

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ A ENVIROMENTÁLNÍHO MODELOVÁNÍ

OBOR KRAJINÁŘSTVÍ



VODOHOSPODÁŘSKÉ STAVBY A PROTIPOVODŇOVÁ OPATŘENÍ NA VODNÍM
TOKU PŠOVKA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

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

Vypracoval: Stanislav Matas

PRAHA 2013

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra vodního hospodářství a environmentálního
modelování

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Matas Stanislav

Krajinářství

Název práce

Vodohospodářské stavby a protipovodňová opatření na vodním toku Pšovka

Anglický název

Water and flood structures on Pšovka water flow basin

Cíle práce

Obecný rozbor používaných protipovodňových opatření

Charakteristika vodního toku Pšovka a jeho povodí

Popis stávajících objektů a protipovodňových opatření na vybrané části vodního toku

Výpočet maximálního odtoku z povodí a využití srážko-odtokového modelu HEC-HMS

Metodika

1. Úvod

2. Obecný rozbor používaných protipovodňových opatření

3. Charakteristika vodního toku a jeho povodí

4. Hydrologické poměry (geologické, pedologické, vegetace, teploty, podnebí)

5. Popis zájmového úseku: stávající stav objektů a vodního toku

6. Určení maximálního odtoku z povodí a využití srážko-odtokového modelu HEC-HMS

7. Diskuse a závěr

Harmonogram zpracování

Leden 2012 - zadání práce

Duben 2013 - odevzdání práce

Rozsah textové části

cca 30 stran

Klíčová slova

Vodohospodářský objekt, povodí Pšovky, Pšovka, maximální průtok, hydrologický model, vodní tok, povodeň

Doporučené zdroje informací

MATTHEW, J., FLEMING, 2010: Hydrologic Modeling System HEC-HMS, Quick Start Guide. U.S. Army Corps of Engineers., Davis, 50 p.

WILLIAM, A., SCHARFFENBERG, MATTHEW, J., FLEMING, 2010: Hydrologic Modeling System HEC-HMS, User's Manual. U.S. Army Corps of Engineers., Davis, 316 p.

Vedoucí práce

Roub Radek, Ing., Ph.D.



prof. Ing. Pavel Pech, CSc.

Vedoucí katedry



prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Děkan fakulty

V Praze dne 8.4.2013

"Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Radka Rouba, Ph.D. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal a které cituji v seznamu použité literatury a zdrojů informací."

v Praze, dne 15.4.2013



Stanislav Matas

Poděkování

"Chci poděkovat mému vedoucímu bakalářské práce Ing. Radku Roubovi, Ph.D. za vstřícný přístup a užitečné informace, které jsem získával během jeho konzultací. Dále děkuji panu Ing. Petru Pětíkovi z Povodí Ohře, za cenné informace a zapůjčení projektové dokumentace Pšovky, Růženě Chaloupecké z ČÚZK za data ZABAGED, paní Ing. Marcele Jiráskové z ČHMÚ v Ústí nad Labem za poskytnutí dat o N-letých průtocích, Ing. Dáše Richterové z téhož ústavu za srážkoměrná data ze stanice ve Střemech, a Městskému úřadu v Mělníce za možnost nahlédnout do archivu projektů a studií na Pšovce."

Abstrakt:

Tato bakalářská práce se zabývá vodohospodářskými stavbami a protipovodňovými opatřeními především na vodním toku Pšovka. Pšovka protéká chráněnou krajinnou oblastí Kokořínsko v severních Čechách. Je to pravostranný přítok Labe a spadá pod správu povodí Ohře. Bakalářská práce je rozdělena na několik tematických částí. První část je věnována popisu obecně používaných hydrologických charakteristik na povodích. V druhé části jsou popsány možnosti úprav vodních toků. Jedná se především o technická opatření, která mají zajišťovat ochranu před povodněmi a stabilizovat vodní koryto. Kromě technických prvků typu stupeň, skluz, jez, je zde popsáno také využití zpevňující funkce vegetace. Jsou zmíněny případy, kdy je vhodné použít revitalizační opatření. Na závěr jsou popsány v současnosti používané počítačové aplikace pro vytváření srážko-odtokových matematických modelů na povodích. Třetí část pojednává o stávajícím stavu, horní části toku Pšovky v jeho upravených i přirozených partiích. Vodní tok je popsán v úseku od soutoku s Labem v Mělníku do úseku geograficky odpovídajícímu obci Vojtěchov. V poslední, čtvrté části jsou shrnuty hodnoty N-letých průtoků Pšovky, získané různými metodami výpočtů. Jelikož je povodí Pšovky příliš rozlehlé a přesná data kontinuálních měření průtoků chybí, byl použit pouze jediný matematický model - HEC-HMS.

Klíčová slova: Vodohospodářský objekt, povodí Pšovky, Pšovka, maximální průtok, hydrologický model, vodní tok, povodeň

Abstract:

This thesis is focused on water management structures and flood control proceedings in the Pšovka watercourse. The Pšovka brook flows through the protected area Kokořínsko in northern Bohemia. It is a right tributary of the Elbe and it is administrated by authorities of the Odra river basin. The thesis is divided into several thematic parts. The first part is devoted to a description of commonly used hydrological characteristics of the river. The second section describes the options of modification in the system of watercourses. These are mainly technical measures to provide flood protection and to stabilize the river bed. In addition to the technical elements (type level, slide or weir) are also described options of reinforcing fiction of vegetation. The cases where it is appropriate to use restoration measures are mentioned. Finally, computer applications used to create rainfall-runoff mathematical models for river basins are described. The third part discusses the current state of the upper part of the Pšovka river in its modified and natural areas. The river is described in the section from the influence with the Elbe River to the section corresponding to geographically Vojtěchov village. The last, fourth section summarizes the values of N-yearfloods Pšovky, obtained by different methods of calculation. As the basin Pšovky too large and accurate data from continuous flow measurement are missing, has been used only a single mathematical model - HEC-HMS.

Keywords: Water treatment facility, Pšovky river basin, Pšovka river, maximum discharge, hydrological model, watercourse, floods

Obsah:

1. Úvod.....	8
2. Cíle práce	9
3. Literární rešerše	10
3.1 Základní hydrologické charakteristiky povodí.....	10
3.2 Geometrické charakteristiky povodí	11
3.2.1 Plocha povodí.....	11
3.2.2 Délka toku	11
3.2.3 Uspořádání říční sítě	11
3.2.4 Hustota říční sítě	12
3.2.5 Střední šířka povodí	12
3.2.6 Součinitel tvaru povodí	12
3.3 Orografické poměry povodí.....	13
3.4 Popis a charakteristika povodí	13
3.4.1 Fyzikálně geologické vlastnosti povodí	13
3.4.2 Geologické a půdní poměry	14
3.4.3 Vegetační pokrývka	14
3.4.4 Povrchové deprese.....	15
3.4.5 Vodní nádrže	15
3.4.6 Bažiny	15
3.4.7 Vliv člověka	16
3.5 Úprava vodních toků.....	16
3.6 Opevňování upravených koryt	17
3.6.1 Opevnění dna.....	17
3.6.2 Opevnění břehů.....	18
3.7 Objekty na vodním toku	18
3.7.1 Příčné objekty.....	18
3.7.2 Spádové objekty	19
3.8 Hráže.....	20
3.8.1 Ochranné hráže.....	20
3.8.2 Inundační hráže.....	20
3.9 Soustředovací stavby	20
3.10 Přístupy k vodě.....	21
3.11 Odběry vody	22
3.11.1 Odběrné objekty	22
3.11.2 Objekty pro vedení vody	22
3.12 Jezy.....	22
3.12.1 Pevný jez.....	24
3.12.2 Pohyblivý jez	24
3.13 Ostatní objekty.....	26

3.14	Revitalizace vodních toků	27
3.15	Srážko-odtokové modely	28
3.15.1	DesQ-MaxQ	28
3.15.2	HEC-HMS.....	28
3.15.3	MIKE She 2005	29
3.15.4	KINFIL	29
3.15.5	HYDROG 9.0.....	29
3.15.6	SAC-SMA AQUALOG.....	29
3.15.7	HBV.....	30
3.16	Výpočet průtoku Q_{100}	30
3.16.1	Jednotkový hydrogram	30
3.16.2	Metoda čísel odtokových křivek - CN.....	30
3.16.3	Empirické vzorce	32
4.	Metodika.....	34
4.1	Vytváření digitálního modelu terénu.....	34
4.2	Výpočet průtoku Q_{100}	36
4.2.1	HEC-HMS.....	36
4.2.2	Regionální vzorec.....	37
4.2.3	Vzorec Čerkašina	37
4.3	Průzkum současného stavu vodního toku a objektů na pšovce	37
5.	Charakteristika toku a jeho povodí	38
5.1	Povodí Pšovky	38
5.1.1	Obecný popis	38
5.1.2	Geologické poměry povodí	39
5.1.3	Půdní poměry povodí.....	40
5.1.4	Teplotní poměry povodí	40
5.1.5	Větrné poměry povodí	40
5.1.6	Vegetace	40
5.1.7	Podnebí.....	41
6.	Popis stávajícího stavu objektů a vodního toku na zájmovém úseku	42
6.1	Úprava Pšovky v Mělníku mezi uzávěrovým profilem a rousovicemi.....	42
6.2	Popis Pšovky od rousovic po vojtěchov	44
7.	Výsledky	47
7.1	Zpracování povodí pšovky.....	47
7.1.1	Identifikace povodí.....	47
7.1.2	Geometrické charakteristiky povodí	47
7.1.3	Orografické poměry povodí.....	47
7.1.4	Vegetační pokrývka	48
7.1.5	Vodní nádrže	48

7.1.6	Bažiny	48
7.2	Výpočet průtoku Q_{100}	48
7.2.1	HEC-HMS.....	48
7.2.2	Empirické vzorce	50
7.2.3	Výpočty ČHMÚ	50
8.	Diskuze.....	51
8.1	HEC-HMS.....	51
8.2	Empirické vzorce	51
9.	Závěr	52
10.	Přehled literatury a použitých zdrojů	53
11.	Seznam příloh	56

1. ÚVOD

Tato bakalářská práce se zabývá rozbořem používaných úprav a staveb na tocích a jejich použití v praxi na vodním toku Pšovka. Vodohospodářské stavby lze chápat jako určitý druh staveb, které umožňují využívání povrchových vod a chrání před škodami na majetku i životech (Broža a kol. 1998).

Technické stavby a úpravy z 19. a 20. století byly zaměřeny hlavně na lokální, pasivní ochranu. Povodňové průtoky se soustřeďovaly do kapacitních koryt a hrázových systémů, což pouze urychlilo postup vody do nižších částí. V dnešní době se k vodnímu toku přistupuje komplexněji, ponechává se prostor k inundaci a je snaha napravovat chyby z minulosti revitalizačními plány (Just a kol. 2005).

Pšovka se nachází v severních Čechách a protéká hned dvěma chráněnými oblastmi – CHKO Kokořínsko a přírodní rezervace Kokořínský důl. Tato říčka protéká převážně v hluboko zaříznutém, skalnatém údolí a její vody nejsou nijak znečišťovány, proto slouží jako zdroj pitné vody pro široké okolí. Pšovka protéká svým přirozeným korytem a jedinou zásadní změnou byla technická úprava v intravilánu Mělníka. Revitalizační opatření v oblasti Pšovky má význam na místech, kde je říční dno zaneseno bahnem z důvodů malého sklonu a nízkých průtoků.

Vypočtené maximální N-leté průtoky slouží jako základní údaj pro návrh vodohospodářských staveb a úprav vodního toku včetně protipovodňových plánů obcí apod. Na Pšovce neexistuje žádný aktivní měrný profil, který by sbíral data kontinuálních měření průtoků. K dispozici jsou pouze N-leté průtoky v uzávěrovém profilu na soutoku s Labem a data o denních srážkách ze stanice Střemy, která poskytuje Český hydrometeorologický ústav. Pro tyto výpočty N-letých průtoků je dnes využíváno moderních matematických modelů, které pracují s vybranými, hydrologickými charakteristikami toku, se srážkoměrnými daty nebo s daty průtoků na vodním toku pro jejich kalibraci.

2. CÍLE PRÁCE

- Zpracování literární rešerše v problematice vodohospodářských staveb a protipovodňových opatření
- Vytvoření stručného rozboru aplikací pro vytváření srážko-odtokových matematických modelů
- Odvození základních hydrologických charakteristik povodí Pšovky pomocí digitálního modelu terénu se zpracováním
- Výpočet maximálního průtoku Q_{100} v uzávěrovém profilu Pšovky a využití srážko-odtokového modelu HEC-HMS

3. LITERÁRNÍ REŠERŠE

3.1 ZÁKLADNÍ HYDROLOGICKÉ CHARAKTERISTIKY POVODÍ

Povodí je základní hydrologická oblast. V povodí se zkoumá odtokový proces a vztah bilančních prvků. Je to z hydrologického hlediska uzavřené území, protože do něj nepřitéká další voda po povrchu ani pod ním. Srážky, které spadnou na tuto plochu vyvolají odtok a ten je možné zjistit v uzavírajícím profilu povodí. Povodí je vymezeno rozvodnicí (Hrádek, Kuřík 2008).

Rozvodnice se vykresluje na vrstevnicovém podkladu a její průběh odpovídá orientaci sklonu reliéfu. Její určení může být v plochém terénu problematické (Němec, Hladný 2006). Rozvodnice se dělí na dva typy.

Orografická rozvodnice je myšlená čára, které ohraničuje různá povodí v terénu. V těchto místech vzniká rozvodí. Tato čára se vede kolmo na vrstevnice až na vrchol odkud pokračuje po hřebeni nebo sedle a jiných topografických útvarech. Vykresluje se od uzavírajícího profilu povodí na zvolenou stranu. Na malých povodích se doporučuje ověřit průběh rozvodnice pochůzkou v terénu, protože se může lišit podle toho, jak moc se do povodí uměle zasahovalo (Hrádek, Kuřík 2008).

Hydrogeologická rozvodnice určuje hranici povodí podpovrchových vod. Tvar této rozvodnice záleží na geologické stavbě území a na umístění nepropustných vrstev. Na rozdíl od orografické rozvodnice vyžaduje převážně nákladný geologický průzkum, přesto se výsledek příliš neliší, proto se v praxi se obvykle nepoužívá (Hubačíková 2002; Hrádek, Kuřík 2008).

Pramen je počátek toku, který zpravidla vzniká v místech styku dvou vrstev s různou propustností a dělí se na soustředěný a rozptýlený. Výron vody zde závisí na ročním období a na hladině podzemních vod (poloha a množství). V období vydatných srážek se počátek toku zvedá blíže k rozvodnici (Pokorná 2008).

Každé povodí je ukončeno v jediném bodě, které se nazývá uzavírající profil. Uzavírající profil povodí je místo, kudy proteče většina povrchové vody na vybraném povodí. Slouží ke zjištění odtokových poměrů a srážek. Nachází se obvykle v ústí toku vybraného povodí, ale i za jeho přítoky (Hrádek, Kuřík 2008).

Ústí toku je místo, kde se voda vlévá do jiného toku, jezera, moře apod. (Pokorná 2008).

