní opatření použitá na území Roudnice nad Labem

Hlavní součástí mobilních protipovodňových opatření v Roudnici nad Labem je systém vaků Tiger Dam od firmy Johnny servis. Dále jako doplněk, především pro těsnění otvorů a dále netěsností vaků, slouží pytle plněné sypkým materiálem. Dále pak mobilní čerpadla sloužící k odčerpání vody z již zatopených míst.

V Poděbradově ulici bude vybudována 15m dlouhá stěna složena ze 3 kusů vaků. Dosáhne tedy výšky okolo 90-95 cm. Na obou koncích dojde k dotěsnění pytli se sypkým materiálem. Před samotnou výstavbou bude nutné všechny nerovnosti v trase protipovodňové bariery zakrýt těsnícími podložkami.

V Havlíčkově ulici bude nutné vybudovat zhruba 300m dlouhou hráz tvořenou vaky systému Tiger Dam. K tomuto účelu by mělo být potřeba využití 115 ks vaků. Pro N= Q100 let bude nutné hráz vybudovat až do výšky 2m, což odpovídá 5 vrstvám vaků. (Hydroprojekt CZ, 2009)

Dohromady pak Roudnice disponuje 123ks tubusů, kdy 5 slouží jako náhradní. Tyto tubusy jsou uskladněny a mohou sloužit i na jiných než navrhovaných místech a mohou být využity i k jiným účelům. (Vodohospodářská kancelář, 2014)

### 10.3 Shrnutí protipovodňových opatření v Roudnici nad Labem

Po zkušenostech s povodněmi v roce 2002 a 2006, byly provedeny kroky, které znatelně zvýšily ochranu města před možnou další extrémní povodní. Došlo především k posílení severního předmostí mostu spojujícího oba břehy řeky Labe. Dále došlo k zajištění ochrany kanalizační sítě a k ochraně ulic Poděbradova a Havlíčkova. Kvůli velice technicky a finančně náročné ochraně levého nábřeží, zůstalo toto nábřeží nechráněno, jedná se zejména o budovy státního podniku Povodí Labe. Ze stejného důvodu zůstala nechráněna pravá strana břehu, kde se vyskytují zejména sportoviště. Hlavní část města a především pak obydlené oblasti jsou chráněny. Opatření lze tedy považovat za účinná, pokud budou plně funkční dle návrhu.

# 11. Závěr

S postupujícím časem je stále patrnější, že výskyt extrémních povodní již není tak neobvyklým úkazem. Nutnost ochrany před touto přírodní katastrofou je zřejmý. V dnešní době však existuje již mnoho různých způsobů, jak omezit škody způsobené povodní. Nejdůležitějším prvkem je prevence, plánování a samotná realizace výstavby protipovodňových opatření, chránící nejen majetek, ale především životy lidí žijících v zasažitelných oblastech.

Práce je zaměřena především na možnost výstavby mobilních protipovodňových opatření. Tato opatření zajišťují, na rozdíl od běžných opatření, neomezený chod oblastí, kde budou v případě nutnosti vybudována. Část těchto opatření lze improvizovaně použít, tak aby chránila území v závislosti na postupující povodni, nebo mohou plnit řadu dalších funkcí. Je tedy možné je využít i mimo rámec jejich původního návrhu a umístění. Převážně pak u mobilních stěn z lehkých slitin, lze tato opatření považovat za plnohodnotné ochranné prvky srovnatelné se zemními valy nebo železobetonovými ochrannými zdmi.

Ochrana majetku a především obyvatelstva před povodní by měla být prioritou každé obce a města, která byla v nedávné době povodní zasažena. Nejen, že jsou značně sníženy náklady na následné odklízení škod, ale jsou ochráněny životy lidí. S možnostmi dnešních materiálů a konstrukcí, která nemusí nijak zasahovat do chodu obce a města, by tedy měla být protipovodňová opatření v rámci možností budována všude, kde hrozí zatopení převážně obydleného nebo jinak důležitého intravilánu obcí.

## 12. Použité zdroje a literatura:


1) HLADNÝ, Josef, Martina KRÁTKÁ a Ladislav KAŠPÁREK. *August 2002 catastrophic flood in the Czech Republic*. Prague: Ministry of Environment of the Czech Republic, c2004. ISBN 80-7212-343-2.

