

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ A ENVIRONMENTÁLNÍHO MODELOVÁNÍ

OBOR KRAJINÁŘSTVÍ

# HYDROLOGICKÁ STUDIE POVODÍ VODNÍHO TOKU ČERNÁ DESNÁ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



VYPRACOVAL: Petr MATOUŠEK

VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. Radek ROUB, Ph.D.

PRAHA 2013

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra vodního hospodářství a environmentálního  
modelování

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Matoušek Petr

Krajinářství

Název práce

**Hydrologická studie povodí vodního toku Černá Desná**

Anglický název

**Hydrological study of Černá Desná river basin**

---

### Cíle práce

1. Charakteristika povodí inventarizace vodohospodářských staveb
2. Odvození hydrologických charakteristik povodí
3. Sestavení digitálního modelu terénu (DMT)
4. Stanovení maximálního odtoku z povodí

### Metodika

1. Získání informací a naměřených dat z konkrétních srážkoměrných a monitorovacích stanic vybraného povodí u příslušných společností a úřadů
2. Terénní průzkum vybraného povodí a provedení fotodokumentace vodohospodářských staveb
3. Sestavení DMT
4. Charakteristika povodí, vodního toku a objektů na něm
5. Odvození základních hydrologických charakteristik povodí
6. Výpočet maximálního odtoku z povodí a porovnání s údaji z ČHMÚ
7. Diskuse a závěr

### Harmonogram zpracování

Červen 2012 - Zadání práce

Duben 2013 - Odevzdání práce

## Rozsah textové části

cca 30 stran

## Klíčová slova

hydrologická studie, vodní tok, Kamenice, Jizerské hory, hydrologická bilance, protipovodňová opatření, retenční, vodohospodářské stavby, povodí, DMT, úpravy vodního toku

## Doporučené zdroje informací

Hrádek F., Kuřík P., 2008: Hydrologie. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 230 s., ISBN 978-80-213-1744-4

Povodí Labe, státní podnik, Víta Nejedlého 951 Hradec Králové

Hrádek F., Kuřík P., 2001: Maximální odtok z povodí - Teorie svahového odtoku a hydrologický model Des Q - MAX Q. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 44 s., ISBN 80-213-0782-X

Dub O., Němec J., 1969: Hydrologie. SNTL, Praha, 378 s.

Kravka M., 2009: Základy lesnické a krajinařské hydrologie a hydrauliky. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno, 113 s., ISBN 978-80-7375-338-2

## Vedoucí práce

Roub Radek, Ing., Ph.D.

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

Vedoucí katedry



**prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.**

Děkan fakulty

V Praze dne 12.9.2012

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svoji bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Radka Rouba, Ph.D. a že jsem všechny literární zdroje a prameny, ze které jsem čerpal, uvedl v závěru práce.

V Praze dne 8. 4. 2013

.....

### **Poděkování**

Chtěl bych touto formou poděkovat především vedoucímu mé práce Ing. Radku Roubovi, Ph.D. za jeho velkou ochotu, vstřícnost a rady při konzultacích.

Dále bych chtěl poděkovat příslušným institucím za poskytnutí dat. Janě Karlíkové ze státního podniku Povodí Labe, paní Ing. Janě Pobříslové z ČHMÚ, Růženě Chaloupecké z ČÚZK a panu Ing. Martinu Vernerovi z vodoprávního úřadu Městského Úřadu v Tanvaldě.

## Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá popisem hydrologických charakteristik povodí a jejich vlivem na odtokový proces. Ten se dá dále zkoumat pomocí empirických vzorců, odtokových CN křivek či hydrologických matematických modelů. Druhá část práce popisuje a odvozuje hydrologické charakteristiky na povodí vodního toku Černá Desná. Za účelem odvození sklonových poměrů práce zahrnuje i digitální model terénu. Na základě popsanych hydrologických charakteristik jsou dále pomocí matematického modelu DesQ - MaxQ odvozeny maximální N-leté průtoky. N-leté průtoky jsou vypočítány i pomocí empirických vzorců. Výsledky jsou porovnány s údaji z Českého hydrometeorologického ústavu. Součástí práce je i inventarizace vodohospodářských staveb a vytvoření fotodokumentace a podélného profilu zmíněného povodí.

## Klíčová slova

Černá Desná, odtokový proces, hydrologické charakteristiky, matematické modelování, DesQ – MaxQ, digitální model terénu, vodohospodářské stavby, malé vodní elektrárny

## Abstract

This thesis deals with the description of the hydrological characteristics of the basin and their influence on the runoff process. Runoff process we can examine by empirical formulas, runoff CN curves, or hydrological mathematical models. Second part of thesis describes and derives a hydrological characteristics of the Černá Desná river basin. Work includes a digital terrain model to detect vertical alignments. Based on hydrological characteristics are derived N-year maximum flow rates with a mathematical model DesQ – MaxQ. N-year flows are also calculated by empirical formulas. The results are compared with data from the ČHMÚ. The work also includes inventory of water structures, photographic documentation and the longitudinal profile of Černá Desná River.

## Keywords

Černá Desná, drainage process, hydrological characteristics, mathematical modeling, DesQ – MaxQ, digital terrain model, water structures, small hydro

# Obsah

<b>1. Úvod .....</b>	<b>9</b>
<b>2. Cíle práce .....</b>	<b>9</b>
<b>3. Literární rešerše .....</b>	<b>10</b>
3.1 Charakteristiky povodí.....	10
3.1.1 Geometrické charakteristiky povodí .....	10
3.1.2 Orografické charakteristiky povodí .....	12
3.1.3 Půdně - geologické poměry .....	13
3.1.4 Klimatické poměry .....	15
3.1.5 Vegetační poměry .....	15
3.2 Antropogenní činnost.....	16
3.2.1 Vliv člověka na hydrologické poměry .....	16
3.2.2 Chápání vodního toku.....	17
3.3 Stanovení průtoků nepřímými metodami .....	17
3.3.1 Způsoby stanovení odtoku z povodí empirickými vzorci .....	18
3.3.2 Metoda čísel odtokových křivek (CN) .....	22
3.3.3 Matematické modely používané v hydrologii.....	23
<b>4. Metodika .....</b>	<b>26</b>
<b>5. Zpracování zájmové lokality .....</b>	<b>27</b>
5.1 Vymezení zájmové lokality .....	27
5.1.1 Poloha povodí .....	27
5.1.2 Expozice .....	27
5.1.3 Číslo hydrologického pořadí.....	27
5.1.4 Řád vodního toku .....	28
5.2 Geometrické charakteristiky povodí .....	29
5.3 Orografické charakteristiky povodí .....	29
5.4 Půdně - geologické poměry .....	32

5.4.1 Geologické poměry.....	32
5.4.2 Pedologické poměry .....	32
5.5 Klimatické poměry.....	32
5.6 Biologické poměry.....	32
5.6.1 Krajinný pokryv.....	32
5.6.2 Antropogenní činnost .....	34
<b>6. Inventarizace vodohospodářských staveb .....</b>	<b>34</b>
6.1 Psaný podélný profil.....	35
6.2 Malé vodní elektrárny .....	39
6.2.1 Malá vodní elektrárna Desná - Helštejn II.....	39
6.2.2 Malá vodní elektrárna Desná III .....	41
6.3 Vodní nádrž Souš.....	42
6.3.1 Historie a důvody výstavby .....	42
6.3.2 Účel vodního díla.....	43
6.3.3 Technické parametry .....	43
<b>7. Výpočet maximálního odtoku z povodí.....</b>	<b>45</b>
7.1 Výpočet pomocí empirických vzorců.....	45
7.2 Výpočet pomocí modelu DesQ - MaxQ .....	46
<b>8. Diskuze a závěr .....</b>	<b>48</b>
<b>9. Použité zdroje a literatura.....</b>	<b>51</b>
<b>10. Příloha .....</b>	<b>54</b>



# 1. Úvod

Změny v krajině a s nimi spojené povodně z přelomu 20. a 21. století potvrdily, jak důležité je znát přírodní pochody a naučit se je zohledňovat ve všech disciplínách, které by jimi mohly být dotčeny. Tato hydrologická studie se snaží shrnout základní hydrologické charakteristiky povodí a využít je k popsání hydrologického režimu na povodí vodního toku Černá Desná v Jizerských horách. Znalost hydrologického režimu konkrétního povodí může být podkladem ke zpětné reflexi antropogenních činností v krajině, zkoumání jejich změn a případnému navržení dalšího vývoje krajiny v případě, že je hydrologický režim pro společnost nepříznivý. To může být dosaženo dvěma způsoby. Jednak je důležité mít na paměti, že některé zásahy v krajině mohou zrychlit odtokový proces, a snažit se tyto zásahy provádět co nejšetrněji, dále je důležité s povodňovými riziky počítat a zohledňovat je při návrzích staveb či protipovodňových opatřeních. Základním hydrologickým podkladem, ze kterého se vychází při návrhu opatření proti záplavám a vodní erozi, jsou návrhové N-leté průtoky. Tyto průtoky se zpracovávají na základě statistických metod při dlouhodobém pozorování průtoků ve vodoměrných profilech. Na malých povodích však zpravidla tyto dlouhodobé údaje chybí, a proto je zapotřebí odvodit N-leté průtoky pomocí nepřímých metod. I těmito metodami se ve své práci zabývám.

