

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE**

**Fakulta životního prostředí**

**Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování**



**Protipovodňová opatření obce Nové Kopisty při soutoku Ohře a Labe**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Petr Bašta

Bakalant: Tomáš Hora

2015

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Petra Bašty, a že jsem uvedl všechny literární prameny, ze kterých jsem čerpal.

V Praze 14.4.2015

.....

Podpis

## Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Petru Baštovi za odborné vedení této práce a za nadlidskou trpělivost, kterou se mnou musel mít.

V Praze dne 14.4.2015

.....

Podpis

## ABSTRAKT

Tato práce se zabývá problematikou protipovodňové ochrany. Je zde popsán vznik povodní, a poté detailně rozebrány všechny prvky protipovodňové ochrany. Dále se posuzuje zájmové území, vesnice Nové Kopisty, které se nacházejí blízko u soutoku Labe a Ohře na Litoměřicku. Tato obec je zaplavována pouze při významných povodních postihujících celé povodí Labe. Cílem práce je reálně posoudit možnost výstavby protipovodňového opatření, které by efektivně snížilo, či úplně redukovalo škody vzniklé na majetku obyvatel této obce.

### Klíčová slova

Povodeň, protipovodňové opatření, soutok, Nové Kopisty

Bachelor's thesis:

Flood protection arrangements of Nové Kopisty village at the junction of the Elbe and Ohře river

#### ABSTRACT

This bachelor's thesis is about the issue of the flood protection arrangements. We can see a summary, characterizing the emergence of floods, followed by description the flood protection arrangements in details. The area of interest is the next subject we can read about. It is called Nové Kopisty village and it is situated near of a junction of the Elbe and the Ohře river next to Litoměřice town. This village is flooded only by the great floods, which are impacting the whole Elbe river basin. As the goals of this thesis i was told to realistically consider the possibility of building flood protection arrangements, which would reduce the damages to property of citizens partly or even completely.

#### Keywords

Flood, flood protection arrangements, junction, Nové Kopisty village

## SLOVNÍČEK POJMŮ

1. **Doba odtoku** je čas, který částice vody potřebuje k přemístění se z místa dopadu na povrch povodí do zkoumaného povrchu (Slavíková, 2007).
2. **Drsnost koryta** vodního toku. Tekoucí voda je zbrzděna třením např. u dna řeky nebo na břehových svazích. Drsnost kontaktní plochy je měřítkem síly tření. Hrubé kusy kamení nebo prahy na dně zvyšují drsnost koryta. V prostoru mezi hrázemi brzdí tekoucí vodu vegetace. V důsledku vysoké drsnosti se redukuje průměrná průtočná rychlost. Při stejném odtoku se zvyšuje stav vody (Slavíková, 2007).
3. **Hloubková eroze**. Silou vody se po dně řek pohybují částičky půdy, kameny a štěrky (tj. transportují se pevné látky). Čím výše stoupá povodeň, tím více pevných látek se může dát do pohybu. Když voda opadne, materiál se opět usadí. Odnáší-li voda z konkrétního místa více látek, než se zde usazuje, prohlubuje se trvale koryto řeky. Tento proces se nazývá hloubková eroze (Slavíková, 2007).
4. **Infiltrace** (vsakování do půdního prostředí) je proces, při němž se dešťová voda vsakuje do půdy a vyplňuje její póry. Je-li půda málo propustná, nemůže se voda dobře vsakovat a vzniká větší povrchový odtok. Podíl infiltrace udává množství vody, které se za určitou časovou jednotku může vsáknout do půdy (Slavíková, 2007).
5. **Intercepce** (zadržetí/zachycení) je podíl dešťových srážek, který nejdříve ulpí na rostlinách a poté se odpaří - tzn. nikdy nedopadne na povrch půdy. V lese může intercepce činit 20 až 50 % ročních srážek. Při jednotlivých srážkách může být takto zachyceno až 5 l/m<sup>2</sup> vody. Při velkých deštích se však význam intercepce snižuje (Slavíková, 2007).
6. **Odlehčovací komora** je objekt na jednotné stokové síti, který umožňuje během dešťového odtoku oddělit část průtoku odpadní vody, kterou nelze z kapacitních důvodů čistit na čistírně odpadních vod (Slavíková, 2007).
7. **Odtok** je ta část srážek, která odtече z území síti potoků a řek. Měří se jako množství vody za jednotku času a udává se v metrech krychlových za sekundu (m<sup>3</sup>/s). Odtok se stanovuje nepřímou přes rychlost vody. Průměrná průtoková rychlost se násobí plochou průtokového profilu (m<sup>2</sup> x m/s = m<sup>3</sup>/s). Tato měření se provádějí ve větších časových odstupech při rozdílných stavech vody. Na jejich základě se sestavuje odtoková křivka. Ke každému naměřenému stavu vody může být přiřazen na základě této odtokové křivky příslušný odtok (Slavíková, 2007).
8. **Odtokové poměry** jsou všechny pochody a procesy, které určují podíl srážek, který v povodí není zadržet a odtéká. Patří sem např. zadržování vody v terénu, půdě a vegetaci, vsakování, odpařování aj. (Slavíková, 2007).
9. **Poldr** je ohrázený prostor, který je schopen zadržet část povodňového průtoku (Slavíková, 2007).

10. **Povodeň** je fáze hydrologického režimu vodního toku, která se vyznačuje náhlým, obvykle krátkodobým zvýšením průtoků a vodních stavů. Zvýšení je vyvoláno deštěmi nebo táním sněhu a může se vyskytnout vícekrát během roku v různých ročních obdobích. Přechodné výrazné zvýšení hladiny toku, způsobené náhlým zvětšením průtoků nebo dočasným zmenšením průtočnosti koryta (např. ledovou zácpou); zpravidla působí povodeň na některých úsecích toku hospodářské škody podle stupně vybudované ochrany. (ČSN 736510)

11. **Povodí** je základní hydrologickou oblastí, ve které se zkoumá odtokový proces a zjišťuje se vzájemný vztah bilančních prvků. Je to území hydrologicky uzavřené, nepřitéká do něj žádná voda po povrchu ani pod povrchem (Hrádek, 2008)

12. **Povodňová vlna**. Stav vody se během povodně po řadu dní nepřetržitě zaznamenává. Vzniká takzvaná linie průchodu povodně ve specifickém tvaru vlny. Celkový proces vzestupu a sestupu (poklesu) povodně se nazývá povodňová vlna (Slavíková, 2007).

13. **Retence**. V blízkosti koryta řeky a v říční nivě se během záplav přechodně zadržuje část vody. To vede k tomu, že voda po proudu řeky stoupá pomaleji. Povodňová vlna se zpomalí a sníží. Retence je tím větší, čím menší je spád dotčeného území (Slavíková, 2007).

14. **Retenční prostor** souží k přechodnému zadržení části povodně. Je aktivován zaplavením popřípadě řízeným napuštěním (Slavíková, 2007).

15. **Revitalizace** je zpětné odstranění napřímení vodního toku nebo přeložení koryta řeky s cílem obnovit její přirozené průtočné poměry a podpořit vlastní vývoj vodního toku. Revitalizacemi v širším smyslu se rozumějí takové zásahy, které posilují přírodní a krajinné hodnoty a současně příznivě vodohospodářské funkce vodního prostředí (Slavíková, 2007).

16. **Říční niva** je území kolem vodního toku, jež je utvářeno jeho dynamikou. Zahrnuje plochy, které přirozenou cestou ovlivňuje povodeň, buď přímo zaplavením, nebo nepřímo stoupajícími stavy vody. Říční niva je často identická se dnem údolí (Slavíková, 2007).

17. **Stoletý odtok** je odtok, který je na konkrétní měrné stanici překročen v průměru každých sto let. Protože se jedná o průměrnou hodnotu, může se tento odtok vyskytnout za sto let i několikrát. Je-li měrná stanice v provozu po dobu kratší než sto let, stanoví se tento odtok na základě statistických propočtů (Slavíková, 2007).

18. **Stoletá voda** (povodeň) - viz Stoletý odtok. Dále dle ČHMÚ: stoletá povodeň je taková povodeň, jejíž kulminační průtok je v dlouhodobém průměru dosažen nebo překročen jednou za 100 let. Jde o statistickou charakteristiku, nikoli predikční. Tudíž neplatí, že v případě výskytu stoleté povodně se další povodeň této velikosti či vyšší vyskytne až za 100 let (Slavíková, 2007).

19. **Stupně povodňové aktivity** se pro účely Zákona o vodách rozumí míra povodňového nebezpečí vázaná na směrodatné limity, jimiž jsou zpravidla vodní stavy nebo průtoky v hlásných profilech na vodních tocích, popřípadě na mezní nebo kritické hodnoty jiného jevu uvedené v příslušném povodňovém plánu

20. **Záplavové území** je administrativně určené území, které může být při výskytu přirozené povodně zaplaveno vodou (Slavíková, 2007).



## OBSAH:

1. **Úvod**
  - 1.1. **Cíle práce**
2. **Vznik povodní**
  - 2.1. **Povětrnostní vlivy**
    - 2.1.1. Déšť
    - 2.1.2. Tání sněhu
    - 2.1.3. Led ve vodním toku
  - 2.2. **Vlivy zemského povrchu**
    - 2.2.1. Odtokové poměry
    - 2.2.2. Koncentrace odtoku
    - 2.2.3. Průběh povodňové vlny
    - 2.2.4. Zadržování vody v údolní nivě
    - 2.2.5. Zmenšení vsakovací schopnosti půd a povrchů v krajině
    - 2.2.6. Zemědělství a lesní hospodářství
  - 2.3. **Příčiny vzniku povodní v urbanizovaném území**
    - 2.3.1. Změna povrchového odtoku z povodí
    - 2.3.2. Nedostatečná kapacita systému městského odvodnění
    - 2.3.3. Povodňový stav v recipientu a zpětné vzduť ve stokové síti
3. **Protipovodňová opatření**
  - 3.1. **Tří hlavní pilíře protipovodňové ochrany**
    - 3.1.1. Přirozená retence
    - 3.1.2. Technická protipovodňová ochrana
    - 3.1.3. Prevence před povodněmi
  - 3.2. **Protipovodňová opatření z hlediska funkčnosti a využití terénu**
    - 3.2.1. Opatření preventivní
    - 3.2.2. Opatření operativní
    - 3.2.3. Další opatření - Přírodě blízká
  - 3.3. **Strategie ochrany před povodněmi v ČR**
  - 3.4. **Protipovodňová opatření na drobných vodních tocích**
    - 3.4.1. Pasivní protipovodňová ochrana
    - 3.4.2. Výstavba ochranných hrází
    - 3.4.3. Výstavba a obnova retenčních (ochranných) nádrží
    - 3.4.4. Vliv přehrad
4. **Vegetace jako součást protipovodňové ochrany**
  - 4.1. **Zpevnění břehů porosty**
    - 4.1.1. Soubory lesních typů
  - 4.2. **Zvýšení retenčního potenciálu lesních půd**
  - 4.3. **Vegetace u vodních toků dle nadmořské polohy**
    - 4.3.1. Vegetace velkých vodních toků nížin
    - 4.3.2. Vegetace velkých vodních toků pahorkatin
    - 4.3.3. Vegetace velkých vodních toků v podhorských a horských oblastech
    - 4.3.4. Vegetace drobných vodních toků nížin

4.3.5. Vegetace drobných vodních toků pahorkatin a podhorských oblastí

#### **4.4. Úloha lesů při tlumení povodní**

### **5. Protipovodňová opatření v urbanizovaném území**

#### **5.1. Organizační opatření**

5.1.1. Prevence ochrany obyvatelstva

5.1.2. Prevence ochrany staveb

5.1.3. Bezpečný režim ochrany měst

#### **5.2. Technická opatření ochrany urbanizovaných území**

5.2.1. Opatření snižující a zpomalující povrchový odtok

5.2.2. Opatření chránící stokový systém

### **6. Charakteristika zájmového území**

#### **6.1. Geologické a pedologické poměry**

#### **6.2. Historie povodní na území**

6.2.1. Povodeň v roce 2002

6.2.2. Povodeň v roce 2013

#### **6.3. Přehled protipovodňových opatření v okolí zájmového území**

6.3.1. Obec Křešice

6.3.2. Obec Lovosice

6.3.3. Obec Píšťany

6.3.4. Obec Bohušovice nad Ohří

6.3.5. Obec Terezín

#### **6.4. Příčiny zásahu povodně až do obce Nové Kopisty**

6.4.1. Povodeň v roce 2002

6.4.2. Povodeň v roce 2013

#### **6.5. Vlastní protipovodňové opatření obce Nové Kopisty**

### **7. Diskuze**

### **8. Závěr**

## 1 Úvod

V dnešní době jsou povodně poměrně populárním tématem. Je to asi i díky tomu, že jsme za posledních 13 let měli, co se týče rozsahu asi dvě největší povodně v dějinách ČR. Já sám bydlím v záplavové oblasti, proto je mi toto téma velmi blízké. Vybral jsem si toto téma, jelikož v okolí mého bydliště již některá protipovodňová opatření vznikla, avšak, některé obce zůstávají pořád nechráněné. Vybral jsem právě jednu z nich a v závěru práce se snažím posoudit efektivitu, kterou by případná protipovodňová opatření mohla mít

V této práci se snažím objasnit základní problematiku vzniku povodní jako takových. Většina lidí v dnešní době si myslí, že protipovodňová opatření jsou pouze mobilní protipovodňové stěny, které můžou vidět v době záplav, jak jsou instalovány buď v blízkosti jejich bydliště a nebo vidí jejich instalaci v televizi.

