

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE  
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ  
KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ A  
ENVIROMENTÁLNÍHO MODELOVÁNÍ**

Analýza protipovodňového opatření na Cehnickém  
potoce – suchý poldr

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Vedoucí práce: Ing. Petr Bašta  
Bakalant: Michal Předota**

**2016**

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Michal Předota

Vodní hospodářství

Název práce

**Analýza protipovodňového opatření na Cehnickém potoce – suchý poldr**

Název anglicky

**Analysis of flood protection measure on Cehnický potok – dry polder**

---

### Cíle práce

Cílem bakalářské práce bude více přiblížit povodňovou situaci před a po vybudování suchého poldru jakožto protipovodňového opatření na Cehnickém potoce, popsat a zhodnotit jeho dopad na zájmové území, zmapovat výstavbu a posoudit jeho funkčnost a prospěšnost pro místní obyvatele.

### Metodika

Teoretická část:

- V rámci rešeršní části bude shrnuta publikovaná protipovodňová problematika (objasnění vzniku povodní, typy povodní, přehled protipovodňových opatření, protipovodňová prevence, stupně povodňové aktivity, aktivní zóna záplavového území apod.), dále úvod do problematiky malých vodních nádrží a poldrů

Metodická část:

- Popis zájmového území,
- Popis obecného postupu pro posouzení funkčnosti suchého poldru.

Praktická část:

- Posouzení stávajících opatření, fotodokumentace.

Výstupy z praktické části budou shrnuty formou diskuze.

**Doporučený rozsah práce**

cca 40 stran

**Klíčová slova**

Suchý poldr, protipovodňová opatření, Cehnický potok, průtok

---

**Doporučené zdroje informací**

Kolektiv autorů (2003): Sborník příspěvků z mezinárodní konference Protipovodňová prevence a krajinné plánování. Pardubice: Česká společnost krajinných inženýrů.

Máca, P. et. al., 2008. Monitoring a vyhodnocení extrémních odtokových poměrů v povodí drobných vodních toků z hlediska prevence a zmírňování povodňových škod. KVHEM FŽP ČZU a VÚMOP v. v. i.

Mana, V., 2008. Voda a krajina. Komplexní systém protierozních a protipovodňových opatření v ČR, Brno.

Slavíková, L., et al. (2007): Ochrana před povodněmi v urbanizovaných územích. Praha: IREAS, Institut pro strukturální politiku, o.p.s., 80 s.

Šálek, J. (1998): Retenční nádrže v pozemkových úpravách. IN: Voda v krajině a pozemkové úpravy. Sborník IV. konference voda a pozemkové úpravy. Kutná hora: Sdružení vodohospodářů ČR. s. 53-65.

Úplné znění zákona č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)

---

**Předběžný termín obhajoby**

2015/16 LS – FŽP

**Vedoucí práce**

Ing. Petr Bašta

**Garantující pracoviště**

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

---

Elektronicky schváleno dne 24. 2. 2016

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

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 7. 3. 2016

**prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.**

Děkan

V Praze dne 03. 04. 2016

## **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 dne .....

.....

## **Poděkování**

Rád bych chtěl touto cestou poděkovat Ing. Petru Baštovi za odborné vedení, ochotný přístup a cenné rady v průběhu psaní bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat starostce obce Cehnice paní Heleně Sosnové za ochotný přístup a poskytnutí všech potřebných materiálů. Další poděkování patří mé rodině za podporu, trpělivost a poskytnutí zázemí nejen při vzniku této práce, ale i v průběhu celého studia.

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce se zabývá povodňovou problematikou a způsobem protipovodňové ochrany na území České republiky. V rámci teoretické části jsou shrnuty poznatky týkající se vzniku, průběhu a rozdělení povodní. Popisuje systém řízení protipovodňové ochrany a rozdělení jednotlivých protipovodňových opatření. Podrobněji rozebírá suché poldry, které splňují ochranou a retenční funkci v krajině. Dále definuje pojmy typu průtok, povodňová vlna, aktivní zóna záplavového území, stupně povodňové aktivity nebo malá vodní nádrž. V rámci praktické části práce je uvedena charakteristika zájmového území a hydrotechnický popis průtočného suchého poldru Cehnice, kterým protéká Cehnický potok. Efektivnost a funkčnost tohoto poldru dosud nebyla dostatečně ověřena, a proto je hlavním přínosem práce výpočet transformace povodňové vlny suchým poldrem Cehnice s dobou opakování  $Q_{100}$ ,  $Q_{50}$  a  $Q_{20}$  pomocí „*numerické metody pro posouzení efektivnosti suché nádrže*“, zhodnocení dosažených výsledků a rozbor současné povodňové situace na území obce Cehnice.

## **Klíčová slova**

Suchý poldr, protipovodňová opatření, Cehnický potok, průtok

## **Abstract**

This bachelor thesis aims on flood troubleshooting and on the flood protection Czech Republic uses. The theoretical part sums up the flood proces – its origin, process and types of flood. It describes the management of flood protection system and all means of flood protection. It contains a detailed description of dry polders, which represent a protective and retention function in the countryside. Further on it defines the concept of river flow, flood wave, active flood zone, degree of flood activity and small water reservoir. The practical part contains a characteristic of the area of interest of flow polder of the Cehnice village, through which flows the Cehnice stream. The efficiency and functionality of this polder has not been sufficiently verified yet and so the main benefit of this thesis is the calculation of transformation of the flood wave by the dry polder of Cehnice with the period of repeatability  $Q_{100}$ ,  $Q_{50}$  and  $Q_{20}$  using „numerical method for dry reservoir assessment“, evaluation of the results and an analysis of the current flood situation in the area of Cehnice village.

## **Keywords**

Dry polder, flood control, Cehnický potok, flow

# Obsah

<b>1. Úvod.....</b>	<b>10</b>
<b>2. Cíle práce .....</b>	<b>11</b>
<b>3. Literární rešerše .....</b>	<b>12</b>
<b>3.1 Povodně.....</b>	<b>12</b>
3.1.1 Definice povodně .....	12
3.1.2 Příčiny vzniku povodní na území ČR.....	12
3.1.3 Přírodní faktory ovlivňující průběh povodní .....	15
3.1.4 Dopad činnosti člověka na průběh povodní.....	17
3.1.5 Rozdělení povodní.....	18
3.1.6 Aktivní zóna záplavového území .....	19
3.1.7 M-denní a N-letý průtok na vodním toku .....	20
3.1.8 Povodňová vlna .....	21
<b>3.2 Protipovodňová opatření .....</b>	<b>22</b>
3.2.1 Struktura řízení protipovodňové ochrany v ČR.....	22
3.2.2 Stupně povodňové aktivity .....	24
3.2.3 Instituce zabývající se povodněmi.....	25
3.2.4 Rozdělení protipovodňových opatření.....	25
3.2.5 Priority výstavby protipovodňových opatření.....	26
<b>3.3 Suchý poldr a ostatní druhy malých vodních nádrží.....</b>	<b>28</b>
3.3.1 Rozdělení malých vodních nádrží.....	28
3.3.2 Účel vodohospodářského řešení suchého poldru.....	29
3.3.3 Rozdělení ochranných prostorů v suchém poldru .....	29
3.3.4 Konstrukční řešení hrází a funkčních objektů suchého poldru .....	30
3.3.5 Průchod povodně suchým poldrem .....	31
<b>4. Metodika .....</b>	<b>32</b>
<b>4.1 Charakteristika zájmového území.....</b>	<b>32</b>
4.1.1 Fyziogeografické poměry .....	32
4.1.2 Geologické a pedologické poměry .....	32
4.1.3 Klimatické a hydrologické poměry .....	33
<b>4.2 Základní identifikační a informační údaje o suchém poldru umístěném v zájmovém území.....</b>	<b>34</b>
<b>4.3 Numerická metoda pro posouzení efektivity suché nádrže .....</b>	<b>36</b>
4.3.1 Charakteristické čáry nádrže .....	36



4.3.2	Časový průběh povodňové vlny .....	37
4.3.3	Měrná křivka šterbinové propusti .....	39
4.3.4	Měrná křivka bezpečnostního přelivu .....	40
4.3.5	Výpočet transformace povodňové vlny .....	41
4.3.6	Výstupy a výsledky .....	42
<b>5.</b>	<b>Výsledky .....</b>	<b>43</b>
5.1	<i>Povodňová vlna se stoletým průtokem (<math>Q_{100}</math>) .....</i>	<i>44</i>
5.2	<i>Povodňová vlna s padesátiletým průtokem (<math>Q_{50}</math>) .....</i>	<i>45</i>
5.3	<i>Povodňová vlna s dvacetiletým průtokem (<math>Q_{20}</math>) .....</i>	<i>46</i>
<b>6.</b>	<b>Diskuse .....</b>	<b>47</b>
<b>7.</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>49</b>
<b>8.</b>	<b>Přehled literatury a použitých zdrojů .....</b>	<b>50</b>
<b>9.</b>	<b>Seznam příloh .....</b>	<b>54</b>
<b>10.</b>	<b>Přílohy .....</b>	<b>55</b>

## 1. Úvod

V současné době jsou největší přírodní hrozbou pro lidstvo povodně. Vulkány, zemětřesení, tornáda ani další přírodní katastrofy nemají za následek tolik lidských životů jako povodně. Během 20. století přišlo o život vlivem živelných pohrom přes 10 milionů lidí. Z toho povodně tvoří přibližně 70% všech obětí (Bryant et al., 2005).

V otevřené krajině, bez přítomnosti lidského faktoru, se příroda postará sama o sebe. Problém nastává v momentě, kdy se vodě postaví do cesty člověk. V tom případě se jedná o hrozbu povodně a na její průběh mají vliv jak přírodní faktory, tak činnosti lidí (Mana, 2008).

V průběhu minulého století byly názory na ochranu před povodněmi odlišnější, než je tomu dnes. Například Forgáč (1965) ve své knize uvádí, že nejdůležitější je poznání příčiny výskytu, rozdělení povodní a jejich průběh v zájmovém území, což má velký význam při navrhování technologických a organizačních protipovodňových opatření. Tento názor samozřejmě převládá i v současné době, ale s rozvojem technologií jde dopředu i předpovědní a výzkumná činnost. Proto Singh et Frevert (2005) tvrdí, že nejdůležitějším prvkem v oblasti prevence a ochrany se stalo hydrologické modelování a tvorba nových modelů pro předpovídání vzniku a průběhu povodní.

V oblasti prevence proti povodním se zdá být nejlepší kombinace zpevňování a navyšování břehů, úpravy kapacity koryta, rozptýlení povodňové vlny do údolní nivy, výstavby retenčních nádrží a přesídlení obyvatel z ohrožených území. V průběhu povodně je pak nejdůležitější včasná informovanost obyvatel a rychlá organizace při přípravě mobilních protipovodňových opatření (Čamrová et Jílková, 2006).

Při navrhování nových protipovodňových opatření by se mělo přihlížet k tomu, aby zásahy do krajiny byly co nejšetrnější k přírodě a vzniklé opatření bylo v souladu s životním prostředím. Proto se na malých povodích nyní přistupuje k výstavbě suchých nebo částečně napuštěných poldrů. Suchý poldr v kombinaci se zatravněním retenčního prostoru a hráze představuje nejúčinnější přírodě blízké protipovodňové opatření na snížení kulminačních průtoků velkých povodní. Výhodou všech poldrů je poměrně dlouhá životnost – řádově desítky možná i stovky let. Nevýhodou oproti tomu jsou náklady na výstavbu, které jsou mnohdy daleko vyšší, než náklady jiných protipovodňových opatření a proto se musí volit kompromis mezi účinností a ekonomickou efektivitou navrženého opatření (Pomije et al., 2011).

Tato práce analyzuje relativně nově postavený suchý poldr na území obce Cehnice v jižních Čechách. Poldr byl dokončen v roce 2010. Jediná větší povodeň, která jím prošla, byla v roce 2013. Efektivita nádrže tak nebyla v praxi dostatečně ověřena a zatím se jedná převážně o teoretické hodnoty. Přínosem práce bude aplikace „*numerické metody pro zjišťování efektivity suchých nádrží*“ pro další posouzení efektivity a funkčnosti poldru.

## 2. Cíle práce

Cílem práce je více přiblížit povodňovou problematiku. Popsat systém řízení, prevenci a opatření protipovodňové ochrany na území České republiky. Dále se práce zaměřuje na detailnější popis poldrů, které spadají do kategorie malých vodních nádrží a mají ochrannou a retenční funkci na vodním toku. Součástí práce je i charakteristika zájmového území a popis hydrotechnického řešení suchého poldru na Cehnickém potoce, který protéká územím obce Cehnice. Hlavním cílem práce je popis „*numerické metody pro posouzení efektivity suché nádrže*“ a následná aplikace této metody na suchý poldr Cehnice včetně způsobu dosažení a zhodnocení výstupních údajů.

## **3. Literární rešerše**

### **3.1 Povodně**

Povodně jsou jedním z nejničivějších přírodních živlů, které se vyskytují na území České republiky. Hrozba povodně přichází s vydatným nepravidelným dlouhodobým či extrémním krátkodobým deštěm. Děje se tak převážně v letních měsících nebo na jaře při výrazném oteplení a následném odtávání sněhu a pohybu ledových ker. Může nastat i nečekaná situace na vodním toku (například protržení hráze rybníka), díky které vzniká mnohem větší škoda v nižších částech toku než při povodni z přirozených příčin. Dalšími podstatnými faktory pro vznik a průběh povodní je tvar terénu, povětrnostní vlivy, materiál podloží, lidská činnost a další. Jednotlivé faktory nebo jejich kombinace mají za následek zvyšování průtoku vody v korytě a vznik povodní v malých i velkých povodích (ČHMÚ, 2016a).

#### **3.1.1 Definice povodně**

Podle § 64 zákona č. 254/2001 Sb., zákon o vodách a o změně některých zákonů, v platném znění (dále jen vodní zákon), se povodní rozumí dočasné zřetelné zvýšení vodní hladiny na tocích či na jiných povrchových vodách, kdy dochází k vylití vody z koryta a může dojít k ohrožení osob či majetku. Za povodeň se považuje i situace, při které voda z území neodtéká dostatečně rychle nebo z nějakého důvodu neodtéká vůbec a dochází na tomto území ke škodám.

Technická norma ČSN 750101 definuje povodeň jako etapu hydrologického systému vodního toku, která se vyznačuje nečekaným zvýšením průtoků a vodních stavů většinou v krátkém časovém úseku nebo se povodeň definuje v obecnější podobě, kdy náhlý vyšší průtok nebo dočasně snížená průtočnost koryta, zapříčiňuje krátkodobé zřetelné zvýšení hladiny toku.

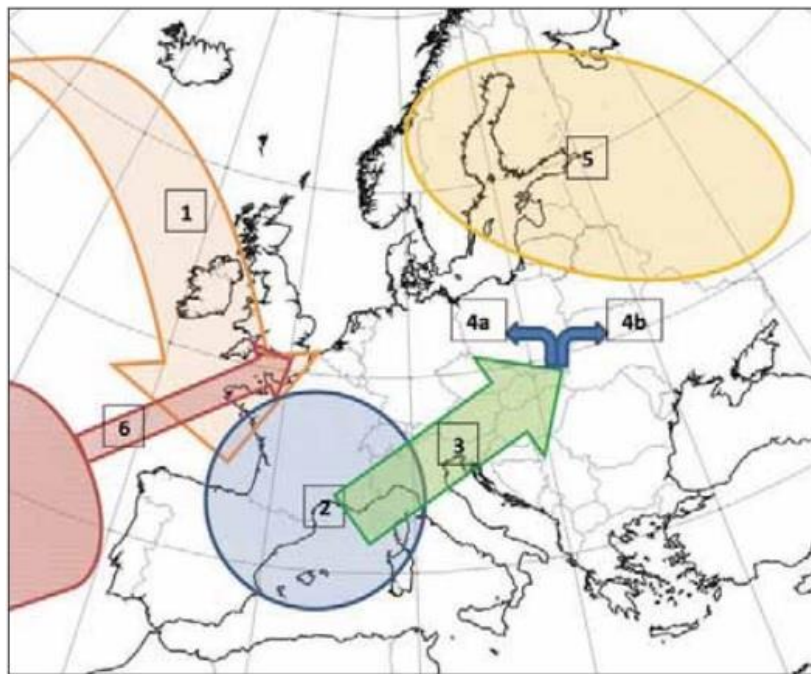
Další definici zmiňuje ve své knize Zevenbergen et al. (2011) a povodeň charakterizuje jako přebytek vody na pozemku, který za normálních okolností není zaplaven. Povodeň je stav vody, který nastane v momentě, když voda přeteče umělé nebo přirozené koryto potoka, řeky nebo jiného vodního útvaru.

#### **3.1.2 Příčiny vzniku povodní na území ČR**

Vznik povodní v mírném podnebném pásu, kam spadá i Česká republika, nejčastěji ovlivňují dva významné faktory – déšť a sníh. Menší, ale nikoliv zanedbatelný, význam při vzniku povodní mají i ledové kry a pohyb větru. Ať už povodeň vznikne z jakéhokoliv důvodu, je součástí hydrologického koloběhu vody v přírodě. Podle množství a intenzity srážek padající na zemský povrch dochází k vsakování vody do půdy, vypařování z povrchu nebo odtoku po povrchu. Ta část, která stéká po povrchu do nižších částí povodí, vytváří povodeň (Slavík et Neruda, 2014).

### ***Povětrnostní podmínky***

Na průběh deště mají velký vliv i povětrnostní podmínky. Daňhelka et al. (2014) ve své knize zmiňuje, že podle studií Českého hydrometeorologického ústavu (dále jen ČHMÚ) povodně v České republice může nejvíce ovlivnit kombinace šesti povětrnostních situací (viz obr. č. 1).



Obr. č. 1 Princip cirkulace vzduchu nad Evropou při výskytu povodní (Daňhelka et al., 2014)

- a) *Situace 1* – frontální poruchy se posouvají přes Atlantický oceán směrem k Evropě, kde se stáčejí u Britských ostrovů směrem na jih.
- b) *Situace 2* – tyto poruchy jsou směřovány silným prouděním mezi Británií a Španělskem jako tlakové níže nad Středozemní moře, kde se prohlubují nebo se vytváří nové.
- c) *Situace 3* – tlaková níže se pohybuje směrem k severovýchodu.
- d) *Situace 4a, 4b* – některé tlakové níže postupují přes Alpskou oblast směrem do Čech a Polska, další pokračují na severovýchod.
- e) *Situace 5* – hřeben vyššího tlaku nebo tlaková výše při zemi.
- f) *Situace 6* – z jihozápadu proudí nad Evropu azorská tlaková výše.