3.2 GEOMETRICKÉ CHARAKTERISTIKY POVODÍ

3.2.1 PLOCHA POVODÍ

Plocha povodí se dříve určovala planimetrováním po rozvodnici z mapy v měřítku 1:25 000. Dnes je situace o něco snazší a plochu lze nechat spočítat počítačovou aplikací založenou na GIS s nahranou patřičnou mapovou vrstvou ZABAGED (Hubačiková 2002). Plocha povodí se značí písmenem **F** a uvádí se v km² (Hrádek, Kuřík 2008).

Pro výpočet asymetrie povodí pomocí součinitele asymetrie je třeba plochu rozdělit na dvě části. Plochu levé a plochu pravé strany od osy, kterou tvoří vodní tok neboli v tomto případě čára údolnice. Pro výpočet se používá tento vzorec:

$$a = \frac{F_L - F_P}{F_L + F_P} = \frac{F_L - F_P}{F} \quad \dots(1)$$

F_L ...plocha povodí nalevo od hlavního toku [km²]

F_P ...plocha povodí napravo od hlavního toku [km²]

F ...plocha povodí celkem [km²]

(Hrádek, Kuřík 2008)

3.2.2 DÉLKA TOKU

Délka toku je délka mezi ústím a pramene toku, která se měří po střednici toku. Začíná se na ústí po vzdálenostech na střednici neboli staničeních. Takto měřená délka toku z mapy je zkreslená, protože se neberou v potaz drobné zákruty. Pokud se tok hodně vlní, tak tuto je nutné tuto změřenou hodnotu z mapy vynásobit koeficientem 1,01 až 1,25 (Hubačiková 2002). Jak se tok vyvíjí, mění se jeho délka a staničení se mohou pohybovat. Činností člověka dochází k odchýlkám změnou vedení koryta nebo jeho narovnáváním (Pokorná, Zábranská 2008). Pro výpočty se používá délka údolnice, což je délka toku protažená k rozvodnici a značí se L_u (Hrádek, Kuřík 2008).

3.2.3 USPOŘÁDÁNÍ ŘÍČNÍ SÍŤE

Uspořádání říční sítě se dělí na stromkovitou a vějířovitou soustavu. U stromkovité soustavy se přítoky hlavního toku nachází v podružných údolích a svírají k němu ostrý úhel. Tato soustava je symetrická nebo nesymetrická podle toho, jak se za sebou střídají přítoky. Pokud se vedle sebe nachází několik prakticky stejně dlouhých toků, které se stékají na jednom místě, jedná se o vějířovitou

soustavu. Taková soustava je velmi nebezpečná, protože zde vznikají ničivé povodně (Pokorná, Záborská 2008).

3.2.4 HUSTOTA ŘÍČNÍ SÍŤE

Hustota říční sítě ovlivňuje odtokový režim. Menší hustota sítě znamená zpravidla větší propustnost podloží.

$$h_{rs} = \frac{\Sigma l}{F} \quad \dots(2)$$

Σl ...součet délky toků na povodí [km²]

F ...plocha povodí celkem [km²]

(Pokorná, Záborská 2008)

3.2.5 STŘEDNÍ ŠÍŘKA POVODÍ

Střední šířka povodí je charakterizována jako podíl celkové plochy povodí od rozvodnice k vybranému profilu (Hrádek, Kuřík 2008).

$$B = \frac{F}{L_u} \quad \dots(3)$$

F ...plocha povodí celkem [km²]

L_u ...délka údolnice [km]

3.2.6 SOUČINITEL TVARU POVODÍ

Pomocí toho součinitele můžeme charakterizovat tvar povodí. Povodí je nejširší obvykle ve své střední části a směrem k pramenům se zužuje. Velký vliv mají umělé zásahy. Tvar povodí dává představu o tom, jak dlouho se soustředí voda z celé oblasti v uzavírajícím profilu. Lze použít dva odlišné způsoby výpočtu:

$$\alpha = \frac{B}{L_u} = \frac{F}{L_u^2} \quad \dots(4)$$

Tato definice vyháází z toho, že ideální tvar povodí tvoří obdélník, kde plochu tvoří plocha povodí **F** a strany nahrazuje střední šířka **B** a délka údolnice **L_u**. Existují i komplikovanější tvary, protože tvar obdélníka často nevyhovuje.

Podle hodnoty součinitele α se povodí dělí podle tvaru na protáhlá (do 0,24), přechodného typu (0,24 až 0,26) a vějířovitá (nad 0,26).

Přirozený tvar povodí se podobá tvaru mírně protáhlého symetrického nebo asymetrického listu (Hubačková 2002).

3.3 OROGRAFICKÉ POMĚRY POVODÍ

Orografické poměry čili poměry sklonitostní a výškové mají vliv na meteorologický a klimatologický charakter povodí (teplota a vlhkost vzduchu, srážky, výpar apod.) (Pokorná, Záborská 2008).

Ke zjištění těchto poměrů je potřeba si obstarat vrstevnicovou mapu nebo digitální data ZABAGED, která lze použít pro vygenerování digitálního modelu terén a rastru sklonitosti v aplikacích pracujících s GIS.

Sklonitostní poměry mají vliv na rychlost stékání vody do hlavního toku a uzavírajícího profilu. V topografických mapách jsou podstatné především nadmořské výšky uzavírajících profilů a nejvyšší body na povodí, které bývají na rozvodnici (Hrádek, Kuřík 2008).

Průměrný sklon údolnice I_u je definován tímto vzorcem:

$$I = \frac{H_{max,u} - H_{min,u}}{L_u} \cdot 100 [\%] \quad \dots(5)$$

$H_{max,u}$...maximální nadmořská výška údolnice [km]

$H_{min,u}$...minimální nadmořská výška údolnice [km]

L_u ...délka údolnice [km]

Střední sklon svahů I_{sv} je definován tímto vzorcem:

$$I_{sv} = \frac{H_{max} - H_{min}}{\sqrt{F}} \cdot 100 [\%] \quad \dots(6)$$

H_{max} ...maximální nadmořská výška na povodí [km]

H_{min} ...minimální nadmořská výška na povodí [km]

F ...plocha povodí celkem [km²]

Pro doplnění lze uvést ještě jednoduchý vzorec pro výpočet absolutního spádu ΔH :

$$\Delta H = H_{max} - H_{min} [m] \quad \dots(7)$$

3.4 POPIS A CHARAKTERISTIKA POVODÍ

3.4.1 FYZIKÁLNĚ GEOLOGICKÉ VLASTNOSTI POVODÍ

Fyzikálně geologické vlastnosti rozhodují o vlivu na časové a plošné rozdělení srážek, jejich intenzitě a odtok. Zeměpisná poloha povodí udává klimatické poměry, které velmi úzce souvisí s hydrologickými poměry. Určuje se zeměpisným souřadnicemi mezi kterými se povodí rozkládá včetně souřadnic jeho

uzávěrového profilu. Většinou se poloha udává ještě vzhledem k nějakým důležitým geomorfologickým útvarům (Pokorná, Záborská 2008).

3.4.2 GEOLOGICKÉ A PŮDNÍ POMĚRY

Geologické a půdní poměry určují členitost terénu, propustnost horních vrstev a jejich míru zvětrávání. Na plochách s dobrou propustností se ve srážkově štědrém období vyskytují nízké kulminační průtoky a naopak při dlouhotrvajícím suchu jsou minimální průtoky vyšší než u toků na hůře propustných vrstvách podloží. Rychlejší vsakování na propustných vrstvách se může projevit na výparu. Takový tok se zdá být vodnatější přestože má stejné srážkové a klimatické podmínky jako tok jiný (Pokorná, Záborská 2008). Geologické a půdní poměry spolu souvisí. Půdy jsou tvořeny zvětráním povrchových vrstev hornin. Půdní pokryv ovlivňuje množství prosakované vody do horniny. Podle propustnosti se dělí horniny na tři skupiny:

- Propustné horniny
- Polopropustné horniny
- Nepochopitelné horniny

(Hrádek, Kuřík 2008)

3.4.3 VEGETAČNÍ POKRÝVKA

Vegetační pokryv zachycuje určité množství srážek spadlé na plochu povodí. Má vliv na výpar z rostlin (evapotranspirace) nebo půdy a na rychlost, jakou voda stéká po svazích. Les má regulující vliv na odtokový proces z povodí. Smíšený les se silnou vrstvou humusu a hrabanky dokáže pojmout velké množství vody ze srážek. Na takto zalesněných povodích klesají kulminační povodňové průtoky a voda z lesů zásobuje tok průběžně a s časovým odstupem (Pokorná, Záborská 2008). Kromě skladby lesa záleží také na jeho poloze v povodí. Z hydrologického hlediska je výhodnější, když je zalesněný spíše horní tok. V dolní části toku les vlivem zastínění zpomaluje na jaře tání sněhu a to způsobuje nežádoucí střetávání kulminačních průtoků z této a z horní, bezlesé části toku.

Množství vody zadržené na povrchu vegetace a předmětů v povodí se nazývá intercepce. Část vody přijmou rostliny a zbytek se vypaří. Velikost intercepce ovlivňují různé faktory. Záleží na charakteru srážek, na větru, na druhu rostliny atd.

Intercepci lze teoreticky vyjádřit tímto vzorcem:

$$I = A + E [mm] \quad \dots(8)$$

I ...intercepce

- A ...voda zadržena na rostlinách a předmětech
 E ...voda vypařená z rostlin a předmětů (během deště se zanedbává)

(Hrádek, Kuřík 2008)

Zalesněnou plochu povodí charakterizuje součinitel lesnatosti:

$$z = \frac{F_z}{F} \cdot 100 [\%] \quad \dots(9)$$

F_z ...zalesněná plocha povodí celkem [km²]

F ...plocha povodí celkem [km²]

3.4.4 POVRCHOVÉ DEPRESE

Povrchovými depresemi se rozumí např. souvislé brázdy na poli po orbě. Množství vody, která se v nich udrží závisí na charakteru a sklonu povrchu. Logicky lze usoudit, že se voda udrží lépe na plochém pravidelně zbrázděném terénu než na rovném strmém svahu (Hrádek, Kuřík 2008).

3.4.5 VODNÍ NÁDRŽE

Vodní nádrže jsou protékané a neprotékané, umělé a přirozené. Neprotékaná nádrž zachytí část odtoku, a proto nemá vliv na maximální průtok. Protékaná nádrž má zpomalovací účinek na objem odtoku a ovlivňuje kulminační průtoky. Vyrovnává výkyvy v odtokovém režimu postupným vyprazdňováním retenčního prostoru. Oba typy nádrží vytváří typické mikroklima někdy i klima, pokud se zavodní skutečně velké plochy. Vodní nádrže je výhodnější umísťovat v dolní části toku, protože zde může mít větší regulační schopnost. Schopnost regulace ovlivňuje rovněž objem a funkce nádrže (Hrádek, Kuřík 2008; Pokorná, Zábranská 2008).

Vliv jezer na odtokový proces charakterizuje součinitel jezernatosti:

$$K = \frac{f}{F} \cdot 100 [\%] \quad \dots(10)$$

f ...plocha všech jezer a vodních nádrží na povodí celkem [km²]

F ...plocha povodí celkem [km²]

(Pokorná, Zábranská 2008)

3.4.6 BAŽINY

Bažiny, stejně jako vodní nádrže a jezera, také regulují režim odtoku. Jsou to části území trvale nebo většinu roku prosycené vodou. Voda je zde stojatá nebo pomalu tekoucí. Rašelina je zde tvořena odumřelými rostlinami. Bažiny vznikají tam,

kde má voda v půdě špatný odtok a zarůstá vodomilnými rostlinami. Mají ale tu nevýhodu, že v suchém období natáhnou všechnu vodu do sebe a už ji dál neuvolňují. Jsou zde také vyšší ztráty výparem (Kemel, Kolář 1980; Pokorná, Zábranská 2008).

Plochy bažin na povodí charakterizuje součinitel bažinatosti:

$$b = \frac{F_B}{F} \cdot 100 [\%] \quad \dots(11)$$

F_B ...bažinatá plocha povodí celkem [km²]

F ...plocha povodí celkem [km²]

3.4.7 VLIV ČLOVĚKA

Hospodaření na pozemcích poblíž vodního toku má obvykle spíše nepříznivý vliv na odtok. Člověk se snaží tyto negativní důsledky eliminovat technickými úpravami toku. Lidskou činností se mění přirozené geografické prostředí na umělé, proto by mělo probíhat s ohledem na komplexní organizaci povodí. Tyto zásahy mohou ovlivnit prakticky všechny charakteristiky přirozeného povodí. Technickými úprava je možné omezovat odtok při povodních. Ztrátám půdy lze zabránit protierozními opatřeními a dalšími opatřeními je možné zvýšit úrodnost polí. Velkou roli hraje také umístění lesů na povodí a jejich druhová skladba. Antropogenní činnost by se měla podříditi aktuálním požadavkům na udržení ekologické rovnováhy v krajině a využívání přírodních zdrojů (Hrádek, Kuřík 2008; Pokorná, Zábranská 2008).

3.5 ÚPRAVA VODNÍCH TOKŮ

Vodní tok tvoří organickou součást krajiny a slouží jako recipient povrchových a podzemních vod. Je to krajínotvorný činitel. Historická města vždy vznikala kolem vodních toků. Vytvářely zdroj obživy a v jejich blízkosti se rozvíjela zemědělská výroba, obchod a průmysl. Vodní toky rovněž sloužily jako zdroj energie pro mlýny, hamry atd. Bohužel se čas od času ukázala i jejich ničivá síla. Zaplavená území umožňovala šíření nemocí a devastovala obhospodařované plochy (Thoř 1981; Milerski a kol. 2005).

Vodní tok by měl mít přijatelnou úroveň průtoků a vodních stavů. Může být zdrojem vody nebo sloužit k rekreaci či lodní dopravě. Měl by mít stabilní koryto v příčném i podélném profilu stejně tak v půdorysu. Vodními stavbami a úpravami se člověk snaží omezit škodlivost toků nebo odstranit již existující škody, které

vznikají na vodních tocích v přirozeném stavu. Tyto opatření mohou vést také ke zvýšení významu a užitečnosti toku (Thoř 1981).

Úpravy toků se dělí na technická a biologická opatření. Technická opatření zahrnují vyrovnávání meandrovitých úseků toku a podobných nepravidelností. Také vytváří prostorné koryto, aby zde byla kapacita pro určitý průtok. Nové koryto musí být zpevněno, aby se zabránilo vymílání proudem vody, kde se rovněž uplatňují biologická opatření. K biologickým opatřením patří různé druhy vegetace, jejíž účelem je zpevnit svahy koryta. Pod tato opatření spadají také břehové porosty, zemědělské nebo lesnické úpravy, protože mají vliv na odtokové poměry povodí. Úpravy na vodním toku musí vycházet ze způsobu, jakým se vytvářel vodní tok v přirozeném prostředí (Thoř 1981; Broža a kol. 1985).

Úpravy vodních toků řeší problémy se zaplavováním okolních pozemků, objektů či komunikací a s tím související jejich následné znehodnocování. Vyrovnávají odtok úpravou trasy a spádu koryta. Zvyšují užitečnost toku usnadněním odběru vody pro různé účely, odstraněním hygienických závad, zaústěním přítoků a odvodňovacími kanály. Úpravy dále umožňují plavební, energetické nebo rybářské využití vodních toků, zlepšení samočisticí schopnosti a zvýšení estetické funkce v krajině (Broža a kol. 1985).