## 2. Cíle práce

Cílem této hydrologické studie je odvodit geometrické a orografické hydrologické charakteristiky povodí vodního toku Černá Desná. Popsat, co ovlivňuje odtokový proces, sestavit digitální model terénu pro vyšetření sklonových poměrů a využít výsledky k odvození maximálních N-letých průtoků pomocí matematických modelů používaných v hydrologii a empirických vzorců. Cílem práce je také provést inventarizaci vodohospodářských staveb. Na základě terénního průzkumu zhotovit fotodokumentaci a vytvořit psaný a grafický podélný profil.

## 3. Literární rešerše

### 3.1 Charakteristiky povodí

#### 3.1.1 Geometrické charakteristiky povodí

Abychom mohli popisovat jednotlivé hydrologické charakteristiky, musíme nejprve vymežit území, ke kterému se budou tyto charakteristiky vztahovat. V hydrologických studiích se pracuje se základními oblastmi, v rámci nichž se zjišťuje vzájemný vztah bilančních prvků (Hubačiková 2002). Tyto oblasti se nazývají povodí a jsou charakteristické svojí uzavřeností. Povodí je tedy oblast, z které odtéká veškerá srážková voda do jednoho uzávěrového profilu (pokud se nevypaří) a do které nepřitéká žádná jiná voda po povrchu ani pod povrchem (Dub, Němec a kol. 1969). Povodí je ohraničeno hranicí, které říkáme rozvodnice. Spadne-li voda vně této rozvodnice, odtéká do jiného uzávěrového profilu a povrch tedy přísluší sousednímu povodí. Rozvodnice musí logicky vést po hřebenech a nejvyšších místech a lze ji snadno určit z vrstevnic na mapě. Takto určujeme rozvodnici orografickou, která vymezuje povodí pro povrchovou vodu. Příslušnost podpovrchových vod k jednotlivým povodím však nemusí souhlasit s takto určenou rozvodnicí vlivem geologického složení a kombinací propustných a nepropustných vrstev. Z tohoto důvodu se určuje rozvodnice hydrogeologická (Kemel, Kolář 1980). Dalším pojmem využívaným při určování charakteristik povodí je údolnice, případně její délka. Údolnice probíhá od uzávěrového profilu osou toku až k jeho prameni a dále kolmo k tečnám vrstevnic do sedla, kde končí na rozvodnici.

#### **Plocha povodí**

Plocha povodí je určena rozvodnicí, které vychází z uzávěrového profilu a zase v něm končí. Je definována jako plocha půdorysu povodí a udává se v km<sup>2</sup> (Hubačiková 2002).

#### **Tvar povodí**

Tvar povodí ovlivňuje dobu, za kterou se dostane voda z celé plochy povodí do uzávěrového profilu (Hrádek, Kuřík 2008). Tvar povodí a především pak uspořádání říční sítě má značný vliv na skládání povodňových vln a na tvorbu povodňových průtoků. Jak uvádí Kemel, Kolář (1980), povodí mají nejčastěji

tvar symetrického či nesymetrického listu, jehož délka bývá zpravidla dvakrát až čtyřikrát větší, než šířka.

Číselně se dá tvar povodí vyjádřit pomocí **součinitele asymetrie**, který lze podle Hrádka, Kuřika (2008) získat z následujícího vztahu:

$$a = \frac{F_l - F_p}{F} \quad (1)$$

$F_l$  plocha povodí vlevo od údolnice [ $m^2$ ]

$F_p$  plocha povodí vpravo od údolnice [ $m^2$ ]

$F$  celková plocha povodí [ $m^2$ ]

Druhým způsobem, jak lze vyjádřit tvar povodí, je vypočítat **součinitel tvaru povodí**, který vyjadřuje poměr plochy povodí a druhé mocniny délky údolnice (Hrádek, Kuřik 2008):

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

$F$  plocha povodí [ $m^2$ ]

$L_u$  délka údolnice [m]

Takto lze koeficient počítat, pakliže chceme koeficientem vyjádřit podobnost tvaru povodí k obdélníku. Tvar povodí však můžeme idealizovat i na jiné geometrické útvary. Kemeř, Kolář (1980) například uvádí, jak lze idealizovat tvar povodí na tvar kruhu. Součinitel tvaru povodí lze vyjádřit poměrem délky obvodu kruhu o stejné ploše, jako je plocha povodí, k délce rozvodnice povodí, nebo naopak poměrem plochy povodí k ploše kruhu o stejné délce obvodu jako je délka rozvodnice. Čím více se tedy tvar povodí blíží tvaru kruhu, tím více se získaný koeficient blíží hodnotě jedna.

### **Průměrná délka svahů**

Je další veličinou charakterizující tvar povodí. Vychází z idealizace na obdélník. Hubačíková (2002) uvádí následující vztah pro výpočet **střední šířky povodí**:

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

$F$  plocha povodí [ $m^2$ ]

$L_u$  délka údolnice [m]

Průměrná délka svahů je pak poloviční velikostí střední šířky povodí:

$$L_{sv} = \frac{F}{2 \cdot L_u} \quad (4)$$

### Hustota říční sítě

Podle míry hustoty říční sítě se dá usuzovat na spádové poměry na povodí, ale také na vegetační poměry a na propustnost půdních vrstev (Kemel, Kolář 1980).

$$r = \frac{\sum l}{F} \quad (5)$$

$\sum l$  celková délka toků na povodí [m]

$F$  plocha povodí [m<sup>2</sup>]

## 3.1.2 Orografické charakteristiky povodí

### Průměrná nadmořská výška povodí

Průměrnou nadmořskou výšku povodí lze určit z hypsografické křivky (Hubáčková 2002). Tuto křivku sestojíme z vrstevnicové mapy tak, že na svislou osu vynášíme nadmořské výšky a na vodorovnou osu jim odpovídající plochy. Průměrnou nadmořskou výšku pak určíme sestrojením obdélníka, jehož plocha se rovná ploše vymezené osami a hypsografickou křivkou. Pakliže odpovídá základna  $x$  celkové ploše povodí, jeho výška  $y$  určuje námi hledanou veličinu (Hrádek, Kuřík 2002). Tuto metodu však v současnosti nahradil výpočet v GIS, kdy lze průměrnou nadmořskou výšku zjistit z digitálního terénního modelu (DTM).

### Průměrný sklon svahů

Průměrný sklon svahů lze stanovit více způsoby. V současnosti nejběžnějším a nejrychlejším způsobem je převedení výškopisné informace vrstevnic do DTM, kdy každý pixel rastru kóduje hodnotu sklonu terénu. Pro hlubší vysvětlení přidávám ještě další dva způsoby. Jak uvádí Hubáčková (2002) průměrný sklon svahů lze určit ze zjednodušeného vzorce:

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

$H_{\max}$  maximální nadmořská výška v povodí [m]

$H_{\min}$  minimální nadmořská výška v povodí [m]

F plocha povodí [m<sup>2</sup>]

Hrádek, Kuřík (2008) dále uvádějí vztah podle Herbsta:

$$I_{sv} = \frac{\Delta h \cdot \sum l_{si}}{F} \cdot 100 \quad (7)$$

$\Delta h$  zvolený výškový interval mezi vrstevnicemi [m]

$L_{si}$  průměrná délka vrstevnic v i-tém intervalu [m]

F plocha povodí [m<sup>2</sup>]

Je důležité zvolit vhodný interval vrstevnic, aby nedocházelo ke zkreslení topografie terénu.

### **Průměrný sklon údolnice**

Je další jednoduchou charakteristikou, významnou především pro malá a velmi malá povodí (Hrádek, Kuřík 2008):

$$I_u = \frac{H_{\max,u} - H_{\min,u}}{L_u} \cdot 100 \quad (8)$$

$H_{\max,u}$  maximální nadmořská výška údolnice [m]

$H_{\min,u}$  minimální nadmořská výška údolnice [m]

$L_u$  délka údolnice [m]

### **3.1.3 Půdně - geologické poměry**

Půdní a geologické poměry mají veliký vliv na hydrologický režim povodí tím, že rozdělují odtok na odtok povrchový a podpovrchový. Pakliže se v povodí vyskytují nepropustné horninové a vrchní půdní vrstvy, povodí je velice chudé na podzemní vody a vyskytují se zde extrémní povodňové průtoky. Jestliže je však na území povodí větší výskyt podzemních vod, vodní režim je zde vyrovnaný (Kemel, Kolář 1980).