Tlakové níže vytvořené nad Středozemním mořem a proudící směrem k České republice se zastavují o hřeben vysokého tlaku vzduchu nad Skandinávií a Ruskem a rozdělují se na ty, které proudí směrem na východ a na ty, které proudí na západ. Avšak na západě narazí na azorskou tlakovou výši a dochází k zamezení přístupu teplého a vlhkého vzduchu. Tlakové níže ztrácí na síle, pomalu se vyplňují a zvolna ustupují na východ (Daňhelka et al., 2014).

## ***Srážkový úhrn***

Česká republika se nachází v mírném podnebném pásu, což zapříčiňuje nepravidelný výskyt dešťových srážek. Nejdeštivější část roku je od května do začátku září, kdy jsou dlouhotrvající srážky proměnlivě rozloženy v průběhu letních měsíců. Sníh v tomto ročním období už odtál a většinou nedochází k jeho vlivu na průběh povodní, jako je tomu v jarních měsících. Období krátkodobých přívalových dešťů (též lijáků) začíná v polovině dubna a končí až v září (Just et al., 2005).

Dlouhodobé průměrné množství srážek spadlých na území České republiky je podle údajů ČHMÚ (2016b) 674 mm. Nejvíce srážek spadne za červen a červenec (v průměru 84 mm a 79 mm). Naopak únor a březen (38 mm a 40 mm) jsou nejsušší měsíce roku.

U srážek definujeme spadlé množství (srážkový úhrn), intenzita, vydatnost a doba trvání. Množství srážek, které spadnou v bodě na vodorovnou plochu ve srážkoměrné stanici za předpokladu nulového odtoku a výparu, se bere jako výška vodního sloupce. Nazývá se srážkový úhrn a udává se v milimetrech. Když se ke srážkovému úhrnu přidá časový údaj (doba trvání), dostane se hodnota intenzity deště. Intenzita je tedy množství vypadlých srážek za jednotku času. Nejčastěji je intenzita vyjádřena v milimetrech za hodinu (mm/h) někdy i v milimetrech za minutu, den, rok (mm/min, mm/den, mm/rok) a může být průměrná nebo okamžitá v závislosti na délce časového úseku. Intenzita je v průběhu trvání proměnlivá. Nejprve je malá, ale postupně roste až do momentu, kdy dosáhne svého maxima (mnohdy je jich více než jedno). Pak dochází k poklesu. S dobou trvání hodnota intenzity výrazně klesá (viz tab. č. 1). Ničivě povodně jsou způsobeny i z mnohem menších intenzit v závislosti na velikosti koryta, niv a dalších faktorů. Pokud se množství deště vyjádří v závislosti na ploše jako litr za sekundu na hektar (l/s\*ha), jde o vydatnost (Just et al., 2005)

Tab. č. 1 Nejvyšší možné hodnoty intenzity a úhrnu deště pro různý čas (Just et al., 2005)

<b>Doba trvání deště</b>	<b>Intenzita deště</b>	<b>Srážkový úhrn</b>	<b>Vydatnost deště</b>
<b>min</b>	<b>mm/min</b>	<b>mm</b>	<b>l/s/ha</b>
5	6,20	31	1033
10	5,70	57	950
20	4,75	95	792
30	4,00	120	667
40	3,75	150	625
60	3,08	185	513
80	2,50	200	417
120	1,88	225	313
180	1,44	260	240
240	1,17	280	195
480	0,63	300	105
960	0,34	330	57
1440	0,24	350	40
2880	0,13	380	22

### ***Tání sněhu a ledové jevy***

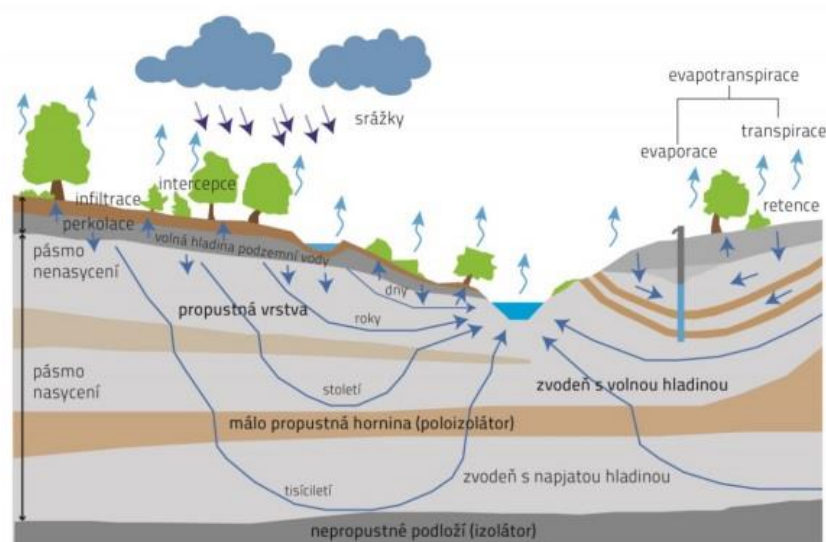
V České republice dochází k tání sněhové pokrývky hlavně v jarních měsících. Přes zimu je půda zamrzlá a nevstřebává téměř žádnou vodu, ale pak se vlivem tání rychle nasatí a zbylá voda stéká po povrchu do povrchových toků a zvyšuje jejich hladinu. Obsah vody ve sněhových vrstvách se liší v důsledku nepravidelného přirůstání jednotlivých vrstev a jejich zamrznání. Směrem k horní vrstvě klesá hustota a centimetrová výška „prašanu“ odpovídá cca 1 litru na metr čtvereční ( $l/m^2$ ). Oproti tomu stejná výška u spodních vrstev, kde je narušená sněhová struktura vlivem gravitace, odpovídá až 4 litrům. Na rychlost odtávání má největší vliv teplota vzduchu. Důležitým faktorem je i sluneční záření, vítr a také déšť, protože dešťové kapky mají vyšší teplotu než sníh. Když se tající sníh spojí s jarním přivalovým deštěm a nasycenou půdou, může vyvolat poměrně mohutnou přivalovou vlnu (Slavíková, 2007).

Kromě sněhu má velký vliv na odtok vody i led a jeho pohyby. Při extrémních mrazech, nebo pokud mráz trvá delší dobu, dochází k zamrznání vodní hladiny na tekoucích vodách. Nejdříve zamrzá tok od břehů a postupně může dojít až k zamrznutí celého toku. Tím se zmenšuje kapacita koryta a tekoucí voda nadělá z ledu kry (plující ledové kry se nazývají ledová tříšť), které plují po hladině a mohou uvíznout na mělčinách, zákrutech nebo se zaklíní u mostů a jezů. V takovém případě se zde kry hromadí a zatarasí odtok natolik, že se voda postupně vyleje z břehů a v extrémních případech dokáže i poškodit pilíře mostů nebo protrhnout hráze (Slavíková, 2007).

#### **3.1.3 Přírodní faktory ovlivňující průběh povodní**

Kromě působení deště a sněhu je dalším důležitým faktorem pro vznik a vývoj povodní stav území, na kterém se srážky vyskytnou. Mezi tyto faktory patří topografické vlastnosti krajiny, tvar a velikost koryta toku, fyzikální a chemické vlastnosti půdy, geologické podloží, stupeň nasycení, hodnota výparu, rozmístění vegetace a mnoho dalších (Soukup, 2008).

Voda, která spadne na povrch, se buď vsákne, trvale zadrží, oteče, nebo se vypaří (viz obr. č. 2).



Obr. č. 2 Schéma hydrologického cyklu (Slavík et Neruda, 2014)

Pokud se voda vlivem gravitačních a kapilárních sil vsákne, jedná se o infiltraci. Pro vsak vody do půdy je důležitá rychlost a retenční kapacita půdy. Pokud intenzita srážek přesahuje rychlost vsakování, dochází k povrchovému odtoku. V opačném případě se všechna voda vsákne. Nebo v případě, že už je kapacita půdy překročena, voda se nemá kam zasakovat a opět povrchově odtéká (Bedient et Huber, 1989).

Jev, kdy se na povrchu rostlin zachycují kapky deště, se nazývá intercepce. Množství zadržené vody závisí na typu, povrchu a ploše jednotlivého vegetačního pokryvu. Nejvyšších hodnot vždy dosahují lesy a to hlavně díky velké ploše smáčeného povrchu. Kapacitu intercepce výrazně ovlivňuje roční období, podnebí a další meteorologické faktory (Simon et Sucharda, 2004).

Jestliže se voda vypařuje z půdy, jedná se o evaporaci. Transpirací se rozumí výpar vody z povrchu rostlin. A evapotranspirace znamená, že se voda odpařuje z půdy pokryté vegetací. Všechny tyto jevy společně s výparem z vodní hladiny nezasahují do povrchového odtoku až do chvíle, než dojde k dalšímu srážkovému úhrnu (Bedient et Huber, 1989).

Když nedojde k zadržení vody vegetací a nevsákne se do půdy, dochází k povrchovému odtoku. Nejprve se zaplní všechny povrchové nerovnosti a potom odtéká po svahu směrem dolů. Nejdříve voda teče po svahu poměrně pomalu a stejnoměrně v závislosti na drsnosti a sklonu terénu. Tento jev se nazývá nesoustředěný odtok. Po naplnění sníženin, které jsou orientované po svahu, dochází k tzv. soustředěnému odtoku. Ten je nebezpečný hlavně svojí erozní činností (Simon et Sucharda, 2004).

Dalším významným činitelem podílejícím se na průběhu povodně je niva. Brierley et Fryirs (2005) chápe údolní nivu jako vytvarované místo mezi hranicí koryta a údolím, které vzniklo fluvialními geomorfologickými procesy. Naproti tomu Demek (1988) definuje údolní nivu jako akumulární rovinu v blízkosti vodního toku, kde se hromadí a usazují sedimenty. Při povodních pak bývá často zaplavená. Nachází se



zde orná půda, lesy i travní porosty. Dříve docházelo k narovnávání vodních toků a snížení počtu údolních niv. V dnešní době je cílem navrácení vody do původního koryta. Pokud je podél vodního toku rozsáhlá údolní niva, kde by se mohla voda při povodních rozlévat, dochází ke snížení objemu povodňové vlny (Gregory et al., 1991).

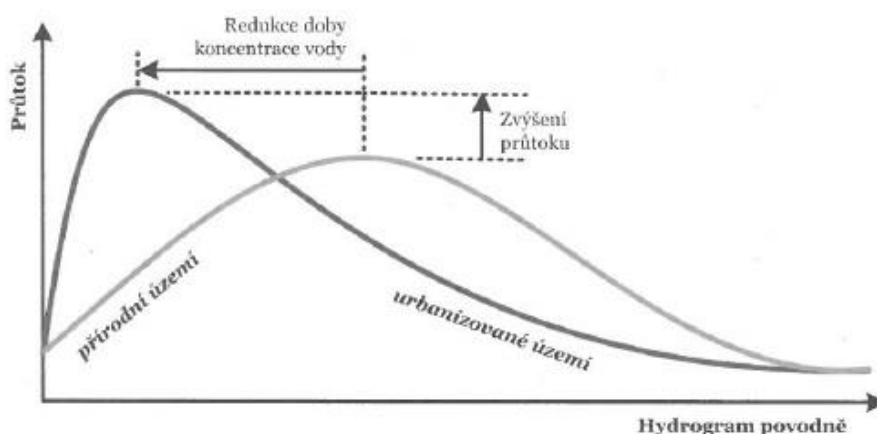
Na vznik povodní má také výrazný vliv tvar a velikost koryta vodního toku. Pokud je kapacita koryta dostatečná, neškodně se převede povodňový průtok a nezpůsobí téměř žádné škody. V případě, že velikost koryta nepobere povodňový stav, dojde k vylití z břehů. Ideálně do údolních niv. Při navrhování protipovodňových opatření je důležitý i sklon a drsnost koryta (Just et al., 2005).

### 3.1.4 Dopad činnosti člověka na průběh povodní

Lidé si přetváří krajinu k obrazu svému a s rozvojem společnosti se zvyšují nároky na kvalitu života, především hygienu. V důsledku těchto změn se zvětšuje množství nově urbanizovaného území a nově vzniklé stokové sítě se napojují na stávající. Jenže rozvoj zastavěných ploch je tak rychlý, že i přes dostatečně navrženou kapacitu původní stokové sítě se dešťové vody nestačí odvádět. Může dojít k překročení kapacity uličních vpustí, šachet, stokové sítě a následnému vzduťí vody z rozvodněného recipientu. Proto jsou města a obce ohroženi povodní, i když nejsou bezprostředně blízko vodního toku (Slavíková, 2007).

Další problém nastává s přibývajícím počtem nepropustných ploch (střechy domů, silnice, parkoviště atd.). Jelikož se voda nemá kam zasakovat, dochází k výraznému povrchovému odtoku. Paul et Meyer (2001) tvrdí, že v centrech velkých měst představuje zastavěná plocha kolem 70% celkové plochy povodí a dochází k navýšení objemu povodňových průtoků v poměrně krátkém čase. Rozdíl v průběhu povodně v urbanizovaném a přírodním územím je patrný z obr. č. 3 (Slavíková, 2007).

Pokud je to v městských aglomeracích možné, je důležité dešťové vody zasakovat popřípadě je odvádět oddílnou stokovou sítí do recipientu (Vítek et al., 2015).



Obr. č. 3 Průběh povodní v urbanizovaném a přírodním území (Doležalová, 2006)

V minulých letech bylo hlavním cílem zefektivnit využití vodního zdroje k zemědělským účelům. A tak docházelo k narovnávání toků, což sice vedlo k rychlému odvodu vody ze zasaženého území, ale v dolních částech toků způsobovalo velké škody. Z celkové délky 60 700 km vodních toků v České republice se přibližně upravilo 13 000 km a toky se zkrátily o 4 600 km. V současné době se preferuje varianta zadržetí co možná největšího objemu vody ke snížení kulminace povodňové vlny. Proto dochází k budování protipovodňových nádrží a k opětovnému meandrování vodních toků. (Hladný, 2007).

S využíváním půdy pro zemědělské účely ztrácí krajina schopnost zadržovat vodu. Špatný způsob obdělávání půdy nebo přeměna zatravněných ploch či lesů na ornou půdu vede ke zvýšenému odtoku z povodí v důsledku netlumeného nárazu dešťových kapek a rozpadu struktury půdy. Nejefektivnější metodou, jak zabránit dalším škodám, je změna způsobu zemědělského využívání krajiny – střídání zatravněných a nezatravněných ploch, dodržování správného cyklu osevního postupu, omezení chemických postřiků a hnojiv atd. (Matyášek et Suk, 2010).

Významným hydrologickým činitelem jsou i komunikace. Její potřeba a hustota stoupá spolu s používáním těžké techniky. Zvýšený počet cest způsobuje zvětšení kulminačních průtoků, zejména při prudkých srážkách v malých povodích (Krečmer, 1984).

### 3.1.5 Rozdělení povodní

Jak již bylo zmíněno, povodně vznikají kombinací několika faktorů. § 64 vodního zákona říká, že pokud povodeň vznikne z přirozených příčin (vlivem deště, sněhu, tvaru koryta atd.), jedná se o přirozenou povodeň. Případně může vznikat jinými vlivy (antropogenní činností, havárií vodního díla, teroristickým útokem atd.) a označuje se za zvláštní povodeň.

#### ***Přirozené povodně***

Přirozené povodně se dělí podle srážkového úhrnu a sezónního výskytu na (Slavík et Neruda, 2014):

- a) *Letní povodně z dlouhodobých regionálních dešťů* – pro tento druh dešťů, trvající řádově několik dní i týdnů, je typický vysoký objem povodňové vlny převážně na velkých a středně velkých tocích (Just et al., 2005).
- b) *Letní povodně z krátkých přívalových dešťů* – jedná se o tzv. přívalové povodně (někdy označovány jako bleskové povodně). Oproti regionálním jsou typické pro malé povodí do velikosti 10 km<sup>2</sup>, kde kapacita koryta nemůže pojmout tak vydatné přívalové deště. Pro lijáky je charakteristické rychlé navýšení průtoku, vysoká kulminace a následné rychlé snížení průtoku. Celý cyklus přívalových povodní trvá většinou jen několik hodin (Čamrová et Hromádka, 2006).

- c) *Zimní a jarní povodně z tání sněhu* – nejčastější výskyt povodně je v podhorských oblastech a dále směrem do údolí, charakteristický je pomalý průběh, ale spojí-li se s přívalovým deštěm a nasycenou půdou, může se jednat o závažný problém (Slavíková, 2007).
- d) *Zimní a jarní povodně z pohybu ledových ker* – v dnešní době se na pilířích mostů a vodních dílech dělají proti ledové tříšti barikády v podobě ledolamů. Také s rozvojem těžké techniky se odstraňování ledových ker nebo úprava toků náchylnějších k tvorbě ledových jevů staly jednodušší záležitostmi, než tomu bylo v minulých dobách (Slavíková, 2007).

### ***Zvláštní povodně***

Zvláštní povodně se rozdělují do třech kategorií na (GŘ HZS ČR, 2015):

- a) *Zvláštní povodeň typu 1* – jedná se o povodeň vzniklou z poruchy (nejčastěji protržení) hráze.
- b) *Zvláštní povodeň typu 2* – povodeň, která nastane při poruše bezpečnostních a výpustných prvků a dochází k neovladatelnému odtoku z nádrže.
- c) *Zvláštní povodeň typu 3* – vzniká při nadměrném množství vody v nádrži a upouštěním nekontrolovatelného množství vody z bezpečnostních důvodů, aby nedošlo k poškození hráze či bezpečnostních prvků.

### **3.1.6 Aktivní zóna záplavového území**

Podle § 66 vodního zákona se záplavové území definuje jako předem stanovené území, které při vzniku povodni může být zatopeno vodou. Návrh velikosti záplavového území se liší pro jednotlivé obce a kraje v závislosti na průtokovém množství, tvaru krajiny rozlivu, zastavěného území a předchozích zkušeností vodoprávního úřadu s povodněmi. Záplavové území se stanovuje v povodňových plánech a to nejčastěji pro průtok pětileté, dvacetileté a stoleté vody. Vodoprávní úřad na návrh správce toku stanoví tzv. aktivní zónu záplavového území v zastavěných částech obcí a v místech určených k nové výstavbě. Aktivní zóna záplavového území je tedy oblast, kde se za povodně soustřeďuje největší průtok nebo této oblasti hrozí bezprostřední nebezpečí ze stoupající hladiny (viz obr. č. 4).