3.6 OPEVNĚVÁNÍ UPRAVENÝCH KORYT

Patří sem opevnění dna a svahů. Slouží ke stabilizaci koryta před účinky proudící vody, splavenin, pohybu ledu, eroze srážkovou vodou atd. Při výběru opevnění se zaměřuje na krajinářské hledisko a dále na možnosti výstavby, dostupnosti materiálů, údržby atd. Pokud je koryto ohroženo vymíláním, tak se doplňuje o filtr. Objekty na vodním toku musí umožňovat volný pohyb vodním živočichům (Broža a kol. 1985; Kovář, Křovák 2002; Milerski a kol. 2005).

3.6.1 OPEVNĚNÍ DNA

Zpevnění dna se provádí obvykle jen v namáhaných místech např. v patě svahu, pod objekty, ve vyústění odpadů, pod mostními pilíři a obecně na konkávních stranách oblouků. Po celé délce toku se dělá jen velmi zřídka. Dno se opevňuje kamennou dlažbou, štětem, štěrkovým pohozením, záhozem, prahy, betonovými prvky (dlažby, desky, tvárnice) apod. Jedná se tedy hlavně o nevegetační opevnění (Thoř 1981; Broža a kol. 1985; Kovář, Křovák 2002). Podle Kendera (2000) by se dno mělo opevňovat jenom ve výjimečných a odůvodněných případech, ale raději vůbec.

Štěrkový pohoz a zához tvoří různé fragmentace kameniva, kde je velikost zrna určena vzorcem. Kámen se volně rozprostře po dně a díky směsi mezi sebe zapadají různé velikosti fragmentů kamení (Kovář, Křovák 2002).

3.6.2 OPEVNĚNÍ BŘEHŮ

V případě opevňování břehů se mnohem více uplatňují různé vegetační prvky. Vegetace pomáhá utvářet koryto a snaží se napodobit přírodní vzhled toku. Používá se osetí, drnování, osetí dřevinami (vrbové řízky apod.), zápletové plůtky, haťové povázky a válce nebo haťošťerkové stavby (Kovář, Křovák 2002; Milerski a kol 2005). Kombinuje se s nevegetačním opevněním nejlépe dlažbou pokládanou na sucho. Taková dlažba odolává po delší dobu i při extrémních průtocích a pokud jí voda podemele a roznese po korytě, zvýší se tím drsnost a členitost dna vodního koryta (Kender 2000).

Osetí se používá dočasně nebo v místech, kde dokáže dobře odolat namáhání. Pro zlepšení zpevňující ochranné funkce se kombinuje s rohožemi např. z kokosových vláken, která se později přirozeným způsobem rozloží po zapojení porostu (Kovář, Křovák 2002).

Haťové povázky, válce a zápletové plůtky se vyrábí z drátem svázaných vrbových prutů. Zajišťuje se jimi pata svahu a porušená místa břehů. Počítá se s tím, že zde později vrba začne tvořit živý porost, který zpevní půdu. Po celou dobu je nutné tyto dřeviny ošetřovat (Broža a kol. 1985).

3.7 OBJEKTY NA VODNÍM TOKU

Stejně jako opevňující opatření na vodních tocích i objekty mají za cíl stabilizovat koryto a navíc dokáží usměrnit proudnici nebo zachytit splaveniny. Navrhují se tak, aby nebyl narušený volný průtok a nedocházelo k vymílání koryta nebo k vodním vírům. Jedná se o pásy, prahy, skluzy a stupně. Dále jezy, propustky, mosty, lávky a další. Patří sem i objekty umožňující migraci živočichů např. rybí přechody (Thoř 1981; Kovář, Křovák 2002; Milerski a kol. 2005).

3.7.1 PŘÍČNÉ OBJEKTY

Příčné objekty se staví ve vodním korytě v příčném směru s korunou u dna nebo nad ním. Jsou stavěny, když je nutné upravit spád a niveletu dna nebo chceme zachytit splaveniny. Patří sem prahy a pásy (Kovář, Křovák 2002).

Pásy jsou objekty zapuštěné do dna a břehů ve větší hloubce než předpokládané výmoly. Rozdělují tok v úrovni dna na menší úseky a hromaděním

splavenin na nich zde přirozeným způsobem vznikají přepady. Staví se obvykle z betonu (Kovář, Křovák 2002).

Prahy jsou obvykle skryté v úrovni dna nebo přesahují jen maximálně o 30 cm nad a jejich účelem je zabránit a stabilizovat prohlubování koryta. Prahy se staví napříč korytem v určité vzdálenosti mezi sebou a prostor mezi nimi je nutné opevnit kamenem, klestem či dřevem. Těleso se upevňuje do břehů tak, aby nebylo podtékáno. Nejčastěji používané konstrukce jsou z dřevěné kulatiny, která se uchycuje na dřevěné piloty v patách svahů (Broža a kol. 1985; Kovář, Křovák 2002).

3.7.2 SPÁDOVÉ OBJEKTY

Mezi spádové objekty patří konstrukce, které nějakým způsobem upravují podélný sklon dna. Jsou to stupně, skluzy a balvanité skluzy.

Stupně jsou úzké objekty, které zmenšují podélný sklon toku díky náhlým propadům v niveletě dna. Výška stupňů se pohybuje mezi 30 cm až 2 m. Pod stupněm niveleta dna klesá a má vliv např. na úroveň podzemní vody. Těleso je složeno z přelivné části a křídel. Křídla zavazují konstrukci hluboko břehů, aby kolem objektu nemohla protéct voda. Stěna stupně má sklon 5:1 až 10:1. Staví se z různých materiálů podle místních podmínek, aby byl objekt vhodně začleněn do okolní krajiny. Pokud se použije zděná nebo betonová konstrukce, je nutné ponechat odtokové otvory. Pod objektem se navrhuje opatření k utlumení kinetické energie jako opevněná spadiště nebo vývar. Dno a břehy v okolí dopadiště se opevňuje např. kamennou dlažbou. Vývar se používá až u vyšších stupňů, ale doporučuje se stavět více nízkých stupňů než jeden vysoký. Rozměry se odvozují z výpočtu maximálního průtoku k zajištění útlumu kinetické energie. Dopadiště se ukončuje stabilizačním prahem (Thoř 1981; Kovář, Křovák 2002). Podle orientace k ose koryta se dělí na kolmé, šikmé a méně často obloukovité a lomené (Thoř 1981).

Na skluzech nevzniká dopadiště, protože se voda v žádném místě neodděluje od povrchu dna. Skluzová plocha je rovinatá, kružnicová nebo parabolická. Základy konstrukce jsou z betonu a skluzovou plochu mezi nimi tvoří zdrsnělá kamenitá dlažba na cementové maltě, která se používá i na opevnění břehů (Kovář, Křovák 2002).

Balvanitý skluz vychází z přirozeně vznikajících sklonů dna v bystřinách. Jsou to kratší úseky opevněné balvany na velkém spádu. Podélný sklon těchto skluzů je 1:6 až 1:15. (Křovák, Kovář 2002). Staví se, pokud je nutno překonat rozdíl větší jak 1,5m (Thoř 1981). Přelivná hrana musí být zajištěná proti podtékání vody a

odplavování jemných částic např. stěnou z kulatiny nebo betonovým pásem. Skluzovou plochu v tomto případě tvoří jedna nebo více vrstev kamenné rovnaniny. Pod tuto plochu se vkládá textilie nebo štěrkový filtr, pro zabránění odnosu jemných částic z podloží. Pod skluzovou plochou se navazuje na dno koryta opět kamennou rovnaninou či záhozem. Pokud skluzová plocha nedokáže dostatečně utlumit kinetickou energii na zdrsněném povrchu, pak pod ní zřídíme vývar. Stabilitu částí skluzu a průběh hladin ověřujeme hydraulickým výpočtem (Křovák, Kovář 2002).

3.8 HRÁZE

3.8.1 OCHRANNÉ HRÁZE

Ochranné hráze jsou základem technických opatření protipovodňové ochrany. Jsou to objekty nad úrovní dna a umožňují neškodně odvádět velkou vodu. Hráze se staví z jedné strany nebo oboustranně. Nad objektem se zadržují splaveniny. Objekty v tělese hráze jsou propustky, přepady nebo přejezdy. Na rozdíl od inundačních hrází jsou uzavřené a chrání menší území (Thoř 1981; Broža a kol. 1998).

3.8.2 INUNDAČNÍ HRÁZE

Inundační hráze se staví podél toků v dolní části povodí v různé vzdálenosti od břehů. Účelem jejich stavění je zabránit rozlivu vody z koryta při povodňových průtocích a zmenšit tak rozsah zaplaveného území. Chrání se jimi také hodnotná území. Staví se v nížinách a mohou být až stovky kilometrů dlouhé. Jsou nízké a násypový materiál má po celé délce stavby různou kvalitu. Staví se na jemné údolní náplavě a někdy se z nich i vytváří. Tyto stavby nejsou na rozdíl od vzdouvajících staveb po většinu času nijak namáhané, proto nemůžeme jejich funkci ověřit. U technických hrází někdy je problém zjistit jejich skutečný technický stav. Stav v jakém se nacházejí, ovlivňuje mnoho faktorů např. stáří, klimatické vlivy, vegetace na hrázi, hlodavci apod. (Broža a kol. 1998).

3.9 SOUSTŘEĐOVACÍ STAVBY

Neustálená vodní koryta lze soustředit nebo usměrnit do nového koryta a využívá se k tomu příčných a podélných konstrukcí, které spadají do soustředovacích staveb. Usměrnuje se proudnice ze štěrkovišť nebo se tak chrání břehy před poškozením. Soustředovací stavby jsou výhony, odháňky a hráze a liší se podle funkce. Výška koruny soustředovacích staveb se navrhuje podle průtoku, kdy už se začínají pohybovat splaveniny (Thoř 1981; Kovář, Křovák 2002).

Příčné soustředovací stavby neboli výhony jsou vázány do břehů a končí na pomyslné čáře nového koryta. Výhony jsou inklinantní (proti proudu), deklinantní (po proudu) nebo normálové (kolmo na proudnici). Výhony se nesmí proti sobě střídat a jejich koruna musí být umístěna pod vodní hladinu. Výhon má tři konstrukční části, a sice kořen, trup a zhlaví. Kořen zavazuje konstrukci do břehů a zhlaví usměrňuje proud. Vzdálenost mezi výhony se pohybuje mezi 50 až 200 m. Materiál těchto staveb se získává nejlépe z blízkého okolí a povrch se opevňuje obvykle kamennou dlažbou. Tím, jak se voda soustředí do užšího prostoru mezi zhlaví, se zrychluje a prohlubuje vodní tok. Prostor mezi výhony se po letech zanesení splaveninami až po úroveň hladiny řečiště a vznikají tak nové pobřežní pozemky, které porůstají travou nebo křovinami (Thoř 1981; Kovář, Křovák 2002).

Odháňky jsou v podstatě krátké deklinantní výhony, které usměrňují tok a chrání nebo stabilizují břehy.

Podélné soustředovací stavby se vedou v čáře budoucího břehu a svah této hrázové konstrukce zde tvoří základ pro nový břeh. Prostor za touto stavbou je rozčleněn traverzami, které umožňují slabý průtok a zanášení splaveninami. Podélné soustředovací stavby oproti příčným vytváří nový tvar koryta ihned, ale prostor mezi přepážkami a výhony se déle zanáší (Thoř 1981).

3.10 PŘÍSTUPY K VODĚ

Jsou to stavby, které usnadňují přístup k vodní hladině. Patří sem schodiště, rampy pro vozidla a náplavky.

Schodiště se staví na břehovém svahu. Šířka stupně musí být minimálně 25 cm a jeho výška by neměla přesáhnout 20 cm. Celé schodiště musí být široké alespoň 80 cm. Do svahu se zapustí schodnice a na ty se pokládají jednotlivé stupně, aniž by přečnívaly nebo jinak bránily ve volném odtoku v profilu koryta. K patě schodiště je nutné nasypat těžký zához, aby bylo schodiště zajištěné proti sesunu po svahu.

Rampy ze břehu do dna se staví optimálně po směru proudnice, aby nebyl ovlivněn průtočný profil. Maximální podélný sklon může být 1:8. Rampa se opírá o pevnou patku a opevňuje se kamennou dlažbou.

Náplavky jsou pobřežní dlážděné plochy ve sklonu cca 1:10 a slouží jako překladiště písku a štěrku nebo jako přístup k přívozu (Thoř 1981).

3.11 ODBĚRY VODY

3.11.1 ODBĚRNÉ OBJEKTY

Odběrné objekty zajišťují odběr vody z toku. Vodárenské odběry bývají obvykle malé, rozptýlené a čerpají přímo z toku. Největší kapacity vyžadují hydroenergetická díla na velkých vodních tocích. Při návrhu těchto velkých děl na vodním toku se musí počítat s ponecháním minimálního průtoku pod místem odběru. Dále musí být zachována část splaveninového a ledového režimu včetně vlastností vody atd. (Broža, Satrapa 2000). Dělí se na objekty pro odběr gravitační, násoskový a odběr pomocí čerpání (Milerski a kol. 2005).

3.11.2 OBJEKTY PRO VEDENÍ VODY

Mezi objekty pro vedení vody patří např. kanály, což jsou běžné objekty vedoucí vodu, které určitým způsobem napodobují koryto toku. Kanál může být tvořen rovněž pouze svislými stěnami a může být zakrytý, pokud není dostatek místa. Velké kanály a průplavy znamenají výrazný zásah do přírody. Návrhy kanálů musí zohlednit rizika vymílání, zanášení a dalších jevů.

Potrubí se v hydrotechnice používá kromě tlakového režimu někdy také pro vedení vody o volné hladině. Je to potrubí o velkém průměru a nahrazuje zakrytý kanál.

Vodní štoly a tunely slouží k převádění vod mezi povodími a zkracují trasu. Zkracováním se zmírňuje energetická náročnost čerpání díky gravitaci. Používají se pro tlakové proudění nebo méně často s volnou hladinou proudu.

Pokud je nutné odebírat vodu do vyšší úrovně, přichází na řadu čerpací stanice. Používají se pro vodárenské odběry, pro závlahy nebo v hydroenergetických soustavách.

Může nastat i opačný problém, když je zapotřebí nárazově utlumit kinetickou energii vody v soustavě. V těchto případech se použije vhodný tlumič, vývar apod. Nejlepší řešení je energii zužitkovat ve vodní elektrárně (Broža, Satrapa 2000).

3.12 JEZY

Jezy patří mezi nejstarší vodohospodářské stavby vůbec. V Dalimilově kronice se uvádí, že první jezy v Praze vznikaly už v roce 1241 (Fiala a kol. 1980). Jsou to vzdouvací zařízení stavěná napříč korytem toku, kde trvale nebo dočasně vzdouvají vodu za různým vodohospodářským účelem. Umožňují odběr vody pro průmysl, vodárenství, zemědělství, energetiku apod. Poskytují dostatečnou plavební

hloubku na splavněných vodních tocích. Regulují výšku podzemních vod v okolí toku dle potřeby hospodářství a lesnictví. Mohou také posloužit ke stabilizaci určitého úseku toku. Fungují jako spádový stupeň, vyrovnávají spád, zmírňují rychlost proudění apod. Vodní plocha pod jezem plní také estetickou funkci. Může se využívat k rekreaci a umožňuje pobyt novým druhům ryb a jiným vodním živočichům (Thoř 1981; Broža a kol. 1985; Milerski a kol. 2005). Existují dva typy konstrukce jezů, pevné a pohyblivé.