#### **Vliv hornin**

Z hlediska hydrogeologického se horniny rozlišují podle jejich propustnosti. Propustnost hornin může být trojího typu. Porézni horniny mají propustnost průlinovou, u pevných skalních či poloskalních hornin nacházíme puklinovou propustnost a u hornin rozpustných ve vodě propustnost krasovou (Tourková 2004). Mezi dobře propustné horniny patří kvarterní fluvialní sedimenty,

kterými jsou aluviální, diluviální a preluviální náplavy (Dub, Němec a kol. 1969). Tyto náplavy mají schopnost díky svému velikému objemu pojmout velké množství vody a vodní toky tak v průběhu období chudého na srážky nevysychají, voda je do nich předávána postupně (Kemel, Kolář 1980). Mezi další dobře propustné horniny patří rozrušené a zkrasovatělé karbonické horniny (vápence, dolomity), dále eolické sedimenty a obecně všechny rozrušené horniny. Mezistupněm jsou polopropustné horniny – hlinité písky, spraš, rašelina, pískovce a slepence. Špatně propustné horniny jsou naopak ty, které nejsou nijak rozrušené. Mohou to být porfyry, žuly, diabasy, syenity, krystalické břidlice, znělice, čediče, jíly slíny a jílovité břidlice (Dub, Němec a kol. 1969, Tourková 2004). Míru pronikání vody do hornin ovlivňuje také směr, pod kterým jsou horninové vrstvy uloženy (Dub, Němec a kol. 1969).

### **Vliv půdy**

Půda rozhoduje o velikosti infiltrace a tím o velikosti a rozložení odtoku. Půdní poměry jsou ovlivňovány matečními horninami, jejich druhem a mírou zvětrávání (Kemel, Kolář 1980). Obecně lze říci, že se voda vsakuje lépe do půd s drobtovitou strukturou. Na nestrukturních půdách se totiž vytváří nepropustný škraloup a voda se tak nemůže vsakovat (Kutílek a kol. 2000). Podobný efekt můžeme zaznamenat v případě, je-li půdní vrstva nasycená vodou a zároveň zmrzlá. Vytváří se tak opět nepropustná vrstva vyvolávající značný povrchový odtok. Spolu s kombinací deště a tání sněhu to může zapříčinit vznik povodňových průtoků (Kemel, Kolář 1980). Míra infiltrace závisí především na půdním druhu. Nejnížší propustnost mají jílovité příp. hlinité zeminy. Střední propustnost mají zeminy písčito-hlinité a hlinito-písčité. Půdní druhy s velikostí zrn jemnozrnného písku až hrubého štěrku pak mají propustnost velmi vysokou (Kutílek a kol. 2000, Dub, Němec a kol. 1969). Kromě velikosti zrn závisí míra infiltrace ještě na stupni nasycení zeminy (Dub, Němec a kol. 1969). Půda se také významnou měrou podílí na velikosti výparu. Ten závisí na její vlhkosti, struktuře, barvě, expozici, či tvaru povrchu. Pakliže je půda jemnozrnná, má větší schopnost vodu vzlínat. (Pokorná, Záborská 2008).

### 3.1.4 Klimatické poměry

#### Atmosférické srážky

Obecně můžeme rozdělit srážky podle jejich skupenství, nebo také podle způsobu a místa vzniku. Rozlišujeme tak srážky horizontální (rosa, jinovatka, ledovka atd.) a srážky vertikální (déšť, sníh, kroupy). Horizontálních je v porovnání s vertikálními relativně malé množství, hrají však významnou roli pro zachování životaschopné vegetace v době, kdy je nedostatek srážek vertikálních (Kemel 1996). Atmosférické srážky v podobě deště jsou hlavní příčinou velkých průtoků, a proto se při odvozování povodňových vln vychází především z nich (Dub, Němec a kol. 1969). Z toho důvodu u kapalných srážek sledujeme jejich plošné rozložení, délku trvání, úhrn a tím jejich **intenzitu** (Kemel 1996). Intenzita deště se vyjadřuje v mm/min. Jestliže je vyjádřena v l/(s·ha), mluvíme o vydatnosti deště (Pokorná, Zábranská 2008).

#### Teplota vzduchu

Jak uvádějí Hrádek, Kuřík (2008), teplota vzduchu je závislá primárně na intenzitě slunečního záření a také na druhu zemského povrchu. Vzduch je ze sluneční energie ohříván nepřímo, tedy od zemského povrchu, protože nedokáže zachycovat krátkovlnné záření. Pakliže vyjádříme poměr mezi dlouhovlnným tepelným zářením vycházejícím ze země a na zem dopadajícím zářením slunečním, vyjde nám hodnota označovaná jako **albedo**. Tato hodnota se pohybuje mezi nulou a jedničkou, a čím je vyšší, tím více energie je odraženo zpět do vesmíru. Dub, Němec a kol. (1969) dále uvádějí, že teplota má vliv na rozdělení odtoku v průběhu roku působením na tání sněhu či ovlivňováním množství **výparu**. Různé ohřívání vzduchu v různých oblastech dává do pohybu vzduchové hmoty a vzniká vítr. Ten působí na množství výparu tím, že odnáší již nasycený vzduch nad vypařující se plochou a snižuje tak rozdíl napětí vodních par.

### 3.1.5 Vegetační poměry

Rostliny mají veliký vliv na odtokové procesy. Ovlivňují rychlost povrchového odtoku, vypařování vody z půdy a zachytávají srážky na svých tělech, které se následně mohou zpět odpařit (Kemel, Kolář 1980). Poslední zmíněný jev se nazývá intercepce a je závislý na druhu vegetace, jejím stáří a na dalších klimatických činitelích (Dub, Němec a kol. 1969). Velikost intercepce se

vyjadřuje v [mm] a maximální objem vody zadržené vegetací se nazývá potenciální intercepce. Podle Hrádka, Kuřika (2008) je potenciální intercepce u jehličnatých lesů třikrát větší, než u lesů listnatých. Kemel, Kolář (1980) uvádějí, že na povodí se zdravým vyspělým smíšeným lesem s vhodným zastoupením dřevin se vyskytují podstatně nižší kulminační průtoky při povodních. V době jarního tání se v lesích drží sníh mnohem déle a sníh tak neodtává naráz. S tím souvisí také rozmístění lesa v rámci povodí. Pakliže se nachází les pouze v nížinách, sníh zde odtává později než v horních číslech povodí a maxima povodňových vln se tak mohou střetávat a sčítat.

## **3.2 Antropogenní činnost**

Přestože by se antropogenní faktory daly zařadit mezi ostatní hydrologické charakteristiky povodí, dovolím si zpracovat jejich problematiku v samostatné kapitole. Tak jako některé procesy v povodí jsou silně ovlivňovány člověkem, většinou k horšímu, tak i tato práce vzniká (mimo studijní účely) jako hydrologická studie z popudu společnosti, abychom přírodní procesy zkoumali, abychom se poučili a ovlivňovali tyto procesy - většinou k lepšímu.

### **3.2.1 Vliv člověka na hydrologické poměry**

Ke změnám povrchového odtoku dochází působením mnoha antropogenních činností. Dub, Němec a kol. (1969) uvádějí např. způsob pěstování lesa, změnu skladby dřevin, odlesňování a zalesňování. Dále je to úprava povrchu a struktury půdy agrotechnickými opatřeními, vedení cestní sítě, zástavba měst, dobývání nerostných surovin apod. Člověk svou činností v posledních desetiletích výrazně podporoval soustředěný odtok tím, že odvodňoval zatápné plochy, upravoval trasy toků, čímž měnil jejich podélné i příčné profily. Rychlý odtok z povodí se naopak snažil eliminovat výstavbou vodních nádrží. Trefně tuto skutečnost popsal Petříček (2005): „...začali toky regulovat a nivu zužovat „protipovodňovými“ hrázemi, přisedlými k toku. Při vyšší vodě se hráze protrhnou a škody dramaticky rostou. Technici mají po ruce nádrže, ale ne prázdné, aby mohly mít významnější retenci. Mělo by jich být více. Nekonečný řetěz řešení a následků.“

Hrádek, Kuřík (2008) popisuje, že člověk je schopen svým působením ovlivnit prakticky všechny hydrologické charakteristiky povodí. Může tak například



měnit plochu povodí, jeho tvar, upravovat trasy toků, tedy říční síť, měnit sklonové poměry apod.

### **3.2.2 Chápání vodního toku**

Většina sídel se vždy stavěla v údolích, „aby k vodě nebylo daleko“. Voda jako zdroj nezbytný pro život však představuje mnohdy i smrtící hrozbu. To se samozřejmě člověku nelíbilo, začal ji upravovat, napřimovat a regulovat její tok, aby neohrožoval osídlená území. V dnešní době jsme se již poučili z ne příliš šetrných zásahů. Například víme, že regulace řek či meliorační úpravy můžou vést k vyšší erozi, k nižší schopnosti krajiny zadržet vodu a následným povodňovým škodám. 27% řek v ČR prošlo úpravou na jejich toku. Přitom se plánovalo navýšení tohoto čísla na 60% (Skácel 2002).