Obr. č. 4 Příklad stanoveného záplavového území (VÚV TGM, 2014)

Podle § 67 vodního zákona se v aktivní zóně záplavového území nesmí stavět jakýkoliv druh stavby kromě protipovodňových opatření a vodních děl souvisejících s tokem. Dále je zakázána těžba surovin, skladování odplavitelného materiálu, provádět úpravy terénu atd. Pro usnadnění zvládnutí povodňových stavů se stanoví tzv. území určená k řízeným rozlivům povodní (§ 68 vodního zákona). Jedná se o území, které je předem určeno pro neškodný rozliv. Příkladem může být suchá nádrž. Problém nastává pouze v majetkoprávních vztazích s vlastníky pozemků. Pokud vznikne vlastníkově škoda, má nárok na finanční odškodnění.

### 3.1.7 M-denní a N-letý průtok na vodním toku

Průtok na vodním toku definuje Kemel (1996) jako objem vody protékající jedním průtočným profilem za jednotku času. Značí se  $Q$  a nejčastěji je vyjádřen v metrech krychlových za sekundu ( $m^3/s$ ) nebo v litrech za sekundu ( $l/s$ ).

Nejdůležitějším pojmem při povodni je maximální průtok. V případě absence protipovodňového opatření na toku se vypočítává maximální průtok pro kapacitu koryta. Všechna protipovodňová opatření se navrhují na největší možné hodnoty průtoku, aby se zabránilo povodňovým škodám. Pro výpočet maximálního průtoku se využívá tzv. N-letý (respektive M-denní) průtok, který je poměrně obtížné stanovit pro toky bez pravidelného měření vodoměrných stanic (Kemel, 1996).

#### *M-denní průtok*

Novický et al. (1992) ve své knize definuje M-denní průtok ( $Q_{Md}$ ) jako průměrný denní průtok dosažený nebo překročený po M-dní ve zvoleném období. Nejčastější období pro volbu M-denního průtoku je jeden rok ( $Q_{365d}$ ), ale počítá se i s hodnotami po měsících ( $Q_{30d}$ ,  $Q_{60d}$ ,  $Q_{270d}$  atd.).

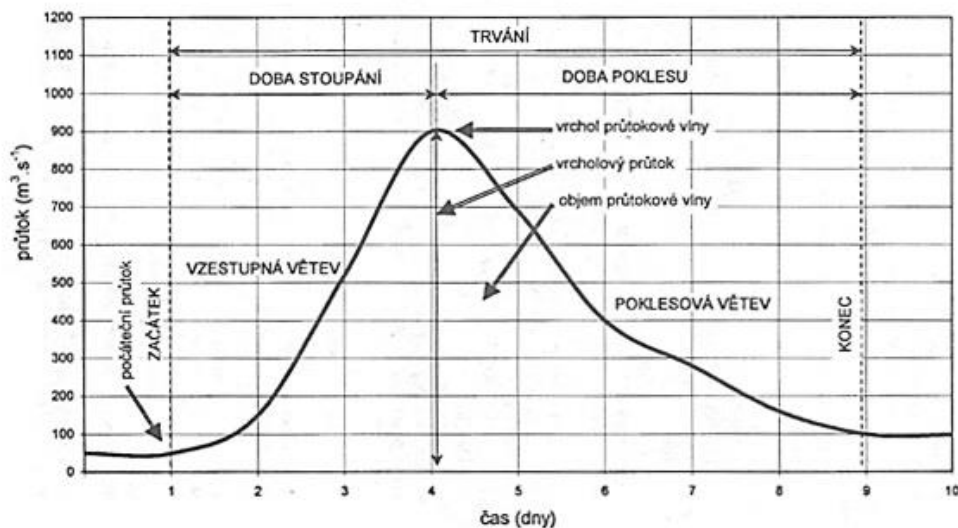
### *N-letý průtok*

Průtok, který je v průtočném profilu dosažen nebo překročen v průměru jednou za  $N$  let, se nazývá  $N$ -letý průtok ( $Q_N$ ). Frekvence výskytu povodní většinou neodpovídá průměrům. Např. stoletá povodeň se může vyskytnout vícekrát než jen jednou za 100 let. Počítá se s dlouhodobým průměrem, kdy během 1000 let je přibližně 10 stoletých povodní (Novický et al., 1992).

#### **3.1.8 Povodňová vlna**

Pokud dojde k přechodnému zvětšení průtoku na vodním toku vlivem různých faktorů, vzniká tzv. průtoková vlna. Při výrazném zvýšení hladiny toku se vyhlásí povodňový stav a průtoková vlna se nazývá povodňová. Pro povodňovou vlnu je typické, že má rychlý nárůst, vrcholový (kulminační) průtok a pomalejší pokles (Pavelková Chmelová et Frajer, 2013).

Povodňová vlna se vypočítává z průběhu povodně mezi dvěma vodoměrnými stanicemi. Za začátek povodňové vlny se považuje okamžik, kdy se zvedá hladina. V určitý okamžik dosahuje vlna svého maximálního průtokového množství a končí, když se hladina vrátí na původní úroveň. Doba mezi začátkem a koncem se nazývá časový průběh povodňové vlny (viz obr. č. 5). Celkové množství vody v průběhu trvání vlny se nazývá objem průtokové vlny (Chábera et Kössl, 1999).



Obr. č. 5 Časový průběh povodňové vlny (Chábera et Kössl, 1999)

## 3.2 Protipovodňová opatření

Protipovodňová opatření lze chápat jako ochranné opatření na tocích bezprostředně ohrožených velkou vodou. Jejich hlavním cílem je předcházení a zamezení materiálních škod, ztráty na životech a ohrožení životního prostředí. Dalším cílem při budování protipovodňových opatření by měla být snaha o zvyšování akumulace a retence vody v povodí, protierozní ochrana půdního fondu či ochrana ohroženého území (Hrádek et Kuřík, 2003).

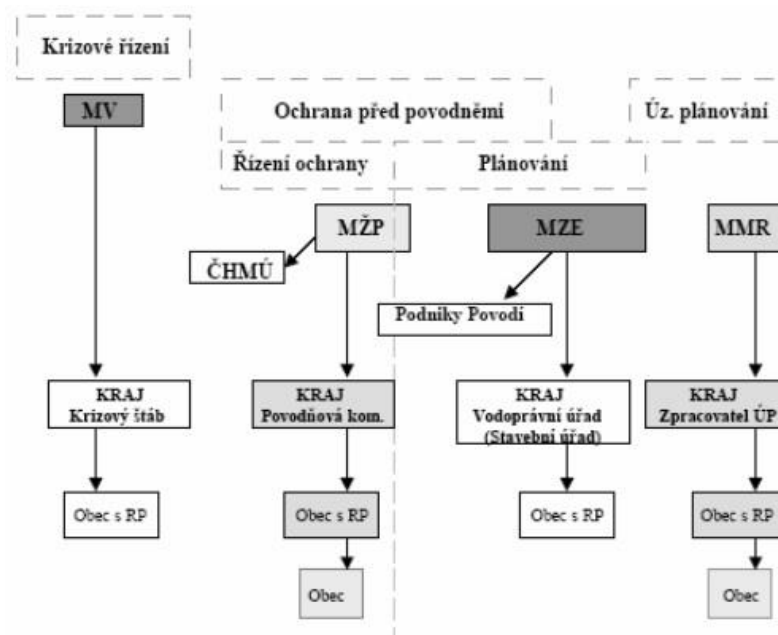
Důležitým prvkem pro získání efektivní protipovodňové ochrany je vytvoření optimálních podmínek na vodním toku a v povodí, aby se co nejvíce zpomalil, popřípadě zadržel, přítok dešťové vody z povodí do recipientu a zároveň se příliš nezasahovalo do krajiny. Pouze v případě, že tyto podmínky nebudou splnitelné nebo budou neefektivní, mělo by se přikročit k technickým zásahům a úpravě koryt vodních toků (Mana, 2008).

Systém ochrany před povodněmi se zajišťuje ve třech časových obdobích. První období je mimo nebezpečí povodně, kdy jde hlavně o prevenci a předcházení všech rizik. Druhým obdobím je doba těsně před vypuknutím povodně a během povodně, kdy jde především o včasnou a adekvátní reakci na příchod velké vody. Poslední fází je období po povodni, kdy se jedná o opatření po odvolání povodňového nebezpečí (Rathauský et al., 2015).

### 3.2.1 Struktura řízení protipovodňové ochrany v ČR

Řízením protipovodňové ochrany se rozumí komplexní organizace činností prováděných před, při a po povodni. V České republice mají dohled na přípravu, organizaci, řízení a kontrolu probíhajících prací povodňové orgány, které se primárně řídí povodňovými plány (Strnad et al., 2015).

Schéma řízení protipovodňové ochrany je znázorněno na obr. č. 6. Nejvyšším povodňovým orgánem v oblasti řízení ochrany je Ministerstvo životního prostředí (dále jen MŽP), v rámci kterého se schází Ústřední povodňová komise státu. Povodňové komise jsou na všech úrovních správy a podle rozsáhlosti povodně se aktivují směrem nahoru. Pokud povodeň postihuje velké území, je vyhlášen krizový stav a kontrolu přebírá Ministerstvo vnitra (dále jen MV). Nejvyšším povodňovým orgánem v oblasti plánování je Ministerstvo zemědělství (dále jen MZ), pod které spadají podniky Povodí a vodoprávní úřady. MZ a MŽP úzce spolupracují při vytváření povodňových plánů, strategií a výstavbě protipovodňových opatření (Čamrová et Jílková, 2006).



Obr. č. 6 Schéma řízení protipovodňové ochrany v ČR (Čamrová et Jílková, 2006)

### ***Povodňové orgány***

Povodňové orgány (dále jen PO) podle § 77 vodního zákona řídí, koordinují, kontrolují a organizují ochranu před povodněmi. Orgány veřejné správy zřizují povodňové komise jako své výkonné složky k plnění mimořádných úkolů v době povodně. Předsedou povodňové komise je starosta, hejtman nebo ministr podle příslušné sféry působnosti. Z obr. č. 6 je patrné, že nejnižším orgánem je obec. V případě povodně nad rámec možností postižené obce povodňová komise žádá o pomoc nadřízený orgán – obec s rozšířenou působností, následně povodňová komise kontaktuje krajský úřad a dle potřeby MŽP či MV. Všechny PO se musí řídit platnými povodňovými plány.

Činnost a postavení PO je podle MŽP ČR (2016) dána ve dvou časových rovinách.

V období mimo povodeň jsou PO:

- a) orgány obcí a městských částí,
- b) obecní úřady obcí s rozšířenou působností,
- c) krajské úřady,
- d) MŽP, MV.

V období za povodně jsou PO:

- a) povodňové komise obcí a městských částí,
- b) povodňové komise obcí s rozšířenou působností,
- c) povodňové komise krajů,
- d) Ústřední povodňová komise.

## ***Povodňové plány***

TNV 75 2931 definuje povodňový plán (dále jen PP) jako souhrn technických i organizačních opatření, které jsou nezbytné ke zmírnění škod a koordinaci činností v daném území při povodni. PP řeší ochranu určitého území, nemovitostí a staveb na území podléhajícím příslušným správním orgánům a musí být v souladu s PP vyšších celků. K vypracování je zapotřebí hydrologických a hydraulických podkladů (průtoky, průtokové kapacity, výška hladiny, hydrogramy, záplavové území atd.), technických podkladů (mapy, demografické údaje, kritické profily toku atd.) a organizačních podkladů (související PP, složení povodňových komisí, plán evakuace, kontakty atd.). Obsah PP se dělí na věcnou, organizační a grafickou část. Důležitou součástí jsou tzv. stupně povodňové aktivity.

### **3.2.2 Stupně povodňové aktivity**

Úroveň povodňového nebezpečí určují tzv. stupně povodňové aktivity (dále jen SPA). Pro každou oblast jsou stanoveny směrodatné limity podle tvaru krajiny a ostatních jevů způsobujících povodeň. Rozhodujícím faktorem pro určení SPA je výška hladiny nebo průtok na vodním toku. Pevně stanovené stavy pro vyhlášení SPA jsou obsaženy v příslušných PP a schvalují je PO (Strnad et al., 2015).

SPA se dělí na 3 kategorie. Označují se jako „stav bdělosti“, „stav pohotovosti“ a „stav ohrožení“.

- a) *Stav bdělosti* se nevyhlašuje, pouze nastává při začínající hrozbě povodní, když voda dosáhne prozatím bezpečné, ale zvýšené hladiny na toku. Sleduje se bezpečnost vodních děl a aktivuje se činnost hlásné a předpovědní povodňové služby (viz další kapitola).
- b) *Stav pohotovosti* vyhlašuje příslušný povodňový orgán v případě, že hladina stoupne nad danou úroveň. Voda se už může dostávat mimo koryto řeky, ale nepůsobí zatím větší škody. Při jeho vyhlášení se aktivují příslušné orgány protipovodňové ochrany a provádějí se opatření podle povodňového plánu.
- c) *Stav ohrožení* se vyhlašuje v případě nebezpečí vzniku závažnějších škod v záplavovém území. Přijímají se nouzová opatření a provádějí se záchranné, zabezpečovací a evakuační práce.

Povodeň začíná vyhlášením druhého nebo třetího povodňového stupně a končí jejich odvoláním. Nemusí však být vyhlášena podle příslušného SPA, ale může nastat v případě dosažení směrodatné úrovně, která je obsažena v PP jednotlivých obcí (Strnad et al., 2015).

Například v Povodňovém plánu obce Cehnice na Strakonicku se SPA vyhlašují podle barevného označení (zelená, žlutá, červená), která jsou vyznačena na místním mostě a odpovídají určité výšce hladiny vody a průtoky v obci.



### 3.2.3 Instituce zabývající se povodněmi

Ke snížení a zamezení hmotných škod a ztrát na životech, je důležité mít včas všechny dostupné aktuální informace ohledně hrozícího nebezpečí. Zejména se jedná o aktuální výšku hladiny na vodním toku a odpovídající průtoky. Tyto informace v České republice eviduje hlásná a předpovědní povodňová služba (dále jen HPPS), kterou zajišťuje ČHMÚ společně se správci významných vodních toků. Předpovědní část služby má na starosti ČHMÚ a na hlásné povodňové službě se podílejí všichni účastníci ochrany před povodněmi. Hlavními úkoly HPPS je zajištění monitorování situace v povodí, příprava hydrologických předpovědí a včasné informování PO a ostatních účastníků ochrany před povodněmi (Kubát et al., 2012).

Situaci na vodním toku monitorují tzv. hlásné profily. Jsou to stanice pro zaznamenávání výšky hladiny a průtoku. Hlásné profily na tocích jsou rozděleny na tři kategorie (Kubát et al., 2012):

- a) *základní* – provozovatelem je ČHMÚ a povodí,
- b) *doplňkové* – zřizovatel je kraj a spravují je místní obce,
- c) *pomocné* – zřizovateli a provozovateli jsou obce nebo soukromí vlastníci

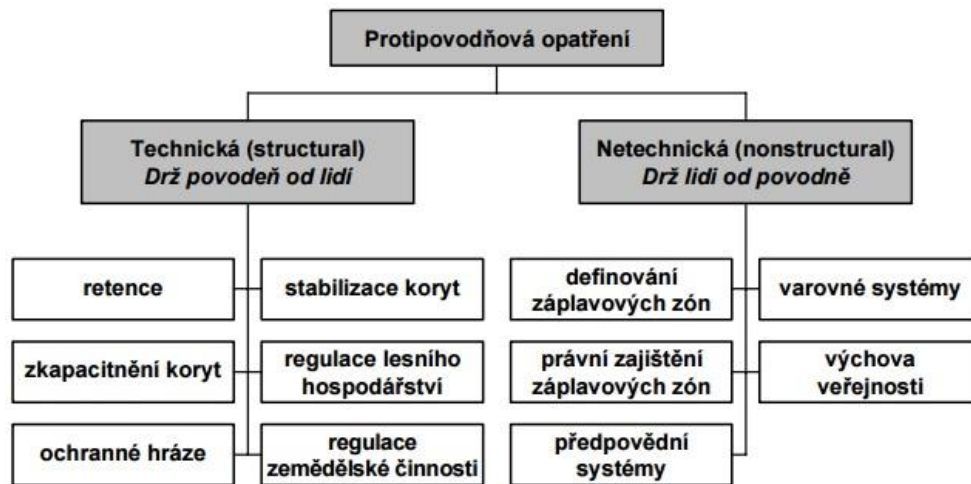
Dalšími účastníky ochrany před povodněmi jsou správci významných či drobných vodních toků, integrovaný záchranný systém, hasičské sbory, policie, armáda, vlastníci a správci objektů na vodních tocích nebo nemovitostí v záplavovém území, instituce pověřená dohlížením na technickobezpečnostní stav budov, firmy vlastníci těžkou techniku, dopravní prostředky a další subjekty podle situace a místních podmínek (MŽP, 2016).

### 3.2.4 Rozdělení protipovodňových opatření

Podle charakteru konkrétního protipovodňového opatření mimo i během povodně lze tato opatření rozdělit do dvou kategorií – podle způsobu realizace a podle času realizace (Čamrová et Jílková, 2006).

#### *Rozdělení podle způsobu realizace*

Protipovodňové opatření lze podle způsobu realizace definovat na dvě základní skupiny – technického a netechnického charakteru (viz obr. č. 7). Technická opatření na rozdíl od netechnických jsou realizována výstavbou, úpravou a jiným zásahem do krajiny. Mezi ně patří retenční nádrže, stabilizace svahů, navýšení kapacity koryta atd. Pro netechnická opatření je typické, že do průběhu povodně nijak nezasahují. Hlavním cílem je včasné varování lidí před jejím příchodem. Příkladem mohou být předpovědní a varovné systémy, definování záplavových území, evakuace či výchova občanů k odpovědnému chování při kritických situacích. V oblastech, kde má povodeň krátké trvání (méně než 3 hodiny), je účinnější zřídit technická opatření, než spoléhat na varovné a předpovědní systémy (Čamrová et Jílková, 2006).



Obr. č. 7 Rozdělení protipovodňových opatření podle způsobu realizace (Čamrová et Jílková, 2006)

### ***Rozdělení podle času realizace***

Protipovodňová opatření se rozdělují podle MŽP ČR (2016) na přípravná (preventivní), opatření prováděná během povodně a opatření vykonávaná po povodni.