Pevný jez je tvořen hradící konstrukcí z betonu, kamene, dřeva apod. Vzduší je trvalé a mění ho jen průtočné množství vody.

Pohyblivý jez má pevnou pouze spodní stavbu, jejíž svrchní část se nachází na úrovni dna nebo mírně nad ním. Horní část tvoří pohyblivé hradící uzávěry, kterými je možné regulovat výšku hladiny nad jezem

Podle tvaru v půdorysu se jezy dělí na přímé, šikmé a zakřivené. (Milerski a kol. 2005).

Konstrukce jezů je složena z jezového tělesa nebo hradícího tělesa, dále z podjezí, přelivné hrany, koruny jezu, přelivné plochy, vývaru, prahu vývaru a je zakončena štětovou stěnou a kamenným záhozem.

Jezové těleso je u pevného jezu nepohyblivá konstrukce, která vystupuje nad úroveň dna a tím vzdouvá vodu. Průtoky převádí přepadem přes přelivnou hranu na koruně tělesa. Hradící těleso je hlavní část uzávěrů a kromě hradící funkce slouží i ke vzdouvání a regulaci vodní hladiny. Pod tímto tělesem se nachází kamenným záhozem opevněné podjezí, které zabraňuje vytváření výmolů. Přelivnou plochu tvoří přelivná část pevného nebo pohyblivého jezu na hradícím tělese. Vývar v podjezí musí pohltit veškerou kinetickou energii z přepadající vody, musí být dostatečně dlouhý, hluboký a obvykle se navíc opatřuje usměrňovači a rozrážeči. Podjezí se ještě dodatečně zajišťuje prahem a končí štětovou stěnou a kamenným záhozem (Thoř 1981).

Samotný jez je založen na nepropustném, únosném podloží. V případě, kdy je nutné založení na toto podloží ve větší hloubce, je pod jez nutné umístit stěnu z betonu nebo ocelových štětovnic. Použití různého typu založení se liší podle vlastností podloží (kvalita, únosnost, propustnost apod.). Břehy v okolí jezu je nutné zpevnit nebo vytvořit opěrné zdi (Milerski a kol. 2005).

3.12.1 PEVNÝ JEZ

Na pevném jezu se nepoužívají hradící uzávěry, a proto neumožňuje plynule regulovat výši vodní hladiny nad jezem. Výška hladiny nad přelivnou hranou (vzdutí) je dána objemem vody, která přetéká přes jezovou konstrukci. Z tohoto důvodu se pevné jezy staví pouze v případě, kdy vzdutá hladina vody může kolísat podle průtočného množství vody. Náklady na jejich pořízení, údržbu a provoz jsou nižší než u pohyblivých jezů. V současné době se staví čím dál tím méně. Pevné jezy se dělí podle konstrukce, materiálu, uspořádání v půdorysu apod. (Fiala a kol. 1980; Broža a kol. 1985; Milerski a kol. 2005).

Dřevěné pevné jezy patří k nejstarším typům jezů. Dnes se už staví jen výjimečně a často jen provizorně na bystřinných tocích. Používají se pro malé vzdutí. Nemusí být vodotěsné a mají krátkou životnost. V lesnatých či horských oblastech v balvanitém korytě se používají propustné srubové konstrukce, vyplněné kamením. Jiná varianta se staví zatlučením dřevěných pilot a štětovic spojených kleštinami, čímž vzniknou dřevěné štětové stěny a ty tvoří jezovou konstrukci. Prostor mezi štětovými stěnami je vyplněn kamením a utěsněn zeminou. Nejvyšší vodorovný trám funguje jako přelivná hrana a přelivná část se zpevňuje kamennými deskami na trámovém roštu, který je upevněn pilotami. Za vývarem se zřizuje kamenný zához proti podemílání (Milerski a kol. 2005).

Kamenné jezy se staví ze záhozového kamení. Na jádro z jemnozrnného materiálu se vrství další vrstvy s přibývajícím hrubostí. Povrch jezů zpevňuje kamenná dlažba na cementové maltě. Sklon návodní strany je 1:1 a vzdušné 1:2 až 1:5. Mírný sklon na vzdušné straně kompenzuje chybějící vývar. Je to propustný typ jezů, ale může se po nějaké době sám utěsnit jemnými splaveninami. Na horských tocích se používají jezy drátokamenné (Fiala a kol. 1980).

Betonové jezy musí splňovat statické a hydraulické podmínky. Podjezí by mělo být chráněno proti podemletí přepadající vodou (opevněním nebo vývarem), jinak nemusí zůstat stabilní. O něco lehčí železobetonové jezy je nutné navíc zajistit proti posunu tlakem vody (Fiala a kol. 1980).

Betonové a kamenné jezy patří mezi nejběžnější pevné jezové konstrukce. Rozlišují se podle tvaru přelivné stěny na zastaralé strmé (sklon 6:1) nebo novější šikmé, které optimálně kopírují tvar proudnice (Milerski a kol. 2005).

3.12.2 POHYBLIVÝ JEZ

Praktické využití pohyblivých jezů spočívá v možnosti ovládat hladinu a tím pádem i průtoky. Provozní hladina vody v jezové zdrži by měla být udržována pokud

možno ve stejné úrovni s výjimkou povodňových průtoků. Umožňují také průchod ledu nebo splavenin a úpravu hladiny podzemních vod v jeho okolí.

Pevná část pohyblivých jezů je složena ze spodní stavby, pilířů, těsnění a stabilizačních prvků. Zbytek tvoří uzávěry jezových polí, ve kterých se pohybují hradící tělesa (Thoř 1981). Pohyblivé jezy se dělí podle tvaru a pohybu hradících těchto těles na mnoho typů.

Stavidlové jezy jsou pojmenované podle stavidel čili stavidlových uzávěrů. Hladinu v jezové zdrži regulujeme průtokem nad i pod stavidlem. Stavidlem už nazýváme obvykle deskovité hradící těleso z oceli, které lze vyztužit plnostěnnými nebo příhradovými nosíky. Ocelové tabule se pohybují ve svislé či mírně skloněné drážce na válečcích nebo podvozcích a manipulace s nimi probíhá mechanicky. Stavidel může být více vedle sebe a můžou být i dvoudílná. Dvoudílné stavidlo se skládá z dvou desek, které se za sebe zasouvají. Pokud chceme vypouštět vodu přepadem, manipulujeme pouze s horní deskou a dolní desku zvedáme pouze pro spodní průtok. Některá tato stavidla mají ještě navíc otočnou klapku, která umožňuje jemnou regulaci horní hladiny vody na přepadu (Thoř 1981; Milerski a kol. 2005).

Klapkové jezy používají místo stavidel ocelovou klapku, která je upevněna na ložisku ve spodní části jezů a lze ji úplně sklopit po směru proudu vody. Klapka je ovládána táhlem a strojními mechanismy (Milerski a kol. 2005).

Segmentové jezy jsou vybaveny segmentovými uzávěry, které k zahrazení polí používají ocelové segmenty. Segmenty jsou vodorovně otočné kolem čepů umístěných v bočních pilířích a hradící plocha má tvar části válce. Tak jako u stavidlových jezů bývají opatřené klapkou pro jemnou regulaci výšky hladiny. Ovládají se mechanicky nebo hydraulicky (Thoř 1981; Milerski a kol. 2005).

Hydrostatické jezy s hydrostatickým uzávěrem přizpůsobeným spodní stavbě umožňují ovládání hradící konstrukce pouze za pomoci hydrostatických sil. Změnou tlaku v tlakové komoře se automaticky reguluje poloha hradící konstrukce. Ke vztyčení hradícího tělesa se používá přetlak horní vody. Ke sklopení využíváme spodní vodu a tlačnou komoru. Tlačná komora je propojená s horní i spodní vodou pomocí kanálků a nachází se pod hradící konstrukcí. Nejstarším typem jsou hydrostatické pokloповé jezy, které se dále dělí na jedno, dvou či třípokloповé a vahadlové. Hydrostatické segmentové jezy používají segmentovou hradící stěnu tvaru části válce. Zatížením segmentu vodním tlakem se dostane do hradící polohy. Hydrostatické sektorové jezy se liší od segmentových tím, že na hradící stěnu

působí tlak vody v tlakové komoře na přelivnou plochu (Thoř 1981; Milerski a kol. 2005).

Sektorové jezy fungují podobně jako v případě hydrostatických. Při manipulaci se hradící konstrukce zasouvá do spodní stavby jezu. Pohyb této konstrukce je závislý na vodním tlaku v prostoru pod ní (Milerski a kol. 2005).

Válcové jezy mají uzávěry s hradíci tělesy ve tvaru válce. Vodu regulujeme výtokem (zdvižný válec) i přepadem (spustný válec). Válce jsou na koncích ozubené a při manipulaci s nimi se odvalují po ozubnicích. Ozubnice jsou uloženy v šikmých drážkách na boční straně pilířů. Výhoda těchto jezů je odolnost vůči splaveninám a obecně vysoká tuhost. I zde je možná jemná regulace pomocí klapky (Thoř 1981; Milerski a kol. 2005).

Existují ještě další typy jezů např. jezy hradlové, hradidlové, tabulové, pokloповé apod.

3.13 OSTATNÍ OBJEKTY

Jsou to mosty, propustky, lávky, brody, vyústění trubních nebo otevřených přítoků, odběrná místa vody, vodoměrná zařízení, malé vodní elektrárny, rybí přechody a křížení s inženýrskými sítěmi. Pro účely navrhování průtoků jsou směrodatné pouze první tři zmíněné typy objektů, protože jsou to kritická místa, kde ve větších průtocích hrozí havárie (Kovář, Křovák 2002).

Mosty by měly křížovat vodní tok minimálně pod 60° úhlem a nesmí měnit směr toku. Části mostní konstrukce by neměly zasahovat do průtočného profilu (Kovář, Křovák 2002). Pilíře by se neměly umísťovat do proudnice, protože jsou pak ohroženy vymíláním nebo poškozením od splavenin. Pilíře chráníme kamenným záhozem, štětovou stěnou kolem základů nebo se musí založit velmi hluboko na studně či kesony (Thoř 1981).

Propustky jsou pravoúhlého, kruhového nebo parabolického průřezu. Jsou uloženy v zemním tělese, kde umožňují volný odtok vody. Propustek je kolmý nebo šikmý z betonu, železobetonu atd. Nejčastěji se používají trubní propustky. Nejmenší průměr kruhového propustku je 60 cm. Deskové propustky bývají obdélníkového tvaru s nosnou horní deskou na opěrách nebo je tvořen obdélníkovým rámem. Dále se používají ještě klenuté propustky a propustky s parabolickou klenbou. V místech, kde je plánována výstavba propustku, by koryto mělo mít plynulý tvar. Rozsah opevnění v místech propustku a jeho okolí závisí na

množství, rychlosti a unášecí síle vody. Základy křídel propustku musí být uloženy hluboko na únosné půdě (Thoř 1981).

Vodní přechody jsou zvláštní stavby určené k umožnění volného pohybu vodních živočichů na jinak neprůchodných místech. Staví se v závislosti na druhu ryb, pro které je určen. Většina rybních druhů v ČR překonává překážky pouze proplouváním s výjimkou pstruha a lososa (Just a kol. 2005).

3.14 REVITALIZACE VODNÍCH TOKŮ

Revitalizace vodních toků má za cíl oživit krajinu tím, že odstraňuje nevhodná opatření z minulosti a obnovuje ekologickou funkci toku (Milerski a kol. 2005). Technické úpravy na tocích zužovaly pásy vodních toků v nivách a nahrazovaly přírodní koryto za umělé. Tím se likvidovaly přirozené formy výskytu vody. Soustředěná voda v úzkém korytě má před povodněmi pouze lokální ochranný účinek. Průběh povodňové vlny se zde koncentruje a rychleji postupuje do spodní části povodí. Revitalizace a revitalizační přístupy se uplatňují v různých situacích.

Základní úlohou je dát vodnímu toku prostor pro přirozené rozlité v nivě v případě povodní. Přírodě blízká koryta mají menší průtočnou kapacitou než technická, a proto neomezují přirozený rozliv povodní v nivách.

I v korytech uvnitř zastavěných oblastí, ve kterých je z vodohospodářských důvodů vyžadována vysoká průtočná kapacita, lze provést revitalizační úpravy k zajištění základní ekologické hodnoty.

Ochranná koryta, která provádějí povodňové průtoky přímo zastavěným územím, či mimo něj např. obtokem by se měla vytvářet charakteru přírodě blízkému.

Přírodě blízké povodňové koridory se oddělují od ploch více chráněných před záplavami. Snahou je obnovit původní rozlivné koridory a hrázové systémy se staví dále od toku.

Využitím vyhloubených sníženin v nivě se podporuje retence velkých vod. Může se jednat o jámy zanechané po těžbě štěrku a písku nebo napodobeniny přirozených retenčních prvků (stará ramena a tůně).

Staví se víceúčelové a polosuché poldry, které lze mimo povodně využít jako přírodní území.

Přechod mezi zadržováním povodňových vod v poldrech a volným plošným rozlivem tvoří nízké zemní valy. Nízké zemní valy jsou úsporné a umí zpomalit a usměrnit plošný rozliv.

V obcích nebo jejich blízkosti se odstraňují dnes již obvykle nepotřebné jezy a stupně. Tyto stavby nevhodně vzdouvají povodňové průtoky a mohou způsobovat ledové povodně poté, co zde vzniknou ledové překážky.

Vytvářením náhradních přírodě blízkých retenčních prostor a biotopů kompenzujeme negativní dopady technických protipovodňových opatření na přirozený rozliv a přírodu (Just a kol. 2005).

3.15 SRÁŽKO-ODTOKOVÉ MODELY

Matematické modely slouží k nasimulování povodňových událostí pomocí moderních softwarů na základě mapových podkladů a hydrologických dat. S rozvojem výpočetní techniky se zlepšuje schopnost předpovídat rozlohu a tvar povodní a ověřují se tak protipovodňová opatření.

3.15.1 DESQ-MAXQ

Aplikace DesQ-MaxQ v jeho 5. Verzi byl vyvinut za postupného porovnávání vypočtených hodnot charakteristik povodňových vln na různých povodích se skutečnými údaji poskytnutými ČHMÚ. Je ovšem vhodný pro použití jen na povodích o malých plochách. Na těchto malých povodích dokáže vypočítat charakteristiky povodňových vln bez hydrometrických pozorování a kalibrací vstupních dat (Hejduk 2010).

3.15.2 HEC-HMS

Tento srážko-odtokový model pracuje i s velkými povodími. Byl vyvinut službou U. S. Army Corps of Engineers a jde o nejpoužívanější model v USA i v ČR. Aplikace umožňuje vytvoření sdruženého, distribuovaného a semidistribuovaného modelu, který se používá nejvíce. Projekt vytvořený v HEC-HMS obsahuje schematizaci povodí, meteorologický model a údaje k ověřování simulace (Fleming 2010).