Podle mě se mezi nejúčinnější protipovodňová opatření řadí především prvky, zvyšující přirozenou retenci krajiny v okolí toku.

V jednotlivých kapitolách jsou vypsány veškeré informace, týkající se jak vzniku povodní, tak opatření proti nim. Ty se dále dělí podle toho, zda jde o úpravy krajinného rázu, či zásahy do urbanizovaných území.

Závěrem práce se snažím poskytnout objektivní náhled do problematiky konkrétní lokality. Jako zájmové území jsem si vybral obec Nové Kopisty, která leží blízko soutoku Labe a Ohře. Tato obec je zvláštní zejména z hlediska její polohy. Dostávají se tam totiž do střetu 3 směry proudění povodňové vlny.

## 2 Vznik povodní

Tato kapitola obsahuje přehled činitelů, kteří podporují vznik povodní a to, jak zemský povrch ovlivňuje odtok vody z povodí. Část kapitoly je věnována i příčinám vzniku povodní v urbanizovaných oblastech.

### 2.1 **Povětrnostní vlivy**

#### 2.1.1 Déšť

Jedním z nejvýznamnějších činitelů jsou právě dešťové srážky. Zde se rozlišuje několik faktorů, které ovlivňují pravděpodobnost vzniku povodní.

- Rozloha působnosti srážek
- Intenzita srážek
- Doba trvání srážek

Při setkání alespoň dvou z těchto tří hlavních faktorů se rizika vzniku povodní zvyšují.

#### Dlouhotrvající vytrvalý déšť

Vytrvalé srážky přicházejí v souvislosti s meteorologickými frontami. Potká-li se teplý atmosférický proud s chladným, dochází k jeho pomalému, ale zato neustálému, stoupání. Na velkém území padají slabé, ale dlouhotrvající srážky. Tato událost se nazývá teplá fronta. Není striktně spjata s jedním konkrétním místem, ale obíhá kolem oblasti nízkého tlaku vzduchu (Pánek, 2002).

Vytrvalý déšť nasycí půdu vodou, což je významným povodňovým faktorem zejména u povodí velkých řek. Jsou-li během 24 hodin překročeny hodnoty srážek 15-30 mm, pravděpodobnost vzniku povodní se zvyšuje. Je-li půda plně nasycena, srážky se již nemohou do půdy vsáknout. Proto je voda ze srážek ihned odváděna povrchovým odtokem do řek. Z rozlehlého území tudíž proudí větší množství vody, než jsou koryta řek schopna pojmout. (Slavíková, 2007)

#### Přívalové deště

Stoupá-li teplý a vlhký vzduch rychle vzhůru, vznikají mohutné mraky. Jakožto ohniska bouřek a přeháněk jsou omezeny celkem malým prostorem skýtajícím často jen několik čtverečních kilometrů. Náhlé a velmi silné přehánky vyvolají povodně především na menších tocích. Příčinou vzniku vydatnějších srážek může být také pokles proudění studeného vzduchu. Ten se podsouvá pod proudění teplého vzduchu a nutí ho tak k prudkému a rychlému stoupání. Tento jev se nazývá studená fronta. (Slavíková, 2007)

### 2.1.2 Tání sněhu

V pozdních zimních měsících a zejména na jaře se kromě srážek podílí na vzniku povodní tání sněhové pokrývky. V průběhu oblevy odtéká voda z roztátého sněhu. Množství vody zadržované ve sněhu se může lišit (Kutláková, 2012). Napadne-li 1 cm prachového sněhu, odpovídá to 1 mm dešťových srážek, tj. 1 l/m<sup>2</sup> vody. Opakované odtávání a přimrzání mění časem strukturu sněhových krystalů. Vlastní hmotnost sněhu přispívá k postupnému sesedání se a vzniku tzv. starého sněhu. Vrstva takového sněhu o mocnosti 1 cm obsahuje až 4 l/m<sup>2</sup> vody. (Slavíková, 2007)

Objemová hmotnost sněhu je závislá na teplotě vzduchu při sněžení, fyzikálních charakteristikách povrchu, na který sníh dopadá, výšce vrstvy sněhu a teplotě vzduchu, která ovlivňuje jeho ulehlost. Další důležitý faktor je zásoba vody ve sněhové pokrývce  $H_s$  [mm], co je vrstva vody, která by vznikla roztáním sněhové pokrývky na uvažované ploše povodí. Zásoba vody ve sněhové pokrývce se odhaduje podle průměrné výšky sněhové pokrývky  $H_{sn}$  na uvažované ploše a vodní hodnoty sněhu:

$$H_s = H_{sn} * s$$

$H_s$ .....zásoba vody ve sněhové pokrývce [mm]

$H_{sn}$ .....průměrná výška sněhové pokrývky na uvažované ploše [mm]

$s$ .....vodní hodnota sněhu ( $s = 0,1$  až  $0,4$ )

(Hrádek, 2008)

Při tání sněhu může vyšší sněhová pokrývka zadržet velké množství vody ve svých pórech. Teprve později tato voda odtéká. (Slavíková, 2007). Z tajícího sněhu za 24 hodin vychází odtokové výšky průměrně 8 a 12 mm. Za vysoké se považují hodnoty 15 a 20 mm, 25 až 30 mm jsou považovány za extrémní. Přibližnou dobu tání ledové pokrývky jde určit následující úvahou:

zásoba vody ve sněhové pokrývce ( $H_s = H_{sn} * s$ )

průměrná orientační hodnota odtokové výšky při tání za 24 hodin  $H_0=10$  mm

Počet dnů, za které roztaje zásoba vody ve sněhové pokrývce na povodí:  $t = H_s/10$  [dny]

Z uvedených faktů lze usoudit, že vysoká sněhová pokrývka povodeň přibrzdí, zato nízká sněhová pokrývka roztaje a odtéká spolu s dešťovými srážkami. Kvůli promrzlosti půdy pod sněhem nedochází k infiltraci. Z toho vyplývá, že při nižší výšce sněhové pokrývky je pravděpodobnost vzniku povodní vyšší, pokud současně s táním padají dešťové srážky. (Hrádek, 2008)

### 2.1.3 Led ve vodním toku

Ke vzniku povodní přispívají 4 typy ledu ve vodním toku:

- okrajový led
- hladinový led
- vodou nesená ledová kaše (ledové kry)
- led na dně

Při poklesu teploty pod bod mrazu začíná voda souvisle zamrzat. Zpočátku vzniká pouze tenký okrajový led. Trvá-li mráz dost dlouho, dochází ke vzniku ledových ker nebo i souvislého zamrznutí vodní hladiny. Ledové kry většinou uváznou na mělčinách nebo v zákrutách řeky. Dojde-li ale k zaklínění ker u mostů či jezů, vzniká nebezpečí městnání ledů. Zvětšující se barikády z ledových ker zatarasí tekoucí vodě cestu a dochází k lokálnímu vzduť hladiny toku někdy až o několik metrů. Zesílí-li se tlak na ledovou bariéru, může dojít k prolomení této bariéry, což může způsobit chvilkové zvýšení jak hladiny toku dále po proudu, tak samozřejmě průtočné rychlosti. Důsledkem toho mohou být ohroženy další rizikové oblasti po proudu toku. (Kutláková, 2012)

Dalším rizikem v zimních měsících je led na dně toku. Ledové krystaly se mohou dostat vlivem turbulencí toku až na jeho dno a tam přimrznout. Kdy se při silných mrazech led na dně rozrůstá, dochází k zúžení prostoru, kudy může voda proudit a ta si proto musí hledat jinou cestu k odtoku. (Slavíková, 2007)

## 2.2 Vlivy zemského povrchu

### 2.2.1 Odtokové poměry

Porost, půda a terén zadržují část srážek a napomáhají tak zmírnění průběhu povodně.

#### Porost

Při slabších deštích má porost 3 hlavní faktory ovlivnění odtoku z daného území:

- Intercepce (zachycení určitého množství srážek)
- Evapotranspirace (výpar)
- Infiltrace (vsakování)

Při dešťových srážkách se část vody zachycuje na vegetačním krytu povodí. Pokud je dešť pouze krátkodobý dojde ke zpětnému vypařování vody do atmosféry. Pokud je dešť dlouhodobější, voda z porostu stéká na podloží, kde dochází buď i infiltraci nebo k povrchovému odtoku. Vegetační pokryv svým

charakterem ovlivňuje jak rychlost stékání vody po svazích povodí, tak i míru infiltrace, kde se na ní z části projevuje také výživa rostlin.

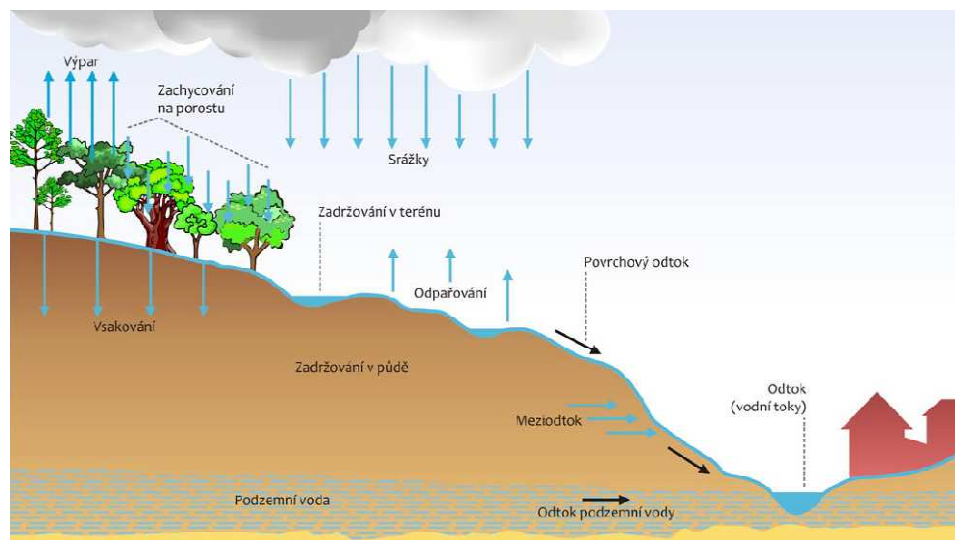
Nejvyšší podíl infiltrace mají území s letitými lesními porosty. Na rovinaté lesní půdě se za hodinu vsákne až  $70 \text{ l/m}^2$ , kdežto na mírně porostlé louce jen 20 litrů. Čím hustší a vyšší porost, tím lépe funguje přirozená retence. (Hrádek, 2008; Slavíková, 2007)

### Terén

Při zohledňování terénu, jakožto jednoho z faktorů, který je schopen ovlivnit rozsáhlost povodní, je důležité zohlednit jeho svažitosť. V rovinatém terénu je schopnost pojmout povrchový odtok větší než v terénu příkrém. Při neschopnosti infiltrace v půdě jsou jako nahrazující retenční okolnosti brány v potaz prohlubně a strouhy. V nich se zachycuje povrchový odtok, který tedy neodtéká ihned do řek. Na základě terénního pozorování bylo zjištěno, že terénní nerovnosti a prohlubně jsou schopny zachytit a  $5 \text{ l/m}^2$ .