Na závěr kapitoly si dovoluji podotknout, že je dobré se na příčiny problémů podívat z širšího hlediska. Podle mého názoru dochází ke konfliktům mezi člověkem a vodním živlem především také kvůli lidské pýše, chybějícímu respektu a bezmeznému sebeobohacování. Tyto zdálo by se až archetypální příčiny způsobují například nevhodné znění naší legislativy. Problematiku definice nivy v právním systému a výstavbu v záplavovém území popisuje Petříček (2005). Podle něj je niva jako pojem nesprávně definována hned ve dvou zákonech. V Zákoně o ochraně přírody a krajiny č. 114/1992 Sb. jsou z prostoru nivy vyloučena území s terénními úpravami, zástavbou či jinými technickými zásahy. Nivou se tedy rozumí pouze území s typickými rostlinnými společenstvy. Pro výkon státní správy je tento výklad přijatelný, protože zamezuje možným střetům, nivu tak však nelze chránit na celé její ploše. Stále platný vodní zákon č. 138/1973 Sb. sice stanovuje, že souhlas ke stavbám v zátopovém území vydávají vodohospodářské orgány a že stavební úřad nevydává povolení k výstavbě bez tohoto souhlasu, výstavba v zátopovém území však pokračuje.

### **3.3 Stanovení průtoků nepřímými metodami**

Při odvozování průtoků nepřímými metodami bychom měli zohledňovat všechny hydrologické charakteristiky povodí. Pro názornost ještě některé faktory ovlivňující odtokový proces připomenu jako shrnutí předchozích kapitol. Jedná se o tvar, velikost a reliéf povodí a s ním související klima, tedy

o charakteristiky deště, rozložení teploty vzduchu v čase, intenzitu tání sněhu apod. Dále mají na odtokový proces vliv geologické a půdní poměry, vegetace, míra urbanizace, jezernatost, přítomnost bažin, vodních nádrží a jejich poloha vůči sobě (Kemel 1996).

Odvození průtoků pomocí nepřímých metod lze dosáhnout několika způsoby. Např. empirickými vzorci, metodou čísel odtokových křivek (CN), či matematickými modely. Tyto tři metody budou popsány v následujících kapitolách. Hrádek, Kuřík (2008) dále uvádějí způsoby odvození pomocí regionální regresní analýzy a metody jednotkového hydrogramu.

### 3.3.1 Způsoby stanovení odtoku z povodí empirickými vzorci

Touto problematikou se podrobně zabývají Dub, Němec a kol. (1969) a další autoři, kteří primárně čerpají z tohoto zdroje. Pro ucelenost údajů a příhodnější značení jednotlivých parametrů zde však uvádím i tvary vzorců podle Kemela (1996) a podle Hrádka, Kuříka (2008). Empirické vzorce používané pro výpočet maximálních průtoků můžeme rozdělit do tří skupin.

#### Vzorce oblastní

Jedná se převážně o mocninový typ vzorců, což lze podle Kemela (1996) vysvětlit tím, že se zvětšující se plochou povodí narůstá kritická doba deště a klesá tak jeho intenzita. Tento jev se děje podle exponenciální závislosti. Hrádek, Kuřík (2008) uvádí následující vztahy:

$$Q_N = A \cdot F^{1-n} \quad (9)$$

$$Q_{100} = A \cdot F^{1-n} \quad (10)$$

$$q_N = \frac{Q_N}{F} = A \cdot F^{-n} \quad (11)$$

$Q_N$  maximální průtok [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

$q_n$  maximální specifický průtok [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ ]

A, n oblastní parametry [-]

F plocha povodí [ $\text{km}^2$ ]

Oblastní parametry A a n pro jednotlivé toky uvádějí Dub, Němec a kol. (1969) v tabulkách.

### Vzorce objemové

Maximální kulminační průtok je v nich vypočítán na základě odhadu objemu povodňové vlny a tvaru hydrogramu. Tvar hydrogramu se podle Duba, Němce a kol. (1969) schematizuje na tvar trojúhelníka a vypočítá se tak objem odtoku.

$$\frac{1}{2} Q_N \cdot t = H_s \cdot \varphi \quad (12)$$

$$Q_N = \frac{2H_s \cdot \varphi}{t} \quad (13)$$

$Q_N$  kulminační průtok povodňové vlny [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

$t$  celková doba odtoku [s]

$H_s$  objem deště [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

$\varphi$  objemový součinitel odtoku [-]

Dub, Němec a kol. (1969) dále uvádějí vzorce. Prvním z nich je **vzorec podle**

#### **D. L. Sokolovského:**

$$Q_N = \frac{k \cdot H_{s,N} \cdot \varphi \cdot F}{t_k} \cdot f \quad (14)$$

$Q_N$  maximální N-letý průtok [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

$H_{s,N}$  výška výpočtového deště, doby trvání  $t_d$ , doby opakování N [mm]

$\varphi$  objemový součinitel odtoku [-]

$F$  plocha povodí [ $\text{km}^2$ ]

$t_k$  doba koncentrace [h]

$f$  součinitel tvaru povodňové vlny (= 0,6) [-]

$k$  rozměrový součinitel (= 0,28) [-]

Doba koncentrace [h]:

$$t_k = \frac{L_u}{3,6 \cdot v} \quad (15)$$

$L_u$  délka údolnice [km]

$v$  průměrná rychlost stékání vody v povodí [m/s]

Dub, Němec a kol. (1969) uvádějí rychlosti pro různé povrchy v tabulce.

Doba trvání deště  $t_d$  [h]:

$$t_d = t_k(t_k + 1)^{-0,20} \quad (16)$$

Pro výpočet  $H_{s,N}$  uvádějí Hrádek, Kuřík (2008) následující dva vztahy, přičemž nejprve je nutné vypočítat náhradní intenzitu přívalového deště  $i_N$  [min] s pravděpodobností opakování jednou za N-let.

$$i_N = \frac{(a \cdot \log t_d + b) N^c}{t_d} \quad (17)$$

a, b, c parametry pro příslušnou srážkoměrnou stanici [-]

$t_d$  doba trvání deště [min]

N pravděpodobnost opakování deště [roky]

Pakliže známe hodnotu  $i_N$ , hodnotu  $H_{s,N}$  [mm] zjistíme snadno ze vzorce:

$$H_{s,N} = t_d \cdot i_N \quad (18)$$

$t_d$  doba trvání deště [min]

$i_N$  náhradní intenzita přívalového deště [min]

Druhým vzorcem je **vzorec podle Čerkašina:**

$$Q_N = \frac{24,7 \cdot \varphi \cdot \sqrt[3]{v_s^2} \cdot F}{p \cdot \sqrt[3]{L_u^2}} \quad (19)$$

$Q_N$  maximální N-letý průtok [ $m^3/s$ ]

$\varphi$  objemový součinitel odtoku [-]

$v_s$  průměrná rychlost dobíhání vody v povodí [m/s]

F plocha povodí [ $km^2$ ]

$L_u$  délka údolnice [km]

p součinitel závislý na tvaru povodí [-]

Dub, Němec a kol. (1969) uvádějí tabulku pro stanovení parametru p, který se odečítá na základě hodnoty dané výrazem:

$$\frac{L_u^2}{F} \quad (20)$$

Jedná se tedy v podstatě o převrácenou hodnotu součinitele tvaru povodí. Hodnotu objemového součinitele odtoku  $\varphi$  lze odečíst z mapy izolinií

a průměrnou rychlost dobíhání vody  $v_s$  z grafu, který vyjadřuje závislost mezi sklonem údolí a zalesněností.

### Vzorce intenzitního typu

Podobně jako vzorce oblastní, udávají tyto vzorce pouze  $Q_N$ , nikoli už tvar hydrogramu, jak tomu je u vzorců objemových. Intenzitní vzorce původně sloužily pro výpočet stokových sítí ve městech (Dub, Němec a kol. 1969). Pro výpočet maximálních průtoků udávají Hrádek, Kuřík (2008) následující vztahy:

$$Q_N = k \cdot i_N \cdot \varphi_n \cdot F \quad (21)$$

- $Q_N$  maximální N-letý průtok [ $m^3/s$ ]  
 $i_N$  náhradní intenzita deště zvolené doby trvání a periodicity [mm/min]  
 $F$  plocha povodí [ $km^2$ ]  
 $\varphi_n$  vrcholový součinitel odtoku [-]  
 $k$  rozměrový součinitel (= 16,67)

Nejprve je třeba vypočítat hodnotu objemového součinitele odtoku  $\varphi$  z následujícího vztahu:

$$\varphi = \frac{H_{s,N} - V_T - R}{H_{s,N}} \quad (22)$$

- $H_{s,N}$  výška výpočtového deště, doby trvání  $t_d$ , doby opakování N [mm]  
 $V_T$  velikost infiltrace za dobu trvání  $T = t_d = t_k$  [mm]  
 $R$  retence povodí [mm]

Retence povodí a velikost infiltrace se odečítá z tabulek podle kategorie půd a doby infiltrace.

Pro výpočty je nutné znát hodnotu součinitele tvaru hydrogramu  $n_h$ , který je vyjádřen poměrem doby odtoku před maximem křivky hydrogramu a doby odtoku po maximum křivky hydrogramu. Pro lesnický a zemědělsky využívaná povodí je optimální volit hodnotu  $n_h = 2$ .