Pro odvození objemu přímého odtoku je na výběr z metodiky Green-Ampt, počáteční (konstantní) ztráty, čísla odtokových křivek CN, exponenciální ztráty, deficitní (konstantní) ztráty a jiné. Hydrogram přímého odtoku lze odvodit různými jednotkovými hydrogramy nebo pomocí kinematické vlny. Pro základní odtok je použit model exponenciálního odtoku. Velká výhoda této aplikace je, že všechny tyto metodiky dokáže zahrnout do jediného schematizovaného povodí. Tato americká služba poskytuje ještě doplňující aplikace HEC-GeoHMS a Hec-DSSVue. HEC-GeoHMS je rozšíření pro aplikaci ArcMap, které využívá digitální model terénu pro schematizaci povodí. HEC-DSSVue je vizualizační pomůcka, která pracuje

s daty z HEC-DSS databáze (meteorologické časové řady a výsledky simulací). Všechny uvedené aplikace jsou nabízeny pod freeware licencí (Hejduk 2010; HEC-HMS 2013; Scharffenberg, Fleming 2010).

3.15.3 MIKE SHE 2005

Tento software vyvíjí dánská firma DHI a je rovněž hojně používán po celém světě. Je součástí placeného balíku MIKE Zero a zdarma je k dispozici pouze omezené demo. Software pracuje s vlastními formáty, ale podporuje také shapefile (ArcGIS). Projekt je složen obdobně jako v HEC-HMS. Pro simulaci je možné některé parametry odhadnout např. parametrizaci nenasycené zóny apod. Celý balík aplikací MIKE Zero, včetně MIKE She, je velice komplexní, jeho možností jsou větší než v případě HEC-HMS a poskytuje se k němu rozsáhlá dokumentace (Hejduk 2010).

3.15.4 KINFIL

Tento model stanovuje návrhové průtoky, které jsou ovlivněny antropogenní činností. Kombinuje teorii infiltrace a transformace přímého odtoku kinetickou vlnou. Není vyžadováno přímé pozorování na toku, protože používá fyziografické, klimatické a hydraulické údaje o povodí a bere v úvahu vliv dopadů lidské činnosti. KINFIL se používá k určení návrhových průtoků pro „scénářové situace“. Může jít o odlesnění, urbanizaci apod. (Kovář, Vaššová 2011).

3.15.5 HYDROG 9.0

Autorem distributivního modelu HYDROG je profesor Miloš Starý z VUT. Tento model je neustále vyvíjen už od roku 1991. Jeho primární použití je v operativním ovládní vodohospodářských děl a vydávání předpovědí průtoků. Je používán ČHMÚ v Brně a Ostravě.

Model pracuje s údaji o srážkách, průtocích, odtocích vodních nádrží, tloušťce sněhové pokrývky a v zimě i o teplotách (ČHMÚ 2006).

3.15.6 SAC-SMA AQUALOG

Neboli Sacramento – Soil Moistere Accounting počítá s bilancí půdní vlhkosti. Spadá do systému NWSRFS (National Weather Service River Forecast System) jakožto součást knihovny modelovacích technik. NWSRFS je vyvíjen v USA od druhé poloviny 70. let. V ČR spadá pod systém AquaLog a ČHMÚ ho používá k operativním předpovědím na povodí Vltavy a Labe (Hejduk 2010).

Model pracuje s povodím jako se soustavou vertikálně a horizontálně uspořádaných zón neboli nádrží. Voda je zadržována intercepcí a z nich

odčerpávána evapotranspirací nebo prosakuje do nižších zón čili do půdy. Vzniká tak odtok z dočasně nepropustných ploch, odtok z nepropustných ploch, povrchový odtok, podpovrchový, dodatkový podzemní odtok (zóna mělkého proudění) nebo primární podzemní odtok (zóna hlubokého proudění). Parametry modelu mají charakter procesu dešť-odtok (Aqualogic 2013).

3.15.7 HBV

HBV model je vyvíjen ve švédském meteorologickém a hydrologickém institutu již od 70. let. Patří do modelovacího systému IHMS, který se používá pro krátké i kontinuální simulace odtoku z povodí. V ČR se příliš neuchytil (Hejduk 2010).

3.16 VÝPOČET PRŮTOKU Q_{100}

3.16.1 JEDNOTKOVÝ HYDROGRAM

Jednotkový hydrogram je definován jako „hydrogram, který má jednotkový objem a je způsoben efektivním deštěm, který rovnoměrně zasáhl povodí a jehož objem je rovněž roven jedné jednotce“ (Máca 2010). Je to metoda odhadu hydrogramu odtoku využitelná pro odvození charakteristik povodňové vlny pokud jsou k dispozici minimálně krátkodobá ombrografická měření dešťů a jimi vyvolané hydrogramy (Hrádek, Kuřík 2008).

3.16.2 METODA ČÍSEL ODTOKOVÝCH KŘIVEK - CN

Neboli Curve Number Method vyvinutá v USA Službou pro ochranu půd. Metoda umožňuje odvodit objem "přímého" a kulminačního odtoku na lesnický a zemědělsky využívaných povodích i urbanizovaných povodích do 5 km² plochy povodí. Používá se při nedostatku hydrometrických pozorování.

Přímý odtok znamená odtok z povrchu nebo z vody prosakující, která nedosáhne k podzemním vodám. Objem odtoku vyjadřuje výška odtoku ve vztahu k výšce výpočtového deště pomocí odtokových CN křivek.

Vychází se z tohoto předpokladu:

$$\frac{H_o}{H_d - R_1} = \frac{R_a}{R_p} \quad \dots(13)$$

H_o	...výška přímého odtoku	[mm]
H_d	...výška výpočtového deště	[mm]
R_a	...aktuální retence povodí	[mm]
R_p	...potenciální retence povodí	[mm]

R_1 ...retence povodí v bezdotokové fázi [mm]

Metoda CN zohledňuje závislost retence povodí na:

- hydrologických vlastnostech půd
- hydrologických podmínkách
- zprvu nasycenou půdu
- využití půdy

Výška odtoku:

$$H_o = \frac{(H_d - R_1)^2}{H_d + R_p - R_1} \quad \dots(14)$$

$$R_p = 25,4 \cdot \left[\frac{1000}{CN} - 10 \right] \text{ [mm]} \quad \dots(15)$$

CN ...číslo odtokové křivky

$$R_1 = 0,20 \cdot R_p \text{ [mm]} \quad \dots(16)$$

Objem odtoku:

$$O = 1000 \cdot H_o \cdot F \text{ [m}^3\text{]} \quad \dots(17)$$

F ...plocha povodí celkem [km²]

(Hrádek, Kuřík 2008)

K odvození CN křivek je nutné zjistit počáteční stav nasycenosti, protože ovlivňuje potenciální retenci tj. maximální možnou retenci na povodí. Charakterizují ho tři skupiny předchozích vláhových podmínek (PVP) podle dešťových úhrnů za posledních 5 dnů. Jsou uvedeny v tab. č. 1. Skupina PVP I má charakter málo nasycené aktivní zóny půd v povodí předchozími dešti. Skupina PVP II má charakter průměrné nasycenosti. Skupina PVP III má charakter vysoké nasycenosti. Počítá-li se objem odtoku pouze pro návrhové účely, pak se používají hodnoty CN odvozené pro PVP II (Hrádek, Kuřík 2008).

Tab. č. 1: Skupiny předchozích vláhových podmínek (Hrádek, Kuřík 2008)

Skupina PVP	Celkový úhrn předchozích srážek v [mm] za 5 dnů v období	
	mimovegetačním	vegetačním
I	<13	<36
II	13 - 18	36 - 53
III	>28	> 53

Dále je potřeba vyhledat hydrologickou skupinu půd v tab. č.2. Podle této skupiny a způsobu využití ploch na povodí se dohledají průměrná čísla odtokových křivek CN v tab. č. P1 v příloze č.6. Výsledné číslo odtokové křivky CN se vypočítá váženým průměrem těchto tabulkových hodnot (Hrádek, Kuřík 2008).

Tab. č. 2: Hydrologické skupiny půd HSP (Hrádek, Kuřík 2008)

Charakteristika hydrologických vlastností půd	
Půdy s vysokou rychlostí infiltrace ($>0,12 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$) i při úplném nasycení, zahrnuje zejména hluboké a silně odvodněné písky či štěrky.	A
Půdy se střední rychlostí infiltrace ($0,06 - 0,12 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$) i při úplném nasycení, zahrnuje zejména půdy středně hluboké nebo hluboké, středně až dobře odvodněné, hlinitopísčité až jílovitohlinité.	B
Půdy s nízkou rychlostí infiltrace ($0,02 - 0,06 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$) i při úplném nasycení, obsahující půdy zejména se slabou propustnou vrstvou v původním profilu a půdy jílovitohlinité až jílovité.	C
Půdy s velmi nízkou rychlostí infiltrace ($<0,02 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$) i při úplném nasycení, zahrnující převážně jíly s vysokou bobtnavostí, půdy s permanentně vysokou hladinou podzemní vody, půdy s vrstvou jílu na povrchu nebo těsně pod a půdy mělké nad prakticky nepropustným podložím.	D

3.16.3 EMPIRICKÉ VZORCE

Platnost empirických vzorců je omezena regionální oblastí, velikostí povodí, charakterem povodí apod. Výběr vhodného vzorce pro daný případ je velmi komplikovaný.

Regionální vzorec:

$$Q_N = A \cdot F^{1-n} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}] \quad \dots(18)$$

$$q_N = \frac{Q_N}{F} = A \cdot F^{-n} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}] \quad \dots(19)$$

Q_N	...maximální průtok	$[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$
q_N	...maximální specifický průtok	$[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}]$
F	...plocha povodí celkem	$[\text{km}^2]$
A, n	...oblastní parametry	

(Hrádek, Kuřík 2008)

Vzorec Čerkašina:

$$Q_{100} = \frac{24,7 \cdot \varphi \cdot v_s^{2/3} \cdot F}{p \cdot L_u^{2/3}} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}] \quad \dots(20)$$

Q_{100} ...maximální průtok opakující se v průměru jednou za 100 let $[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$

φ ...objemový součinitel odtoku

v_s ...střední rychlost dobíhání vody v povodí $[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$

F ...plocha povodí celkem $[\text{km}^2]$

p ...součinitel vyjadřující vliv tvaru povodí na hodnotu Q_{100}

L_u ...délka údolnice $[\text{km}]$

(Hrádek, Kuřík 2008)

4. METODIKA

Tato práce byla vypracována v textovém editoru Word a tabulkovém procesoru Excel z kancelářského balíku Microsoft Office 2007 od firmy Microsoft. K vytvoření grafických mapových výstupů byla použita aplikace ArcMap a ArcCatalog z balíku aplikací ArcGIS 10.1 od firmy ESRI. Pro výpočet maximálního průtoku byl použita aplikace HEC-HMS, verze 3.5 nabízená službou U. S. Army Corps of Engineers.

4.1 VYTVÁŘENÍ DIGITÁLNÍHO MODELU TERÉNU

Základním požadavkem pro vznik digitálního modelu terénu bylo získání vrstev výškopisných 3D vrstevnic ze Základní báze geografických dat České Republiky (ZABAGED). Tyto data poskytuje zdarma Český ústav zeměměřičský a katastrální (ČÚZK) na individuální žádost každého studenta. Pro pokrytí celého území povodí Pšovky bylo nutné objednat celkem 17 mapových listů. Tato a další data byla nahrána a zpracována pomocí aplikace ArcMap a ArcCatalog.

Rozvodnice povodí Pšovky byla identifikována a vyexportována z liniové vrstvy A07_Povodi_IV.shp, která je volně ke stažení na webových stránkách DIBAVOD, které spravuje Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka (VÚV T.G.M.). K určení délky rozvodnice bylo zapotřebí vytvořit nový sloupec v atributové tabulce této vrstvy a pomocí funkce "Calculate geometry" aplikace vypočítala délky jednotlivých linií. Sečtení délek linií proběhlo pomocí funkce "Statistics".

Pro názornost byla v aplikaci ArcCatalog vytvořena bodová vrstva uz_profil.shp, pomocí které bylo graficky zobrazeno umístění uzávěrového profilu celého povodí v místě soutoku Pšovky s Labem. K určení souřadnic uzávěrového profilu posloužil nástroj "Identify", který po kliknutí na libovolný prvek na mapě zobrazí také všechny dostupné atributy na zvolené vrstvě.

Z DIBAVODu byly použity také liniová vrstva A01_Vodni_tok_CEVT.shp (vodní toky), polygonová vrstva A05_Vodni_nadrze.shp (vodní plochy) a A06_Bazina_mocal.shp (bažiny).

Čára údolnice byla vytvořena vyexportováním linie hlavního vodního toku Pšovky z liniové vrstvy vodních toků do nové liniové vrstvy udolnice2.shp. V této vrstvě byla již údolnice prodloužena dle zásad jejího vytváření tj. kolmo na vrstevnice a odspoda nahoru až na hranici povodí.

Určení délky hlavního vodního toku včetně délky všech jeho přidružených vodních toků na povodí a samotné údolnice proběhlo obdobně jako u rozvodnice.

Hydrologická charakteristika uspořádání říční sítě byla určena vizuálním zhodnocením struktury přítoků hlavního vodního toku.

Aby bylo možné určit celkovou plochu povodí i plochy levé a pravé část jednotlivě, bylo nutné vytvořit další dvě polygonové vrstvy plocha_povodi2.shp a plocha_p_l2.shp v aplikaci ArcCatalog. Hranice polygonů v obou vrstvách byly jednoduše převzaty z liniových vrstev rozvodnice a údolnice.

Polygonová vrstva celého povodí posloužila i jako šablona, která reprezentuje půdorysný tvar povodí. Šablona byla využita funkcí "Split" k odstranění všech linií a polygonů za hranicemi povodí.

Kromě polygonové vrstvy bažin a vodních ploch bylo potřeba povodí doplnit také o plochy lesních porostů, orné půdy, trvale travních porostů a zastavěné plochy. Tyto vrstvy byly zvektorizovány z WMS vrstvy "CORINE Land Cover" (CENIA 2013) do jednotlivých polygonových vrstev corine_les.shp, corine_pole.shp, corine_louky.shp a corine_zast.shp. Z těchto vrstev a z vrstev vodních ploch a bažin byla vypočtena plocha, kterou zabírají na povodí. Některé plochy bylo možné použít pro zjištění průměrných čísel odtokových křivek CN. U jiných se podílem ploch s celkovou plochou povodí počítalo, jaké je jejich procentuální zastoupení v povodí.

Dalším krokem bylo vytvoření rastru digitálního modelu terénu, aby bylo možné zjistit, jaké se na povodí Pšovky nachází výškové poměry. V tomto případě bude naplno využito dat, které poskytl ČÚZK. Před následujícím postupem bylo nutné v aplikaci ArcMap aktivovat rozšíření "3D Analyst" a "Spatial Analyst". Byla spuštěna funkce "Topo to Raster", kam se nahrál seznam všech liniových vrstev s vrstevnicemi. U každé vrstevnicové vrstvy bylo nutné zadat, který sloupec z atributové tabulky obsahuje data o nadmořských výškách. Velikost jednoho pixelu DTM byla určena na 50 m. Rastr DTM vznikne mapováním povrchu terénu, kde každý jeho pixel obsahuje hodnotu nadmořské výšky. Nyní bylo možné určit hodnotu průměrné, nejvyšší či nejnižší nadmořské výšky na ploše povodí nebo na čáře údolnice. Tyto výsledky lze zjistit v rámci celého území buď pomocí funkce "Zonal Statistics as Table" (maximum, minimum, průměr) nebo lokálně použitím nástroje "Identify".

Pro lepší vizuální vjem lze v nastavení rastru DTM aktivovat funkci Hillshade effect, díky které vznikne plastický obraz povodí.