### Půda

Půda má při infiltraci podobné vlastnosti jako houba. Retenční vlastnosti jsou ovlivněny zorněním půdy, obsahem humusu, druhu půdy, mocnosti půdy a jejím ztuhnutím. Chceme-li snížit riziko povodní, je příznivé, pokud může půda zadržet velké množství srážek. Zaprší-li však v krátkém čase velmi intenzivně, půda nemusí stíhat vše dostatečně rychle vsáknout. Hodnota podílu infiltrace udává, kolik vody se může vsáknout za hodinu. Pokud je obsah vody v půdě už vysoký, podíl infiltrace se snižuje. Pro vsakování jsou vhodnější póry velké a spojité. Nejrychleji tedy přijímá srážky písek a drobný štěrk, naopak nejpomaleji propouští vodu ztuhnutá hlinitá půda s jemnými póry. (Slavíková, 2007)



Obr. 1: Malý vodní cyklus (Spektrum wasser, 2004)

### 2.2.2 Koncentrace odtoku

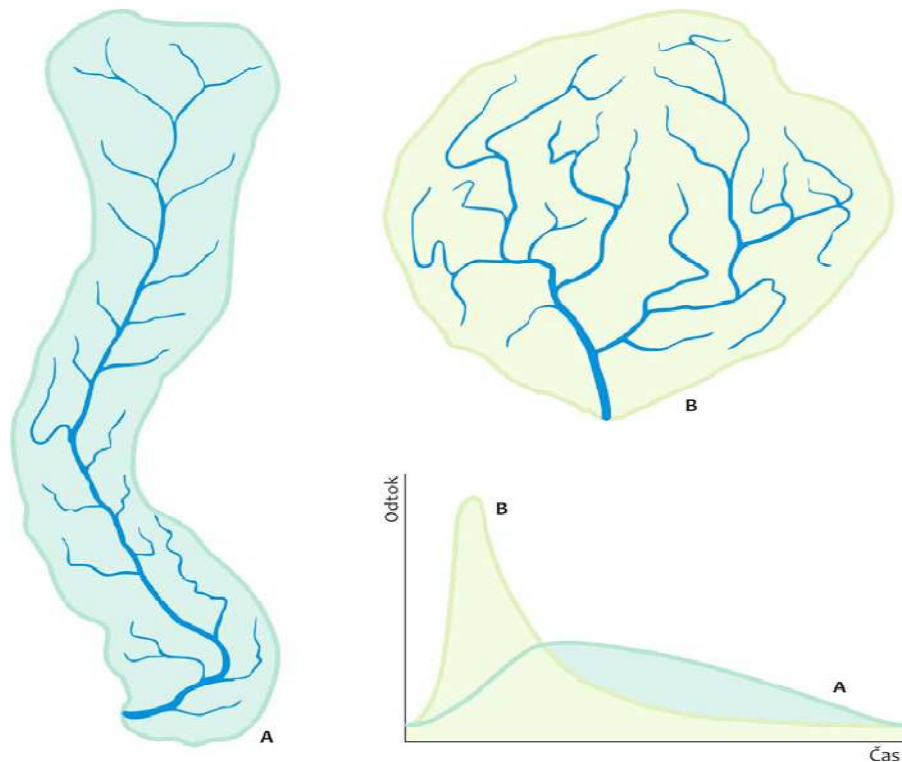
Základní hydrologická oblast se nazývá povodí. Zkoumají se v ní odtokové procesy a vyvozují se vzájemné vztahy bilančních prvků. Tato oblast je hydrologicky uzavřená, ohraničená tzv. rozvodími. Nepřitéká do ní žádná voda povrchová ani voda podzemní. (Hrádek, 2008)

Povodí se rozdělují na dva typy:

- Málé, vějířovité
- Dlouhé, protáhlé

V povodích vějířovitého tvaru (obr. 3B) stéká voda ze všech jeho částí současně a tvoří krátké a strmé odtokové vlny. Na protáhlém povodí (obr. 3A) má voda možnost se rozložit po celé délce toku, tudíž vznikají nízké a dlouhé odtokové vlny.

Velký vliv na koncentraci povodňových vln má také stav koryt vodních toků. Pokud mají toky spíše technické úpravy, je v nich větší průtoková rychlost a povodňové vlny se koncentrují do vyšších kumulačních úrovní. Další parametry určující dobu koncentrace povodňové vlny jsou: rozloha, spád, a charakteristiky vodního toku. (Slavíková, 2007)



Obr. 2: Typy povodní (Spektrum wasser, 2004)



### 2.2.3 Průběh povodňové vlny

V hydrologické terminologii je povodňová vlna něco trochu jiného, než co si můžeme představit pod vlnou příbojovou, kterou můžeme vidět na moři. Při počátku povodně se hladina vodního toku pozvolna zvedá každou hodinu, každý den. Charakteristický tvar vlny můžeme vidět až na linii povodňového průtoku, když se stav vodního toku zaznamenává na vodoměrné stanici delší dobu. (Slavíková, 2007)

Důležitým nástrojem, který umožňuje popsat část odtokové odezvy libovolného povodí, je jednotkový hydrogram. Podle definice je to hydrogram, který má jednotkový objem a je způsoben efektivním deštěm, který povodí zasáhl a jehož objem je roven jedné jednotce. (Máca, 2010)

Metoda jednotkového hydrogramu je založena na úvaze, že na daném povodí vyvolávají deště stejné doby trvání, ale různé intenzity, hydrogramy, které jsou tvarově podobné. (Hrádek, 2008)

Jednotkové hydrogramy se z hlediska doby trvání efektivního deště rozdělují na:

- Intervalové (doba trvání příčinného deště je větší než nula)
- Okamžité (doba trvání příčinného deště je rovna nule)

Doba průběhu vlny je hodnota, kterou dostaneme, změříme-li čas, který potřebuje povodňová vlna k přesunu mezi dvěma příčnými profily. K transformaci povodňové vlny dochází jejím postupem k nižším částem povodí. K tlumení průběhu povodňové vlny přispívá, když je koryto toku přírodní nebo přírodě blízké. Naopak při technických úpravách koryta se může průběh povodňové vlny zrychlovat a postupem k nižším částem povodí může vlna ještě narůstat. (Slavíková, 2007)

### 2.2.4 Zadržování vody v údolní nivě

Údolní nivy zvyšují retenční schopnost krajiny v okolí toku. Při vzduť hladiny toku umožňují rozlítí vody do nezastavěných ploch. Pomocí břehových porostů zpomaluje niva rychlost odtoku a díky jejím prohlubním a nerovnostem se zadržuje velké množství vody. Z tohoto důvodu není kulminace povodně tak vysoká a dochází k postupnému opadávání povodňové vlny. (Slavíková, 2007)

### 2.2.5 Zmenšení vsakovací schopnosti půd a povrchů v krajině

V České republice je velký podíl zemědělské půdy (50-80%), to může být problém s vuvislosti s odtokovými poměry. Tato půda je v mnohých případech nevhodně obdělávána a cíleně odvodňována, tím pádem se voda dostává rychleji do vodního toku.

Odtokové poměry jsou také z velké míry ovlivněny člověkem a to zejména zásahy do říčních niv mimo zastavěné území (zavázky, liniové úpravy, aj.). Po povodních 2002 bylo zjištěno, že 33% nivy dolní Berounky je významně přeměněno člověkem. Za zmínku také stojí niva Vltavy nad Českými Budějovicemi, kde je upraveno 23% nivy. U ostatních niv je to průměrně kolem 10% (Slavíková, 2007).

#### 2.2.6 Zemědělství a lesní hospodářství

Významným faktorem urychlování povrchového odtoku může být například zhutňování půd těžkou zemědělskou technikou. Taktéž postranní příkopy a meliorační kanály odvádějí srážky společně se zemědělskými cestami do vodních toků rychleji, než tomu bylo v dřívějších dobách. Nepříznivě ovlivňuje vlastnosti půd také nadměrná mineralizace, která může přispívat k rozpadu struktury půdy a tím pádem ke snížení její prostupnosti (Slavíková, 2007).

### 2.3 Příčiny vzniku povodní v urbanizovaném území

#### 2.3.1 Změna povrchového odtoku z povodí

Urbanizovaná území jsou specifická vysokým podílem nepropustných ploch (komunikace, střechy budov, parkoviště atd.), které v centrech větších měst dosahují až kolem 70%. Při dešti tudíž nemůže voda přirozeně infiltrovat do kolektoru podzemních vod. Většina objemu dešťové vody odtéka po zastavěném povrchu do dešťových vpustí a je odváděna stokovou sítí mimo území.

Mimo objem vody je podstatná také odtoková rychlost, která má za dopad nižší schopnost transformace kulminačního průtoku. Zvýšený povrchový odtok je základní příčinou většiny typů lokálních záplav v urbanizovaných oblastech. (Slavíková, 2007)

#### 2.3.2. Nedostatečná kapacita systému městského odvodnění

V urbanizovaných územích jsou dešťové vody ve většině případů odváděny soustavou dešťové či jednotné kanalizace. Hydraulická kapacita soustavy a jejích prvků se primárně stanovuje z efektivní plochy povodí a intenzity navrhovaného deště, který je dále určován délkou trvání ( $t$ ) a jeho periodicitou ( $p$ ). (Slavíková, 2007) Např. pro Prahu platí  $t=10 \text{ min}$ ,  $p=0,5$  (pro jednotnou soustavu) a  $p=1$  (pro dešťovou soustavu). (Městské standardy vodárenských a kanalizačních zařízení na území hlavního města Prahy, 2001)

Intenzita deště je definována jako úhrn deště za zvolenou časovou jednotku (většinou [mm/min])

Intenzita se dále rozlišuje:

- Průměrná intenzita deště  $\bar{i}$  úhrn deště spadlý za zvolenou asovou jednotku, konstantní po celou dobu trvání deště. Je definována jako podíl úhrnu srážek  $H_s$  a doby trvání  $T_d$ .

$$\bar{i} = \frac{H_s}{T_d}$$

- Okamžitá intenzita deště  $i_o$  je intenzita v určitém časovém okamžiku, derivace úhrnu podle času. (Hrádek, 2008)

$$i_o = \frac{H}{T}$$

Dešťové srážky s vyšší než návrhovou intenzitou mohou způsobit hydraulické přetížení systému a jeho prvků, i když díky bezpečnostním rezervám odpovídá jejich spolehlivost reálným dešťovým srážkám s periodicitou  $p=0,2$  až  $0,1$ . (Stránský, 2004)

Tento jev můžeme pozorovat zejména při vystoupení vody až do úrovně sklepních prostor nebo na přímém výtoku na terén a rozlivu do okolních prostor prostřednictvím revizních šachet či uličních vpustí. Velmi často můžeme také pozorovat zahlcení uličních vpustí a následné zaplavení okolní oblasti. (Slavíková, 2007)

### 2.3.3 Povodňový stav v recipientu a zpětné vzduť ve stokové síti

System městského odvodnění je složen ze subprvků, které se navzájem ovlivňují (stokové sítě, čistírny odpadních vod, povrchových toků a kolektoru podzemních vod). Interakce mezi stokovou sítí a navazujícím povrchovým tokem zprostředkovávají výusti dešťové a odlehčovací komory jednotné stokové sítě. Při běžné povodňové situaci na vodních tocích a při nedostatečné protipovodňové ochraně stokové sítě může dojít k průniku povrchové vody do kanalizačního systému, zpětnému vzduť a následnému zatopení sklepních prostor nebo i k výtoku vody na terén. Je to z toho důvodu, že kóta vodní hladiny v recipientu převyšuje kótu okolního terénu (Praha-Karlín, povodně 2002). Škody z důsledku této situace jsou výraznější zejména v případě, kdy má území aktivní protipovodňovou ochranu a zároveň nedostatečně zabezpečenou stokovou síť. K rozsáhlému zaplavení může dojít především v rovinných oblastech. (Slavíková, 2007)

### 3 Protipovodňová opatření

Protipovodňová opatření slouží k úplné eliminaci povodní nebo alespoň k minimalizaci povodňových škod. Obecně lze uvést, že jejich smyslem je vodu za vysokých vodních stavů akumulovat (nechat rozlít) mimo lidská sídla (tzn. ve vodních nádržích, nezastavěných údolních nivách atd.), a naopak v oblasti zástavby vodu z území co nejrychleji odvést. Přestože je velmi vhodné využívat retenčního potenciálu nezastavěných přirozených niv, je nutné provádět i tzv. technická protipovodňová opatření.