Nyní lze dopočítat vrcholový součinitel odtoku  $\varphi_n$  a následně dosadit všechny hodnoty do rovnice (20):

$$\varphi_n = \frac{2\varphi}{n_h + 1} \quad (23)$$

- $\varphi$  objemový součinitel odtoku [-]  
 $n_h$  součinitel tvaru hydrogramu [-]

### 3.3.2 Metoda čísel odtokových křivek (CN)

Jedná se o další empirickou metodu, díky které můžeme počítat maximální odtoky na povodích při absenci srážko-odtokových dat. Při metodě se pracuje s odtokovými CN křivkami. Zkratka CN pochází z anglického názvu Curve Number Metod. Hydrologické charakteristiky, které metoda zohledňuje, můžeme souhrnně rozdělit do čtyř skupin. První charakteristikou je půdní druh, a jeho infiltrační vlastnosti. Dále metoda zohledňuje způsob obhospodařování, tedy druh plodin, druh porostu a charakteristiky urbanizovaných ploch. Třetí charakteristikou ovlivňující infiltrační a následně odtokový proces je porostní pokryv ostatních ploch. V neposlední řadě počítá CN metoda také s předchozími vláhovými poměry (Kovář 1990).

Hrádek, Kuřík (2008) uvádějí pro výpočet odtoku pomocí čísla CN následující vztahy:

$$H_o = \frac{(H_d - R_1)^2}{H_d + R_p - R_1} \quad (19)$$

$$R_p = 25,4 \cdot \left[ \frac{1000}{CN} - 10 \right] \quad (20)$$

$$R_1 = 0,20 \cdot R_p \quad (21)$$

- $H_o$  výška přímého odtoku [mm]  
 $H_d$  výška výpočtového deště [mm]  
 $R_p$  potenciální retence povodí [mm]  
 $R_1$  retence povodí v bezodtokové fázi [mm]  
 CN číslo odtokové křivky

#### Způsob stanovení čísla odtokové křivky CN

K výpočtu čísla CN je zapotřebí znát poměry na povodí a vycházet přitom z podkladů uvedených v tabulkách. Podle druhého a třetího čísla v kódu BPEJ lze dohledat hydrologické skupiny půd, které jsou značeny písmeny A až D podle rychlosti infiltrace, přičemž A značí vysokou rychlost infiltrace a D

naopak velmi nízkou rychlost infiltrace. Tato hydrologická půdní skupina pak určuje spolu se způsobem využívání území číslo CN. Dále je potřeba určit skupinu předchozích vláhových poměrů. Tyto skupiny jsou tři a zohledňují úhrn předchozích srážek v [mm] za předchozích 5 dnů. Důležité je určit jednodenní maximální srážkový úhrn s dobou opakování za N-let. Hodnoty jsou uvedeny v tabulce u srážkoměrné stanice, která se nachází nejbližze zkoumané lokalitě. Na lesních půdách se číslo CN stanovuje pomocí nomogramu.<sup>1</sup>

### **3.3.3 Matematické modely používané v hydrologii**

S nástupem leteckého snímkování a s vývojem výpočetní techniky začaly matematické modely v hydrologii postupně nahrazovat různé regionální empirické vzorce pro výpočet odtoků z povodí (Hrádek, Kuřík 2001). Ve srovnání s empirickými postupy jsou metody matematického modelování rychlé a racionální (Kulhavý, Kovář 2000). Matematické modelování nám umožňuje jednak simulovat skutečné hydrologické procesy při absenci hydrometrických pozorování, ale především můžeme díky nim předpovídat vývoj těchto procesů v různých extrémních situacích (Kovář 2000). Matematické modely můžeme využít při posuzování určitých změn v povodí. Změna organizace půdního fondu, tedy změna využívání krajiny jako je například zemědělsko-lesnické využívání či vliv urbanizace, má pochopitelně vliv na srážko-odtokový proces (Hrádek Kuřík 2001). Tyto změny lze při uplatnění modelů předem vyčíslit a zhodnotit tak dopad na hydrologický režim povodí. Jak dále uvádí Kulhavý, Kovář (2000), matematické modely mohou mít dlouhodobý a krátkodobý charakter. Při dlouhodobém modelu je určující řešení hydrologické bilance povodí. Při krátkodobé analýze je zpracovávána především složka přímého odtoku, která je následně využita při návrzích vodohospodářských opatření. Spolehlivost výsledků je úměrná věrnosti popisu fyzikálního procesu a také množství a spolehlivosti vstupních dat.

#### **Principy matematických modelů**

Matematický model je zjednodušenou formou složitého hydrologického systému, který se skládá z fyzikálních, biologických a chemických procesů. Představuje algoritmus řešení soustavy diferenciálních a algebraických rovnic

---

<sup>1</sup> Metodika výpočtu čísla CN je popsána tak, jak je zpracována v matematickém modelu DesQ-MaxQ, kterým je v další části práce odvozen maximální odtok z povodí Černé Desné.

a pomocí vztahů mezi proměnnými veličinami popisuje strukturu a chování modelovaného systému (Kovář 1990). Jinak řečeno, principem matematického modelování je vyjádření časových nebo časově-prostorových vztahů mezi veličinami, které by co nejdříveji charakterizovali hydrologický režim modelovaného povodí, nebo jeho části (Kulhavý, Kovář 2000). U hydrologických procesů musíme počítat s tím, že okamžité výstupní hodnoty, kterými jsou například průtoky, změny vlhkosti půdy či změny hladiny podzemní vody, jsou výsledkem nejen okamžitých hodnot vstupů, ale i výsledkem okamžitého stavu, ve kterém se systém nacházel (Kovář 2000).

Matematické modely dělíme na deterministické a stochastické. Deterministické modely jsou charakterizovány časovými proměnnými, pro které neplatí žádné rozdělení pravděpodobností a vztahy mezi nimi jsou ryze příčinné (deterministické). Pro stochastické modely naopak platí, že jejich proměnné hodnoty v důsledku působení nahodilých vlivů mají nějaké pravděpodobnostní rozdělení (Kulhavý, Kovář 2000). V současné době jsou asi nejznámější a nejpoužívanější následující modely:

### **HEC – HMS**

Model HEC – HMS (Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System) byl vyvíjen armádou USA od 60. let minulého století. Jeho hlavní výhodou je vazba na GIS, která byla podporována od 90. let minulého století. Firma ESRI vyvinula pro tento model speciální extenzi HEC-geo HMS, která je propojena s další nadstavbou Arc Hydro Tools. Zde je možné za pomoci DTM vypočítat hydrologické charakteristiky, které se poté snadno importují do prostředí systému HEC-HMS. Model HEC – HMS obsahuje několik komponent, v rámci kterých si uživatel může vybrat z více modelů. Prvními z nich jsou komponenta objemu odtoku využívající například SCS CN křivky. Dalšími komponenty jsou komponenta přímého, podzemního a korytového odtoku využívající např. metody jednotkového hydrogramu, modelu lineární nádrže a v případě korytového odtoku model uplatňuje rovnice proudění v otevřených korytech (Fleming 2010, Jeníček 2011).

### **HEC – RAS**

Zkratka pochází z anglického „Hydrologic Engineering Centers - River Analysis System“. Vstupními daty pro tento model jsou geometrie koryta a objektů, hydraulické ztrátové součinitele a okrajové podmínky. Modelem lze



realizovat výpočet dvěma různými způsoby. První způsob je založen na numerickém vyjádření neustáleného proudění a výpočtu charakteristik průchodu návrhové povodňové vlny. K tomu je však nutné znát historická data, která nejsou vždy k dispozici. Druhým a jednodušším způsobem je počítat s ustáleným prouděním. Podobně jako HEC – HMS je výhodou tohoto modelu návaznost na GIS a CAD (Brunner 2010, Hejduk 2010).

### **MIKE – SHE**

Jak uvádí Jeníček (2011), jedná se o komplexní srážko – odtokový model, který byl vyvinut firmou DHI (Danish Hydraulic Institute). Tento model využívá data srážek ze srážkoměrných stanic, v případě absence lze tato data pro vykonání simulace odhadovat (Hejduk 2010). Při výpočtech model dále počítá např. s evapotranspirací, intercepcí a s podpovrchovým prouděním, pro jehož výpočet jsou nutné vstupní charakteristiky (pórovitost, nasycená hydraulická vodivost apod.) uvedené v databázi modelu (DHI 2007, Jeníček 2010).

### **DesQ – MaxQ**

Jako poslední uvádím model, kterým jsou v závěru práce odvozeny maximální N-leté průtoky na povodí Černí Desné.

První programová dokumentace byla zpracována Prof. Hrádkem v roce 1997. Model je určen pro výpočet návrhových N-letých průtoků a objemů povodňových vln na malých povodích v nepozorovaných profilech (Jeníček 2011). Modelem lze odvodit maximální odtok z povodí schematizací na jednu nebo dvě odtokové plochy, které představují povodí ve tvaru otevřené knihy. Dále lze odvozovat tvar povodňových vln a počítat charakteristiky hydrogramů ovlivněných antropogenní činností v povodí, tedy změnami ve využívání pozemků (Hrádek, Kuřík 2001).