2) KUČERA, Jiří. *Protipovodňové zábrany s novou alternativou. Stavitel*. 2011, **19**(10), 26-27. ISSN 1210-4825.

3) Eko-system. *www.eko-system.cz.* [online]. ©2010 [cit. 2016-03-06]. Dostupné z: *http://www.eko-system.cz/protipovodnove-steny-a-mobilni-hrazeni/*

4) *Dokumentace povodně v srpnu 2002 v povodí Labe*. Magdeburk: Mezinárodní komise pro ochranu Labe, 2004.

5) KOVAŘÍK, František. *Kladení pytlů se sypkým materiálem na stavbu protipovodňových hrází* – Ministerstvo vnitra – Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru České republiky, Institut ochrany obyvatelstva Lázně Bohdaneč

6) KAKOS, V. (1978): *Hydrometeorologická charakteristika povodní na území ČSR*. VTEI, č. 4, s. 127-131.

7) TANGUY, Jean-Michel. *Environmental hydraulics*. 1st pub. London: ISTE, 2010. ISBN 978-1-84821-152-0.

8) Vodohospodářská zařízení I. *www.hgf10.vsb.cz.* [online]. 9.1.2013 [cit. 2016-04-02]. Dostupné z: *http://hgf10.vsb.cz/546/VHZ1/vyuka/vodohosp/prehrady.html*

9) ŘÍHA, Jaromír. *Hradec Králové Spojená Orlice: Zhodnocení vlivu vegetace na stav ochranných hrází a na rizika při převádění povodňových průtoků* [online]. Brno, 2014 [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: http://www.pla.cz/Orlice2.pdf

10) VESELÝ, Jaroslav. *Vodohospodářské stavby*. 2004. Ústav vodních staveb, Vysoké Učení Technické v Brně

11) ŘÍHA, Jaromír. *Ochranné hráze na vodních tocích*. 1. vyd. Praha: Grada, 2010. ISBN 978-80-247-3570-2.

12) Ministerstvo vnitra – Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru České republiky. *Stavba protipovodňových hrází z pytlů plněných pískem.* 2011

13) Johny Servis, *montážní manuál Tiger Dam Systém*, Beroun, 2009

14) *Roudnice nad Labem, protipovodňová opatření na Labi, Variantní ře.ení PPO v ulicích Havlíčkova a Poděbradova*, DÚR, Hydroprojekt CZ, a.s., říjen 2009.

15) *Roudnice nad Labem, protipovodňová opatření na Labi, I. etapa. Podklad pro posudek strategického experta*, AW-DAD, s.r.o., Ing. M. Dadejík, únor 2010.

*16)* Vhkcz, Vodohospodářská kancelář, Ústí nad Labem. *Provozní řád vodního díla, LABE, Roudnice nad Labem, protipovodňová opatření.* Ústí nad Labem, Leden 2014

*17) Říční Povodně: Základní charakteristika říční povodně* [online]. 2010 [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: http://www.velkawoda.unas.cz/charakteristika.htm

## 12.1 Seznam obrázků

Obr. 1 *Lidovky.cz, strudengau.tv*, [online]. 2013 [cit. 2016-04-09]. Dostupné z: http://www.lidovky.cz/grein-delily-od-zkazy-jen-centimetry-zabrany-nastesti-vydrzely-p82-/zpravy-svet.aspx?c=A130605_204154_ln_zahranici_jzl

Obr. 2 ANONYM. *coolgeography.co.uk* [online]. [cit. 9-4-2016]. Dostupný z: WWW:http://www.coolgeography.co.uk/GCSE/AQA/Water%20on%20the%20Land/Managing%20Floods/Managing%20flooding.htm

Obr. 3 KOVAŘÍK, František. *Kladení pytlů se sypkým materiálem na stavbu protipovodňových hrází* – Ministerstvo vnitra – Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru České republiky, Institut ochrany obyvatelstva Lázně Bohdaneč

Obr. 4 KOVAŘÍK, František. *Kladení pytlů se sypkým materiálem na stavbu protipovodňových hrází* – Ministerstvo vnitra – Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru České republiky, Institut ochrany obyvatelstva Lázně Bohdaneč

Obr. 5 KOVAŘÍK, František. *Kladení pytlů se sypkým materiálem na stavbu protipovodňových hrází* – Ministerstvo vnitra – Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru České republiky, Institut ochrany obyvatelstva Lázně Bohdaneč