#### 3.1 **Tří hlavní pilíře protipovodňové ochrany**

Existuje několik typů protipovodňových opatření, s jejichž pomocí lze snižovat rizika a škody působené povodněmi. Vždy bychom měli hledat kompromis mezi všemi k dosažení největší efektivity zabezpečení daného povodí.

##### 3.1.1 Přirozená retence

V člověkem nezasazené krajině se může voda z toků volně rozlévat do říčních niv. Půda, vegetace a prohlubně v terénu vodu zadrží a následně jí pozvolna vracejí do vodního toku. Z důvodu intenzivnějšího využívání říčních niv člověkem nejsou dále toky schopny vylévat se do těchto prostor. Abychom zvýšili akumulaci povodňových průtoků, musíme zajistit existující nezastavěná území pro rozliv a znovu aktivovat někdejší přirozená inundační území. Tomu ale velmi často brání vlastnické vztahy. V tomto případě by realizaci umožnilo uplatnění „*principu veřejného zájmu na výkup nezbytných pozemků*“ úpravou v legislativě. (Usnesení vlády ČR č.496, 2006)

K dosažení tohoto cíle by se ovšem musely také odstavit, či úplně odstranit hráze a řeky na jejich nivy opět napojit. Napomohla by také revitalizace drobných vodních toků, jež byly v minulosti narovnány, a obnova krajinných prvků, které dokážou zadržet velké množství vody (lužní lesy, mokřady, aj.) V letech 2007 – 2013 se skýtá možnost financovat obnovu retenčních prostor ČR ze strukturálních fondů EU. (Slavíková, 2007)

##### 3.1.2 Technická protipovodňová ochrana

Technická protipovodňová opatření slouží především k ochraně majetku a prevenci zmírnění škod způsobených povodněmi. Tato opatření nikdy neposkytují absolutní ochranu ohroženého majetku, vždy totiž může přijít větší povodeň, než na kterou jsou dimenzována. Mezi tyto opatření patří např.: hráze, stěny, poldry a povodňové retenční nádrže. Tato ochrana však nesmí složit k tomu, aby podporovala růst ohrožených území. Nezastavěná území musí být naopak ponechána jako retenční prostory pro rozlivy. (StMUGV, 2005)

### 3.1.3 Prevence před povodněmi

Mimo posílení přirozeného retenčního potenciálu a výstavbě technické protipovodňové ochrany se musí minimalizovat zbytkové riziko správnou prevencí. Ta spočívá zejména v omezení potenciálních škod. Děje se tak vytyčováním záplavových oblastí, jejich zanesením do územních plánů a zajištěním toho, aby tato území nebyla zastavěna. Pokud jsou tyto oblasti nadále zastavovány, lze mnohým škodám na stavbách předejít použitím správných materiálů a vhodné stavební technologie. Mělo by se zejména dbát na optimální konstrukční řešení přízemí s ohledem na riziko zaplavení. To platí i pro obydlené oblasti za ochrannými hrázemi. Pro úplný klid je vhodné uzavřít pojištění proti živelným pohromám. V nejrizikovějších a pravidelně zaplavovaných oblastech to však již většina pojišťoven neumožňuje. (StMUGV, 2005)

## 3.2 Protipovodňová opatření z hlediska funkčnosti a využití terénu

Při plánování rozvoje obcí za hrázemi či stěnami je třeba zhodnotit rizika, využít vyrovnávací opatření a rezervovat další plochy pro zadržení vody v případě vzniku povodní. Tato myšlenka se stala základem pro současnou evropskou protipovodňovou politiku. Řízení rizik a rozhodnutí o využití území jsou rozhodující pro budoucí vývoj povodňových událostí. (Böhm, 2004)

Protipovodňová opatření lze rozdělit podle jejich časové posloupnosti na průběh povodně na opatření preventivní a operativní. (Konvička, 2002)

### 3.2.1 Opatření preventivní

#### 1. Územně organizační opatření

Jejich důležitou složkou je proces územního plánování na základě kategorie záplavového území a jejich částí (stanovení povodňových plánů, zajištění kvalitní hydrologické předpovědi, hlásné povodňové služby). Na základě územního plánování se může regulovat využití půdy s ohledem na kritéria preventivní ochrany před povodněmi. (Böhm, 2004)

Jedním z nejúčinnějších organizačních opatření je zamezení vybudování nových staveb do inundačního území. Problémem jsou však stavby, které již v tomto území stojí. Je třeba dodržovat striktní zákaz výstavby zejména těch staveb, které mohou v případě povodní ohrozit obyvatelstvo, životní prostředí nebo jiné objekty. (Konvička, 2002)

#### 2. Ekologická opatření

S využitím prvků blízkým přírodě se snaží snížit kulminační průtoky a to zejména posílením infiltrační a retenční schopnosti povodí.

- Opatření v širším povodí řek

Jedná se především o biotechnická a lesotechnická opatření. Hlavní krajinnou změnou je přeměna orné půdy na lesní nebo alespoň luční kultury. Vhodnou skladbou dřevin se dá ovlivnit infiltrační schopnost území. Tato metoda je finančně velmi nákladná a její protipovodňový efekt se projeví až po velmi dlouhé době.

- Opatření ke zvýšení retenční funkce záplavového území

Tato metoda předpokládá, že se povodně odehrávají pouze v inundačním území daného toku.

Předpoklady:

- částečné rozšíření inundačního území a umožnění samovolného rozlévání povodňových vod
- ohrazení zeleného pásu z jeho vnější strany
- přeměna orné půdy v lesní nebo luční kultury

- Opatření při ochraně urbanizovaných území

Jelikož velká část obcí vlastní přilehlé pozemky, může je s libostí použít třeba právě k úpravě proti povodním. Pokud pozemky nevlastní, může se pokusit na jejich využívání vyvinout potřebný tlak.

3. Opatření stavebně – technická

Jejich hlavním úkolem je snížit kulminační průtoky a rozvrstvit objem povodňové vlny v prostoru a čase.

### 3.2.2 Opatření operativní

1. Opatření technická

Jejich hlavním aspektem je mobilita a provizornost. Soustředí se na výstavbu konstrukcí zabraňujících rozlívání vody v případě hrozby aktuální povodňové situace. Řídí se povodňovým plánem dané lokality.

Řadí se mezi ně např.: pytlování, vakové konstrukce, mobilní hradičkové hrazení.

2. Opatření organizační

Patří mezi ně záchranné a evakuační činnosti, jejich zajištění a organizace. (Konvička, 2002)

### 3.2.3 Další opatření - Přírodě blízká:

1. Ochrana ploch pro přirozené povodňové rozlivy.

Nezastavěná nívná území umožňující rozlivové transformace povodňových vln, je třeba chránit před neuváženým hrázováním v rámci jednostranně pojímané technické protipovodňové ochrany a před nevhodným umístěním staveb, navážek a podobných objektů.

2. Revitalizace koryt vodních toků ve volné krajině.  
Protipovodňové hledisko revitalizací spočívá v tom, že členitá, mělká a málo kapacitní přírodě blízká koryta zpomalují postup a koncentraci povodňových vln a podporují jejich tlumivé rozlévání do nezastavěných nivních území.
3. Rozšiřování přírodě blízkých povodňových perimetrů vodních toků.  
Cílem je alespoň částečná obnova prostorového rozsahu říčních povodňových pásů, které byly dříve, v období technických úprav toků, nepřiměřeně zúženy.
4. Přírodě blízká ochranná koryta.  
Výstavba přírodě blízkých koryt nebo průlehů odlehčujících povodňové průtoky mimo ohrožená zastavěná území.
5. Přírodě blízké hloubené retenční prostory v nivách.  
Jedná se vlastně o místa těžby štěrků a písků, kde již byla těžba ukončena. Vzniklé terénní deprese mohou být využívány jako rekreační či rybářské vodní plochy.
6. „Ekologické“ poldry.  
Na rozdíl od jednoúčelových suchých poldrů obohacují tyto objekty krajinu o přírodě blízké zátopové plochy, v nichž se mohou uplatnit revitalizovaná koryta vodních toků, tůňe a mokřady, luční a dřevinné porosty.
7. Intravilánové revitalizace.  
Jde o to, aby byla zajištěna povodňová průtočná kapacita, případně zpomalení povodňových průtoků přímo v korytech v zájmu ochrany blízké zástavby.
8. Odstraňování průtokových, migračních překážek  
Jde především o nevhodně umístěné jezy, které mohou v obcích a v jejich okolí vzdouvat povodňové průtoky a podporovat jejich rozlévání do zástavby a zároveň brání migrační schopnosti vodního toku pro vodní živočichy.  
(Just, 2010)

### 3.3 Strategie ochrany před povodněmi v ČR

- prevence je nejefektivnější formou ochrany
- na realizaci preventivních opatření se musí podílet vlastníci a správci nemovitostí
- je nutné najít vhodnou kombinaci mezi opatřeními k podpoře přirozené retence a technickými protipovodňovými opatřeními
- je nutné zkvalitnit informační systém a nástroje k modelování průběhu povodní (Usnesení vlády ČR č.382, 2000)

### 3.4 Protipovodňová opatření na drobných vodních tocích

V každé části toku mohou opatření splňovat pouze lokální ochranný účel, je třeba vždy uvažovat o povodí jako celku a nepreferovat lokální ani regionální zájmy. (Jánský, 2003)

Komplexní ochranná opatření v povodí se rozdělují na organizační, agrotechnická, biotechnická, technická.

1. Organizační opatření představují vhodný způsob ve využívání pozemků v povodí (orná půda, lesy, zastavěné plochy), velikost a tvar pozemků, cestní síť.
2. Agrotechnická protierozní opatření (např. vyloučení širokořádkových plodin z pěstování na svažité půdě, vhodné způsoby provádění orby apod.)
3. Biotechnická protierozní opatření (např. výstavba protierozních nádrží, zřizování zasakovacích pásů, průlehů a protierozních mezí, apod.)
4. Technická opatření představují úpravy a revitalizace vodních toků s příbřežní zónou, rekonstrukce stávajících objektů na tocích a nádržích, výstavbu malých vodních nádrží a suchých nádrží (poldrů), prvky protierozní ochrany (terasy, hrázky, polní cesty) (Kuřík, 2003)

Protipovodňová opatření drobných vodních toků se skládají ze tří hlavních směrů protipovodňové ochrany:

- pasivní protipovodňová ochrana
- výstavba ochranných hrází
- výstavba a obnova retenčních nádrží, především obnova skluzů a výstavba suchých poldrů  
(Jánský, 2003)

#### 3.4.1 Pasivní protipovodňová ochrana

Jsou to zejména opatření a zásahy, které nejvíce přispívají k zachování přirozené retence krajiny.

- říční nivy ponechat v nejvyšší možné míře jejich přirozenému vývoji.
- obytné a výrobní prostory by měly být přemístěny do bezpečnějších částí zátopového území nebo zcela odstraněny mimo toto území.
- omezit využití zátopového území pro jakékoli stavební a hospodářské aktivity
- úpravou existující legislativy (např. Stavebního zákona) a respektováním již existujících nařízení (např. v ustanoveních Vodního zákona).