## 4. Metodika

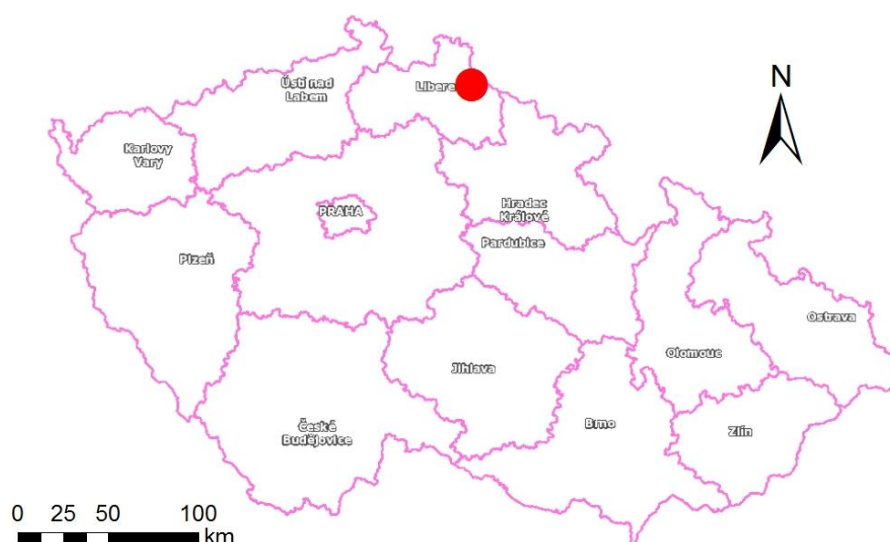
V dalších kapitolách je podrobně popsáno povodí vodního toku Černá Desná. To bylo provedeno na základně několika terénních pochůzek, při kterých byla vytvořena i fotodokumentace pro inventarizaci vodohospodářských staveb. Inventarizaci se dále věnuji v kapitole č. 6. Na základě leteckých map a dokumentu z vodoprávního úřadu Městského Úřadu v Tanvaldě byl sepsán psaný podélný profil. V něm jsem zahrnul všechny objekty, které se na toku nacházejí (jezy, mosty, MVE, soutoky apod.) Z tohoto profilu byl narýsován v programu AutoCAD grafický podélný profil, kde je znázorněna kilometráž jednotlivých objektů spolu s jejich nadmořskou výškou – výškový systém Balt po vyrovnání. Jako další důležitý zdroj pro popsání hydrologických charakteristik zmíněného území posloužily mapové podklady, ať už internetové WMS služby, nebo přímo výškopis ZABAGED, který poskytl ČÚZK. Pomocí výškopisu ZABAGED byla vykreslena rozvodnice, údolnice a další potřebné objekty pro výpočet ploch a délek geometrických charakteristik. Výškopis dále posloužil především pro vyšetření orografických poměrů. Na základně výše zmíněných podkladů byly odvozeny všechny charakteristiky popisované v první polovině rešeršní části. Výsledky vypočítaných charakteristik (uváděné v kapitole č. 5) posloužily jako vstupní hodnoty pro výpočet maximálních průtoků. Maximální průtoky byly stanoveny dvěma způsoby. Prvním způsobem je výpočet pomocí empirických vzorců. Přesným postupem tohoto výpočtu se zabývám v kapitole 3.3.1. Pomocí empirických vzorců jsem dospěl k několika výsledkům podle více druhů vzorců – oblastní, objemové a intenzitní. Maximální průtoky byly dále vypočítány hydrologickým matematickým modelem DesQ – MaxQ. I do výpočtu pomocí matematického modelu byly použity vypočítané hydrologické charakteristiky popsané v kapitole 5. Veškeré výsledky jsou v závěru práce porovnány s údaji z ČHMÚ a případné příčiny odlišností jsou popsány v diskuzi. Blíže se metodikou postupu práce zabývám přímo v jednotlivých kapitolách.

## 5. Zpracování zájmové lokality

### 5.1 Vymezení zájmové lokality

#### 5.1.1 Poloha povodí

Povodí Černé Desné se rozkládá v Libereckém kraji v jihovýchodní části CHKO Jizerské Hory severně od města Tanvald. Povodí leží v CHKO celou svou plochou. Prameniště Černé Desné se nachází v sedle mezi horami Jizera a Černý vrch ve výšce cca 880 m n. m. Převládající směr toku je jižní. Ve městě Desná se nachází soutok s Bílou Desnou v nadmořské výšce 490 m n. m. (uzávěrový profil povodí).



Obrázek č. 1: Povodí Černé Desné v rámci České republiky

#### 5.1.2 Expozice

Převládající expozice ke světovým stranám je jižní. V horní části povodí je expozice jihojihozápadní.

#### 5.1.3 Číslo hydrologického pořadí

1-05-01-067 - Černá Desná nad soutokem s Bílou Desnou,

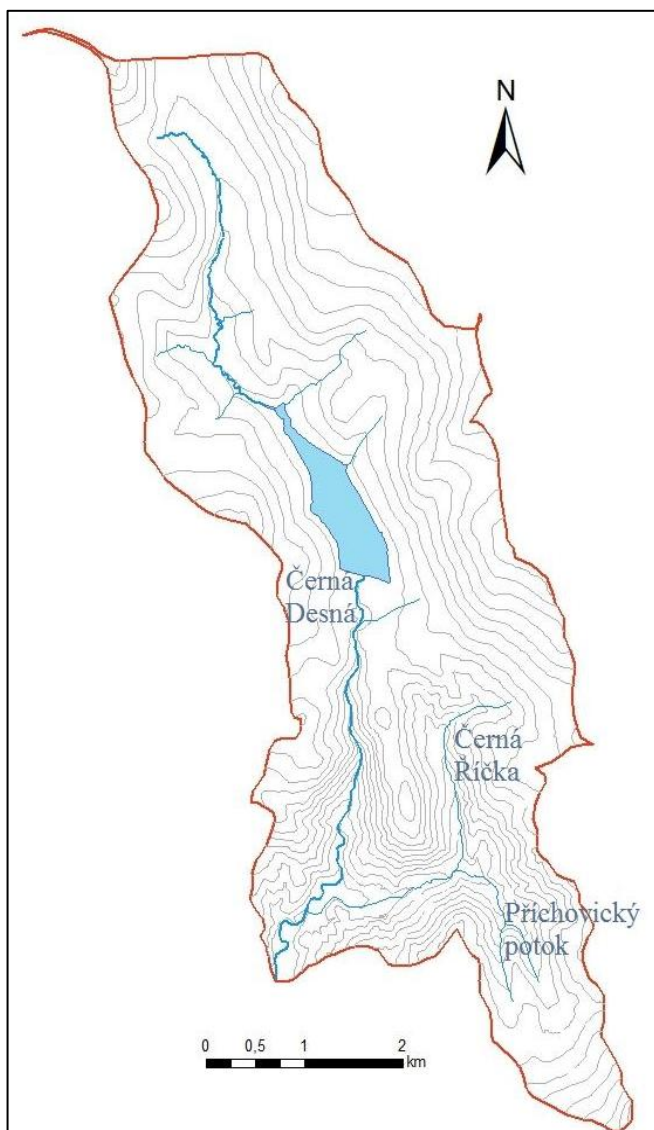
1-05-01-066 – Černá říčka (levostranný přítok Černé Desné)

(Výzkumný ústav vodohospodářský TGM 2013)

### 5.1.4 Řád vodního toku

Černá Desná je vodním tokem IV. řádu. Černá Desná je spolu s Bílou Desnou součástí povodí Kamenice. Kamenice se vlévá do Jizery a ta do Labe, vodního toku prvního řádu.

Dle klasifikace podle Strahlera je úsek toku nad soutokem s Bílou Desnou až po soutok s Černou říčkou IV. řádem a nad tímto soutokem III. řádem až po přehradu Souš. Nad přehradou Souš je Černá Desná hodnocena jako tok II. řádu. Podobně i Černá říčka je tokem III. řádu mezi soutokem s Černou Desnou a soutokem s Příchovickým potokem. Nad tímto soutokem jsou Černá říčka i Příchovický potok klasifikovány jako toky II. řádu. Všechny menší přítoky v povodí jsou I. řádem (Výzkumný ústav vodohospodářský TGM 2013).



Obrázek č. 2: Povodí Černé Desné

## 5.2 Geometrické charakteristiky povodí

Následující tabulka obsahuje výsledné hodnoty geometrických charakteristik, které jsou popisovány v kapitole 3. 1. 1.<sup>2</sup>

GEOMETRICKÉ CHARAKTERISTIKY	
plocha povodí ( <b>F</b> )	26,77 km <sup>2</sup>
plocha povodí vlevo od údolnice ( <b>F<sub>l</sub></b> )	19,19 km <sup>2</sup>
plocha povodí vpravo od údolnice ( <b>F<sub>p</sub></b> )	7,59 km <sup>2</sup>
délka vodního toku	10 799 m
délka údolnice ( <b>L<sub>u</sub></b> )	11 272 m
délka rozvodnice	32 802 m
součinitel asymetrie ( <b>a</b> )	0,43
součinitel tvaru povodí ( <b>α</b> )	0,21
střední šířka povodí ( <b>B</b> )	2375 m
průměrná délka svahů	1188 m
délka ostatních toků na povodí	10 429 m
celková délka toků na povodí	21 228 m
hustota říční sítě ( <b>r</b> )	0,793 km/km <sup>2</sup>

Tabulka č. 1: Geometrické charakteristiky povodí Černé Desné

**Součinitel asymetrie** tak, jak je definován, logicky nabývá hodnot na intervalu  $\langle -1 ; 1 \rangle$ . Čím více se součinitel blíží krajním hodnotám, tím více je povodí nesymetrické. Výsledná hodnota součinitele asymetrie 0,43 dokazuje, že plocha levé strany povodí je téměř třikrát větší, než plocha povodí na straně pravé. **Součinitel tvaru povodí** udává, nakolik se tvar blíží čtverci. Pakliže by údolnice byla stejně dlouhá jako střední šířka povodí, součinitel by se rovnal jedné. Čím více je tedy povodí protáhlé, tím více se naopak součinitel tvaru povodí blíží nule. Výsledná hodnota 0,21 naznačuje značnou protáhlost, která je typická právě pro povodí vytvářející se na úpatí pohoří. Kemel, Kolář (1980) uvádí, že na povodí tohoto typu se tvoří tzv. perovité uspořádání říční sítě, pro které je typické, že přítoky přitékají do hlavního toku pod pravým, nebo jemu blízkým úhlem.