Obr. 6 ANONYM. *European Flood Control GMBH* [online]. [cit. 9-4-2016]. Dostupný z WWW:http://www.eufloodcontrol.eu/tigerdam/index.php?&include=3

Obr. 7 Johny Servis, *montážní manuál Tiger Dam Systém*, Beroun, 2009

Obr. 8 Johny Servis, *montážní manuál Tiger Dam Systém*, Beroun, 2009

Obr. 9 Johny Servis, *montážní manuál Tiger Dam Systém*, Beroun, 2009

Obr. 10 INTERNATIONAL FLOOD CONTROL. *Parlamentní listy.cz* [online]. [cit. 9-4-2016]. Dostupný z WWW:http://www.parlamentnilisty.cz/zpravy/tiskovezpravy/Tiger-Dam-vodou-proti-velke-vode-319842

Obr. 11 Johny Servis, *montážní manuál Tiger Dam Systém*, Beroun, 2009

Obr. 12 INTERNATIONAL FLOOD CONTROL. *Parlamentní listy.cz* [online]. [cit. 9-4-2016]. Dostupný z WWW:http://www.parlamentnilisty.cz/zpravy/tiskovezpravy/Tiger-Dam-vodou-proti-velke-vode-319842

Obr. 13 *Lidovky.cz, strudengau.tv,* [online]. 2013 [cit. 2016-04-09]. Dostupné z: http://www.lidovky.cz/grein-delily-od-zkazy-jen-centimetry-zabrany-nastesti-vydrzely-p82-/zpravy-svet.aspx?c=A130605_204154_ln_zahranici_jzl

Obr. 14 E*ko-system* [online]. 2010[cit. 9-4-2016]. Dostupný na WWW: http://www.eko-system.cz/clanky/detail/troja-br-praha-etapa-0007-rok-2010.htm

Obr. 15 ANONYM. *Povodí Vltavy* [online]. 2013 [cit. 9-4-2016]. Dostupný z WWW: http://www.pvl.cz/podpora-prevence-pred-povodnemi-ii/prehled-staveb-protipovodnovych-opatreni/45-plana-nad-luznici---protipovodnova-opatreni

Obr. 16 *Eko-system* [online]. 2010[cit. 9-4-2016]. Dostupný na WWW: http://www.eko-system.cz/clanky/detail/troja-br-praha-etapa-0007-rok-2010.htm

Obr. 17 E*ko-system* [online]. 2006[cit. 9-4-2016]. Dostupný na WWW: http://www.eko-system.cz/clanky/detail/holesovice-stromovka-br-praha-etapa-0004-rok-2006.htm

Obr. 18 E*ko-system* [online]. 2010[cit. 9-4-2016]. Dostupný na WWW: http://www.eko-system.cz/kanalove-uzavery/

Obr. 19 *Lidovky.cz, strudengau.tv,* [online]. 2013 [cit. 2016-04-09]. Dostupné z: http://www.lidovky.cz/grein-delily-od-zkazy-jen-centimetry-zabrany-nastesti-vydrzely-p82-/zpravy-svet.aspx?c=A130605_204154_ln_zahranici_jzl

Obr. 20 *IDnes.cz / Zprávy,* Leonhard Foeger, Reuters [online]. 2013 [cit. 2016-04-09]. Dostupné z: http://zpravy.idnes.cz/rakusan-sekal-travu-i-u-protipovodnove-zdi-fkm-/zahranicni.aspx?c=A130606_151818_zahranicni_jav

Obr. 21 Letecký snímek zaplavené Roudnice nad Labem, Kostel, neznámí autor, srpen 2002

Obr. 22 Letecký snímek zaplavené Roudnice nad Labem, Povodí Labe, neznámí autor, srpen 2002

Obr. 23 Letecký snímek zaplavené Roudnice nad Labem, Plavební komory, neznámí autor, srpen 2002

# 13. Seznam příloh

1) Podélný profil mobilní hráze
2) Nákres protipovodňových opatření Poděbradova ulice
3) Nákres protipovodňových opatření Havlíčkova ulice
4) Povodňové hladiny Labe – Podélný profil, říční km 70-80
5) Povodňové hladiny Labe – Podélný profil, říční km 80-90
6) Povodňové hladiny Labe – Podélný profil, říční km 90-100
7) Orientační znázornění hloubek ve vybraných úsecích při povodni 2002 (Q = 4700 $m^3/s$)