Do pasivní protipovodňové ochrany se řadí také tzv. velkoplošná ekologická opatření, která mají za úkol zpomalení procesu povrchového odtoku a přispívají ke zvýšení schopnosti retence krajiny. Patří mezi ně např.:



- nástroje protierozní ochrany zemědělské půdy
- postupná změna struktury využití půdy směrem k trvalým porostům (nahrazování orné půdy loukami a pastvinami, výsadba rychle rostoucích dřevin)
- zvyšování podílu lesů charakteristických pro daný krajinný typ (např. nahrazování smrkových monokultur lesem smíšeným). (Jánský, 2003)

### 3.4.2 Výstavba ochranných hrází

Na našem území byla vybudována řada hrází, např. v říčních nivách Moravy, Odry, středního a dolního Labe, resp. na dolních tocích jejich hlavních přítoků. Měly sloužit především k ochraně obydlených, později hospodářsky významných území. Jak už bylo několikrát řečeno, technické opatření je dnes potřebné doplňovat i opatřeními zvyšujícími retenční schopnosti krajiny, v tomto případě ponechání říčních niv bez jakékoliv protipovodňové sanace a umožníme rozliv vody do zátopového území. (Jánský, 2003)

### 3.4.3 Výstavba a obnova retenčních (ochranných) nádrží

Retenční nádrže snižují velikost kulminačních průtoků. Při kvalitním návrhu se jedná o účinné protipovodňové opatření. Jsou-li retenční nádrže přírodního charakteru, mají i pozitivní krajinnotvorný efekt (Slavíková, 2007). U většiny případů však dojde po vybudování nádrže zpravidla ke zhoršení kyslíkových poměrů a kvality vody v řadě ukazatelů. Negativní vliv může mít pravděpodobný rozvoj řas, sinic a makrofyt. Vlivem sedimentace biomasy a hromadění živin z povodí převládají rozkladné procesy spojené se spotřebou kyslíku (Jánský, 2003). Rovněž retenční nádrže na tocích mohou fungovat jako stavby se stálým nadržáním nebo jako suché poldry (Slavíková, 2007). Změní se i dynamika transportu plavenin včetně hrubší písčité a šterkovité frakce, která v nádrži sedimentuje. Negativní roli hraje i snížení průchodnosti toku pro vodní živočichy v podélném směru. U vodních toků, které mají horší než II. třídu jakosti vody, se s ohledem na očekávané problémy eutrofizace budování nádrží nedoporučuje (Jánský, 2003).

#### Rozlišujeme několik druhů nádrží:

##### 1. Malé vodní nádrže

Využívají se především v horních částech povodí s malými vodními toky a urbanizovaném prostředí (Šálek, 1998).

##### 2. Retenční nádrže

Hlavní funkcí retenčních nádrží v životním prostředí je zabezpečení níže ležícího území před účinky velkých vod. (Šálek, 1998).

### 3. Protierozní nádrže

Zachycují splaveniny, které se nepodařilo zachytit jinými opatřeními nad nádrží. Zlepšují kvalitu vody pod nádrží samočisticími procesy. Protierozní nádrže se dělí na usazovací a vsakovací (Šálek, 1998).

### 4. Aktivační nádrže

Mají klíčový význam při řešení vodohospodářské bilance v nejvyšších částech povodí (Šálek, 1998).

### 5. Závlahové nádrže

Většina průtočných závlahových nádrží má i neovladatelný ochranný prostor, kterým transformuje povodňové vlny. Závlahové nádrže jsou vybavené výpustným a odběrným zařízením, které je možné využít i k částečnému řízení odtoku (Šálek, 1998).

### 6. Kompenzační (vyrovnávací) nádrže

Kromě hlavního účelu – kompenzace odtoku, mohou tyto nádrže částečně plnit funkci rybochovných, závlahových, ochranných, dočišťovacích a jiných zařízení (Šálek, 1998).

### 7. Suché nádrže

Mohou být významným prvkem protipovodňové ochrany níže ležícího území, plní svou funkci pouze při povodňových situacích, jindy jsou prázdné, vhodně zemědělsky využívány (Hrádek et Kuřík, 2003).

#### 3.4.4 Vliv přehrad

V případě, že je povodeň včas předpovězena, je možná efektivní příprava přehrady na rozsáhlejší typ povodně. V ČR je největším problémem víceúčelovost přehrad. Upřednostňují se zejména funkce vodohospodářské, plavební a hydrotechnické. Pokud má přehrada zásobovací funkci vodovodu, nemůže si zkrátka dovolit preventivně upouštět nádrž. Pokud jde vyloženě o protipovodňové hledisko, jsou ekonomicky výhodnější suché poldry, které jsou zároveň i ekologicky šetrnější. (Cílek, 2004)

## 4 Vegetace jako součást protipovodňové ochrany

Nedílnou součástí ochrany před povodněmi je samozřejmě také porost. Klíčové faktory pro alespoň částečné ovlivnění zaplavení, respektive urychlení odtoku, jsou především rozmístění vegetace a zvolení jejího vhodného druhu. Na infiltraci a odtoku povrchových vod se podílí zejména půda, jež spolu s vegetací tvoří významný celek. Tato kapitola také zhodnocuje, které porosty jsou vhodnější pro drobné vodní toky vyšších nadmořských oblastí a nebo pro nížinné velké toky.

## 4.1 Zpevnění břehů porosty

Při použití vegetace jako zpevnění břehových částí toků je třeba zohlednit jejich charakteristiky, významné pro jejich růst, vývoj a funkčnost. Jde především o kořenový systém, odolnost proti poškození, schopnost regenerace po poškození a délka životaschopnosti při zaplavení. Jelikož hlavním úkolem těchto porostů je chránit břehy před vodní erozí, jsou k tomuto účelu nejvhodnější porosty s hlubokými a dostatečně rozvětvenými kořeny (Ehrlich, 2003). Pro zachování krajinného rázu je vhodné používat dřeviny, které by v těchto podmínkách vznikaly přirozeně (Novák, 1986). Tato vegetace však snese jen určitou dobu zatopení a při jejím překročení uhyne.

Dřevina	Počet dní v roce	
	Mimo vegetační dobu	Ve vegetační době
Vrba ( <i>Salix</i> )	30 - 60	20 - 30
Olše ( <i>Alnus</i> )	20 - 30	15 - 20
Dub ( <i>Quercus</i> ) Jasan ( <i>Fraxinus</i> ) Topol ( <i>Populus</i> )	15 - 20	10 - 15

Tab. 1: Přípustné doby zatopení dřevinných porostů (Ehrlich, 2003)

Mezi tzv. povodňové škody se často řadí také zničené břehové porosty. K tomu dochází nejčastěji právě na upravených tocích. Poničení břehových částí přirozených toků nedochází tak často (Sýkora, 2003). Mezi nejpoužívanější způsob vegetačního opevnění břehů patří opevnění keřovitými vrby. Ty často zpomalují průtok zejména úzkých částí toků. Míra zpomalení se pohybuje mezi 15 – 70 % (Novák, 1986).

### 4.1.1 Soubory lesních typů

- **Měkký luh** – vyskytuje se na půdách převážně písčitých. Skladba dřevin: topol 40%, olše 40%, vrba 20%
- **Přechodný luh** – vyskytuje se na méně propustných půdách hlinitých a jílovitohlinitých. Skladba dřevin: topol 50%, jasan 20%, olše 20%, jílm 10%, dub jen velmi vzácně
- **Tvrký luh** – vyskytuje se v nadmořské výšce 140 – 260 m na půdách hlinitopísčitých až jílovitohlinitých (černozemě, hnědozemě). Skladba dřevin: dub letní 50%, jasan 20%, jílm 20%, lípa 10%, javor a topol jen vzácně. (Jeníček, 2008)
- **Jasanové olšiny** – vyskytují se v pahorkatinách a vrchovinách podél potoků a pramenišť. Půdní podmínky jsou velmi

proměnlivé. Často sáhá podzemní voda až k povrchu nebo je až 0,5 m pod povrchem.

- Potoční – skladba: olše 60%, jasan 40%
- Pramenišní – skladba: olše 80%, jasan 20%
- **Luhy šedé olše** – vyskytují se v horských oblastech především v Karpatech. Velmi rozmanité podloží (hlinitopísčité až kamenité náplavy). Skladba: olše šedá 80%, javor klen 10%, jasan 10%.
- **Olšiny** – výskyt v menších, trvale zamokřených polohách. (rozdělení dle Mezery, Mrázka, Samka)

## 4.2 Zvýšení retenčního potenciálu lesních půd

Lesní hospodářství má zásadní vliv na tvorbu odtoků z povodí a to zejména jeho plošný rozsah, zaměření a intenzita. Tyto aktivity ovlivňují a transformují srážkoodtokové procesy. Rozhodující faktory jsou vysoké povrchová retence a následná infiltrace, mocnost půdy, skladba, forma, a kyprost a také neporušenost nadložního humózního pokryvu. Všechny tyto vlastnosti také ovlivňuje druhová a prostorová skladba a také technologie, jejíž pomocí se lesní porosty obhospodařují (Herynek, 2003).

Mezi účinné zásahy do odtokových poměrů lze tedy řadit:

- Zadržování vody – lze toho docílit intercepací (zachycením) srážek vegetačním krytem, zvýšení povrchové akumulace vody, aj.
- Zpomalení odtoku srážkové vody – lze toho docílit snížením podélného sklonu povrchu a vodní sítě, zvýšením drsnosti povrchu půdy, aj.

Lesní hospodářství ovlivňuje utváření odtoku na třetinu celkové výměry ČR, spolu se zemědělstvím na téměř 88 %. Více jak 90 % všech lesů se nachází v pahorkatinách či horských oblastech. (Herynek, 2003)

## 4.3 Vegetace u vodních toků dle nadmořské polohy

Funkčnost vegetace se výrazně liší v závislosti na velikosti toku a nadmořské výšce. Proto je nutné použít následující rozdělení ke zvýšení efektivity protierozní a protipovodňové ochrany. Docílíme toho zejména vymezením vhodných typů a druhů vegetace.

### 4.3.1 Vegetace velkých vodních toků nížin

Půdní podloží se skládá především z jemnozrnných zemin. Na tyto typy půd je v okolí velkých toků hodí použít např.: chrastice rákosovitá, šmel okoličnatý, puškvorec obecný a kosatec žlutý. Tyto porosty nevyžadují téměř žádnou údržbu a nejlépe ochrání svah koryta na začátku vegetačního pásma. V případě vyšším rychlostem proudění vody se dají

využít vodní rostliny umístěné do paty svahu břehu, nad ně se umístí pás keřovitých vrb a dále travní porost (Novák, 1986).

#### 4.3.2 Vegetace velkých vodních toků pahorkatin

Je vhodné zde založit keřovité vrbové porosty hned nad setrvalou hladinou vody. Při větším náporu vody na svahy jsou vhodné odolnější kamenné záhozy a polovegetační tvárnice.

#### 4.3.3 Vegetace velkých vodních toků v podhorských a horských oblastech

Tyto toky se vyznačují především větším sklonem dna a intenzivnějším pohybem splavenin. Břehový porost by měl být optimálně tvořen vzrostlým stromovým porostem za řídkého doprovodu křovin. Než bude vysokokmenný porost dostatečně vyvinutý, je vhodné ho doplnit křovinatými vrbami. Ty jsou však náročné na údržbu a esteticky nevhodné (Novák, 1986).

#### 4.3.4 Vegetace drobných vodních toků nížin

Pro tyto toky je charakteristický velmi malý sklon dna, na kterém se ukládají jemné splaveniny. Proces ukládání splavenin zde převládá nad procesem výmolových činností. U koryta toků můžeme pozorovat časté meandry. (Novák, 1986) Jelikož ani v jarních měsících se tyto toky nepotýkají s výrazným zvýšením hodnot středních průtokových rychlostí, stačí svahy koryt toků opevnit zatravněním. Z estetického rázu se do krajinného složení hodí zejména topol. Můžeme tedy i menší toky lemovat jeho hojným porostem. (Jeníček, 2008)

#### 4.3.5 Vegetace drobných vodních toků pahorkatin a podhorských oblastí

Stálost koryta těchto toků ovlivňují přirozeně vzniklé břehové porosty, které ale musí být usměrňovány tak, aby dostatečně opevňovaly svahy koryta pro průtok velkých vod. Tyto dřevinné porosty rostou těsně u hladiny především na konvexní straně zákrut, kde zvyšují drsnost svahů a napomáhají k usazování splavenin. Naopak na konkávní straně je podemlán kořenový systém dřevin. To může vést k vývrátům dřevin a k přehrazení koryta. Tomu se snaží předejít zejména výsadbou křovinatých vrb, které zaujmou pozici činitele zodpovědného za zpevnění svahů alespoň do té doby, než Stromové patro dostatečně nevzroste. Poté dojde k zastínění keřového patra korunami vzrostlých vysokokmenných porostů a jeho následnému odumření (Novák, 1986).