Ke vzniku rastru sklonitosti byl použit právě vytvořený rastr DTM. Zde byla použita funkce "Slope". Jednotka sklonu byla nastavena na procenta. Funkce "Zonal

Statistics as Table" byla znovu uplatněna při zjišťování průměrné, maximální či minimální hodnoty sklonu v procentech.

U všech datových vrstev bylo použito souřadnicového systému S-JTSK. Všechny mapové layouty jsou v příloze.

4.2 VÝPOČET PRŮTOKU Q_{100}

4.2.1 HEC-HMS

Vstupními daty byla srážkoměrná data z let 2009 - 2012 ze srážkoměrné stanice ve Střemech, které poskytl na žádost Český Hydrometeorologický Ústav (ČHMÚ). Data kontinuálních průtoků nejsou dostupná.

Pro odvození objemu přímého odtoku byla zvolena metoda čísel odtokových křivek CN.

Hydrologické skupiny půd (HSP) byly odvozeny z mapy půdní zrnitosti na ploše povodí pomocí aplikace ArcMap (ČGS 2013). Do HSP "A" byly zařazeny půdy převážně písčité a hlinitopísčité. Do HSP "B" byly zařazeny půdy převážně hlinité a hlinité s výrazným zastoupením prachu.

Průměrná čísla odtokových křivek CN pro zemědělské pozemky byla určena opět pomocí aplikace ArcMap z vrstev, které znázorňují způsob využití ploch na povodí (CENIA 2013). Povodí Pšovky je velice rozlehlé území, proto bylo použito jednoduchého rozdělení ploch na tyto čtyři typy:

- Orná půda (nezavlažovaná orná půda)
- Trvale travní porost (louky, pastviny, pole, trvalé plodiny)
- Lesní porost (smíšené, listnaté, jehličnaté lesy)

Zastavěné plochy se v aplikaci HEC-HMS zadávají zvlášť jako procentuální zastoupení na povodí.

Pro odvození hydrogramu přímého odtoku byla použita metoda kinematické vlny.

Dalšími vstupními daty byla plocha povodí, procentuální zastoupení nepropustných ploch (zastavěné plochy), délka hlavního toku a údolnice, průměrný sklon hlavního toku a průměrný sklon na povodí. Dále tvar koryta, šířka dna a sklon svahů. Hodnoty Manningova drsnostního součinitele jsou vyžadována pro vodní koryto i pro povrch povodí a byly získány z technického manuálu aplikace (Feldman 2000).

Pro porovnání bylo navíc použito místo srážkoměrných dat hodnot maximálních N-letých srážek ze stanice ve Střemech, které byly převzaty z databáze aplikace DesQ-MaxQ. Tyto hodnoty byly rozloženy ve dvou dnech do prvních 6ti, 12ti, 18ti a 24 hodin. Výstupní hodnoty průtoků vypočítané modelem HEC-HMS byly vloženy do aplikace Microsoft Excel za účelem vytvoření přehledných grafů. Tyto grafy jsou v příloze č. 7.

4.2.2 REGIONÁLNÍ VZOREC

Oblastní parametry **A** a **n** byly vybrány pro povodí Labe nad Vltavou, kde $A=4,4$ a $n=0,38$.

4.2.3 VZOREC ČERKAŠINA

φ ...zvoleno 0,2 dle mapy izolinií

v_s ...zvoleno 1,4 dle tabulky ze vztahu zalesněné plochy a průměrné sklonitosti

p ...zvoleno 1,55 dle tabulky ve vztahu k součiniteli tvaru povodí

4.3 PRŮZKUM SOUČASNÉHO STAVU VODNÍHO TOKU A OBJEKTŮ NA PŠOVCE

Povodí Pšovky je velice rozlehlé území plné bažinatých nebo nepřístupných úseků. Podniknout terénní průzkum po celé délce Pšovky tedy prakticky nebylo možné. Z těchto důvodů byl proveden terénní průzkum a fotodokumentace pouze v oblasti Mělníka, kudy Pšovka protéká popř. na několika vybraných místech v CHKO Kokořínsko. Většina textu použitého v popise čerpá z projektů či studií na Pšovce. Tyto podkladové materiály zapůjčil Městský úřad v Mělníce a Povodí Ohře v Terezíně. Pokud byla zjištěna odchylka mezi starým popisem koryta a skutečným stavem, bylo to v této práci zmíněno.

5. CHARAKTERISTIKA TOKU A JEHO POVODÍ

5.1 POVODÍ PŠOVKY

5.1.1 OBECNÝ POPIS

Pšovka se z velké většiny nachází v severní části středních Čech a prameništěm nepatrně zasahuje až do Libereckého kraje. Protéká jihovýchodní částí chráněné krajinné oblasti Kokořínsko a v těchto místech tvoří v podstatě osu přírodní rezervace Kokořínský důl. Povodí se rozkládá v okresech Mělník a Česká Lípa.

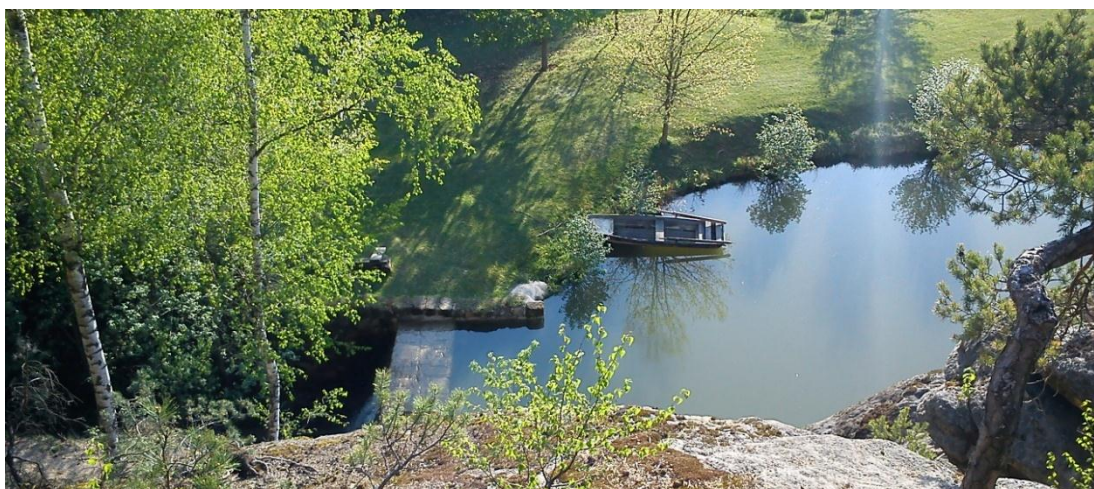


Foto č. 1: Pšovka ve středním úseku

Povodí Pšovky má podélný tvar a rozlohu cca 152,02 km². Vlévá se do Labe (říční km 107,73) z pravé strany těsně pod soutokem Vltavy s Labem u Mělníka, a proto už spadá pod správu Povodí Ohře. Soutok s Labem se nachází ve výšce 156 m n. m. Pšovka odvádí vodu ze zalesněné východní části Polomených hor a z výběžku středního Polabí. Má více pramenů, ale za nejvýznamnější se považuje ten na území obce Blatce 390 m n. m. pod hradem Houska. O něco níže se připojuje několik dalších pramenů v oblasti přírodní památky Prameny Pšovky vyhlášené roku 1995. Převýšení pramene a soutoku je asi 97 m. Hydrologické pořadí je 1-12-03-016 a jedná se o tok II. řádu. Délka toku je zhruba 35 km.

Pšovka má dva přítoky. Z pravé strany přitéká potok Žebrák, který je na soutoku s Pšovkou spojen rybníkem Stříbrníkem a z levé Řepínský potok. V nivách Pšovky a Liběchovky lze nalézt mnoho přírodovědně významných mokřadů, které jsou chráněny Ramsarskou úmluvou od roku 1998 (Hydroprojekt 1979; Šulc 2008).

Povodí Pšovky se dá rozdělit na tři oblasti.

V nejsevernější části, kde Pšovka pramení je husté zalesnění a prameny se zde začínají zařezávat pod pískovcové skalní stěny. Teprve za Tubožským rybníkem se dá Pšovce přiznat označení říčka a zhruba do míst, kde protéká obcí Olešno má skoro až bystřinný ráz (Hydroprojekt 1979).

Ve střední oblasti protéká hluboce zaříznutým údolím, které se nazývá Kokořínský důl. Kokořínský důl je turisticky velmi atraktivní oblast. Objevují se zde první intenzivně využívané hospodářské plochy, velké množství často zamokřených luk a zhušťuje se lidské osídlení. Je to také nejhodnotnější část území CHKO Kokořínsko z hlediska výskytu různých přírodních a kulturních památek. Až do obce Mělnická Vrutice jsou svahy obvykle skalnaté a velmi strmé. V této a horní části toku má koryto toku Pšovky i koryta přítoků převážně přírodě blízký charakter s velkým množstvím mokřadů (Hydroprojekt 1979; Beran a kol. 1998).

Teprve v nejspodnější části toku se údolí rozevírá do nížinné oblasti Polabí, do otevřené holé krajiny, což vyhovuje intenzivnímu zemědělskému hospodářství.

Od Tubožského rybníka až k soutoku s Labem v Mělníku v dávné minulosti fungovalo až 27 vodních strojů (mlýny, turbíny, pily). V moderní době by je mohlo nahradit několik malých vodních elektráren (Šulc 2008).

Cestou od prameniště po soutok s Labem posiluje vodní tok Pšovky spousty studánek nebo dalších pramenů a napájí celkem devět rybníků, čtyři tůně, 1 požární nádrž (slouží i jako koupaliště), 3 koupaliště a 1 bývalé koupaliště.

5.1.2 GEOLOGICKÉ POMĚRY POVODÍ

V horním úseku povodí se nachází úzké a hluboko zaříznuté pískovcové údolí, kde je říční niva značně omezená prostorem, ale podloží je dobře propustné. Ta se rozšiřuje a zároveň změkčuje až v dolní části, kde je propustnost horší. Popisuje se orografickým označením „mělnický polom“. Geologicky se toto území částečně nachází v Lužické oblasti, což je křídový útvar tvořený svrchnokřídovými střednoturonskými horninami převážně písčité povahy. Tuto vrstvu pokrývají kvartérní uloženiny.

Na úseku mezi Hledsebem a Mělníkem převládá písčitoslínovcová vrstva a severněji jsou to různé typy pískovců. Pro střední část toku je zajímavé, že v něm mizí část vody v podzemí. Je to způsobeno dosud otevřenými tektonickými poruchami (Hydroprojekt 1979; Beran a kol. 1998).

5.1.3 PŮDNÍ POMĚRY POVODÍ

Prameny Pšovky se rozkládají na arenosolové vrstvě s hnědými půdami a podzoly. Od Tubožského rybníku až k místům soukromého rybníku za Hlučovem ve směru toku je přechod mezi černozemí a arenosoly stejného typu jako u pramene. Zbylé území až ke hranicím Mělníka tvoří glejový typ půdy a černice. V nejnižnější části, kde protéká intravilánem Mělníka a končí v soutoku s Labem, se nachází nivní typy půd (ČGS 2013).

Velké množství mokřadních ploch má na svědomí jílovitá povaha půdního podloží (Beran a kol. 1998).

5.1.4 TEPLOTNÍ POMĚRY POVODÍ

Teploty padají pod 0°C pouze mezi polovinou prosince až do první třetiny února. Teploty nad 25°C se vyskytují průměrně 55 dní v roce. Průměrný počet dnů, kdy teploty klesnou pod 0°C je 95 (Zemědělský projektový ústav Praha 1968).

Oblast povodí patří mezi velmi teplé. Průměrné roční teploty se pohybují kolem 8°C. Ve vegetačním období mezi dubnem a říjnem jsou 14°C. Z dlouhodobého měření vyplývá, že nejchladnější měsíc je leden a nejtepleji bývá v červenci (Hydroprojekt 1979).

5.1.5 VĚTRNÉ POMĚRY POVODÍ

V průměru převládá proudění z východu na západ a to jak ve vegetačním období, tak po zbytek roku (Hydroprojekt 1979).

5.1.6 VEGETACE

Z lesních porostů výrazně dominuje smrk, borovice a ojediněle i dub. V údolních polohách kolem bývalých mlýnů a stavení převažují louky se zbytky olšin a ostřic. Horní úsek toku charakterizují velká mokřadní společenstva a lesní typ habrová doubrava (Hydroprojekt 1979; Jakubínský 2008).

V jižní oblasti se rozkládá rozsáhlá, úrodná, polabská nížina, kde jsou výborné podmínky pro zemědělskou výrobu. Pěstují se zde prakticky všechny zemědělské plodiny (Hydroprojekt 1979).

5.1.7 PODNEBÍ

Povodí Pšovky lze charakterizovat jako velmi suché. Průměrné srážky se pohybují mezi 550 až 600 mm. Dlouhodobý celoroční srážkový průměr je 552 mm. Největší objem vody spadne ve vegetační době (duben až říjen), tedy v teplejší části roku. Z dlouhodobého průměrování vychází v průběhu roku jako nejvlhčí měsíc červenec a nejsušší únor. V červenci napadne průměrně 70 až 80 mm. V únoru okolo 25 mm srážek (Zemědělský projektový ústav Praha 1968; Hydroprojekt 1979).

6. POPIS STÁVAJÍCÍHO STAVU OBJEKTŮ A VODNÍHO TOKU NA ZÁJMOVÉM ÚSEKU

6.1 ÚPRAVA PŠOVKY V MĚLNÍKU MEZI UZÁVĚROVÝM PROFILEM A ROUSOVICEMI

Pšovka je z drtivé většiny přírodě blízký vodní tok. Nejvýraznější změny byly provedeny v projektu z roku 1968 od tehdejšího Zemědělského projektového ústavu v Praze, který upravuje 3,5 km dlouhý úsek toku v intravilánu Mělníka (Zemědělský projektový ústav Praha 1968). Pšovka byla upravována mezi jejím vyústěním do Labe až k dnes již zaniklé vlečce do cukrovaru za Kokořínskou ulicí ve Starých Rousovicích.

Umístění koryta bylo značně omezeno tehdejší zástavbou, proto se v mělnickém intravilánu neprováděly žádné výraznější směrové úpravy. Jedinou výjimku tvoří úsek mezi železničním viaduktem až po tehdejší hranici zástavby, kde se dnes nachází autobusové nádraží. V této části toku vznikaly pomístní úpravy trasy toku do pravidelných oblouků, čímž se úplně odstranilo původní přirozeně ostré meandrování. Mezi ústním Pšovky a železničním viaduktem se nacházelo esovité meandrování, které bylo odstraněno a tok se zde nyní plynule ohýbá. Zbytek toku leží více méně ve starém korytě.