## 5.3 Orografické charakteristiky povodí

Obecně můžeme rozlišit typ terénu povodí na tři odlišné části.

Černá Desná pramení v relativně rovinatém sedle s malou hustotou zápoje jehličnatého lesa. Příčný profil povodí se velice pozvolna uzavírá a čím dál

<sup>2</sup> Hodnoty byly vypočítány pomocí nástrojů GIS na základě výškopisu ZABAGED, který poskytl Český ústav zeměměřický a katastrální, a na základě dalších WMS služeb na webových stránkách geoportal.gov.cz.

více svažuje až k přehradě Souš. Jedná se o krajinu vrchovin Hercynia (Geoportal 2013). V tomto úseku dlouhém cca 3,5 km je průměrný sklon toku 2,6 %.

Pod vodní nádrží Souš prochází tok velice strmým úsekem o délce 3,2 km. Průměrný sklon toku je zde 7,5 %. Jedná se o údolí tvaru V s velice prudkými zalesněnými svahy a skalnatými horskými hřebeny.

Poslední částí je průchod toku urbanizovaným územím města Desná s relativně malým sklonem terénu. Na délce 1,6 km je zde průměrný sklon toku 2,1 %. Údolí je v místech soutoků s Černou Řičkou a Bílou Desnou otevřenější a svahy jsou o něco mírnější než v předchozím úseku.

Číselné hodnoty orografických charakteristik jsou uvedeny v tabulce č. 2:

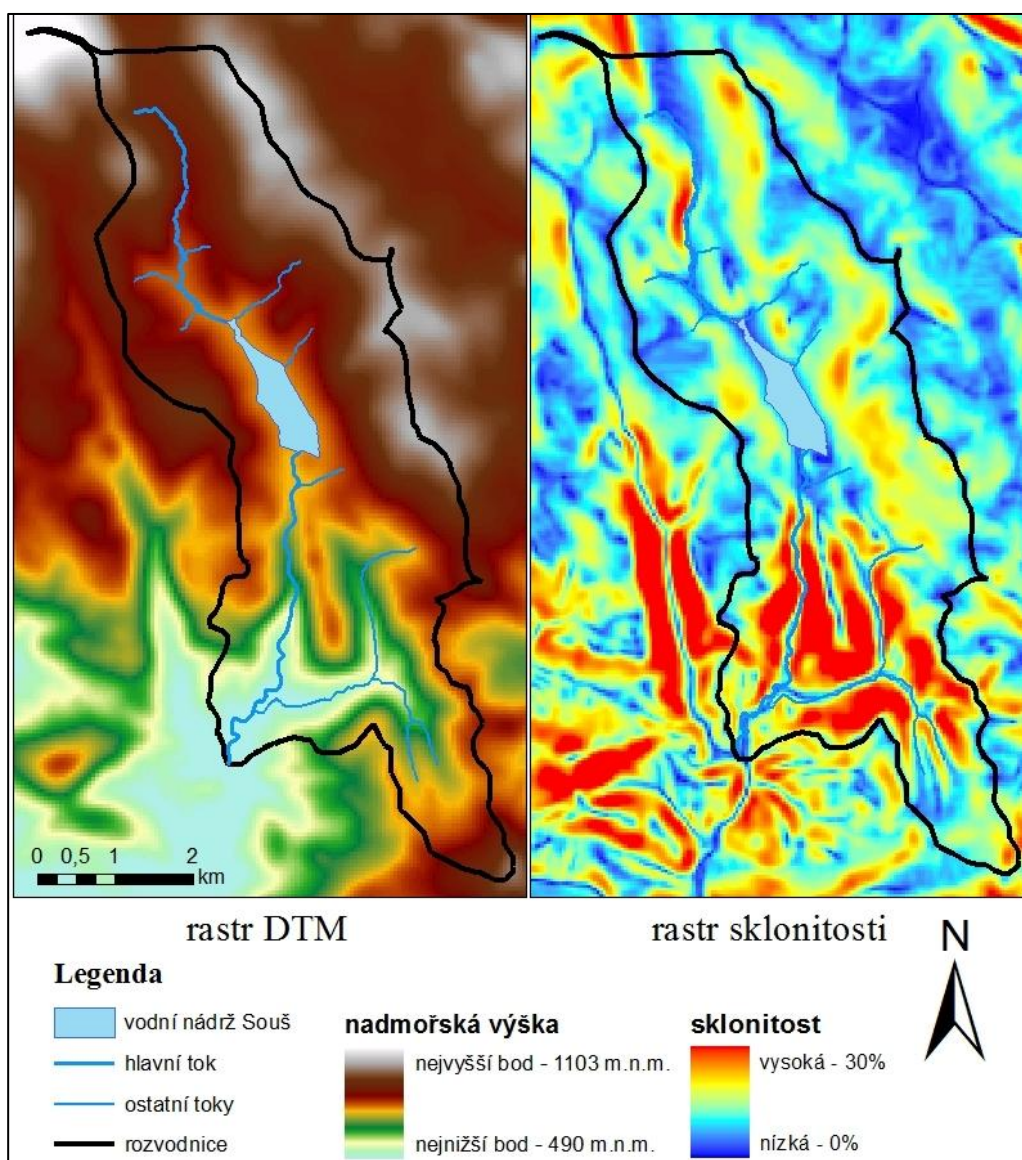
OROGRAFICKÉ CHARAKTERISTIKY	
maximální výška v povodí ( $H_{max}$ )	1103 m n. m.
maximální výška údolnice ( $H_{max,u}$ )	887 m n. m.
minimální výška v povodí ( $H_{min}$ , $H_{min,u}$ )	490 m n. m.
průměrná nadmořská výška povodí ( $\bar{H}$ )	799 m n. m.
průměrný sklon svahů - vzorec č. 6 ( $I_{sv}$ )	11,95%
průměrný sklon svahů - GIS ( $I_{sv}$ )	17,63%
průměrný sklon svahů, levá strana - GIS ( $I_{svl}$ )	18,16%
průměrný sklon svahů, pravá strana - GIS ( $I_{svp}$ )	16,30%
průměrný sklon svahů - vzorec č. 7 ( $I_{sv}$ )	18,53%
průměrný sklon svahů, levá strana - vzorec č. 7 ( $I_{svl}$ )	19,03%
průměrný sklon svahů, pravá strana - vzorec č. 7 ( $I_{svp}$ )	17,24%
průměrný sklon údolnice ( $I_u$ )	3,52%

Tabulka č. 2: Orografické charakteristiky povodí Černé Desné

Pro vzájemné porovnání jsem hodnotu průměrného sklonu svahů  $I_{sv}$  vypočítal třemi způsoby. Zjednodušující vzorec č. 6 byl v našem případě nepřesný. Tento vzorec uvažuje pouze rozdíl maximální a minimální výšky ve vztahu k ploše povodí, předpokládá tedy rovnoměrné rozložení sklonu na celé ploše povodí. Jinak řečeno, vzorec neuvažuje variabilitu terénu v podobě údolí a terénních vyvýšenin. Jeho výsledná hodnota musí být zákonitě značně podhodnocena. Výsledek dle vztahu podle Herbsta je dle mého názoru nejpřesnější. Je nastaven tak, že větší hustota vrstevnic reprezentuje větší sklon. Výškový interval mezi vrstevnicemi  $\Delta h$  jsem volil 5 m.<sup>3</sup> Celková délka vrstevnic vyšla 991,942 km. Síť vrstevnic je dostatečně hustá, aby věrohodně kopírovala terén.

<sup>3</sup> Vychází z výškopisu ZABAGED

Pro výpočet průměrné nadmořské výšky povodí pomocí nástrojů GIS byl vytvořen rastr DTM a z něho rastr sklonitosti (obrázek č. 3) pro výpočet průměrného sklonu svahů. Délku strany jednoho pixelu jsem zvolil 25 m. Průměrný sklon v tomto případě vyšel jen nepatrně nižší, než ze vztahu podle Herbsta. Čtvercový tvar pixelů tedy přesně nereprezoval informace o sklonu vycházející z dat vrstevnic. Tento závěr si dovoluji udělat na základě skutečnosti, že obě metody, jak Herbstův vzorec, tak rastr sklonitosti vycházejí ze stejného datového souboru. Pakliže vyšla hodnota dle Herbsta vyšší, dá se předpokládat, že vzorec reprezentoval údaje z vrstevnic přesněji.