### 4.4 Úloha lesů při tlumení povodní

Za posledních 200 let se výrazně změnilo druhové složení lesů na území ČR. Dříve byly zastoupeny jehličnany pouze kolem 35 % (smrk jen 10 %), v dnešní

době je jejich zastoupení dvojnásobné – 75 % (smrk 55 %). Schopnosti tlumení povodní jsou nižší u listnatých lesů než u lesů jehličnatých. Poměrně přijatelně jsou schopny lesy utlumit přívalové deště o síle do 100 mm. Za kritickou hodnotu se považují deště o síle 150 – 200 mm. Poté dochází k plnému nasycení půdy a nastává spontánní odtok vody celým půdním profilem. Na tento odtok již nemá vliv ani druhové složení lesa ani způsob jeho obhospodařování. Na míru infiltrace má také vliv horninové podloží. Záleží především na jeho formě a propustnosti. Pokud je nepropustné, může buď voda volně pokračovat v podpovrchovém odtoku v půdě, nebo může být zadržena v prohlubních tohoto podloží. Pokud je podloží propustné (puklinové), dostává se srážková voda do vod podzemních, kde pokračuje v podzemním odtoku (Kantor, 2003).

## **5 Protipovodňová opatření v urbanizovaném území**

K největším škodám vždy dochází v urbanizovaných územích. Abychom jim předešli je potřeba využít nástroje jak technické tak i organizační. Mezi ně patří mimo jiné i protipovodňová prevence.

### **5.1 Organizační opatření**

#### **5.1.1 Prevence ochrany obyvatelstva**

Obyvatelé záplavových oblastí by měli být obeznámeni s tím, jak budou postupovat při příchodu povodně. Měli by mít zajištěné náhradní ubytování a zajištěnou péči o děti a důchodce. Jako rodina popřípadě i v sousedství být domluveni na nějakém evakuačním plánu. Ke snížení škod může také přispět ochrana cenných věcí, na příklad přemístěním do vyšších pater, umístěním na nábytek popřípadě odvezením ze záplavového území. Domácnosti žijící v ohrožených oblastech musejí také počítat se zhroucením technické infrastruktury – povodeň může přerušit dodávky elektrického proudu a plynu, telefonické spojení i zásobování potravinami a pitnou vodou. Pro tento případ je dobré se včas dostatečně zásobit. Důležitá je pitná voda a potraviny, ale i náhradní zdroje světla. Je vhodné si připravit zavazadlo s důležitými dokumenty, léky a hygienickými potřebami (Slavíková, 2007).

#### **5.1.2 Prevence ochrany staveb**

Vhodné je stavby již navrhovat a konstruovat s ohledem na možná rizika záplav. Vhodná jsou na příklad opatření: vystavět odizolované sklepy jako utěsněné vany, přívody elektřiny, vody a plynu již projektovat s ohledem na možné zaplavení, vestavěním zpětných klapků zabránit zpětnému vzduťi kanalizace. Pokud stavba není preventivně zaopatřena, je tu také možnost tzv. pytlování. Hlavní princip je v tom, zahradit vodě cestu do stavby. Tato metoda se však nemusí shledat s očekávaným výsledkem, jelikož voda může přijít ze směru, který by

se neočekával. Asi poslední možností k co nejvyššímu omezení škod je zkrátka ustoupení hrubé síle. Jelikož je na stavbu vyvíjen veliký tlak stoupající hladinou podzemní vody a záplavové vlny tlačí na stavbu ze stran, bylo by rozumné uvolnit tento tlak a nechat prostory volně zaplavit, Kdyby se tak neučinilo, hrozilo by poškození stavební podstaty objektu (Slavíková, 2007).

### 5.1.3 Bezpečný režim ochrany měst

Rozlišují se:

- Území dlouhodobě ohrožená s režimem omezení rozvoje a se stanovenými zásadami chování při povodni
- Území dočasně ohrožená povodněmi
- Území bez ohrožení (Konvička, 2002)

Do organizačních opatření byly zařazeny také tzv. *“Stupně povodňové aktivity“*. Řídí se směrodatnými limity: vodní stavy v hlásných profilech, mezní hodnoty (denní úhrn srážek, hladina vody v nádrži atd.). Jsou z pravidla měřítkem povodňového nebezpečí na vodním díle a na území pod ním. V ČR rozlišujeme 3 stupně povodňové aktivity:

- **I. Stupeň povodňové aktivity** – bdělost: nastává při nebezpečí povodně a zaniká, když příčiny nebezpečí pominou. Stav bdělosti vyhláší ČHMU.
- **II. Stupeň povodňové aktivity** – pohotovost: vyhláší příslušný povodňový orgán, když nebezpečí povodně přerůstá v povodeň, a v době povodně, když ještě nedochází k větším rozlivům a škodám mimo koryto.
- **III. Stupeň povodňové aktivity** – ohrožení: Vyhláší jej příslušný povodňový orgán při bezprostředním nebezpečí nebo při vzniku větších škod a ohrožení majetku a životů v záplavovém území (Slavíková, 2007).

Dalším rozdělením je dle pravděpodobnosti výskytu povodní v přirozených záplavových územích:

- **Aktivní průtočná zóna** – tvoří přirozené záplavové území. Je do ní soustředěna rozhodující část celkového povodňového průtoku. Nesmí se zde umísťovat stavby. Výjimku tvoří vodohospodářská díla, liniové stavby dopravní a technické infrastruktury
- **Pasivní průtočná zóna** – je část přirozeného záplavového území, v němž voda protéká nízkou rychlostí. Je zde povoleno rekonstruovat stávající stavby. Umísťovat nové stavby je

povolenou pouze v případě, pokud hloubka vody při povodni nepřesáhne 0,5 m v místě stavby.

- **Historická průtočná zóna** – původní záplavové území. K jeho zaplavení pravidelně nedošlo již po několik povodní. Je zde dovoleno umisťovat nové stavby v rámci zastavěných území.

Přirozená záplavová území se dále dělí podle využití:

- Část současně zastavěnou
- Část nezastavěnou (inundační území)  
(Konvička, 2002)

## 5.2 Technická opatření ochrany urbanizovaných území

Tato opatření by měla hydrologický cyklus co nejlépe přiblížit jeho přirozeným podmínkám a zároveň ochránit majetek v případných záplavových oblastech. Technická opatření rozdělujeme:

- Opatření snižující a zpomalující povrchový odtok
- Opatření chránící stokový systém

### 5.2.1 Opatření snižující a zpomalující povrchový odtok

V *Tab. 2* můžeme vyčíst základní typy technických opatření snižujících nebo zpomalujících povrchový odtok:



Opatření	Základní princip a výhody	Nevýhody
<b>Decentrální retence</b>		
Retenční nádrž	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ krátkodobé zachycení dešťového odtoku</li> <li>▪ jednoduchá a levná zařízení</li> </ul>	potřebná plocha nutná provozní údržba
Retenční nádrže s biotopem	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ krátkodobé zachycení dešťového odtoku</li> <li>▪ předčistění povrchového odtoku</li> <li>▪ u rodinných domů možno využít ke koupání</li> </ul>	údržba a péče
Retenční kanál	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ potrubí o velkém průměru s koncovým zařízením na omezení odtoku</li> <li>▪ nezabírá místo na pozemku</li> </ul>	vyšší investiční náklady
Střechy, terasy s vegetačním povrchem	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ retence na plochách s vegetačním či štěrkopíckovým pokryvem</li> <li>▪ nezabírá plochu pozemku</li> </ul>	údržba a péče o povrch
Parkoviště a průmyslové plochy	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ omezení odtoku s krátkodobým zatopením těchto ploch</li> <li>▪ jednoduché opatření</li> </ul>	krátkodobé omezení užívání
<b>Zasakování dešťového odtoku</b>		
Plošná infiltrace	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ zasakování na plochách s propustným povrchem</li> <li>▪ parkoviště, dvory, sportovní plochy</li> </ul>	úprava potřebných ploch údržba a péče
Muldy a infiltrační nádrže	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ kombinace retence a zasakování</li> <li>▪ estetická funkce</li> </ul>	potřebná plocha údržba a péče
Štěrkové těleso	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ podpovrchová infiltrace s částečnou retenční funkcí</li> <li>▪ nezabírá plochu pozemku</li> </ul>	vyšší investiční náklady
Zasakovací příkopy	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ zakryté příkopy vyplněné štěrkem a rozvodem vody perforovanými rourami</li> <li>▪ nezabírá plochu pozemku</li> </ul>	vyšší investiční náklady
Zasakovací šachty	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ bodové podpovrchové zasakování</li> </ul>	vyšší investiční náklady
<b>Užívání dešťové vody</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Zavlažování pozemků, sportovních ploch, parků atd.</li> <li>▪ Mytí vozů a úklid provozních ploch</li> <li>▪ Zásobování WC</li> </ul>		
<b>Opatření ke zmírnění škod</b>		
Využití ulic k odvádění extrémního povrchového odtoku	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Plánování povrchového odvodnění území prostřednictvím systémů k tomu uzpůsobených komunikací</li> <li>▪ Vhodné pouze pro externí jevy</li> </ul>	Využití odvodňovací kapacity ulic

*Tab. 2: Přehled technických opatření snižující povrchový odtok v urbanizovaném území (Slavíková, 2007)*

### 5.2.2 Opatření chránící stokový systém

V Tab. 3 můžeme vyčíst základní technická opatření chránící stokový systém:

Opatření	Základní principy a výhody
Prvky ochrany stokového systému před povodněmi	
Pevné uzávěry	zamezení průniku vody do kanalizačního systému osazovány na výpustech odlehčovacích komor pasivní funkce (při uzavření nelze převádět dešťový odtok do vodního toku) vhodné kombinovat se zpětnou klapkou
Zpětné klapky	zamezení průniku vody do kanalizace samoregulační funkce (klapka se uzavírá/otevívá na základě poměrů tlakových sil) do určitého vodního stavu v recipientu lze pomocí zpětné klapky bezproblémově provozovat i stokový systém v době dešťového do toku z území vhodné kombinovat se zpětným uzávěrem
Čerpací stanice	převádění dešťového odtoku z intravilánu do vodního toku přes protipovodňové opatření vhodné řešit mobilními zařízeními problém dlouhodobé údržby

Tab. 3: Technická opatření chránící stokový systém (Slavíková, 2007)

## 6 Charakteristika zájmového území

Obec Nové Kopisty se nachází v Ústeckém kraji 4 km jižně od královského města Litoměřice a 1 kilometr západně od obce Terežín, jež byl za druhé světové války využíván jako koncentrační tábor. Katastrální výměra činí 3,17 km<sup>2</sup> a v obci žije 390 obyvatel (k roku 2011). Průměrná nadmořská výška je 149 m.n.m. Díky rozsáhlým polím, obklopujícím obec, je pro Nové kopisty typické zemědělství a to zejména pěstování cukrové řepy a řepky olejky.