Na tehdejší polní trati Pšovky se dříve budoval systém náhonů. V době vzniku tohoto projektu už mnoho těchto náhonů neplnilo svou původní funkci a protékala jimi většina normálního průtoků. Trasa koryta byla posunuta logickým úsudkem zpět do nejnižší části terénu. Mezi železničním viaduktem a Klášterní ulicí je toto umístění naprosto jednoznačné. V další části se tok posunul severně od zahrádkářské kolonie, protože to umožnilo výhodnější nové trasování toku mezi Vodárenskou ulicí a ulicí Jířího z Poděbrad. Kdyby se zvolila druhá varianta, tedy že by Pšovka protékala jižně od zahrádkářské kolonie a rybníku, tak by zde později nebylo možné jakkoliv meliorovat rozsáhlé bažinaté plochy. Od ulice Jířího z Poděbrad už tok leží prakticky v původním korytě v nejnižším místě terénu, kde došlo k jeho napřímení odstraněním velkého množství nepravidelností ve tvaru koryta. Na konci upravované části toku byl ponechán ostřejší oblouk, k dnes již zaniklému jezu ve Starých Rousovicích. Předpokládalo se, že zde bude koryto navazovat na další fázi úprav Pšovky, k čemuž nikdy nedošlo.

Koryto Pšovky na km 0,00 – 0,160 je stabilní s hustým břehovým porostem. Dochází zde ke zpětnému vzduť Labe. Tok zpomaluje a je silně zanášen, proto byl pročištěn bagrem. V současné době vznikají kolem Mělníka protipovodňová opatření, jejichž součástí jsou nově zbudovaná uzavíratelná vrata na vyústní trati Pšovky s technologií přečerpávání vod.

Další technické úpravy pokračují za masivní hrází. Původní koryto Pšovky zde bylo široké v průměru tři metry, proto se z této hodnotou počítalo i při návrhu nového koryta. Při této šíři dna zůstává setrvalý průtok ve hloubce 30 – 40 cm. Nejčastěji se objevuje lichoběžníkový tvar profilů, který byl vybrán z hlediska ceny při pořízení i ceny údržby.

Lichoběžníkový profil byl navržen pro km 0,160 – 0,500 se dnem 3 m širokým. Svahy jsou zpevněny pomocí kamenné dlažby ve sklonu 1:1,5 – 2 s ohledem na hloubku a potřebnou kapacitu koryta.

Od km 0,500 až do km 0,760 tj. po most v Bezručově ulici, je tento profil uzavřen ve 180 cm vysokých zdech. Dno profilu je dlážděné lomovým kamenem o výšce cca 25 cm položené na štěrkopískové vrstvě. Dlažba se prováděla na cementovou maltu nebo vyklínováním spár na sucho.

Pod mostem v Bezručově ulici bylo sníženo dno pomocí vložené kynety s obdélníkovým tvarem profilu. Obě kynety budou opět zpevněny dlažbou ve dně. Ve staničení km 0,760 – 0,885 tj. nad mostem tok protéká v hlubokém, lichoběžníkovém korytě. Koryto zde bylo o něco více prohloubeno, opevněno dlažbou a do spodní části opěr byla přistavěna opěrná zídka. Za touto úpravou končí hranice intravilánu, kde je tok navržený z hlediska kapacity a opevnění na průtok Q_{50} .

Další úsek Pšovky je navržen už pouze na průtok Q_5 a tvoří přechod z intravilánu na polní trať.

Profil koryta je navázán na pravobřežní 120 cm vysokou opěrnou zídku z lomového kamene na cementové maltě. Levý břeh a dno je opevněno dlažbou.

Na celé délce polní trati byl navržen lichoběžníkový profil se svahy ve sklonu 1:2 a dnem širokým 3 m. Dno má směrem ke středu střešovitý sklon v poměru 1:5. Kamenné opevnění svahů a dna je kotveno do podélných patek pod svahy. Z důvodů málo únosné zeminy pod korytem byla dlažba položena na 20 cm silnou vrstvu drobného štěrku.

Ve vzdálenosti 1,5 m za břehy proběhla řadová výsadba v 2 m sponu. Břehy byly osázeny olší, jasanem a topolem. Zhruba každých 50 m je do profilu vložen betonový práh jako zpevňující příčný objekt.

Původní návrh počítal s použitím 6 – 7 kamenných stupňů o výšce 50 nebo 100 cm. Ve skutečnosti byly vystavěny pouze dva. V obou případech se jedná o běžné stupně s vývarem.

Na upravovaném úseku kromě již zmíněného mostu v Bezručově ulici stojí mnoho dalších přemostění. Buď se využilo již stávajících objektů nebo byly zbudovány úplně nové konstrukce. Nově byly postaveny dva silniční mosty a tři pěší lávky.

První nový postavený silniční most se nachází na km 1,375 v ulici Klášterní a druhý na km 1,982 ve Vodárenské ulici. Jsou to mosty zděné s plochou cca 100 m². Mostovka z železobetonových prefabrikátů s chodníky a zábradlím.

U starších mostů v Kokořínské ulici a na bývalé vlečce do cukrovaru nebylo možné snížit dno jednoduchým odkopem, protože nebyla známa hloubka založení pilířů. Místo toho bylo použito železobetonové potrubí o profilu 100 cm, které se vložilo do dna. Potrubím teče voda při setrvalém stavu a z obou stran je ukončeno zděnými čely. Nadloží objektu tvoří kamenná dlažba na cementové maltě v šířce celého průtočného profilu mostu.

Staničení první ze tří nových lávek s ocelovou konstrukcí a kovovým zábradlím je v km 0,503. Dále lávka, která prodlužuje uličku ze zahrádkářské osady. Lávka v ulici Jiřího z Poděbrad, která spojuje vlakové a autobusové nádraží. O něco dál po toku za touto lávkou se nachází ještě jedna jednoduchá dřevěná lávka bez zábradlí.

6.2 POPIS PŠOVKY OD ROUSOVIC PO VOJTĚCHOV

Z důvodů délky vodního toku Pšovka přesahující 30 km a velké terénní neprostupnosti byl následující text čerpán ze studie z roku 1979, která vznikla za účelem plánovaných úprav v tomto úseku (Hydroprojekt 1979). Tyto úpravy nebyly nikdy realizovány a tak se předpokládá, že bude popis odpovídat současnému stavu vodního toku, přesto se malé odchylky nevylučují.

Asi 100 m nad bývalou vlečkou do cukrovaru v Mělníku pod starým stupněm odbočuje vlevo náhon do Rousovic. Pšovka od Rousovic dál k prameni protéká v podstatě původním a přirozeným korytem. V těchto místech protéká zahradami a

stoupá ve velmi malém sklonu, což ve vyšších vodních stavech způsobuje vybřežování a tím pádem poškozování okolních pozemků.

Dále proti proudu toku se po pravé straně nachází osada Malý Borek a na pravé straně Velký Borek. Nad stupněm ve dně odbočuje náhon na Malý Borek a o něco dál Pšovka protéká pod silnicí a železnicí. Pšovka obtéká jižní okraj Velkého Borku v korytě s opět naprosto minimálním podélným spádem. Trasa koryta byla v tomto úseku odsunuta na pravou stranu narovnána projektem z roku 1946 (Preisler 1946).

Za Velkým Borkem začíná vodní tok výrazně meandrovat a přezdívá se mu zde Vrutický potok. Díky meandrům a nízkému podélnému sklonu koryta jsou okolní pozemky silně podmáčeny.

Z levého břehu v místech, kde se Pšovka setkává s obcí Jelenice, se odděluje dlouhý mlýnský náhon směrem na Malý Újezd. Náhon zaústí zpět do Pšovky až za železničním mostem ve Velkém Borku.

Nad obcí Jelenice Pšovka protéká kolem národní přírodní rezervace Polabská černava. Nad kamenným stupněm odbočuje na pravou stranu náhon, který podtéká pod železniční tratí na jeho začátku a znovu na konci a do Pšovky se vrací na jihu od Mělnické Vrutice.

Nad dalším kamenným stupněm se Pšovka stáčí v obrovském oblouku směrem na sever k vesnici Hleďsebe. Nad obcí Hleďsebe zůstala zachována hráz, která zadržovala vodu v bývalém rybníce.

Pšovka protéká v místech starého rybníka a pokračuje směrem na severozápad k obci Lhotka. Pod Lhotkou protéká menším rybníkem a pokračuje propustkem pod železnicí. Nad propustkem se Pšovka přimyká k pravé straně železniční trati a má na svědomí její trvalé podmáčení.

Nad Lhotkou Pšovka protéká novým rybníkem Lhotka a dále loukami, kde způsobuje silné podmáčení.

Ve Štampachu je Pšovka zatrubněna a pokračuje přes malý rybník. Potok dále ubíhá na severovýchod v úzkém skalnatém údolí.

V osadě Kroužek na levém břehu odbočuje do mlýnského náhonu. Za Kroužkem se koryto obkružuje těsně u paty skalnatého svahu na pravé straně vodního koryta až k Harasovskému rybníku.

Za touto rekreační oblastí se tok stáčí zpátky k severu k obci Mlčení, kde stával mlýn. S tím souvisí problémový mlýnský náhon, který podmáčí místní

komunikaci, ke které těsně přiléhá z levé strany. V této oblasti Pšovka teče hluboce zaříznutým, úzkým údolím mezi strmými skalami.

Nad Kokořínským dolem potok pokračuje skrz starou tůň Kačírek. Za tůň se pod hradem Kokořín na pravém břehu nachází staré koupaliště, které už není v provozu, protože nevyhovuje napouštěcí zařízení. Nad koupalištěm Pšovka podchází silnici a navazuje na tok na ose údolí mírně k západní straně. Nad hradem Kokořín se prudce ohýbá severovýchodním směrem. V místě ohybu leží starý rybník zvaný Špačkova tůň.

Nad tímto místem Pšovka teče meandrovitě ve skalním dně a částečně i koryty starých mlýnských náhonů. Potok se obrací východním směrem do otevřenějšího údolí.

Pod Vojtěchovem je malý průtočný rybník napájený náhonem z levého břehu. Na konci obce Vojtěchov je o dost větší rybník Stříbrník, který má nedostatečné vypouštěcí zařízení.

O něco dál Pšovka opět protéká loukami v korytě o malé kapacitě a podélném spádu, proto se zde tok mění ve velkou bažinu.

V osadě Ráj se tok velmi prudce obrací k severu.

Obecně se dá tvrdit, že koryto Pšovky je nepravidelného tvaru, který odpovídá geologické stavbě území, kterým protéká. Koryto je zanesené, místy zarostlé a výrazně meandruje. Má nedostatečnou průtočnou kapacitu a na některých místech voda téměř stojí z důvodů téměř chybějícího podélného sklonu. Pozemky v okolí takových oblastí jsou proto podmáčené a tím pádem znehodnocené. Na toku je několik míst, kde se velmi prudce mění směr toku.

7. VÝSLEDKY

7.1 ZPRACOVÁNÍ POVODÍ PŠOVKY

7.1.1 IDENTIFIKACE POVODÍ

Hydrologické číslo povodí Pšovky je 1-12-03-016.

Uzávěrový profil se nachází v souřadnicích -735 889; -1 013 212 v souřadnicovém systému S-JTSK.

7.1.2 GEOMETRICKÉ CHARAKTERISTIKY POVODÍ

Všechny vypsané plošné a délkové údaje byly zjištěny pomocí aplikace ArcMap, proto se mohou lišit od oficiálních údajů o povodí, které má ČHMÚ.

Plocha povodí $F = 157,45 \text{ km}^2$

Plocha pravé strany $F_p = 59,23 \text{ km}^2$

Plocha levé strany $F_L = 98,22 \text{ km}^2$

Součinitel asymetrie $a = \frac{98,22-59,23}{157,45} = 0,25$ dle vzorce č. 1

Délka toku $L = 34,39 \text{ km}$

Délka údolnice $L_u = 35,11 \text{ km}$

Délka rozvodnice $O = 84,24 \text{ km}$

Uspořádání říční sítě je stromkovité a nesymetrické.

Hustota říční sítě $h_{rs} = \frac{57,15}{157,45} = 0,36$ dle vzorce č. 2

Střední šířka povodí $B = \frac{157,45}{35,11} = 4,48$ dle vzorce č. 3

Součinitel tvaru povodí $\alpha = \frac{4,48}{35,11} = 0,13$ (protáhlý tvar povodí) dle vzorce č. 4

7.1.3 OROGRAFICKÉ POMĚRY POVODÍ

Výškové údaje zjištěné z rastru digitálního modelu terénu pomocí aplikace ArcMap:

- Maximální nadmořská výška povodí498,8 m n.m.
- Minimální nadmořská výška povodí156,6 m n.m.
- Průměrná nadmořská výška povodí277,0 m n.m.
- Maximální nadmořská výška údolnice332,8 m n.m.
- Maximální nadmořská výška hlavního toku305,9 m n.m.
- Minimální nadmořská výška údolnice157,1 m n.m.

Sklonitostní poměry byly určeny podobným způsobem z rastru sklonitosti terénu.

Pro celé území povodí (**F**):

- Maximální sklon na povodí54,84 %
- Minimální sklon na povodí0,00 %
- Průměrný sklon na povodí9,7 %

Pro pravou část povodí (**F_P**):

- Maximální sklon na povodí50,76 %
- Minimální sklon na povodí0,01 %
- Průměrný sklon na povodí9,87 %

Pro levou část povodí (**F_L**):

- Maximální sklon na povodí54,84 %
- Minimální sklon na povodí0,00 %
- Průměrný sklon na povodí9,61 %

Průměrný sklon údolnice $I = \frac{0,3328-0,1571}{35,11} \cdot 100 = 0,5 \%$ dle vzorce č. 5

Střední sklon svahů $I_{SV} = \frac{0,4988-0,15663}{\sqrt{157,45}} \cdot 100 = 2,7 \%$ dle vzorce č. 6

Absolutní spád $\Delta H = 498,8 - 156,63 = 342,17 \text{ m}$ dle vzorce č. 7

7.1.4 VEGETAČNÍ POKRÝVKA

Součinitel lesnatosti $z = \frac{57,75}{157,45} \cdot 100 = 36,61 \%$ dle vzorce č. 9

7.1.5 VODNÍ NÁDRŽE

Součinitel jezernatosti $K = \frac{0,3}{157,45} \cdot 100 = 0,1 \%$ dle vzorce č. 10

7.1.6 BAŽINY

Součinitel bažinatosti $b = \frac{0,5}{157,45} \cdot 100 = 0,3 \%$ dle vzorce č. 11

7.2 VÝPOČET PRŮTOKU Q_{100}

7.2.1 HEC-HMS

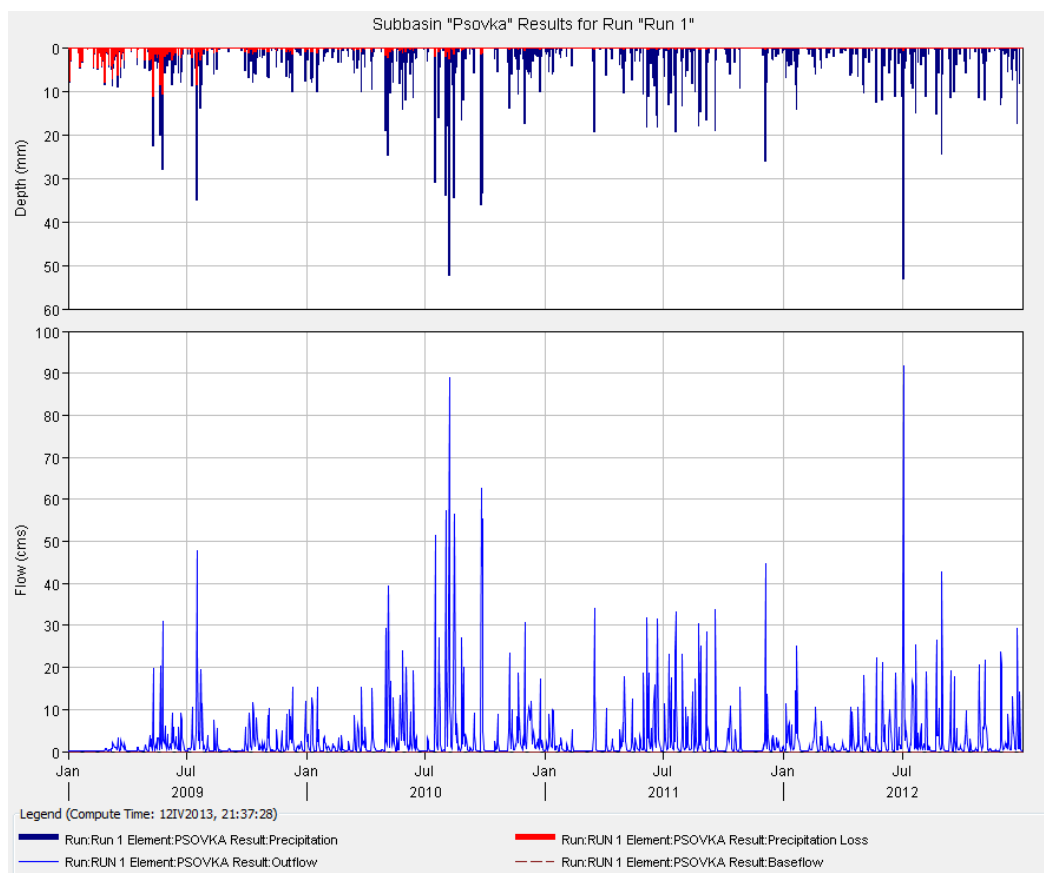
Průběh průtoků na Pšovce založený na srážkoměrných datech z let 2009 - 2012 (1-denní měření) z manuální srážkoměrné stanice Střemy v matematickém modelu HEC-HMS.