- a) *Přípravná (preventivní) opatření* – do této kategorie spadají povodňové plány, prohlídky, přesun obyvatel ze záplavových zón, školení pracovníků, varování občanů, zajištění hmotných rezerv či organizační příprava před příchodem povodně. Podle Povodňového plánu ČR do této kategorie nepatří technické zásahy do krajiny. S tím nesouhlasí Soukup (2008) nebo Čamrová et Jílková (2006), kteří jako preventivní opatření berou i opatření technického charakteru na snížení povrchového odtoku, zvýšení retence a akumulace, převod povrchového odtoku na podzemní, regulaci zemědělské činnosti či udržování správného objemu vody v nádrži.
- b) *Opatření během povodně* – realizují se při hrozbě povodně. Patří sem činnost HPPS, integrovaného záchranného systému i ostatních účastníků povodňové ochrany, výstavba mobilních protipovodňových opatření (stěny, pytle s pískem atd.), varování obyvatel, evakuace, zajištění náhradní dopravy a základních surovin včetně pitné vody.
- c) *Opatření po povodni* – vykonávají se až po odvolání povodňového stavu a zahrnují například zjišťování a ohodnocování povodňových škod, evidenční a dokumentační práce, obnova komunikačních sítí, odklizení následků povodni či vyhodnocení celkového průběhu povodně (MŽP ČR, 2016).

### **3.2.5 Priority výstavby protipovodňových opatření**

Zásady, které se dodržují při výstavbě nových protipovodňových opatření, musí být v souladu s efektivní ochranou lidských životů a majetku, životním prostředím a ostatními zainteresovanými subjekty jako jsou správci toků, Agentura ochrany

přírody a krajiny ČR a další. V současné době se přistupuje hlavně k tzv. přírodě blízkým protipovodňovým opatřením (dále jen PBPO), která příliš nezasahují do krajiny a nezatěžují významným způsobem životní prostředí (Mana, 2008).

Jednotlivé kategorie protipovodňových opatření podle efektivnosti od nejvhodnějšího po nejméně vhodné rozděluje Jáglová (2008) na:

- a) *Ochrana fungujících PPO* – jedná se o opatření, které by mělo zajistit spolehlivou funkci stávajících protipovodňových opatření. Neprovádějí se revitalizační práce, ale jedná se pouze o lokální úpravy, které zajistí zlepšení stávajícího stavu vodního toku a ostatních PPO.
- b) *PBPO v neobydlené oblasti* – jedná se především o revitalizační snížení kapacity koryta a zvýšení kapacity rozlivů do údolních niv. Součástí je i obnova nivní vegetace, která působí příznivě na zpomalování povodňových průtoků a na stabilitu koryta i nivy.
- c) *PBPO transformující povodňovou vlnu* – do této kategorie spadá výstavba suchých retenčních nádrží a revitalizace jejich zátopové oblasti.
- d) *PBPO v obydlené oblasti* – vodní tok v obydlených částech má většinou omezenou možnost rozlivu a nejlepším možným způsobem ochrany je zkapacitnění koryta, úprava břehů a vytvoření tzv. složeného profilu koryta se stěhovavou kynetou.
- e) *Technická PPO* – tato kategorie se vyznačuje přímým zásahem do krajiny a to v podobě výstavby ochranných zdí, hrázových systémů či zkapacitnění průtočných profilů mostů a propustků.
- f) *Opatření, která nejsou definovaná jako protipovodňová* – sem patří místa, která nejsou primárně určena k rozlivu, ale svou podobou tuto funkci mohou zastávat. Jedná se o parky, mokřady, hřiště, náhony atd.

### 3.3 Suchý poldr a ostatní druhy malých vodních nádrží

Technická norma ČSN 75 2410 definuje malou vodní nádrž (dále jen MVN) jako nádrž, která splňuje dvě podmínky – celkový objem nádrže od nejnižšího bodu po hladinu nepřesahuje 2 miliony m<sup>3</sup> a maximální hloubka nádrže nemůže být větší než 9 metrů.

Poldr je podle technické normy TNV 75 2415 vodní dílo určené k ochraně před účinky povodně. Hlavním účelem poldru je zadržení nadbytečné povodňové vody a tím snižování a oddalování kulminace N-letých průtoků. Celkový objem nádrže odpovídá součtu ovladatelného a neovladatelného prostoru. Svými parametry a funkcí poldr spadá do kategorie MVN.

V České republice je podle MZ ČR (2015) evidováno více než 25 000 MVN (přes 500 drobných vodních nádrží, zbytek tvoří rybníky) a z toho je podle dat ČHMÚ (2016c) více než 200 poldrů. Největším poldrem v České republice je poldr Soutok o zatopené ploše 8 000 ha a objemu 140 milionů m<sup>3</sup> (MZ ČR, 2015).

#### 3.3.1 Rozdělení malých vodních nádrží

##### *Podle funkce*

Když se navrhuje nová MVN nebo se upravuje starší, musí se předem stanovit a definovat hlavní a vedlejší funkce nádrže (viz tab. č. 2). Využití nádrže by mělo mít více funkcí a musí být v souladu s životním prostředím (Šedivý et Vrána, 2011).

Tab. č. 2 Rozdělení malých vodních nádrží podle funkce (Václavík, 2007)

FUNKCE	TYP	CHARAKTERISTIKA
<i>Zásobní</i>	vodárenská, průmyslová, závlahová, energetická, kompenzační, retardační	akumulují vodu v době, kdy je jí dostatek a využívají ji v období nedostatku
<i>Ochranná</i>	retenční, protierozní, dešťová, vsakovací, suchý poldr	zachycují povodňové odtoky a transformují povodňové vlny
<i>Rybochovná</i>	výtěrová a třecí, plůdkový a komorový výtažník, hlavní a karanténní rybník, sádky	vytvářejí vhodné prostředí pro chov ryb
<i>Hospodářská</i>	protipožární, pro chov drůbeže, pro pěstování vodních rostlin, výtěrová zdrž	plní konkrétní hospodářskou funkci
<i>Speciální účelová</i>	vyravnávací, přečerpávací, splavovací, závlahová	plní konkrétní provozní účely
<i>Asanační</i>	záchytná, otevřená vyhnívací, laguna, rekultivační	používají se ke zlepšení vodohospodářských poměrů území, které bylo narušeno antropogenními vlivy
<i>Rekreační</i>	přírodní koupaliště pro plavání a sport	slouží ke koupání a provozování vodních sportů
<i>Krajinotvorná v obytné zástavbě</i>	okrasná, návesní rybníček, umělý mokřad	navrhují se ke zlepšení ekologických a estetických účinků krajiny

### ***Podle umístění***

MVN se rozděluje podle umístění v závislosti na tvaru krajiny, prostředí a místních přírodních podmínkách (hydrologické, geologické, pedologické, klimatologické atd.). Dělí se na polní, návesní, lesní a luční (Tlapák et Herynek, 2002).

### ***Podle způsobu zásobení vodou***

Toto rozdělení MVN je podle zdroje, kterým voda přitéká do nádrže. Dělí se na dešťovou (nebeskou), pramennou, říční, potoční a odpadní (Tlapák et Herynek, 2002).

## **3.3.2 Účel vodohospodářského řešení suchého poldru**

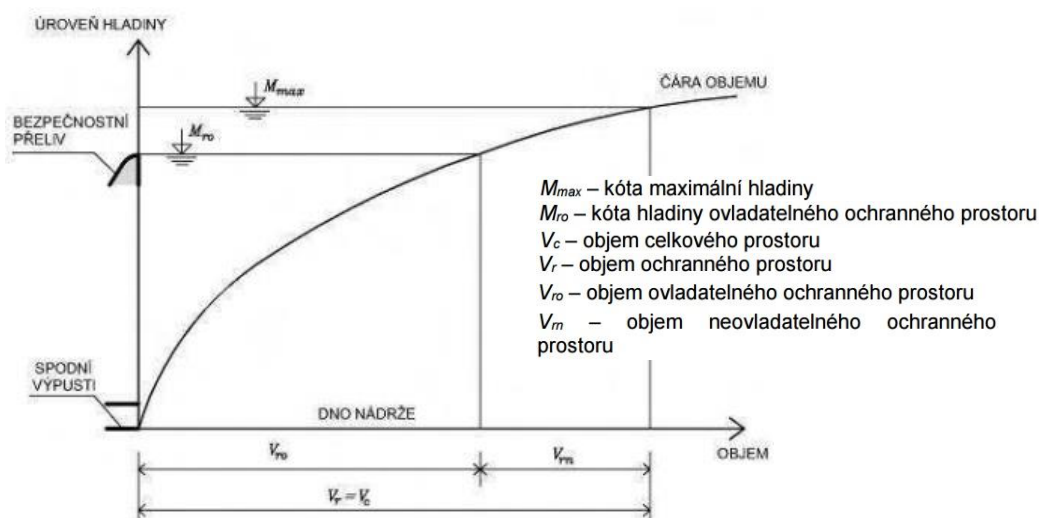
Suché poldry se používají především k ochraně obyvatel před velkou vodou. Zachycují povodňové odtoky a splaveniny v retenčním prostoru, transformují povodňové vlny, chrání území a objekty před ničivou silou povodní a neškodně odvádí dešťové vody. Jejich realizace probíhá hlavně na malých vodních tocích v horních částech povodí a také těsně před urbanizovaným územím (Šálek, 1998).

Hlavní funkcí suchých poldrů je zabezpečení ochrany níže ležícího území. V ochranné nádrži se zachytí část nebo celý povodňový průtok v ovladatelném a neovladatelném prostoru (viz další kapitola). U ovladatelného prostoru nádrže lze regulovat odtok pomocí otevírání a uzavírání spodních výpustí (některé poldry jsou pouze průtočné a odtok regulovat nelze). Velikost neovladatelného prostoru závisí na parametrech bezpečnostního přelivu jednotlivých nádrží. Mayer et Zemek (2015) uvádí, že se pro výpočet velikosti retenčního prostoru využívá digitálních modelů reliéfu krajiny v součinnosti s geografickým informačním systémem (GIS). Další možnost určení velikosti retenčního prostoru je simulace provozu při odtoku nebo planimetrováním z grafického znázornění (Šálek, 1998).

Suché poldry mají ze všech protipovodňových opatření nejvýznamnější efekt. Účinnost poldru se posuzuje podle rychlosti a objemu přítoku, objemu retenčního prostoru a parametrů výpustných zařízení. Součástí opatření je i revitalizace prostoru maximální zátopy nádrže, která podporuje účinnost poldru zapojením říční nivy. Ideální je založení a údržba trvalých travních či lužních porostů (VÚV TGM, 2015).

## **3.3.3 Rozdělení ochranných prostorů v suchém poldru**

Podle umístění suchého poldru se stanoví velikost a rozdělení jednotlivých ochranných prostorů. Na obr. č. 8 je vidět rozdělení prostorů v poldru bez stálého nadržení, což znamená, že poldr je pouze průtočný a nezadržuje žádné množství přitečené vody (Říha et al., 2014).

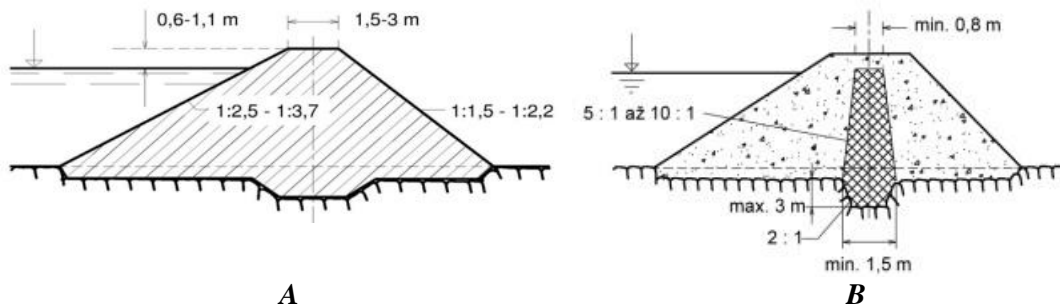


Obr. č. 8 Rozdělení prostorů v poldru bez stálého nadržení (Říha et al., 2014)

Nejjednodušším způsobem povodňového řízení odtoku by bylo zadržet celý objem povodně v ochranném prostoru nádrže, který by se po přehnutí povodně opět vyprázdnil. Objem N-letých povodní však bývá tak velký, že by bylo nevhodné rezervovat tak velké prostory. Úplná ochrana před povodněmi se nikdy nepovede realizovat, a proto se kapacita nádrže vypočítává pro maximální průtok. Do výpočtu se nezapočítává ztráta vody výparem, průsak hrází, infiltrace do dna a provozní ztráty (Broža et al., 1993).

### 3.3.4 Konstrukční řešení hrází a funkčních objektů suchého poldru

Hráze jsou nákladná a svým významem jedinečná stavební díla, u kterých je výběr vhodného stavebního materiálu mimořádně důležitý. Výběrem vyhovujícího materiálu se může dosáhnout trvalé funkční spolehlivosti hráze, ale i se mohou snížit pořizovací náklady. Při stavbě hrází se v poslední době nejčastěji volí různé typy sypaných hrází, protože k jejich výstavbě se používá materiál dostupný v místě poldru a omezuje se tím spotřeba a dovoz ostatních materiálů (jako je cement, ocel, dřevo). Navíc sypané hráze, pokud dojde i k jejich osetí, svojí konstrukcí a typem zapadají do krajiny. Hráze se dělí na homogenní, které jsou stavěné z jednoho druhu materiálu, a nehomogenní, které většinou mají tzv. těsnící jádro z odlišných druhů materiálu, než je zbytek hráze (viz obr. č. 9). Pro sypaní homogenních hrází se používají silně zahliněné štěrky, suťové hlíny, hlinitopísčité zeminy, spraše atd. Pro těsnící jádra nehomogenních sypaných hrází se používají jílovité až písčité zeminy s vysokým indexem plasticity. Vlastnosti použité zeminy se zjišťují po odebrání vzorků v laboratořích nebo polní zkouškou hned na místě. U hráze se rozlišuje vzdušná strana a návodní strana s různým sklonem stran v závislosti na použitém materiálu, a koruna, přes kterou může vést komunikace (Hobst et al., 1984).



Obr. č. 9 Schéma příčného profilu homogenní (A) a nehomogenní (B) hráze poldru (Říha et al., 2014)

Funkčními objekty suchých poldrů jsou spodní (dnové) výpusti a pojistná zařízení v podobě bezpečnostních a nouzových přelivů.

Suché poldry mají obvykle jen jednu spodní výpust. Pokud hrozí ucpání výpusti naplaveninami, používají se dvě a instalují se před ně hrubé a jemné česle. Spodní výpust je u většiny suchých poldrů neovladatelná a dimenzovaná tak, aby převáděla běžné průtoky do prostoru pod hrází a aby během povodně převáděla požadovaný odtok po celou dobu vyprazdňování. Profil potrubí (některé poldry mohou mít místo potrubí průtok s otevřenou hladinou) se navrhuje na průměr minimálně 800 mm, což umožňuje případnou revizi a údržbu. Maximální kapacita výpusti nesmí překročit neškodný odtok pod hrází (Říha et al., 2014).

Bezpečnostní přelivy se instalují na hráze pro bezpečné převedení větších povodňových průtoků. Zbudování přelivu na poldru je nutné, aby nedošlo k přetečení a následnému poškození hráze. V momentě, kdy voda začne přetékat bezpečnostním přelivem, se jedná o nekontrolovatelný odtok. Bezpečnostní přeliv se skládá z přelivné části (hrany, kašny, koruny), navazujícího skluzu, který obvykle prochází tělesem hráze a z opatření k tlumení energie vody (Říha et al., 2014).

### 3.3.5 Průchod povodně suchým poldrem

Podle různé intenzity povodně prochází povodeň suchým poldrem několika fázemi. Při nejvyšší možné intenzitě prochází ve 4 fázích (Daňhelka et al., 2014):

- a) *Fáze I.* – odtok z nádrže se pomalu zvyšuje s narůstajícím přítokem, až do chvíle, kdy velikost přítoku přesáhne velikost odtoku.
- b) *Fáze II.* – přítok dále stoupá, ale odtok zůstává stejný, postupně se plní ochranný ovladatelný prostor nádrže až do chvíle, než začne přepadat přes bezpečnostní přeliv.
- c) *Fáze III.* – voda přepadá přes bezpečnostní přeliv a nastává neovladatelný odtok, čím větší je hladina v nádrži, tím se zvyšuje odtok, ale zároveň se voda zachycuje i v neovladatelném prostoru nádrže.
- d) *Fáze IV.* – hladina vody postupně stoupá až do chvíle, kdy se klesající přítok vyrovná s odtokem, poté začne fáze prázdnění.

## 4. Metodika

### 4.1 Charakteristika zájmového území

#### 4.1.1 Fyziogeografické poměry

Zájmové území se nachází cca 0,8 km jihozápadně od obce Cehnice pod silnicí III. třídy Cehnice – Paračov (viz obr. č. 10). Podle údajů z projektové dokumentace k suchému poldru Cehnice je území situované na severním okraji Bavorovské vrchoviny, která tvoří část Šumavského podhůří. Povrch území je zde zvlněný s nadmořskou výškou kolem 450 m s mírným sklonem k severovýchodu. Územím protéká Cehnický potok, jehož správce je Povodí Vltavy, s.p. České Budějovice. V místě současného umístění poldru býval situovaný historický rybník, který zanikl s protrhnutím jeho hráze. Zájmové území je průjezdné k lesním a zemědělským pozemkům přes zátupovou oblast. Přes funkční objekt vede úzká lávka a po hrázi lze přejít pouze pěšky.



Obr. č. 10 Výřez z vodohospodářské mapy v měřítku 1:50000 s vyznačeným zájmovým územím (VÚV TGM, 2016)

#### 4.1.2 Geologické a pedologické poměry

Podle inženýrskogeologického průzkumu staveniště se zájmové území z regionálně geologického hlediska nalézá v Českém masivu, konkrétně v severní části šumavského moldanubika při styku se severním výběžkem budějovické pánve. Skalní podloží je budováno krystalickými horninami jednotvárné skupiny, a to perlovými rulami a migmatity. Základní hmota je tvořená biotitem, křemenem a živci. Podél Cehnického potoka jsou lokálně zachovány sedimenty mydlovarského souvrství, které mají charakter písčitých jíílů a jílovitých písků. Svahová úžlabí a deprese jsou vyplněny písčitými a jílovitými uloženinami.



Povrch území v prostoru poldru byl kryt hnědými kyselými půdami v mocnosti cca 20 cm, které se využili při zatravnění vzdušné strany hráze. Pod tímto horizontem jsou uloženy hnědé a šedé fluvialní písčité jíly, které jsou vlivem potoka zabahněné. Konzistence jílu je převážně tuhá až pevná a jejich průměrná mocnost se pohybuje kolem 2 m. Skalní podloží tvoří šedě zbarvená pararula, která má charakter hlinitého písku. Těleso hráze je vybudováno převážně z písčité hlíny a hlinitého písku.