Obr. 3: Umístění obce Nové Kopisty

### 6.1 Geologické a pedologické poměry

Na zájmovém území se nachází především spraše a sprašové hlíny, které jsou naváté větrem. Spraše vznikaly i v močálech, respektive v prostředí, které bylo občas zaplavené vodou (říční nivy). Sprašová příkrývka se tvořila během několika ledových dob (glaciálů) a stadiálů (studené období během doby ledové, oddělené navzájem teplejšími interstadiály). Podle zrnitosti převládají ve spraších prachové částice velikosti 0,01 až 0,05 mm, kterých bývá 40 - 50%. Zbytek tvoří jílovité částice a jemný písek. Mineralogické složení spraše záleží na horninách, z jejichž zvětralin byly spraše vyváté. Skládají se ze zrněk křemene, živců, slíd i jiných horninových nerostů. Důležitou součástí spraší je uhličitán vápenatý (buď rozptýleně, v zrnkách, bělavé povlaky na puklinách, vyplňuje dutinky po kořenech, drobné výkvěty, konkrce). Žlutohnědá barva spraše pochází od hydroxidu železa. Odvápněné a částečně přemístěné spraše označujeme jako sprašové hlíny. V původním uložení není vrstevnatá, je pórovitá, kyprá a zpravidla je prostoupena svislými trhlinami, má vertikální

strukturu. Svislá odlučnost je dobře patrná na strmých stěnách hlinišť. Spráše jsou propustné (svisle více než vodorovně 10 - 50x), ale srážková voda se v nich dlouho udržuje a v dobách sucha vzlíná kapilárně k povrchu. V našich podmínkách se na nich vytvořily většinou černozemní půdní typy. Náhled na geologickou mapu viz *Příloha 1.* (Petránek, 2015)

## 6.2 Historie povodní na území

Za zmínku stojí určitě 2 významné povodně, které se dokonce odehrály v posledních 13 letech.

### 6.2.1 Povodeň v roce 2002

Jedna z největších událostí svého druhu v historii České republiky. Spolu s povodněmi na Moravě v roce 1997 patří k nejtěžším dosavadním přírodním katastrofám moderní české historie. Byla to největší povodeň od ničivé Velké povodně v roce 1845. Proti ní byl průtok Vltavy Prahou v roce 2002 ještě přibližně o 20 % větší. 6. srpna 2002 začala počasí v Česku ovlivňovat tlaková níže, která se svým frontálním systémem pozvolna postupovala k východu. Do 7. a 8. srpna vytrvalé silné srážky naplnily většinu jihočeských a západočeských řek. Ve čtvrtek 8. srpna již na některých místech dosáhla povodeň svým rozsahem 50leté vody (především na jihu Čech). Situace se však pozvolna uklidňovala a 9. srpna přestalo pršet. Vltava v Praze dosáhla průtoku 1500 m<sup>3</sup>/s a začala klesat. 11. a 12. srpna začalo opět pršet. Nad jihozápadem Čech se střetly dva výrazné frontální systémy, které se jenom pomalu posunovaly k severovýchodu. Půda přesycená vodou z předešlých srážek nedokázala zadržet vodu a ta stékala do naplněných řek. V týdnu od 12. do 18. srpna tak část Česka postihla pětisetletá až tisíciletá povodeň. Nejvíce byla postižena Vltava se svým povodím, později dolní tok Labe a okrajově také toky v povodí Ohře a povodí Dyje.

Příčinou záplav byly nadprůměrné srážky, které v první srážkové epizodě zasáhly hlavně jih Čech a které se v druhé epizodě vyskytovaly již na většině území České republiky. Kromě značného nasycení půdy a koryt po první srážkové epizodě zde situaci ovlivnila mimo jiné i vodní díla, a to zejména Vltavské kaskády. Ta zachytila poměrně velkou část povodňové vlny z první srážkové epizody. Na druhou srážkovou epizodu již přehradní ale nestačily a povodeň bez větších překážek postupovala směrem do údolí. K znatelnému zploštění povodňové vlny Vltavy, resp. na Labi, došlo až v důsledku rozlivů v Polabské nížině. Nicméně ani to nestačilo a velká voda zasáhla i města dále na severu Čech a později i na německém úseku Labe. (Hladný, 2005)

V důsledku této přírodní katastrofy byly zpracovány povodňové plány, na jejichž základě byla realizována protipovodňová opatření na mnoha místech republiky.

## 6.2.2 Povodeň v roce 2013

Povodeň v České republice 2013 probíhala ve třech navazujících vlnách: první od 29. května do 5. června po několikadenním dešti především v oblasti Středočeské pahorkatiny, ale i na severozápadě a severovýchodě Čech, druhá a zdaleka ne tak intenzivní přišla v důsledku intenzivních lokálních dešťů do nasycených jihočeských povodí od 10. června do 12. června a třetí, nejslabší vlna od 24. června do 27. června 2013 v oblasti Krkonoš, Jizerských hor a Českomoravské vrchoviny.

V Litoměřicích byl, tak jako při každé povodni, zcela zatopen prostor soutoku Labe a Ohře (obě řeky byly rozvodněné), vyřazen z provozu byl Tyršův most, neboť voda zatopila jeho levé předmostí v Želeticích, zatopena byla i přilehlá levobřežní obec Mlékojedy. V plném provozu zde zůstal nový silniční most Generála Chábery. Voda zatopila nejen město Terezín a jeho okolí, ale ve středu 5. 6. pronikla voda z Ohře svým zaniklým korytem v polích i do obce Nové Kopisty, kde protrhla provizorně budovanou polní hráz a dostala se i za hlavní železniční trať z Prahy do Děčína. V okolí Litoměřic voda zcela přelila mobilní protipovodňové zábrany v obci Křešice. Přehled mobilních protipovodňových opatření v okolí Litoměřicka viz *Příloha 2 a Příloha 3*. (ČHMÚ, 2013)

## 6.3 Přehled protipovodňových opatření v okolí zájmového území

*(potřebné technické parametry a fotodokumentace převzaty ze serveru: [www.voda.chmi.cz/pov13/DilciZprava\\_Funkcnost-PPO.pdf](http://www.voda.chmi.cz/pov13/DilciZprava_Funkcnost-PPO.pdf))*

### 6.3.1 Obec Křešice

Ochranu obce při povodni tvoří kombinace liniových opatření. Spodní stavba opatření je ve třech variantách: štětovicové stěny, sloupy tryskové injektáže doplněné o kotevní mikropiloty a podzemní betonové stěny a pasy. Nadzemní stavba opatření je v pěti variantách: pevná železobetonová zeď, výška stěny nad terén od 0,10 m do 2,95 m, kovová konstrukce mobilního hrazení - jsou umístěny v místech přechodů komunikací, vjezdů a přístupů na pozemek o výšce 0,20 m – 2,80 m, resp. 4,20 m v místě uzavírky Blatenského potoka, kombinace obou předchozích, pytle s pískem v krátkém úseku a terénní úprava ve formě ochranné hrázky do výšky 0,40 m. Celková délka linie opatření je 2 329 m. Délka pevných zdí je 1 779 m. Délka kombinace pevných zdí a mobilních hrazení je 183 m. Délka mobilních hrazení je 255 m. Délka pytlů s pískem je 35 m. Délka terénních úprav (zemní hrázka) je 77 m. Plocha chráněného území 145 ha. Návrhový průtok  $Q_{20} = 3\,035 \text{ m}^3/\text{s}$ . Foto viz *Příloha 4*.

### 6.3.2 Obec Lovosice

Linie zemních hrází a pevných a mobilních stěn chrání prostor ohraničený z východu přivaděčem k průmyslové zóně Prosmyky II/247, z jihu a jihozápadu korytem Modly a ze severu tokem řeky Labe v ř. km 47,5 – 50,0. Úroveň ochrany je Q100. Foto viz *Příloha 5*.

### 6.3.3 Obec Píšťany

Linie protipovodňového opatření chrání území proti účinkům proudící vody při přelití z Labe do Žernoseckého jezera přes obec a silnici III/24714. Opatření je tvořeno homogenní zemní hrází o délce 722 m, s maximální výškou 5,4 m a mobilní stěnou v celkové délce 402 m a výšky 3,9 m. Proti účinkům proudící vody je území chráněno do úrovně Q100 na Labi. Úroveň ochrany je pro návrhový průtok Q20, proti dynamickým účinkům proudící vody na Q100. Foto viz *Příloha 6*.

### 6.3.4 Obec Bohušovice nad Ohří

Opatření se nachází v intarvilánu a extrevilánu města. Celková délka opatření činí 2 781 m. Jedná se o kombinaci zemních hrází - 1430 m, železobetonových zdí - 488 m, mobilního hrazení v komunikacích - 679 m a zdí s mobilním hrazením - 113 m. Hrazená výška je v rozmezí 0,0 m - 4,0 m. Úroveň ochrany opatření Ohře Q50+50 cm, Labe Q2002+50 cm (151,80 m n.m.). Foto viz *Příloha 7*.

### 6.3.5 Obec Terezín

Město Terezín je ohroženo jak vodami z Ohře, tak povodňovými průtoky z Labe. Protipovodňové opatření zajišťuje ochranu centrální části města Terezín (tzv. Velké pevnosti) pro Q 2002 + 40 cm – tj. na kótu 151,62 m n. m. a ochranu východní části města (tzv. retranchementu) pro průtoky Q50 (na Labi i Ohři) + 40 cm – tj. na kótu 150,10 m n. m. (BP). Délka ochranné stěny – 2 143 m, délka mobilní stěny – 300 m, rekonstrukce nábrežní zdi – 1293 m. Foto viz *Příloha 8*.

## 6.4 Příčiny zásahu povodně až do obce Nové Kopisty

Obec Nové kopisty není pravidelně zaplavována. Dochází k tomu pouze v extrémních případech a k tomu v posledních 13 letech došlo dokonce dvakrát.

#### 6.4.1 Povodeň v roce 2002

Jak jsme se mohli dočíst výše, povodeň z roku 2002 je historicky největší zaznamenaná povodeň na našem území. Přišla poměrně dost nečekaně, tudíž se proti ní nedalo ubránit nijakými organizačními opatřeními. Ze začátku se alespoň obyvatelé snažili ochránit svůj majetek tzv. pytlováním, ale se zvyšující se hladinou povodňové vlny, jim nezbylo nic jiného než se z dané oblasti evakuovat. Do Nových Kopist se voda díky vysoké kulminaci dostala ze tří směrů, viz *Příloha 9*. V důsledku vysokých škod se okolní obce rozhodly vystavět preventivní protipovodňová opatření uvedena výše. Jelikož Nové kopisty jsou mimo území pravidelných záplav, rozhodla se obec Terezín, pod jehož správu spadají právě i Nové kopisty, že se raději bude soustředit na ochranu historicky významnější lokality – koncentrační tábor Terezín (malá i velká pevnost).

#### 6.4.2 Povodeň v roce 2013

Nikdo nečekal, že za tak krátkou dobu přijde téměř stejně rozsáhlá povodeň ještě jednou. Nicméně většina pravidelně zaplavovaných obcí na Litoměřicku již stihla protipovodňová opatření, budovaná od roku 2002, téměř plně dokončit. Jediné opatření, kterému chybělo měsíc do dokončení, muselo být improvizace upraveno. Tento chybějící úsek opatření byl však rozhodujícím faktorem pro zaplavení obce Nové Kopisty. V *Příloze 9* můžeme vidět všechny směry, kterými přišla povodeň v roce 2002. V roce 2013 nebyl kulminační průtok tak veliký, aby se voda převalila přes silnici vedoucí od Lovosic do Terezína (silnice má vyšší výškopisnou kótu než okolní pole), tudíž nehrozilo, že by voda přišla ze směru A (*Příloha 9*). Ze směru C došlo k rozlivu v okolí Lovosic do tamních polí, což poměrně zbrzdilo postup vody směrem k Novým Kopistům. Největší množství vody přišlo právě ze směru B, kdy došlo ke zpětnému vzduť hladiny Ohře. Nebýt nových protipovodňových opatření obcí Terezín a Bohušovice nad Ohří, nejspíše by voda do Nových Kopist vůbec nedošla. Ale jelikož protipovodňová opatření zafungovala, snížil se tím retenční prostor, kde mohlo dojít k rozlivu. Tím pádem se voda převalila právě přes nedokončenou část protipovodňové stěny mezi Terezínem a Bohušovicemi. Pokud by ale byla stěna dokončena, voda by si našla jinou cestu, nejspíše ze směru C.