Další vstupní data modelu HEC-HMS:

- Plocha povodí celkem.....157,45 km²
- Výsledné číslo odtokové křivky CN.....49,28
- Procento nepropustných ploch (zastavěné plochy).....5,4 %
- Délka toku.....3439 m
- Délka údolnice.....3511 m
- Průměrný sklon hlavního vodního toku.....0,4 %
- Manningův součinitel drsnosti v korytě.....0,05
- Šířka dna v korytě.....3 m
- Sklon svahů.....1:2
- Průměrný sklon na povodí.....9,7 %
- Drsnostní součinitel povrchu povodí.....0,25

Horní část grafu znázorňuje průběh srážek. Tmavě modrá barva znamená efektivní dešť.

Dolní část grafu zobrazuje průběh průtoků na vodním toku Pšovka. Hodnoty průtoků jsou v [m³.s⁻¹].



Obr. č. 1: Průběh průtoků Pšovky v HEC-HMS

7.2.2 EMPIRICKÉ VZORCE

Regionální vzorec:

$$Q_N = 4,4 \cdot 157,45^{1-0,38} = 101,32 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \text{ dle vzorce č. 18}$$

$$q_N = \frac{101,32}{157,45} = 0,64 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2} \text{ dle vzorce č. 19}$$

Vzorec Čerkašina:

$$Q_{100} = \frac{24,7 \cdot 0,2 \cdot 1,4^{2/3} \cdot 157,45}{1,55 \cdot 35,11^{2/3}} = 58,57 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \text{ dle vzorce č. 20}$$

7.2.3 VÝPOČTY ČHMÚ

$$Q_1 = 7,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$Q_2 = 9,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$Q_5 = 12,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$Q_{10} = 14,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$Q_{20} = 17,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$Q_{50} = 21,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$Q_{100} = 25,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

8. DISKUZE

8.1 HEC-HMS

Jediný matematický model, který připadal v případě povodí Pšovky v úvahu, byl HEC-HMS. Je schopný pracovat i s velkými povodími nad 50 km² a simulace hydrogramu lze provést pouze na základě srážkoměrných dat. Bohužel je to také důvod, proč jsou v tomto případě výstupy HEC-HMS tak nepřesné a nemají valnou vypovídající hodnotu. Neexistuje zde měrný profil, který by poskytoval data o průběhu průtoků, proto není možné průtoky vypočítané modelem HEC-HMS zkaližovat a získat tak reálnější hodnoty. Dále by bylo výhodnější povodí rozdělit na menší dílčí části a simulovat průtoky pro každou část zvlášť.

8.2 EMPIRICKÉ VZORCE

Pro regionální vzorec byly zvoleny parametry odpovídající povodí Labe nad Vltavou i přes skutečnost, že se ústí Pšovky do Labe se nachází nepatrně dál. Vhodnější parametry nebyly k dispozici. Hodnota vypočteného průtoku $Q_{100} = 101,32 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ je třináásobně vyšší než hodnota poskytnutá ČHMÚ.

Čerkašinovým vzorcem bylo dosaženo o něco lepšího výsledku $Q_{100} = 58,57 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Rozdíl oproti ČHMÚ je i tak stále obrovský.

Výsledky empirických vzorců jsou dalším důkazem o atypických podmínkách na povodí. Tyto zjednodušené metody získání maximálního průtoku jsou v tomto případě naprosto nevhodné a ani trochu nekorespondují s hodnotami ČHMÚ.

9. ZÁVĚR

Povodí Pšovky je výjimečně ekologicky cenné území. Oblast středního toku má velmi výrazně tvarovaný reliéf díky hluboko zaříznutým skalistým údolím. Ačkoliv už se zde nenachází moc míst, která zůstala člověkem nedotknuta, vodní tok zůstává stále značně přírodě blízký. Pouze v nejvyšším úseku má vodní tok charakter bystřiny. V nižších částech je voda klidná, průtoky jsou velmi nízké a podélný sklon dna je naprosto minimální. Někdy se skoro zdá, že voda stojí na místě. Proto se na Pšovce nachází mnoho trvale zamokřených území a mokřadů. V době, kdy na toku fungovalo spousty mlýnů tomu tak nebylo. Mlynáři se o koryto starali ve vlastním zájmu.

Již zhruba přes 30 let na Pšovce neproběhly žádné výrazné změny, které by se týkaly úpravy koryta nebo vodohospodářských staveb. Pouze krátký, 3,5 km dlouhý, úsek na samém konci vodního toku v Mělníce byl zasažen technickými úpravami a bažinaté oblasti v místech původního koryta zde zcela zanikly. Koryto v Mělnickém intravilánu je zdrojem problémů, pokud přijde velká voda po Labi. Vyústění do Labe bylo při záplavách slabým místem, kterým se voda vracela proti směru toku Pšovky. Z tohoto důvodu byla na Pšovce v rámci protipovodňové ochrany Mělníka vybudována uzavíratelná vrata, která navazují na dlouhou hráz. Hráz má město před povodněmi ochránit.

Zjistit maximální N-leté průtoky pomocí matematických modelů je zde veliký problém. Chybí dostatek podkladů, povodí zabírá velkou plochu a není možnost kalibrace. Obecně lze tvrdit, že jsou zde průtoky velice nízké a není potřeba stavět další protipovodňová opatření. Tím lze také vysvětlit absenci jakéhokoliv měrného profilu na vodním toku - není nutný. Pokud zde nějaká měření probíhají, tak nejsou kontinuální a slouží pouze pro vnitřní potřebu Středočeským vodárnám.

Popis úprav a objektů na toku byl v rámci možností upraven či doplněn o informace zjištěné terénním průzkumem.

10. PŘEHLED LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ

FELDMAN A. D. [ed.], 2000: *Hydrologic Modeling System HEC-HMS: Technical Reference Manual*. US Army Corps of Engineers, Davis (USA), 145 s., online: [http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/HEC-HMS_Technical%20Reference%20Manual_\(CPD-74B\).pdf](http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/HEC-HMS_Technical%20Reference%20Manual_(CPD-74B).pdf), staženo: 5.3.2013.

AQUALOGIC, 2013. Online: <http://www.aqualogic.cz/>, cit. 8.4.2013.

BROŽA, V., 2000: *Hydrotechnické stavby 10*. České vysoké učení technické, Praha, 170 s. ISBN 80-010-1581-5.

BROŽA, V. a SATRAPA, L., 2000: *Hydrotechnické stavby 10: Přehrady*. České vysoké učení technické, Praha, 128 s. ISBN 80-010-2209-9.

BROŽA, V., KAZDA, I., a PATERA, A., 1985: *Vodohospodářské stavby*. České vysoké učení technické, Praha, 215 s.

BROŽA, V., ČIHÁK F. a SATRAPA, L., 1998: *Hydrotechnické stavby*. Český svaz stavebních inženýrů, Praha, 196 s. ISBN 80-902460-5-2.

CENIA, 2013. Česká informační agentura životního prostředí, online: <http://www1.cenia.cz/www/>, cit. 2.4.2013.

ČGS, 2013: *Půdní mapa*. Česká geologická služba, online: <http://www.geology.cz/>, cit. 2.4.2013.

ČHMÚ, 2006: *Vyhodnocení jarní povodně 2006 na území České Republiky*. Český hydrometeorologický ústav, Praha, online: <http://voda.chmi.cz/pov06/obsah.html>, cit. 3.4.2013.

BERAN, L., BÍMOVÁ, K., ČEJKOVÁ, M., NOVÁ, B., POŘÍZEK, L., ŘEZÁČ, M., ŠESTÁKOVÁ, E. a ŠNAJDR, M., 1998: *Plán péče o chráněnou krajinnou oblast Kokořínsko na období 1999 - 2008*. Správa CHKO Kokořínsko, Mělník, 108 s., online: old.ochranaprirody.cz/kokorinsko/index.php?cmd=page&id=473, staženo: 5.3.2013.

FIALA, J., KAURA, J. a SÁDLO, J., 1980: *Stavby vodní a meliorační pro 4. ročník středních průmyslových škol stavebních*. Nakladatelství technické literatury, Praha, 312 s.

FLEMING, M.J., 2010: *Hydrologic Modeling System HEC-HMS: Quick Start Guide*. US Army Corps of Engineers, Davis (USA), 50 s., online: http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/HEC-HMS_QuickStart_Guide_3.5.pdf, staženo: 5.3.2013.

- HEC-HMS, 2013. Online: <http://www.hec.usace.army.mil/>, cit. 5.3.2013.
- HEJDUK, T., 2010: *Hydraulické a hydrologické modelování: Matematické modelování v povodí Litavky v rámci integrovaného systému vod, literární rešerše k disertační práci*. Česká zemědělská univerzita, Praha, 34 s., nepublikováno, dep.: Česká zemědělská univerzita, Fakulta životního prostředí, Praha.
- HRÁDEK, F. a KUŘÍK P., 2008: *Hydrologie*. Česká zemědělská univerzita, Praha, 280 s. ISBN 978-80-213-1744-4.
- HUBAČÍKOVÁ, V., 2002: *Hydrologie*. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno, 43 s. ISBN 978-80-7157-638-9.
- HYDROPROJEKT, 1979: *Úprava Pšovky v úseku Mělník - Vojtěchov: Průvodní zpráva*. Povodí Ohře Chomutov, Praha, nepublikováno, dep.: Městský úřad Mělník.
- JAKUBÍNSKÝ, J., 2009: *Vliv změn odtokových poměrů v povodí Pšovky na krajinný ráz CHKO Kokořínsko, bakalářská práce*. Masarykova univerzita, Brno, 59 s. + 3 příl., nepublikováno, dep.: Masarykova univerzita, Brno, online: http://is.muni.cz/th/191605/prif_b/bakalarska_prace.pdf, staženo: 5.3.2013.
- JUST, T., MATOUŠEK, V., DUŠEK, M., FISCHER, D. a KARLÍK, P., 2005: *Vodohospodářské revitalizace a jejich uplatnění v ochraně před povodněmi*. Český svaz ochránců přírody, Praha, 359 s. ISBN 80-239-6351-1.
- KEMEL, M. a KOLÁŘ, V., 1980: *Hydrologie*. České vysoké učení technické, Praha, 292 s. + 9 příl.
- KOVÁŘ, P. a KŘOVÁK, F., 2002: *Hrazení bystřin*. Česká zemědělská univerzita, Praha, 31 s. + 7 příl. ISBN 80-213-0888-5.
- KENDER, J. [ed.], 2000: *Teoretické a praktické aspekty ekologie krajiny*. Ministerstvo životního prostředí, Praha, 220 s. ISBN 80-721-2148-0.
- MÁCA, P., 2010: *Jednotkový hydrogram*. Česká zemědělská univerzita ve Výzkumném ústavu vodohospodářském T.G.Masaryka, Praha, 104 s. ISBN 978-80-87402-05-4.
- MILERSKI, R., MIČÍN, J. a VESELÝ, J., 2005: *Vodohospodářské stavby*. Akademické nakladatelství CERM, Brno, 164 s. ISBN 80-214-2896-1.
- NĚMEC, J. a HLADNÝ, J. [eds.], 2006: *Voda v České republice*. Consult pro Ministerstvo zemědělství, Praha, 253 s. ISBN 80-903-4821-1.

- KOVÁŘ, P. a VAŠŠOVÁ, D., 2011: *Model KINFIL: Manuál*. Česká zemědělská univerzita, Praha, 15 s., online:
http://fzp.czu.cz/vyzkum/programs/kinfil/manual_kinfil.pdf, staženo: 3.4.2013.
- POKORNÁ, D. a ZÁBRANSKÁ J., 2008: *Hydrologie a hydropedologie*. Vysoká škola chemicko-technologická, Praha, 218 s. ISBN 978-80-7080-707-1.
- PREISLER J., 1946: *Projekt regulace potoka Pšovky ve Velkém Borku: Průvodní zpráva*. Hranice, nepublikováno, dep.: Městský úřad Mělník.
- SCHARFFENBERG, W.A. a FLEMING M. J., 2010: *Hydrologic Modeling System HEC-HMS: User's Manual*. US Army Corps of Engineers, Davis (USA), 316 s., online: http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/HEC-HMS_Users_Manual_3.5.pdf, staženo: 5.3.2013.
- ŠULC, F., 2008: *Putování s říčkou Pšovkou Kokořínskem*. Okrašlovací spolek Kokořínska Pšovka, Blatce, 32 s.
- THOŘ, Z., 1981: *Vodohospodářské stavby*. SNTL - Nakladatelství technické literatury, Praha, 112 s.
- ZEMĚDĚLSKÝ PROJEKTOVÝ ÚSTAV PRAHA, 1968: *Úprava Pšovky v Mělníku*. Zemědělský projektový ústav Praha, Liberec, nepublikováno, dep.: Povodí Ohře s.p. pobočka Terezín.

11. SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1: Povodí Pšovky

Příloha č. 2: Povodí Pšovky - Land use

Příloha č. 3: Povodí Pšovky - Rastr DTM (Výškové poměry)

Příloha č. 4: Povodí Pšovky - Digitální model terénu

Příloha č. 5: Povodí Pšovky - Sklonitostní poměry

Příloha č. 6: Tabulka průměrných čísel odtokových křivek CN pro zemědělské pozemky pro PVP II

Příloha č. 7: Povodí Pšovky - Průběhy průtoků za 48 hodin při rovnoměrném rozložení maximálních N-letých srážek (1-denních) na 6, 12, 18 a 24 hodin z manuální srážkoměrné stanice Střemy

Příloha č. 8: Povodí Pšovky - Fotodokumentace