#### 4.1.3 Klimatické a hydrologické poměry

Zájmové území se nachází v klimatickém regionu typu MT 4 – mírně teplý, vlhký. Průměrná roční teplota se na tomto území pohybuje mezi 6-7 °C a průměrný roční úhrn srážek je přibližně 650-750 mm (Geoportál SOWAC-GIS, 2016).

V profilu hráze na Cehnickém potoce je podle hydrologických údajů od ČHMÚ dlouhodobý průměrný průtok 0,051 m<sup>3</sup>/s. Hodnoty N-letých průtoků (k roku 2006) pro různé Q před vybudováním suchého poldru jsou zobrazeny v tab. č. 3.

Tab. č. 3 N-leté průtoky v m<sup>3</sup>/s na Cehnickém potoce v místě hráze (Dokumentace k projektu – poldr Cehnice)

Q1	Q2	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100
2,3	3,7	6,2	8,6	12	17	21

Původní kapacita koryta v místě hráze před výstavbou suchého poldru byla 5,6 m<sup>3</sup>/s, která přibližně odpovídala Q<sub>5</sub>. Po dokončení suchého poldru o celkovém objemu retenčního prostoru (89 900 m<sup>3</sup>), parametrech šterbinové propusti (viz další kapitola) a celkovém objemu povodňové vlny (544 600 m<sup>3</sup>) se zajistila transformace odtoku při Q<sub>100</sub> na 16,4 m<sup>3</sup>/s. Celková plocha povodí k hrázi poldru (viz obr. č. 11) činí 13,93 km<sup>2</sup> (Dokumentace k projektu – poldr Cehnice).



Obr. č. 11 Výřez z vodohospodářské mapy v měřítku 1:100000 s vyznačeným povodím a závěrovým profilem v místě hráze suchého poldru (VÚV TGM, 2016)

## 4.2 Základní identifikační a informační údaje o suchém poldru umístěném v zájmovém území

Základní identifikační údaje suchého poldru Cehnice jsou uvedeny v tab. č. 4.

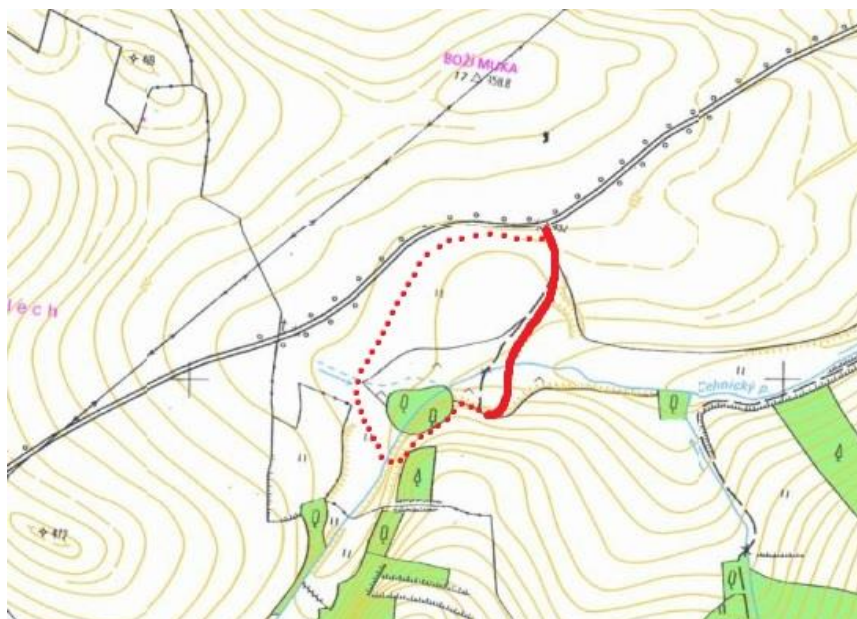
Tab. č. 4 Základní identifikační údaje suchého poldru Cehnice (Dokumentace k projektu – poldr Cehnice)

<b>Název stavby</b>	Suchý poldr Cehnice
<b>Vodní tok</b>	Cehnický potok
<b>Číslo hydrologického pořadí</b>	1-08-02-060
<b>Říční kilometr</b>	6,13
<b>Správce vodního toku</b>	Povodí Vltavy, s.p.
<b>Katastrální území</b>	Cehnice
<b>Obecní úřad, okres, kraj</b>	Cehnice, Strakonice, Jihočeský
<b>Stavebník, projektant</b>	Obec Cehnice, Ekoservis

Hráz poldru je zemní, homogenní, sypaná z místního materiálu (částečně získaného z pozemkové úpravy potenciální zdrže). Celková délka hráze je 336 m a je rozdělena funkčním objektem na 2 části o délkách 83 a 253 m. Příčný profil hráze má lichoběžníkový tvar o šířce koruny 4 m a sklonem vzdušného i návodního svahu 1:2. Základová spára je umístěna na nepropustném podloží 1 m pod terénem. U návodního líce hráze byla zřízena ostruha o délce 3 m, zapuštěná 0,5 m do nepropustného podloží. Vzdušná část hráze je opatřena patním drénem z drceného kameniva, do kterého je uložen drén k odvedení průsakové vody. Oba svahy byly po celé výšce ohumusovány. Na koruně hráze o kótě 452,2 m n. m. byla zřízena přístupová komunikace ze zhutněného makadamu, která je v místě funkčního objektu překlenuta úzkou lávkou.

Funkční objekt tvoří štěrbinová propust obdélníkového tvaru o šířce 1,8 m a výšce 3,2 m a bezpečnostní přeliv rovněž obdélníkového tvaru o šířce 9,8 m a výšce 1 m. Objekt je založen na nepropustném podloží a je tvořen betonovou konstrukcí a kamennou dlažbou. Kóta dna štěrbinové propusti je 448 m n. m. a kóta koruny bezpečnostního přelivu je 451,2 m n. m. Součástí funkčního objektu je i nátok do toku pod hrází, který tvoří vývar pro tlumení energie vytékajícího vodního paprsku.

Potenciální zdrž poldru tvoří místo nad hrází (viz obr. č. 12) o zátopové ploše 8,1 ha a celkovém objemu retenčního prostoru poldru 89 900 m<sup>3</sup> (počítáno pro Q<sub>100</sub>). Na ploše zátopy byla odstraněna původní vegetace a v současnosti je část převedena na trvalé travní porosty a část je zemědělsky obdělávaná (Dokumentace k projektu – poldr Cehnice).



Obr. č. 12 Výřez z vodohospodářské mapy v měřítku 1:10000 s vyznačenou hrází a potenciální zdrží při  $Q_{100}$  (VÚV TGM, 2016)

Celkovou cenu výstavby a ostatních souvisejících prací shrnuje rozpočet projektu stavby a jednotlivé položky jsou uvedeny v tab. č. 5 (ceny jsou uvedeny bez DPH, sazba DPH 19%).

Tab. č. 5 Celkový propočet stavebních a souvisejících prací na suchém poldru (Rozpočet projektu – suchý poldr Cehnice)

Název položky	Cena (Kč)
<b>Projekt</b>	56 700
<b>Náklady na publicitu</b>	84 240
<b>Technický dozor</b>	121 500
<b>Zemní práce</b>	6 813 976
<b>Základy</b>	408 016
<b>Svislé konstrukce</b>	4 047 218
<b>Vodorovné konstrukce</b>	306 447
<b>Komunikace</b>	461 295
<b>Trubní vedení</b>	64 340
<b>Ostatní konstrukce a práce</b>	998 525
<b>Celkem (bez DPH)</b>	13 362 257
<b>Celkem (včetně DPH)</b>	<b>15 912 783</b>

### 4.3 Numerická metoda pro posouzení efektivity suché nádrže

Vzhledem k vysokým finančním nákladům na stavbu suché nádrže je výhodné nejprve ověřit, jestli navržené parametry funkčních objektů budou efektivně transformovat odtok z příslušného povodí. Tato skutečnost přispěla ke vzniku „*numerické metody pro posouzení efektivity suché nádrže*“. Autoři této metody jsou Ing. Martin Dočkal, Ph.D. a Doc. Ing. Karel Vrána, CSc. (2007).

Cílem testování a zpracování numerické metody bylo stanovit ideální poměr mezi kulminací povodňové vlny a odtokem vody z nádrže. Toho lze docílit vhodnou kombinací velikosti záchytného prostoru a parametrů funkčního objektu. Metoda vychází ze znalosti minimálního počtu vstupních údajů a minimálních nákladů spojených s jejich získáváním.

Nezbytná vstupní data pro výpočet transformace povodňové vlny:

- a) *Charakteristické čáry suché nádrže* (objem vody v suché nádrži vzhledem k nadmořské výšce hladiny vody v nádrži).
- b) *Časový průběh povodňové vlny* (časové vyjádření velikosti přítoku vody do suché nádrže).
- c) *Parametry nebo měrná (konzumční) křivka průtoku funkčních objektů* (vyjádření průtoku vzhledem k nadmořské výšce hladiny vody ve funkčním objektu).

Hlavní výhodou numerické metody je, že všechna vstupní data lze zadat do jednoho souboru v prostředí MS Excel, kde probíhají i všechny výpočty. V souboru jsou jednotlivé listy barevně rozlišeny podle vstupních dat či probíhajících výpočtů.

Výstupem je grafické porovnání průběhu přítoků a odtoků povodňové vlny a tabulka maximálních hodnot (včetně efektivity) suchého poldru při povodni s určitým průtokem.

#### 4.3.1 Charakteristické čáry nádrže

Charakteristické čáry vyjadřují zatopené plochy a objemy vody v nádrži v závislosti na nadmořské výšce hladiny. Tyto hodnoty lze získat zaměřením terénu nebo odhadem z podrobné mapy. Pro účely této práce jsou data k dispozici z projektové dokumentace k suchému poldru Cehnice.

V prostředí MS Excel probíhá výpočet charakteristických čar nádrže v listu „*nádrž*“. Zadává se nadmořská výška počínaje dnem spodní výpusti a konče maximální hladinou v retenčním prostoru nádrže (nebo korunou hráze). Pro příslušnou nadmořskou výšku se musí zadat objemy zachycené vody v nádrži.

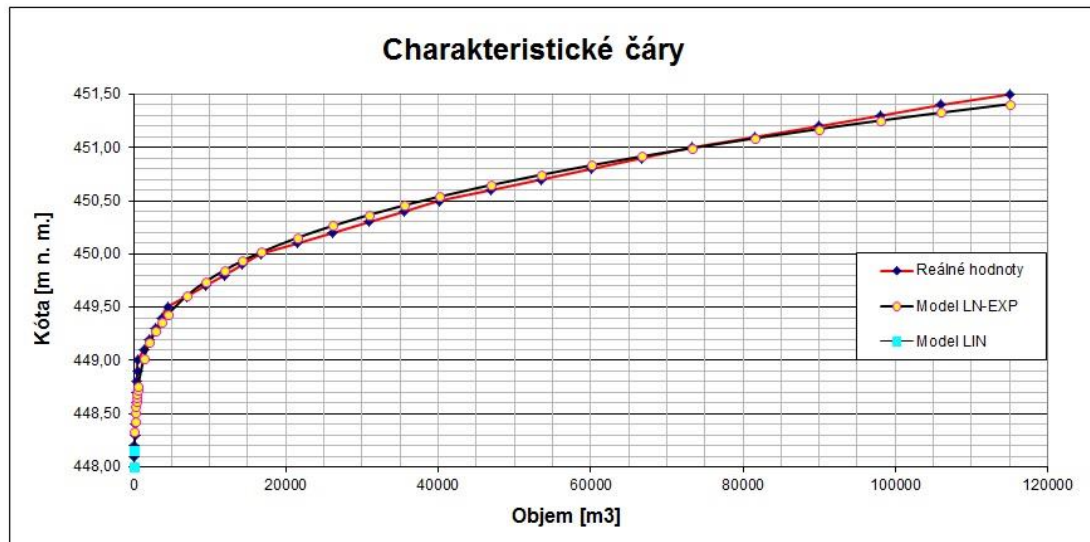
Charakteristické čáry nelze vyjádřit žádnou funkcí, a proto jsou pro každou nádrž jiné. Z tohoto důvodu je zapotřebí vyjádřit funkční závislost, která by nejvíce odpovídala realitě. Nejvhodnější model pro popis charakteristických čar byl určen logaritmicko-exponenciální s proměnnými parametry (1).

$$M_{Ln-Exp} = A + B * \ln(V) + C * \sqrt{V} \quad (1)$$

Parametry A, B a C se vypočítají pomocí regresní analýzy. Logaritmickou funkcí nelze vyjádřit nulová hodnota, a proto je funkční vztah mezi 0 a nejbližší hodnotou vyjádřen lineárním modelem (2).

$$M_{Lin} = D + E * V \quad (2)$$

Tímto způsobem lze charakteristické čáry poldru popsat pomocí funkčních vztahů a výsledné hodnoty se vykreslí do grafu (viz obr. č. 13).



Obr. č. 13 Charakteristické čáry suchého poldru Cehnice (autor, 2016)

### 4.3.2 Časový průběh povodňové vlny

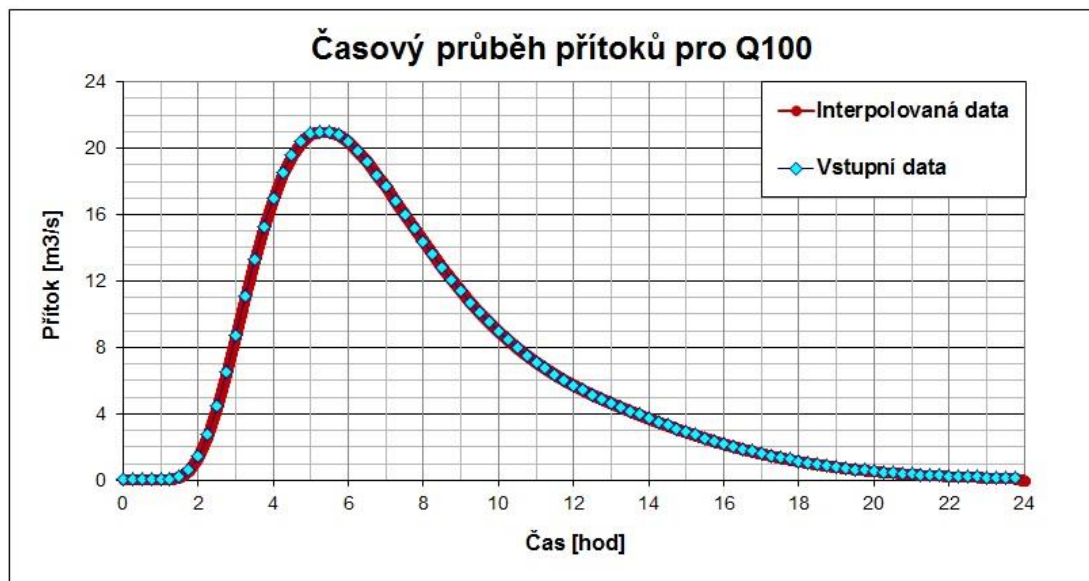
Časový průběh povodňové vlny (hydrogram) pro různou dobu opakování ( $Q_{100}$ ,  $Q_{50}$ ,  $Q_{20}$  atd.) lze na vyžádání získat od ČHMÚ. Nejdůležitější je provést výpočet pro  $Q_{100}$ , protože kapacita suchých poldrů se ve většině případů navrhuje na tento průtok. Časový průběh povodňové vlny  $Q_{100}$  je součástí projektové dokumentace k suchému poldru Cehnice, ale zpracovatelem byl ČHMÚ. Jelikož hodnoty pro časový průběh  $Q_{50}$  a  $Q_{20}$  nebyly k dispozici, byly odvozeny z principu proporcionality jednotkového hydrogramu. Máca (2010) uvádí, že princip proporcionality vyjadřuje přímou úměrnost mezi srážkami na vstupu a odtokem za stejné časové období. Při znalosti alespoň jednoho hydrogramu (v tomto případě  $Q_{100}$ ) a odpovídající intenzitě deště (nebo alespoň kulminačních průtoků příslušných povodňových vln) lze vypočítat libovolný průtok konkrétní povodňové vlny pomocí vztahu (3)

$$Q_{(t)} = K * Q_{100(t)} \quad (3)$$

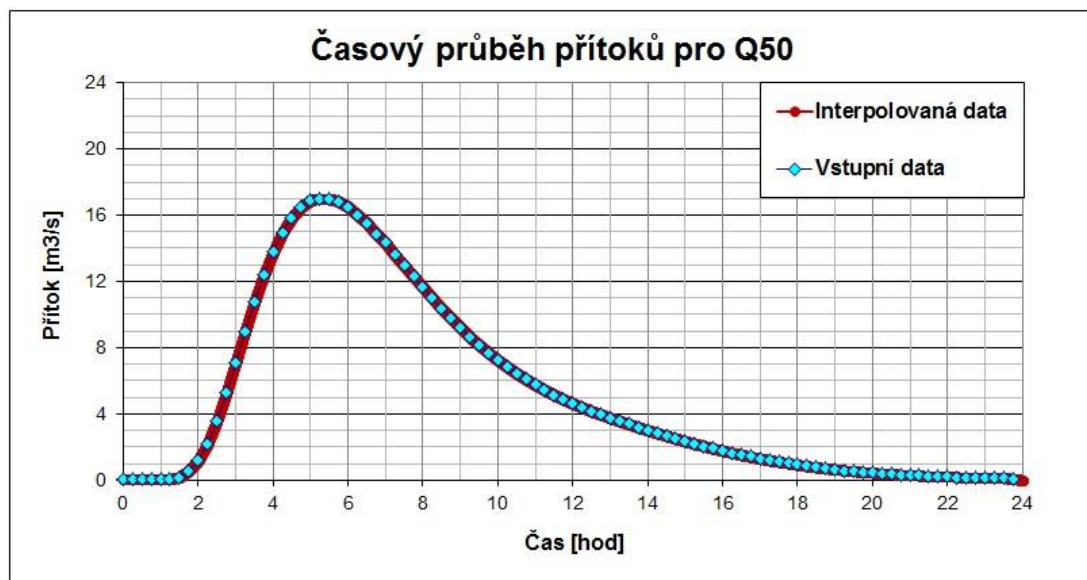
Parametr K se vypočítá jako poměr kulminačního průtoků hledané povodně a kulminačního průtoků stoleté povodně. Při znalosti parametru K lze dopočítat všechny potřebné hodnoty k vykreslení časového průběhu povodně  $Q_{50}$  a  $Q_{20}$ .