## **6.5 Vlastní protipovodňové opatření obce Nové Kopisty**

Pro obec Nové Kopisty jsem zhodnotil jediné optimální řešení protipovodňových opatření. Jelikož okolní pole slouží jako retenční prostor dolního toku Labe a Ohře, musela by se celá obec obestavět protipovodňovými zdmi, popřípadě zabudovat podzemní základy pro mobilní protipovodňové stěny. Musel by se předělat kanalizační systém, jelikož neobsahuje ani pevné uzávěry ani zpětné klapky. Tudiž tyto dva prvky do stávající sítě doplnit. Jelikož geologické podloží obsahuje spraše a sprašovité hlíny, je půda celoročně poměrně dost nasycená vodou. To znamená, že při povodni je půda zcela nasycena a může dojít ke vzduťi spodní vody. V roce 2002 dosahovala voda v Nových Kopistech až po hodnotu 1,4 metru nad zemí. V roce 2013 to bylo jen o 40 cm méně. Můžeme tedy předpokládat, že vzduťi spodní vody je velmi pravděpodobné. Jediné řešení, které by obsahovalo o prevenci tohoto jevu, je vyvrtat na území obce 12 – 18 vrtů, tzv. odčerpávacích studní. Do každého z těchto vrtů by bylo v případě nouze umístěno hasičské čerpadlo, kterým by se stoupající hladinou podzemní vody odčerpávalo tuto vodu za protipovodňové stěny obklopující celou obec. Bohužel v případě této obce nejde využít žádné přírodní, vegetační nebo organizační opatření.



## 7 Diskuze

Z literární rešerše v první polovině této práce jsme se mohli seznámit s veškerými nám dostupnými druhy protipovodňových opatření a prevencí. Na základě těchto informací jsem byl schopen posoudit vhodnost využití každého z nich pro vybrané zájmové území.

Při posuzování vhodnosti aplikace protipovodňových opatření je třeba dbát na to, že okolí obce Nové Kopisty už vlastně jedním velkým protipovodňovým opatřením je. Jde o přirozený retenční prostor toku Labe i s jeho přilehlými nivami. Zájmová obec je zkrátka z hlediska protipovodňové ochrany nevhodně situována.

Za jediné a nejvíce efektivní řešení považuji obestavení celé obce protipovodňovými zábranami. Největším problémem by ještě před začátkem výstavby bylo zajištění stavebních povolení. Vlastníci okolních pozemků totiž nemusí souhlasit s výstavbou protipovodňových stěn. Při nešetrném obdělávání plodin by u nich mohlo dojít k poškození těžké techniky o paty těchto stavení.

Pokud by se v obci nacházela nějaká cenná historická památka a nebo šlo o protipovodňové opatření k ochraně většího územního celku, dalo by se zvážit použití *“principu veřejného zájmu na výkup nezbytných pozemků”*. V tomto případě se však tento princip využít nedá, tudíž by nešlo řešit celou záležitost právní cestou.

Pokud by však všichni vlastníci přilehlých pozemků souhlasili s výstavbou opatření, není ještě vyhráno. Jak už jsem uváděl, samotné protipovodňové stěny by bohužel k ochraně před velkou vodou nestačily. Obec by musela investovat z vlastních nákladů do renovace kanalizační sítě a teprve poté by se mohlo přejít k metodě odčerpávacích studní. Nejen, že zbudování vrtů je velmi nákladné, ale ještě by se musela zajistit hasičská čerpadla. Ty by bylo buď možné si je opět zakoupit na vlastní náklady obce nebo si je po domluvě zapůjčit od okolních hasičských sborů, které však mohou být v období záplav velmi vytížené.

Řešení protipovodňových opatření této obce je nejen velmi složité, ale bylo by také finančně velmi nákladné. Ohledně financování protipovodňových opatření je dobré, že jsou dlouhodobě zřizovány programy na jejich realizaci. Nedávno byl realizován program *129 120 Podpora prevence před povodněmi II*, který probíhal v letech 2007 až 2012, stát na něj vyhradil 10 miliard Kč. Je vidět, že se stát z minulých katastrof ponaučil a začal investovat do ochrany před povodněmi.

Nicméně vzhledem k nízké pravidelnosti záplav, s výjimkou posledních 13 let, pochybuji, že bude stát investovat do ochrany obyčejné vesnice, jejíž součástí nejsou žádné významné historické památky, popřípadě nadnárodní korporace, které si většinou tyto opatření hradí zcela samy. Takovým příkladem jsou třeba protipovodňové stěny na Lovosicku, kdy chrání výhradně objekty bývalé Lovochemie, v nichž dnes sídlí právě německé společnosti jako je například Glanzstoff-Bohemia s.r.o.

Z výše uvedených důvodů se domnívám, že se výstavba protipovodňových opatření obce Nové Kopisty v nejbližších letech konat nebude. Ať už z důvodů ekonomických či organizačních, co se týče práv na nakládání s pozemky.

## 8 Závěr

Povodně v českých krajinách vždy byly a vždy budou. Teď je na nás, jak budeme hospodařit s finančními příspěvky na ochranu před nimi. Pokud budeme nadále jen budovat technická protipovodňová opatření snižující přirozenou retenci krajiny, je možné, že to bude mít dopad na celý hydrologický systém v naší zemi. Měli bychom se naopak soustředit na opětovné využívání již zastavěných a nevyužívaných ploch, místo toho abychom vytvářeli nové. Taktéž bychom měli obnovovat přirozenou retenční schopnost krajiny hlavně u menších vodních toků. Předejdeme tím lokálním záplavám, které se mohou později akumulovat do další celostátní Velké vody.

## Použitá literatura:

1. BÖHM H. R. et. al. Implementation of flood risk management measures into spatial plans and policies. *River Research and Applications*. May 2004, vol. 20, no 3, s. 255 - 267.
2. CÍLEK V. et. al. Voda v krajině. 1. vydání. Praha: Consult Praha, 2004, 207 s. ISBN 80-902132-7-8
3. ERLICH P., ONDR P. et ZÁMIŠOVÁ K. Revitalizační úpravy a protipovodňová ochrana nového díla. In *Protipovodňová prevence akrajinné plánování. Sborník příspěvků z mezinárodní konference Protipovodňová prevence a krajinné plánování*. Pardubice: Česká společnost krajinných inženýrů – ČSSI, 2003. s. 248-255
4. HERYNEK J. Zvyšování retenčního potenciálu lesích půd. In *Protipovodňová prevence a krajinné plánování. Sborník příspěvků z mezinárodní konference Protipovodňová prevence a krajinné plánování*. Pardubice: Česká společnost krajinných inženýrů – ČSSI, 2003. s. 167-173
5. HRÁDEK F. et KUŘÍK P. Hydrologie. 3. vydání. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2008, s. 280. ISBN 978-80-213-1744-4.
6. HRÁDEK F. et KUŘÍK P. Protipovodňová opatření v povodích drobných vodních toků. In *Protipovodňová prevence a krajinné plánování. Sborník příspěvků z mezinárodní konference Protipovodňová prevence a krajinné plánování*. Pardubice: Česká společnost krajinných inženýrů – ČSSI, 2003. s. 226-233
7. KANTOR P. et ŠACH F. Úloha horských lesů při tlumení povodní. In *Protipovodňová prevence a krajinné plánování. Sborník příspěvků z mezinárodní konference Protipovodňová prevence a krajinné plánování*. Pardubice: Česká společnost krajinných inženýrů – ČSSI, 2003. s. 193-199
8. KONVIČKA M. et al. Město a povodeň – strategie rozvoje měst po povodních. 1. vydání. Šlapanice: Vydavatelství ERA, 2002. s. 219. ISBN 80-86517-38-1.
9. MÁCA P. Jednotkový hydrogram. 1. vydání. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze ve Výzkumném ústavu vodohospodářském T. G. Masaryka, v. v. i., v edici Práce a studie jako sešit 202, 2010. s. 104. ISBN 978-80-87402-05-4
10. NOVÁK L., IBLOVÁ M. et. ŠKOPEK V. Vegetace v úpravách vodních toků a nádrží. 1. vydání. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1986, s. 243. ISBN
11. SLAVÍKOVÁ L. et al. Ochrana před povodněmi v urbanizovaných územích. 1. vydání. Praha: IREAS, Institut pro strukturální politiku, o.p.s., 2007. s. 80. ISBN 978-80-86684-48-2.
12. StMUGV. Ochrana před povodněmi v Bavorsku - Strategie a příklady. In *Ochrana před povodněmi v urbanizovaných územích*. Praha: IREAS, Institut pro strukturální politiku, o.p.s., 2007. s. 80. ISBN 978-80-86684-48-2.
13. SÝKORA P. Stromami porostlé břehy toků jsou stabilnější i za povodně. In *Protipovodňová prevence a krajinné plánování. Sborník příspěvků z*

*mezinárodní konference Protipovodňová prevence a krajinné plánování.*

Pardubice: Česká společnost krajinných inženýrů – ČSSI, 2003. s. 261-266

14. ŠÁLEK J. Retenční nádrže v pozemkových úpravách. In *Voda v krajině a pozemkové úpravy. Sborník IV. konference voda a pozemkové úpravy.* Kutná hora: Sdružení vodohospodářů ČR, Oblastní sdružení Kutná hora, 1998. s. 53-65

Internetové zdroje:

1. JÁNSKÝ B. *Retence vody v povodí* [online]. Publikováno 2003 [cit. 1.2.2011]. Dostupné z: [http://hydro.natur.cuni.cz/zmeny\\_povodni/pdf/jansky.pdf](http://hydro.natur.cuni.cz/zmeny_povodni/pdf/jansky.pdf)
2. JUST, T. Uplatnění revitalizačních opatření při protipovodňové ochraně. In *Přírodě blízka protipovodňová ochrana: Prostor pro vodní toky a zapojení ekosystémů* [online]. P 23.11.2010 [cit. 1.2.2011]. Dostupné z: <http://www.koaliceproreky.cz/wp-ulozto/sbornik-FIN.pdf>
3. ČHMÚ- Předběžné hydrometeorologické shrnutí průběhu povodně 2013 Dostupné z: [http://voda.chmi.cz/pov13/DilciZprava\\_Funkcnost-PPO.pdf](http://voda.chmi.cz/pov13/DilciZprava_Funkcnost-PPO.pdf)
4. Jeníček, M. (2008): Modelling the effect of small reservoirs on flood regime in the Chomutovka river basin. In Brilly, M and Šraj, M. (Eds.): *XXIVth Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, 2.-4. June 2008* [CD-ROM]. Ljubljana. ISBN 978-961-91090-2-1. Dostupné z: <http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/profil.php?akce=publikace&lang=cze>
5. Kutláková, L., Jeníček, M. (2012): Modelování akumulace a tání sněhu v povodí Bystřice v Krušných horách (Modelling snow accumulation and snowmelt in the Bystřice River basin). *Geografie*, 117 (1), 110-125. *IF 1,021*. Dostupné z: <http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/profil.php?akce=publikace&lang=cze>
6. Hladný. (2005). *Katastrofální povodeň v České republice v srpnu 2002*
7. JUST, T. Uplatnění revitalizačních opatření při protipovodňové ochraně. In *Přírodě blízka protipovodňová ochrana: Prostor pro vodní toky a zapojení ekosystémů* [online]. P 23.11.2010 [cit. 1.2.2011]. Dostupné z: <http://www.koaliceproreky.cz/wp-ulozto/sbornik-FIN.pdf>
8. USNESENÍ VLÁDY ČR č. 382/2000. Strategie ochrany před povodněmi pro území ČR. Vystaveno 20.4.2000 [cit. 1.2.2011]. Dostupné z: [http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/strategie\\_ochrany\\_povodne/\\$FILE/OOV\\_strategie\\_povodne\\_20000419.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/strategie_ochrany_povodne/$FILE/OOV_strategie_povodne_20000419.pdf).
9. USNESENÍ VLÁDY ČR č. 496/2006. K financování protipovodňových opatření zajišťovaných ministerstvem zemědělství. Vystaveno 21.5.2006 [cit. 2.2.2011]. Dostupné z: [http://eagri.cz/public/web/file/16388/Usneseni\\_vlady\\_c.\\_496.pdf](http://eagri.cz/public/web/file/16388/Usneseni_vlady_c._496.pdf)
10. Spektrum wasser,1-2004 <http://www.spektrumwasser.de/abs1-2004/acs>
11. Pánek, T. (2002). *Základy pedologie a pedogeografie*. Ostrava. <http://www.koaliceproreky.cz/wp-ulozto/sbornik-FIN.pdf>