V prostředí MS Excel probíhá výpočet průběhu povodňové vlny v listu „povodeň“. Zadává se časový údaj (v hodinách a sekundách) a přítok příslušné povodňové vlny. Důležité je, aby rozestup mezi časovými úseky byl vždy stejný, ale délka může být libovolná.

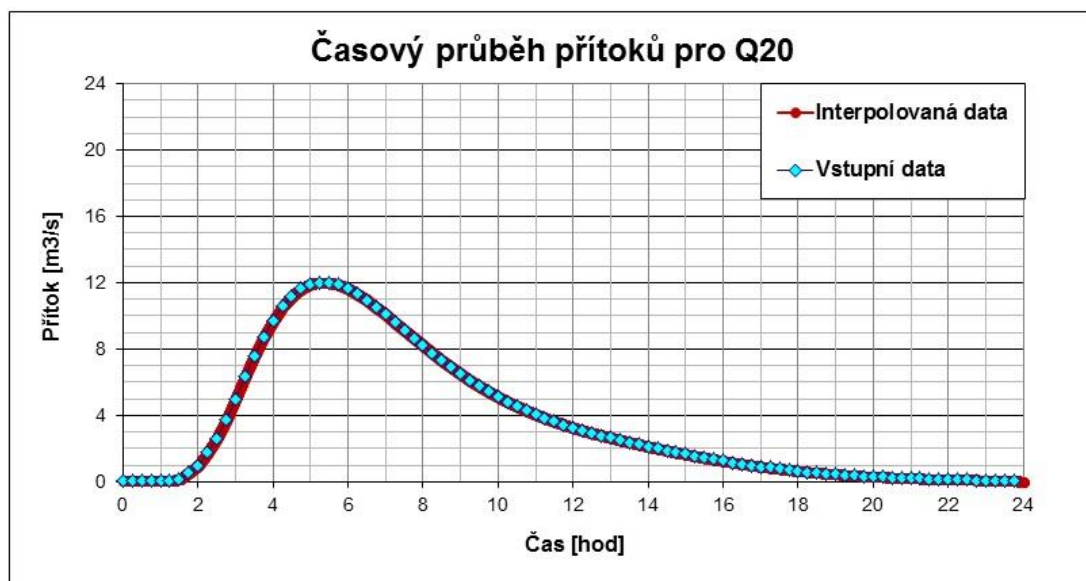
Po zadání příslušných hodnot se provede mezi těmito hodnotami interpolace, vyhodnotí se průběh povodňové vlny s konstantním časovým úsekem (10 s) a vykreslí se graf průběhu povodňové vlny ze vstupních i interpolovaných dat (viz obr. č. 14, 15 a 16).



Obr. č. 14 Časový průběh povodňové vlny Q100 (autor, 2016)



Obr. č. 15 Časový průběh povodňové vlny Q50 (autor, 2016)



Obr. č. 16 Časový průběh povodňové vlny Q20 (autor, 2016)

### 4.3.3 Měrná křivka šterbinové propusti

Měrná křivka vyjadřuje vztah průtoku vody v profilu vzhledem k nadmořské výšce hladiny a je pro každou suchou nádrž odlišná v závislosti na zvolených parametrech funkčních objektů. Pro suchý poldr Cehnice byla podle projektové dokumentace zvolena jedna obdélníková propust s volnou hladinou (nejedná se o tlakový průtok vody) o daných rozměrech.

V prostředí MS Excel probíhá výpočet měrné křivky propusti v listu „výpust“. Pro výpočet je nutné zadat rozměry propusti, nadmořskou výšku dna propusti, sklon a drsnost profilu (viz tab. č. 6).

Tab. č. 6 Parametry propusti suchého poldru Cehnice (Dokumentace k projektu – poldr Cehnice)

<b>Dno (návodní strana)</b>	448	m n. m.
<b>Šířka</b>	1,8	m
<b>Výška</b>	3,2	m
<b>Drsnost (beton)</b>	0,019	
<b>Sklon</b>	0,5	%

Pro výpočet průtoku v propusti je zapotřebí znalost druhu proudění, které lze určit z tzv. Froudova čísla (Fr). Existují tři druhy proudění – bystřinné (Fr > 1), říční (Fr < 1) nebo kritické (Fr = 1). Podle navržených parametrů propusti, zejména malému sklonu dna, vychází Fr menší než 1. Jedná se o říční proudění, a proto je výpočet průtoku v propusti počítán z Chézyho rovnice (4) ve tvaru

$$v = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * i^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

v...rychlost vody (m/s)

n...Manningův drsnostní součinitel (-)

R...hydraulický poloměr (m)

i...sklon dna (-)

po dosazení do rovnice kontinuity má výsledná rovnice (5) tvar

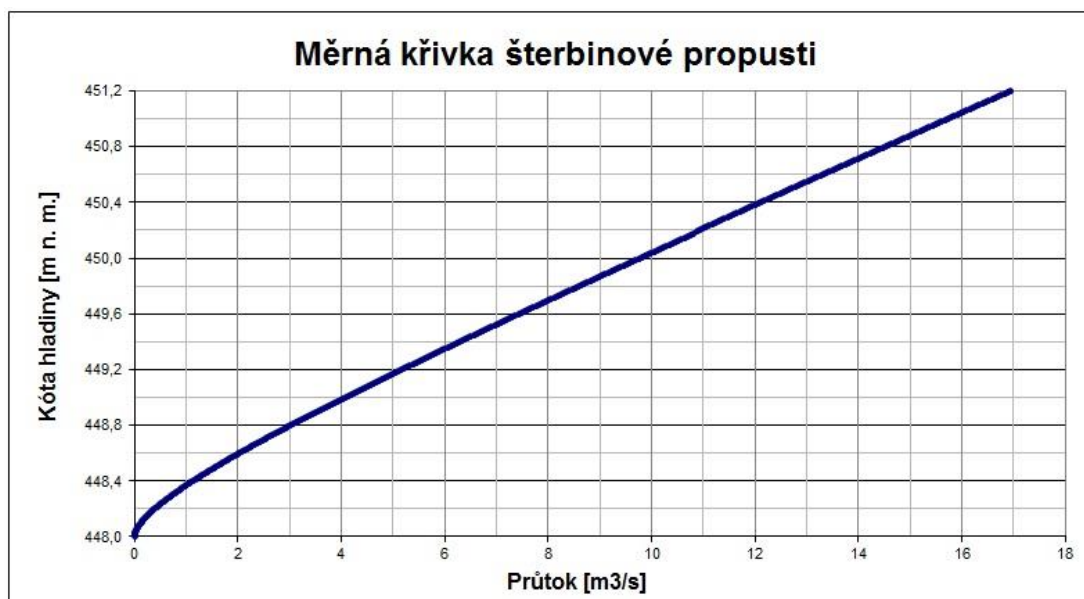
$$Q = S * \frac{1}{n} * \left(\frac{S}{O}\right)^{\frac{2}{3}} * \sqrt{i} \quad (5)$$

Q...průtok (m<sup>3</sup>/s)

S...průtočná plocha (m<sup>2</sup>)

O...omočený obvod (m)

Výsledkem je funkční vyjádření měrné křivky průtoku, které je vykresleno graficky jako měrná křivka štěrbinové propusti (viz obr. č. 17).



Obr. č. 17 Měrná křivka štěrbinové propusti suchého poldru Cehnice (autor, 2016)

#### 4.3.4 Měrná křivka bezpečnostního přelivu

Měrná křivka bezpečnostního přelivu se liší pro každou suchou nádrž podle navržených parametrů. Podle projektové dokumentace byl pro suchý poldr Cehnice zvolen obdélníkový tvar přelivu o daných rozměrech. Přibližnou hodnotu součinitele přepadu pro obdélníkový přeliv s širokou korunou (při tloušťce koruny menší než 1,5 násobku výšky přepadající vody) odvodili ve své knize Havlík et Zeman (1990).

V prostředí MS Excel probíhá výpočet měrné křivky přelivu v listu „přeliv“. Pro výpočet je nutné zadat rozměry přelivu, nadmořskou výšku dna přelivu a součinitel přepadu (viz tab. č. 7).

Tab. č. 7 Parametry bezpečnostního přelivu suchého poldru Cehnice (Dokumentace k projektu – poldr Cehnice)

<b>Dno (návodní strana)</b>	451,2	m n. m.
<b>Šířka</b>	9,8	m
<b>Výška</b>	1	m
<b>Součinitel přepadu</b>	0,42	

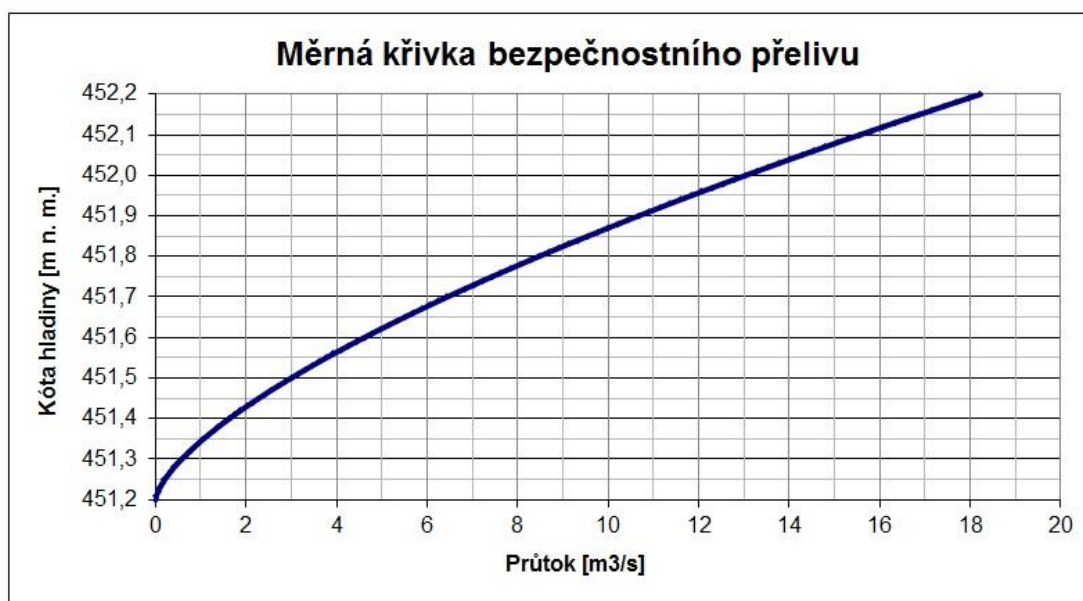


Protože se jedná o obdélníkový tvar bezpečnostního přelivu, výpočet průtoku vychází z Bazinova vztahu (6)

$$Q = m * b * \sqrt{2 * g} * h^{\frac{3}{2}} \quad (6)$$

- Q...průtok (m<sup>3</sup>/s)
- m...součinitel přepadu
- b...šířka přelivu (m)
- g...tíhové zrychlení (m/s<sup>2</sup>)
- h...přepadová výška (m)

Výstupem je graf měrné křivky bezpečnostního přelivu (viz obr. č. 18).



Obr. č. 18 Měrná křivka bezpečnostního přelivu suchého poldru Cehnice (autor, 2016)

#### 4.3.5 Výpočet transformace povodňové vlny

Transformační účinek nádrže vychází z diferenciální rovnice (7)

$$Q_p * dt - Q_o * dt = \pm dV \quad (7)$$

- Q<sub>p</sub>...časový průběh přítoku do poldru (m<sup>3</sup>/s)
- Q<sub>o</sub>...časový průběh odtoku z poldru (m<sup>3</sup>/s)
- t...čas (s)
- V...přírůstek nebo úbytek objemu vody v retenčním prostoru poldru (m<sup>3</sup>)

Časový průběh přítoku a odtoku nelze vyjádřit analyticky a proto se spojitý časový průběh transformace musí vyjádřit v časových úsecích (8)

$$Q_p * \Delta t - Q_o * \Delta t = \pm \Delta V \quad (8)$$

- Δt...časový úsek (s)

Pro časový úsek byla experimentální metodou vybraná hodnota 10 s, které odpovídá i interpolace přítoků povodňové vlny s různou dobou opakování. Každému časovému úseku se přiřadí odpovídající přítok z čáry průběhu povodně. Stoupající hladina vody v nádrži se určí z charakteristické čáry nádrže. Výška hladiny pak určuje, jaké množství vody odeče funkčním objektem (spodní výpustí i bezpečnostním přelivem) a průtok funkčním objektem se stanoví z měrné křivky. Rozdíl přítoku a odtoku na konci časového úseku určuje objem vody v nádrži na začátku dalšího časového úseku. V prostředí MS Excel probíhají všechny výpočty v listu „výpočet“, kde se údaje berou z ostatních listů souboru. Tento výpočet probíhá po celou dobu povodně.

#### **4.3.6 Výstupy a výsledky**

Výstupem je graf zobrazující transformaci povodně (s příslušnou dobou opakování) suchým poldrem a tabulka s extrémními hodnotami. V prostředí MS Excel se výsledky vyhodnotí v listu „výsledek“. Tyto výstupy jsou shrnuty v další kapitole.

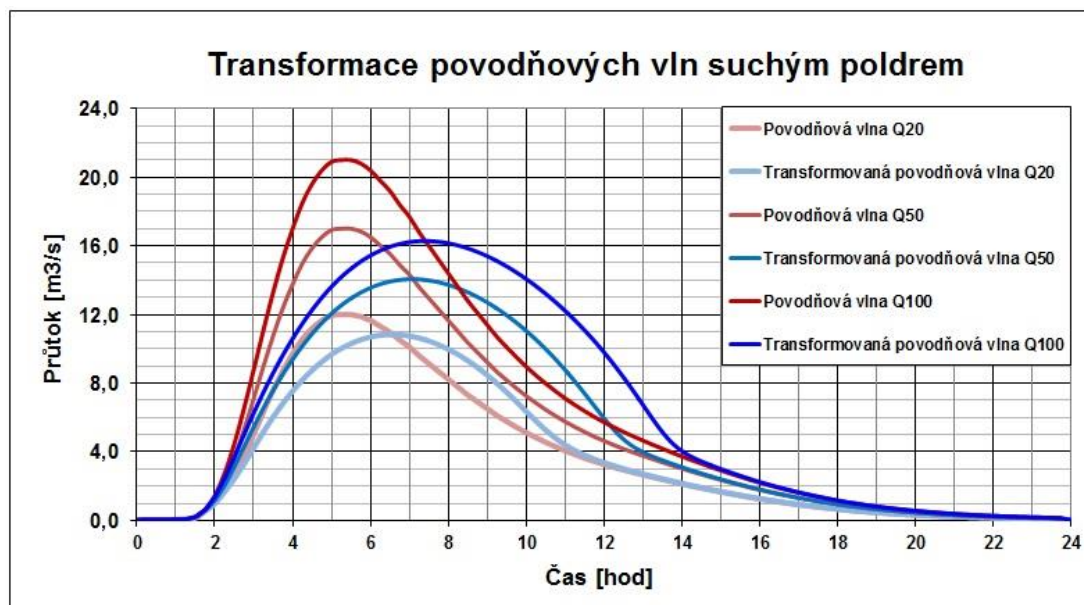
## 5. Výsledky

Výsledkem „*numerické metody pro posouzení suché nádrže*“, která byla více přiblížena v předchozích kapitolách, jsou dva podstatné výstupy. První představuje graficky zpracovaný průběh přítoku do suchého poldru a průběh transformovaného odtoku poldrem během 24 hodin. Druhý výstup tvoří tabulka, ve které je vypočítaná efektivita (účinnost) suchého poldru jako poměr kulminačního vrcholu povodňové vlny s určitou dobou opakování a kulminačního vrcholu příslušné transformované povodňové vlny.

Z grafu je patrný časový průběh povodňové vlny před vybudováním (červená čára) a po vybudování (modrá čára) suchého poldru. Nejdůležitější částí grafu je zobrazený rozdíl velikostí kulminačního průtoku původní a transformované povodňové vlny.

Tabulka s vypočtenými hodnotami obsahuje informace o velikosti a době kulminačního průtoku původní povodňové vlny ( $Q_{p\_max}$  a  $T_{Q_{p\_max}}$ ), velikosti a době kulminačního průtoku transformované povodňové vlny ( $Q_{o\_max}$  a  $T_{Q_{o\_max}}$ ), kótu maximální dosažené hladiny vody, odpovídající hloubku vody a maximální zadržovaný objem v záplavovém území. Důležitou částí tabulky je informace o efektivitě suchého poldru při průchodu povodňové vlny s různou dobou opakování.

Pro ucelení představy o průchodu povodňové vlny suchým poldrem Cehnice byla vypočtena povodeň s hodnotou průtoku  $Q_{100}$ ,  $Q_{50}$  a  $Q_{20}$  (viz obr. č. 19).

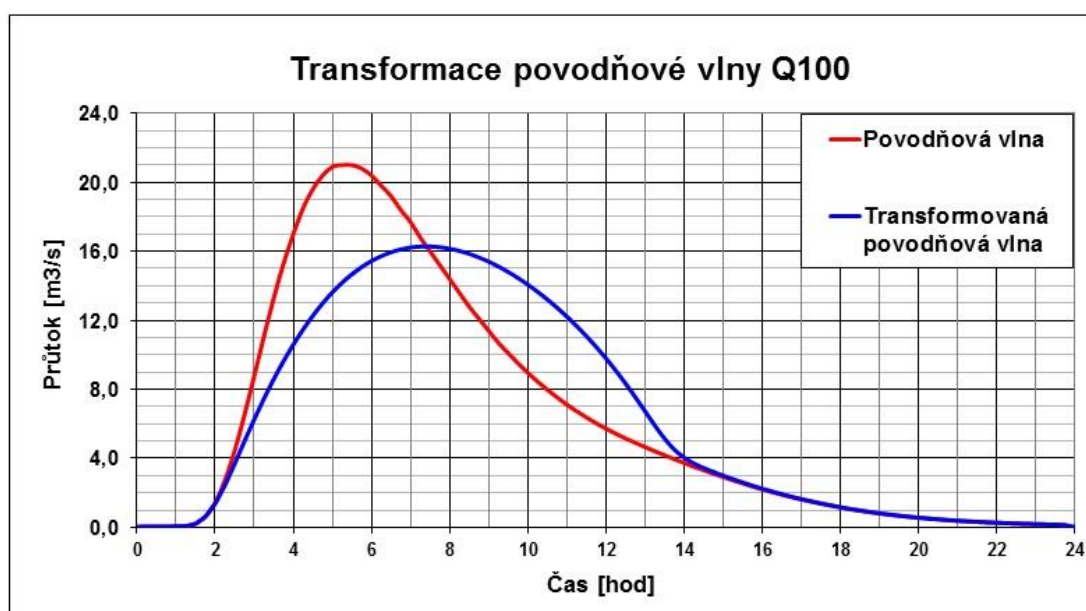


Obr. č. 19 Transformace povodňových vln  $Q_{100}$ ,  $Q_{50}$  a  $Q_{20}$  suchým poldrem Cehnice (autor, 2016)

## 5.1 Povodňová vlna se stoletým průtokem ( $Q_{100}$ )

Tab. č. 8 Efektivita a maximální hodnoty suchého poldru Cehnice při  $Q_{100}$  (autor, 2016)

Suchý poldr Cehnice	Q100	
	Numerická metoda	Projektová dokumentace
$Q_p_{max}$ [m <sup>3</sup> /s]	21,00	21,00
$Q_o_{max}$ [m <sup>3</sup> /s]	16,28	16,40
$T_{Qp_{max}}$ [h]	5,25	5,25
$T_{Qo_{max}}$ [h]	7,40	7,25
Maximální hladina vody [m n. m.]	451,09	451,20
Maximální hloubka vody [m]	3,09	3,20
Maximální zadržený objem [m <sup>3</sup> ]	81914	89900
<b>Efektivita [%]</b>	22,47	21,90



Obr. č. 20 Transformace povodňové vlny suchým poldrem Cehnice při  $Q_{100}$  (autor, 2016)

Z tab. č. 8 a obr. č. 20 je patrné, že při  $Q_{100}$  je maximální povodňový průtok 21 m<sup>3</sup>/s, který se vlivem suchého poldru transformuje na odtok 16,28 m<sup>3</sup>/s. Čas kulminace povodňové vlny byl od začátku srážkového úhrnu kolem 5 hod a 15 min. Čas kulminace transformované vlny se díky suchému poldru prodlouží na 7 hod a 25 min.

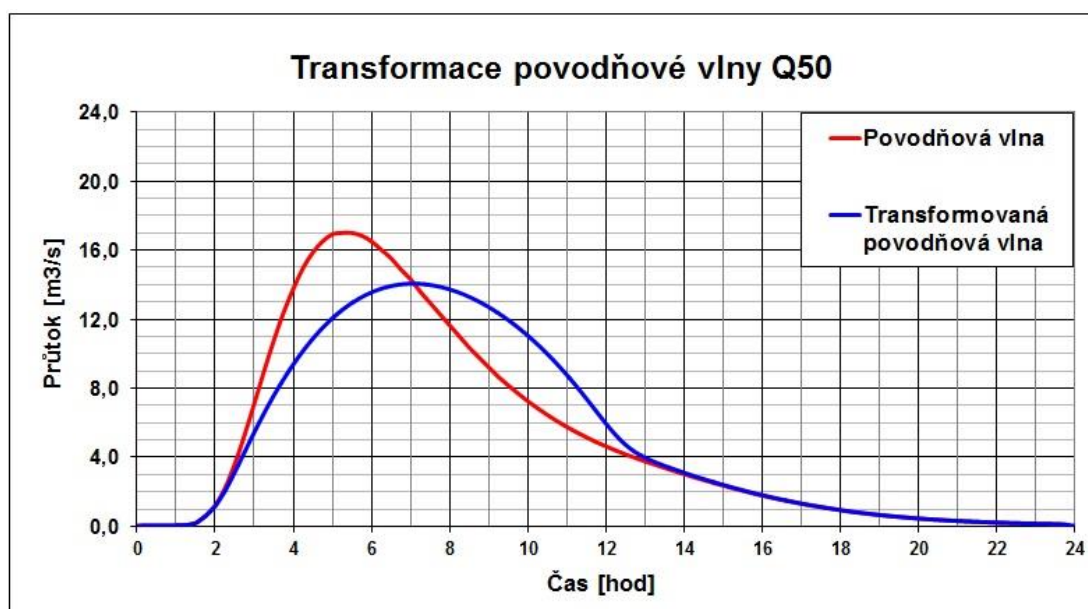
Maximální hladina vody při  $Q_{100}$  dosahuje 451,09 m n. m., čemuž odpovídá hloubka vody v propusti 3,09 m. Objem zadržené vody v záplavovém území je podle výpočtů 81 914 m<sup>3</sup>.

Efektivita, neboli procentuální vyjádření snížení kulminačního průtoku, poldru při  $Q_{100}$  je 22,47%. Průtok klesl vlivem poldru na 77,53% původní hodnoty a doba kulminace povodňové vlny se prodloužila o cca 2 hod a 10 min.

## 5.2 Povodňová vlna s padesátiletým průtokem (Q<sub>50</sub>)

Tab. č. 9 Efektivita a maximální hodnoty suchého poldru Cehnice při Q<sub>50</sub> (autor, 2016)

Suchý poldr Cehnice	Q <sub>50</sub>
Q <sub>p_max</sub> [m <sup>3</sup> /s]	17,00
Q <sub>o_max</sub> [m <sup>3</sup> /s]	14,06
T <sub>Qp_max</sub> [h]	5,25
T <sub>Qo_max</sub> [h]	7,08
Maximální hladina vody [m n. m.]	450,72
Maximální hloubka vody [m]	2,72
Maximální zadržovaný objem [m <sup>3</sup> ]	51978
Efektivita [%]	17,30



Obr. č. 21 Transformace povodňové vlny suchým poldrem Cehnice při Q<sub>50</sub> (autor, 2016)

Obr. č. 21 a tab. č. 9 udávají hodnotu kulminace přítoku při Q<sub>50</sub> = 17 m<sup>3</sup>/s, který se díky poldru transformuje na 14,06 m<sup>3</sup>/s. Čas kulminace přítoku odpovídá 5 hod a 15 min a čas kulminace transformovaného odtoku se posune na 7 hod a 5 min.

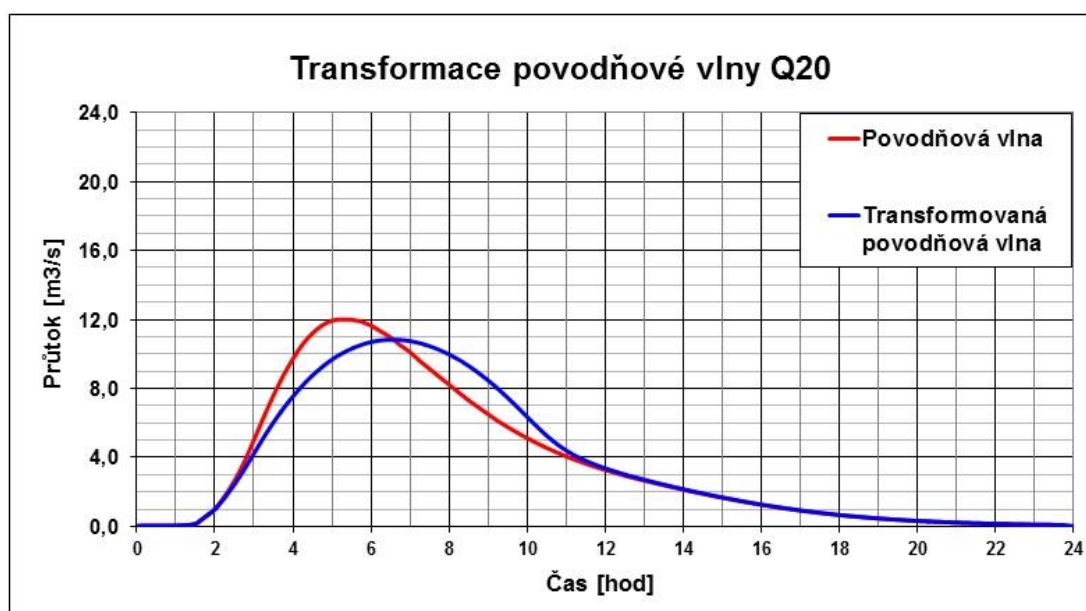
Maximální hladina vody při Q<sub>50</sub> je na kótě 450,72 m n. m., které odpovídá hloubka vody v propusti 2,72 m. Objem zadržené vody v záplavovém území je 51 978 m<sup>3</sup>.

Efektivita suchého poldru Cehnice při Q<sub>50</sub> je 17,3%. Průtok klesl na 82,7% původní hodnoty a doba kulminace povodňové vlny se prodloužila o cca 1 hod a 50 min.

### 5.3 Povodňová vlna s dvacetiletým průtokem ( $Q_{20}$ )

Tab. č. 10 Efektivita a maximální hodnoty suchého poldru Cehnice při  $Q_{20}$  (autor, 2016)

Suchý poldr Cehnice	$Q_{20}$
$Q_p\_max$ [m <sup>3</sup> /s]	12,00
$Q_o\_max$ [m <sup>3</sup> /s]	10,83
$T\_Qp\_max$ [h]	5,25
$T\_Qo\_max$ [h]	6,56
Maximální hladina vody [m n. m.]	450,18
Maximální hloubka vody [m]	2,18
Maximální zadržný objem [m <sup>3</sup> ]	22685
Efektivita [%]	9,74



Obr. č. 22 Transformace povodňové vlny suchým poldrem Cehnice při  $Q_{20}$  (autor, 2016)

Z obr. č. 22 a tab. č. 10 je zřejmé, že maximální povodňový přítok při  $Q_{20}$  je roven 12 m<sup>3</sup>/s. Vlivem poldru se přítok transformuje na odtok  $Q_{20} = 10,73$  m<sup>3</sup>/s. Přítok kulminuje v čase 5 hod a 15 min. Čas kulminace povodňové vlny se prodlouží na 6 hod a 35 min.

Při  $Q_{20}$  bude maximální hladina vody na kótě 450,18 m n. m. Hladina vody ve štěrbinové propusti poldru je 2,18 m. Objem zadržené vody v záplavovém území je 22 685 m<sup>3</sup>.

Efektivita poldru při  $Q_{20}$  je 9,74%. Průtok klesl na 90,26% původní hodnoty a doba kulminace povodňové vlny se prodloužila o cca 1 hod a 20 min.

## 6. Diskuse

Průběh většiny povodní v obci Cehnice byl specifický tím, že se během krátké doby přihnala do centra obce povodňová vlna a během pár hodin opadla. Největší povodeň přišla v srpnu 2002, další v roce 2004, 2006 a 2009. Na základě často se vyskytujících povodní (dlouhodobých i přívalových) na Cehnickém potoce, které měly za následek nemalé majetkové škody (od roku 2002 do roku 2009 se škody na obecním a soukromém majetku vyšplhaly přes 15 mil. Kč) a psychickou újmu místních obyvatel, došlo v roce 2006 k úpravě břehů a zvýšení kapacity koryta toku. Voda se místy vylévala z břehů již při průtoku  $6 \text{ m}^3/\text{s}$ , což odpovídalo cca  $Q_{20}$ . Návrhový průtok nového protipovodňového opatření byl stanoven na hodnotu  $Q_{20} = 17 \text{ m}^3/\text{s}$ , aby se dosáhlo ochrany obce minimálně před dvacetiletou vodou. Tento průtok byl navržen hlavně z důvodu kapacity propusti místního historicky chráněného mostu, který překlenuje hlavní silnici I/22 Strakonice – České Budějovice. Proto by bylo zbytečné dimenzovat koryto na vyšší průtoky. Ochrana před povodněmi s vyšší dobou opakování se musela vyřešit jiným způsobem. Realizací suchého poldru nad obcí, kterým by došlo ke zvýšení retenční schopnosti krajiny, se měl tento problém eliminovat.

Stavba suchého poldru začala v roce 2009 a dokončena byla o rok později. Hráz poldru vznikla na místě původní hráze historického rybníka, který měl funkci akumulace vody v krajině, ale výstavbou poldru se funkce změnila na ochrannou. Funkční objekty byly navrženy tak, aby zadržaná voda propouštěla jen takové množství, které pojme místní most. Cehnický potok má v profilu hráze hodnotu  $Q_{100} = 21 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $Q_{50} = 17 \text{ m}^3/\text{s}$  a  $Q_{20} = 12 \text{ m}^3/\text{s}$  a vzhledem k navrženým parametrům funkčního objektu a výpočtům provedených pomocí „*numerické metody pro posouzení efektivity suché nádrže*“ se odtok transformuje při  $Q_{100}$  na hodnotu  $16,28 \text{ m}^3/\text{s}$ , při  $Q_{50}$  na hodnotu  $14,06 \text{ m}^3/\text{s}$  a při  $Q_{20}$  na hodnotu  $10,83 \text{ m}^3/\text{s}$ . Podle projektové dokumentace se má odtok transformovat při  $Q_{100}$  na hodnotu  $16,4 \text{ m}^3/\text{s}$ . Minimální rozdíl v těchto hodnotách může způsobovat použití odlišné metody pro výpočet transformace odtoku. Nadmořská výška, hloubka a objem vody v nádrži závisí na velikosti transformace odtoku. Ostatní vypočtené hodnoty pro  $Q_{100}$  přibližně odpovídají údajům v projektové dokumentaci. Transformace povodňové vlny zajistí posun vrcholu kulminace o cca 2 hodiny, které v protipovodňové ochraně obce mohou hrát významnou roli z hlediska včasné informovanosti a připravenosti na příchozí povodeň.

Vzhledem k tomu, že se jedná o obnovu dříve existujícího vodního díla, které plnilo v krajině funkci akumulace vody, není vliv stavby na životní prostředí negativní. Zasazení do krajiny je šetrné a příliš nezasahuje do morfologie terénu. Záplavové území se z části obhospodaruje, takže využití pozemků v potenciální záplavě se příliš nezměnilo. Problém nastává ve vyřešení majetkových vztahů s vlastníky pozemků v potenciální záplavě. Poldr je ve vlastnictví obce Cehnice, ale přilehlé pozemky nikoli. Odkoupit všechny pozemky najednou by bylo pro obec velká finanční zátěž. Proto se pozemky vykupují postupně nebo se mění za jiné, aby do

budoucná byla celé záplavové území ve vlastnictví obce a nevznikaly majitelům pozemků škody s každou prošlou povodní.

Efektivita suchého poldru není na první pohled vysoká, ale každá situace se musí posuzovat individuálně. Efektivita při  $Q_{100}$  je 22,47%, při  $Q_{50}$  je 17,3% a při  $Q_{20}$  je 9,74%, ale to závisí hlavně na kapacitě výpusti vzhledem k hodnotě  $Q_{100}$ . Dočkal et Vrána (2007) tvrdí, že je ideální na toku navrhnout více variant umístění poldru a v místě, kde vypočtená efektivita dosahuje nejvyšších hodnot, je vhodné ho vybudovat. V tomto případě byla volba umístění jednoznačná, vzhledem k existenci bývalého rybníka. Suchý poldr Cehnice splňuje požadavky na ochranu před stoletou povodní, a tak lze konstatovat, že je velmi účinný.

Na druhou stranu při povodni v roce 2013 došlo v obci k částečnému rozlití. Zatopeny byly převážně sklepy, ale i některé zahrady domů v blízkosti toku. Otázkou je, co rozlití zapříčinilo. Vzhledem k absenci stálých přístrojů na měření průtoku nelze s přesností určit, jaký průtok obcí procházel. Podle množství vody v záchytném prostoru poldru (cca z 1/3 zaplněný) a hladiny toku v obci (propustek historického mostu byl v době kulminace zahlcený přibližně z 90%) lze odhadovat, že to mohla být povodeň blízká se  $Q_{20}$  (pravděpodobně  $Q_{15}$ , kdy je průtok v obci roven  $15 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Kapacita propustku mostu v obci je navržena na  $17 \text{ m}^3/\text{s}$  a podle výpočtů je hodnota odtoku z poldru při  $Q_{20} = 10,83 \text{ m}^3/\text{s}$ . Zajímavé je, že se průtok o tolik zvýšil, když vzdálenost poldru od obce je necelý kilometr.

I když je kapacita koryta větší, než byl kulminační průtok povodně z roku 2013, na některých místech došlo k rozlití. Tato situace mohla vzniknout z nedostatečné kapacity stokových sítí a následnému vzduť z rozvodněného recipientu nebo špatnou úpravou či poškozením břehů v kritických místech toku.

Nejpravděpodobnější variantou, proč v roce 2013 byla hladina v obci tak vysoko, byl výskyt nečekané situace na toku mezi poldrem a obcí, kde se nachází rybník Třítí. V povodňové knize, která je součástí povodňového plánu obce Cehnice, se uvádí, že došlo k přelítí hráze rybníka a jejímu částečnému poškození. V důsledku poškození hráze došlo pod rybníkem k částečnému ucpání toku kamením a ostatními naplaveninami. Další možnou variantou je chyba vzniklá během výpočtů nebo už na počátku, kdy časový průběh  $Q_{50}$  a  $Q_{20}$  byl pouze odvozen z  $Q_{100}$  principem proporcionality a nikoliv podložen údaji od ČHMÚ. Pro úplnost je třeba zvážit i málo pravděpodobnou variantu, a to že šterbinová propust mohla být postavena s jinými parametry, než se uvádí v projektové dokumentaci.



## 7. Závěr

Hlavním cílem této bakalářské práce byla celková analýza suchého poldru Cehnice, který představuje významný prvek v protipovodňové ochraně obce Cehnice. V souvislosti s tímto tématem se v práci objevuje i obecný přehled o povodních a protipovodňových opatřeních se zaměřením na suché poldry. V rámci analýzy poldru byl proveden hydrotechnický popis a proběhlo zhodnocení jeho dopadu na zájmové území a místní obyvatele. Funkčnost poldru byla odvozena z povodně roku 2013 a z výpočtu efektivita poldru pomocí „*numerické metody pro posouzení efektivita suché nádrže*“. V příloze se nachází fotografie současné podoby poldru a protipovodňového opatření v obci, výstavba poldru či povodeň z roku 2013.

Vypočtená efektivita suchého poldru není směrodatná, protože vychází z poměru kulminačních průtoků a tento poldr i při  $Q_{100}$  transformuje průtok o relativně malé, přesto významné množství. Podle doložených dat i vypočtených výsledků má štěrbinová propust poldru kapacitu průtoků  $Q_{100}$ , což znamená, že se stoletá povodeň bezpečně transformuje na odtok (v obci je transformovaný odtok roven  $Q_{20}$ ), který by v obci neměl způsobit téměř žádné škody. Teprve při povodni s vyšším průtokem než je  $Q_{100}$  začne voda nekontrolovatelně odtékat bezpečnostním přelivem. I přes vysoké náklady na stavbu suchého poldru se tato investice do budoucna jistě vyplatí. Zatím přes poldr prošla jen jedna větší povodeň (odhadnuta byla na  $Q_{20}$ ) a nelze spolehlivě posoudit, zda splňuje svůj ochranný účel.

Přestože se obec Cehnice snaží o maximální zamezení povodňových škod, povodeň v roce 2013 ukázala, že protipovodňová ochrana není dostatečně účinná. Zvýšení kapacity koryta Cehnického potoka v kombinaci se suchým poldrem se zdá jako vhodná varianta, ale tím rozhodně boj s povodněmi pro obec nekončí. Z dlouhodobého hlediska by bylo výhodné na toku umístit stanici na měření průtoků. Vhodná by byla úprava koryta na kritických místech toku, kde dochází k rozlivu a zlepšení situace na hrázi rybníka Třtí, která evidentně není přizpůsobená velkým povodním.

Úvahy vycházejí jen z jedné povodně, která postihla obec Cehnice od doby vybudování suchého poldru. Proto je třeba tyto závěry považovat pouze za informativní a v případě dalšího zkoumání problematiky povodní na tomto území by bylo vhodné mít více údajů a porovnávat větší množství minulých povodní.

S každou další povodní se shromažďují informace, data a další poznatky, které jsou vodítkem k lepšímu porozumění této živelné pohromě. Včasné, kvalitní a aktuální informace jsou jednou ze základních podmínek zlepšení ochrany před povodněmi nejen na území obce Cehnice, ale i v celé České republice a přispívají ke snížení škod na majetku i ztráty na lidských životech.

## 8. Přehled literatury a použitých zdrojů

BEDIENT P. B. et HUBER W. C., 1989: *Hydrology and floodplain analysis*. [2. opr. vyd.]. Addison-Wesley, Reading, 650 s.

BRIERLEY G. J. et FRYIRS K. A., 2005: *Geomorphology and River Management*. Blackwell, Oxford, 397 s.

BROŽA V., KAZDA I., PATERA A. et PŘENOSILOVÁ E., 1993: *Vodohospodářské stavby*. Vydavatelství ČVUT, Praha, 162 s.

BRYANT E. A., HEAD L. M. et MORRISON J., 2005: *Planning for natural hazards – How can we mitigate the impact?* Faculty of Science-Papers 59: 1-11.

ČAMROVÁ L. et HROMÁDKA P., 2006: *Lokální bleskové povodně v ČR – příčiny, následky a možnosti řešení z pozice samosprávních obcí*. In: ČAMROVÁ L. et JÍLKOVÁ J. [eds.]: *Povodně v území: Institucionální a ekonomické souvislosti*. Eurolex Bohemia, Praha: 65-103.

ČAMROVÁ L. et JÍLKOVÁ J., 2006: *Povodňové škody a nástroje k jejich snížení*. Institut pro ekonomickou a ekologickou politiku při FNH VŠE v Praze, Praha, 420 s.

ČHMÚ, 2016a: *Územní srážky*. Český hydrometeorologický ústav, Praha, online: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-srazky>, cit. 8.3.2016.

ČHMÚ, 2016b: *Průvodce informacemi Hlásné a předpovědní povodňové služby ČHMÚ pro veřejnost*. Český hydrometeorologický ústav, Praha, online: [http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/pruvodce/verejnost\\_povoden\\_definice.html#priklad](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/pruvodce/verejnost_povoden_definice.html#priklad), cit. 7.3.2016.

ČHMÚ, 2016c: *Povodňová ochrana v ČR*. Český hydrometeorologický ústav, Praha, online: [http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/pruvodce/verejnost\\_povodnova\\_ochrana.html#priklad](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/pruvodce/verejnost_povodnova_ochrana.html#priklad), cit. 11.3.2016.

DAŇHELKA J., KUBÁT J., ŠERCL P. et ČEKAL R., 2014: *Povodně v České republice v červnu 2013*. ČHMÚ, Praha, 86 s.

DEMEK J., 1988: *Obecná geomorfologie*. Academia, Praha, 476 s.

DOČKAL M. et VRÁNA K., 2007: *Numerická metoda pro posouzení efektivity suché nádrže*. ČVUT v Praze, Praha, online: [http://storm.fsv.cvut.cz/data/files/Volne%20stazitelne%20vysledky/Sucha\\_nadrz/Manual\\_sucha\\_nadrz.pdf](http://storm.fsv.cvut.cz/data/files/Volne%20stazitelne%20vysledky/Sucha_nadrz/Manual_sucha_nadrz.pdf), cit. 21.3.2016.

DOLEŽALOVÁ L., 2006: *Územní plánování a povodně: české a zahraniční perspektivy*. In: ČAMROVÁ L. et JÍLKOVÁ J. [eds.]: *Povodně v území: Industriální a ekonomické souvislosti*, Eurolex Bohemia, Praha, 176 s.

FORGÁČ K., 1965: *Povodňová ochrana*. Československý svaz požiarnej ochrany, Praha, 151 s.

Geoportal SOWAC-GIS, 2015: *Charakteristiky BPEJ*. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., Praha, online: <http://geoportal.vumop.cz/index.php?projekt=zchbpej&s=mapa>, cit. 23.3.2016.

GREGORY S. V., SWANSON F. J., MCKEE W. A. et CUMMINS K. W., 1991: *An ecosystem perspective of riparian zones*. BioScience 41/8: 540-551.

GŘ HZS ČR, 2015: *Zvláštní povodně*. Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, Praha, online: <http://www.hzscr.cz/clanek/zvlastni-povodne.aspx>, cit. 12.3.2016.

HAVLÍK V. et ZEMAN E., 1990: *Vodohospodářské inženýrství: výpočty*. Editační středisko ČVUT, Praha, 134 s.

HLADNÝ J., 2007: *Fakta a mýty o povodních*. In: LANGHAMMER J. [ed.]: Povodně a změny v krajině. Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovi v Praze a Ministerstvo životního prostředí ČR, Praha: 41-50.

HOBST L., HOBST O., KLABLENA P. et VERFEL J., 1984: *Technologie sypaných hrází*. Nakladatelství technické literatury, Praha, 360 s.

HRÁDEK F. et KURŮ P., 2003: *Protipovodňová opatření v povodí drobných vodních toků*. In: ČSKI [ed.]: Protipovodňová prevence a krajinné plánování: Sborník z mezinárodní konference 18. a 19. března 2003 Pardubice. Česká společnost krajinných inženýrů, Pardubice, 226-233 s.

CHÁBERA S. et KÖSSL R., 1999: *Základy fyzické geomorfologie: Přehled hydrogeografie*. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice, 159 s.

JÁGLOVÁ V., 2008: *Metodika odboru ochrany vod, která stanovuje postup komplexního řešení protipovodňové a protierozní ochrany pomocí přírodě blízkých opatření*. Věstník MŽP 11: 1-21.

JUST T., MATOUŠEK V., DUŠEK M., FIŠER D. et KARLÍK P., 2005: *Vodohospodářské revitalizace a jejich uplatnění v ochraně před povodněmi*. Český svaz ochránců přírody, Praha, 359 s.

KEMEL M., 1996: *Klimatologie, meteorologie, hydrologie*. České vysoké učení technické, Praha, 289 s.

KREČMER V., 1984: *Funkce lesů v ochraně vod a půdy*. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 247 s.

KUBÁT J., ČEKAL R., DAŇHELKA J. et MATOUŠEK V., 2012: *Odborné pokyny pro provádění hlásné povodňové služby*. Český hydrometeorologický ústav, Praha, 40 s.

MANA V. [ed.], 2008: *Voda a krajina: Komplexní systém protierozních a protipovodňových opatření v ČR*. EKOTOXA, Brno, 25 s.

MATYÁŠEK J. et SUK M., 2010: *Antropogeneze v geologii*. Masarykova univerzita, Brno, 180 s.

MAYER Z. et ZEMEK F., 2015: *Digitální model reliéfu jako podklad pro návrh vodohospodářských opatření v pozemkových úpravách*. Vodní hospodářství 65: 5-10.

MÁCA P., 2010: *Jednotkový hydrogram*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 104 s.

MZ ČR, 2015: *Stručně o vodě v České republice*. Ministerstvo zemědělství ČR, Praha, online: [http://eagri.cz/public/web/file/388899/Strucne\\_o\\_vode.pdf](http://eagri.cz/public/web/file/388899/Strucne_o_vode.pdf), cit. 11.3.2016.

MŽP ČR, 2016: *Povodňový plán České republiky*. Ministerstvo životního prostředí ČR, Praha, online: [http://www.dppcr.cz/html\\_pub/](http://www.dppcr.cz/html_pub/), cit. 15.3.2016.

NOVICKÝ O., KAŠPÁREK L. et KOLÁŘOVÁ S., 1992: *Hydrologická data pro návrhové účely*. Český hydrometeorologický ústav, Praha, 143 s.

PAUL M. J. et MEYER J. L., 2001: *Streams in the urban landscape*. Annual Review of Ecology and Systematics 32: 333-365.

PAVELKOVÁ CHMELOVÁ R. et FRAJER J., 2013: *Základy hydrologie*. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, 131 s.

POMIJE T., ŽLÁBEK P., TACHECÍ P., KVÍTEK T. et DUFFKOVÁ R., 2011: *Modelové hodnocení různých protipovodňových opatření v malém povodí při extrémní srážko-odtokové události*. Vodní hospodářství 61: 449-453.

RATHAUSKÝ Z., CEMPÍRKOVÁ S., RICHTER R., SPÁLENKOVÁ M. et VALÁŠEK J., 2015: *Co dělat...Povodeň*. [2.vyd.]. Centrum pro bezpečný stát o.s., Praha, 167 s.

ŘÍHA J., SEDLÁČEK M., SMRŽ P., VESELÝ R. et ŽATECKÝ S., 2014: *Návrh a realizace suchých nádrží z pohledu technickobezpečnostního dohledu*. Ministerstvo životního prostředí ČR, Praha, 126 s.

SIMON O. et SUCHARDA M., 2004: *Vliv hospodaření v krajině na průběh a účinek povodní: přehled problémů a doporučená opatření*, hnutí DUHA, Brno, 34 s.

SINGH V. P. et FREVERT D. K., 2005: *Watershed models*. CRC Press - Taylor & Francis Group, Boca Raton, 680 s.

SLAVÍK L. et NERUDA M., 2014: *Hospodaření s vodou v krajině*. Univerzita J. E. Purkyně, Ústí nad Labem, 108 s.

SLAVÍKOVÁ L. [ed.], 2007: *Ochrana před povodněmi v urbanizovaných územích*. IREAS, Praha, 82 s.

SOUKUP M., 2008: *Preventivní opatření pro snížení extrémních odtoků v povodí drobných vodních toků*. In: MÁCA P. [ed.]: *Monitoring a vyhodnocení extrémních odtokových poměrů v povodí drobných vodních toků z hlediska prevence a zmírňování povodňových škod*. KVHEM FŽP ČZU a VÚMOP v.v.i., Praha: 22-28.

STRNAD Z., VYTEJČKOVÁ V., HORÁČEK Z., NIETSCHÉOVÁ J., SOBOTKA M. et KLIKOVÁ A., 2015: *Vodní právo*. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice, 263 s.

ŠÁLEK J., 1998: *Retenční nádrže v pozemkových úpravách*. In: LÁZŇOVSKÝ P. [ed.]: Sborník IV. konference voda a pozemkové úpravy: Voda v krajině a pozemkové úpravy. Sdružení vodohospodářů ČR, Kutná Hora: 53-65.

ŠEDIVÝ V. et VRÁNA K., 2011: *Vodní hospodářství: hydraulika, malé vodní nádrže, revitalizace krajiny*. Střední rybářská škola a Vyšší odborná škola vodního hospodářství a ekologie, Vodňany, 235 s.

TLAPÁK V. et HERYNEK J., 2002: *Malé vodní nádrže*. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno, 198 s.

VÁCLAVÍK V., 2007: *Účelové vodohospodářské nádrže*. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Ostrava, 127 s.

VÍTEK J., STRÁNSKÝ D., KABELKOVÁ I., BAREŠ V. et VÍTEK R., 2015: *Hospodaření s dešťovou vodou v ČR*. ZO ČSOP Koniklec, Praha, 128 s.

VÚV TGM, 2014: *Prohlížečka záplavových území*. Výzkumný ústav vodohospodářský T.G.Masaryka, v.v.i., Praha, online: <http://www.dibavod.cz/70/prohlizecka-zaplavovych-uzemi.html>, cit. 8.3.2016.

VÚV TGM, 2015: *Strategie ochrany před negativními dopady povodní a erozními jevy přírodě blízkými opatřeními v České republice*. Výzkumný ústav vodohospodářský T.G.Masaryka, v.v.i., Praha, online: [http://www.vodavkrajine.cz/sites/default/files/vystup/informace\\_o\\_vysledcich\\_projektu\\_a\\_jejich\\_vyuziti.pdf](http://www.vodavkrajine.cz/sites/default/files/vystup/informace_o_vysledcich_projektu_a_jejich_vyuziti.pdf), cit. 16.3.2016.

VÚV TGM, 2016: *Mapa: Vodní hospodářství a ochrana vod*. Výzkumný ústav vodohospodářský T.G.Masaryka, v.v.i., Praha, online: [http://heis.vuv.cz/data/webmap/isapi.dll?map=mp\\_heis\\_voda&TMPL=AJAX\\_MAIN&IFRAME=1&LEGEND\\_HIDE=0&QUERY\\_SELECTION=1&FULLTEXT\\_CHECKED=1](http://heis.vuv.cz/data/webmap/isapi.dll?map=mp_heis_voda&TMPL=AJAX_MAIN&IFRAME=1&LEGEND_HIDE=0&QUERY_SELECTION=1&FULLTEXT_CHECKED=1), cit. 24.3.2016.

ZEVENBERGEN C., CASHMAN A., EVELPIDOU N., PASCHE E., GARVIN S. et ASHLEY R., 2011: *Urban flood management*. CRC Press/Balkema, Leiden, 322 s.

Zákon č. 254 / 2001 Sb., zákon o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), v platném znění.

ČSN 75 0101, 2003: *Vodní hospodářství – základní terminologie*.

ČSN 75 2410, 2011: *Malé vodní nádrže*.

TNV 75 2415, 2013: *Suché nádrže*.

TNV 75 2931, 2006: *Povodňové plány*.

Dokumentace k projektu – poldr Cehnice.

Inženýrskogeologický průzkum staveniště – poldr Cehnice.

Povodňový plán obce Cehnice.

Rozpočet projektu – poldr Cehnice.

## **9. Seznam příloh**

- Příloha č. 1: Povodeň v obci Cehnice v roce 2006**
- Příloha č. 2: Protipovodňové opatření v obci Cehnice – zpevnění břehů a zvýšení kapacity koryta**
- Příloha č. 3: Historický most v obci Cehnice**
- Příloha č. 4: Úprava povrchu a odstranění vegetace v zátopovém území suchého poldru**
- Příloha č. 5: Výstavba základů funkčního objektu suchého poldru**
- Příloha č. 6: Výstavba železobetonových zdí funkčního objektu suchého poldru**
- Příloha č. 7: Výstavba suchého poldru**
- Příloha č. 8: Výstavba sypané hráze suchého poldru**
- Příloha č. 9: Umístění suchého poldru v krajině**
- Příloha č. 10: Suchý poldr nad obcí Cehnice**
- Příloha č. 11: Koruna hráze suchého poldru**
- Příloha č. 12: Návodní svah suchého poldru**
- Příloha č. 13: Vzdušní svah suchého poldru**
- Příloha č. 14: Funkční objekt suchého poldru, kterým protéká Cehnický potok**
- Příloha č. 15: Detail funkčního objektu suchého poldru z návodní strany**
- Příloha č. 16: Detail funkčního objektu suchého poldru ze vzdušní strany**
- Příloha č. 17: Vývařiště suchého poldru**
- Příloha č. 18: Historický most v obci Cehnice při povodni 2013 – mimo kulminační průtok**
- Příloha č. 19: Záplavové území suchého poldru při povodni 2013 – mimo kulminační průtok**
- Příloha č. 20: Vývařiště suchého poldru a koryto Cehnického potoka pod hrází při povodni 2013 – mimo kulminační průtok**

## 10. Přílohy

Příloha č. 1: Povodeň v obci Cehnice v roce 2006 (zdroj: archiv obce Cehnice)



Příloha č. 2: Protipovodňové opatření v obci Cehnice – zpevnění břehů a zvýšení kapacity koryta (zdroj: archiv autora)



**Příloha č. 3: Historický most v obci Cehnice (zdroj: archiv autora)**



**Příloha č. 4: Úprava povrchu a odstranění vegetace v zátopovém území suchého poldru (zdroj: archiv obce Cehnice)**





**Příloha č. 5: Výstavba základů funkčního objektu suchého poldru (zdroj: archiv obce Cehnice)**



**Příloha č. 6: Výstavba železobetonových zdí funkčního objektu suchého poldru (zdroj: archiv obce Cehnice)**



**Příloha č. 7: Výstavba suchého poldru (zdroj: archiv obce Cehnice)**



**Příloha č. 8: Výstavba sypané hráze suchého poldru (zdroj: archiv obce Cehnice)**



**Příloha č. 9: Umístění suchého poldru v krajině (zdroj: archiv autora)**



**Příloha č. 10: Suchý poldr nad obcí Cehnice (zdroj: archiv autora)**



**Příloha č. 11: Koruna hráze suchého poldru (zdroj: archiv autora)**



**Příloha č. 12: Návodní svah suchého poldru (zdroj: archiv autora)**



**Příloha č. 13: Vzdušný svah suchého poldru (zdroj: archiv autora)**



**Příloha č. 14: Funkční objekt suchého poldru, kterým protéká Cehnický potok (zdroj: archiv autora)**



**Příloha č. 15: Detail funkčního objektu suchého poldru z návodní strany (zdroj: archiv autora)**



**Příloha č. 16: Detail funkčního objektu suchého poldru ze vzdušné strany (zdroj: archiv autora)**



**Příloha č. 17: Vývařiště suchého poldru (zdroj: archiv autora)**



**Příloha č. 18: Historický most v obci Cehnice při povodni 2013 – mimo kulminační průtok (zdroj: archiv obce Cehnice)**



**Příloha č. 19: Záplavové území suchého poldru při povodni 2013 – mimo kulminační průtok (zdroj: archiv obce Cehnice)**



**Příloha č. 20: Vývařiště suchého poldru a koryto Cehnického potoka pod hrází při povodni 2013 – mimo kulminační průtok (zdroj: archiv obce Cehnice)**