Obrázek č. 3: Digitální model terénu

## **5.4 Půdně - geologické poměry**

### **5.4.1 Geologické poměry**

Povodí Černé Desné se celou svoji plochou nachází na krkonošsko-jizerském žulovém masívu, jež je součástí krkonošsko-jizerského krystalinika. V místech povodí se nacházejí biotické žuly (Chaloupecký a kol. 1989). Pro krkonošsko-jizerský žulový masív byla podle Jetela (1985) odvozena rychlost filtrace v rozmezí  $7 \cdot 10^{-6}$  -  $2 \cdot 10^{-4}$  m/s do hloubky 25-30 m. Jedná se o mírnou propustnost. Pro větší hloubky je propustnost ještě nižší. Rychlost filtrace se v hloubkách 30 – 220 m pohybuje v rozmezí  $8 \cdot 10^{-8}$ -  $3 \cdot 10^{-7}$  m/s, což je propustnost slabá až velmi slabá. Podle Tourkové (2004) patří žuly a obecně metamorfované horniny mezi horniny se špatnou propustností. U těchto hornin probíhá propustnost hlavně v případech, jsou-li zde přítomny puklinové a zlomové struktury.

### **5.4.2 Pedologické poměry**

V celé ploše povodí je půdním typem podzol (kryptopodzol modální), pouze v oblasti toku a jeho nivy se vyskytují gleje. V horní části povodí je to glej fluvický, v dolní pak glej modální (Geoportal 2013).

## **5.5 Klimatické poměry**

Průměrná roční teplota v oblasti povodí Černé Desné se pohybuje okolo 3 - 5° C, což znamená, že je zde klima velmi chladné. Průměrný roční srážkový úhrn je zde jedním z největších v ČR. Pohybuje se zde přes 1200 mm, což je téměř dvojnásobek průměrného ročního úhrnu na území celé ČR. Za zmínku ještě stojí průměrná roční relativní vlhkost vzduchu. Ta je na tomto území také poměrně vysoká – kolem 80 – 85 % (Štěpánová 2010).

## **5.6 Biologické poměry**

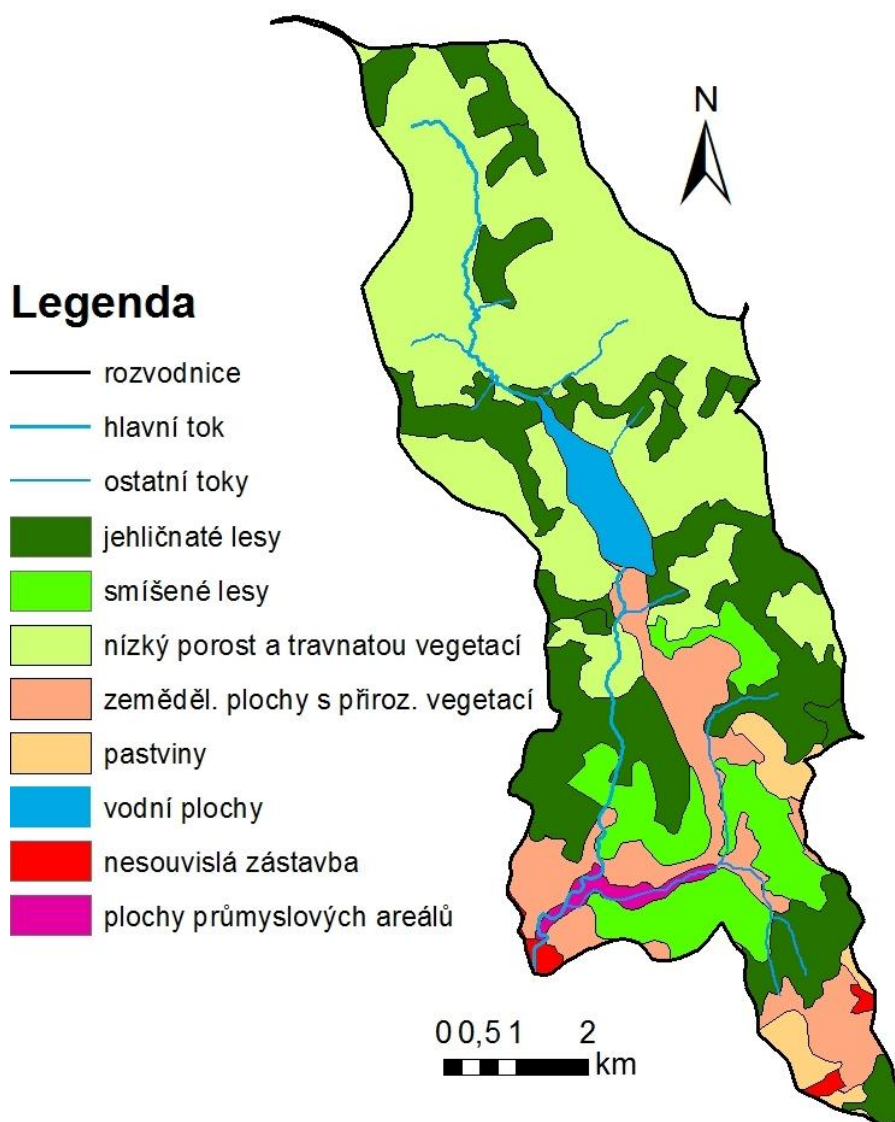
### **5.6.1 Krajinný pokryv**

Horní část povodí, především prameniště, je tvořena mladými smrkovými porosty. V řídkém zápoji zde roste smrk ztepilý (*Picea abies*) a v menším zastoupení také smrk pichlavý (*Picea pungens*). Na místě prameniště se nachází travnatá vegetace spolu s rašeliníkem (*Sphagnum*). V úseku pod



přehradou Souš se nacházejí dospělé smrkové porosty s příměsí buku lesního (*Fagus sylvatica*). Tento vegetační kryt se rozkládá prakticky na celém zbytku povodí. Mírně urbanizovaná oblast podél komunikace spojující obce Souš, Černá říčka, a Horní a Dolní Polubný je tvořena zemědělskými plochami, především kosenými loukami, v menší míře také pastvinami. Souvislejší plocha orné půdy se na povodí prakticky nevyskytuje. Ve spodní části toku se nachází keřové i stromové listnaté břehové porosty.

Přesnější vyjádření krajinného pokryvu znázorňuje obrázek č. 4 a tabulka č. 3.<sup>4</sup>



Obrázek č. 4: Krajinný pokryv na povodí Černé Desné

<sup>4</sup> Pro přesné vyjádření velikosti ploch jednotlivých krajinných pokryvů byla vytvořena pomocí nástrojů GIS nová vrstva. Ta byla zvektoryzována podle vrstvy corine 2006 - WMS služby na webových stránkách [www.cenia.cz](http://www.cenia.cz).

KRAJINNÝ POKRYV	pravý svah [km <sup>2</sup> ]	levý svah [km <sup>2</sup> ]	rozloha celkem [km <sup>2</sup> ]
jehličnaté lesy	2,53	4,99	7,52
smíšené lesy	0,19	2,64	2,83
nízký porost s travnatou vegetací	4,13	7,39	11,52
zemědělské plochy s příroz. vegetací	0,54	2,57	3,11
pastviny	0	0,72	0,72
vodní plochy	0,28	0,44	0,72
nesouvislá zástavba	0,04	0,17	0,21
plochy průmyslových areálů	0,05	0,26	0,31

Tabulka č. 3: Plochy krajinného pokryvu na povodí Černé Desné

### 5.6.2 Antropogenní činnost

Ač se to možná na první pohled nezdá, povodí Černé Desné je antropogenní činností ovlivněno značně. Na rychlejší odtokový proces má veliký vliv zhoršený zdravotní stav lesa v horní části povodí. Od 60. let minulého století docházelo k plošnému úhynu lesů následkem průmyslových imisí. Nyní se zde nacházejí mladé smrkové monokultury. Na povodí se nachází vodní nádrž Souš, do které je sváděna voda z plochy o výměře 13,96 km<sup>2</sup>. V současné době slouží jako zdroj pitné vody pro Jablonecko s průměrným odběrem 320 l/s (Maršalko, Datel 2008). Zároveň je do prostor nádrže štolou převáděna voda ze sousedního povodí Bílé Desné. Režim průtoku v korytě toku dále ovlivňují dvě funkční malé vodní elektrárny. Za zmínku stojí i přítomnost rozsáhlých průmyslových areálů ve městě Desná.

## 6. Inventarizace vodohospodářských staveb

Následující kapitola byla sepsána na základě několika terénních pochůzek, při kterých byla vytvořena fotodokumentace. Rozměry jezů a dalších vodních staveb poskytl Vodoprávní úřad Městského úřadu v Tanvaldě. Staničení objektů bylo převzato z příloh Technické zprávy dokumentu Vymezení záplavového území Černé Desné (Merta 2004).

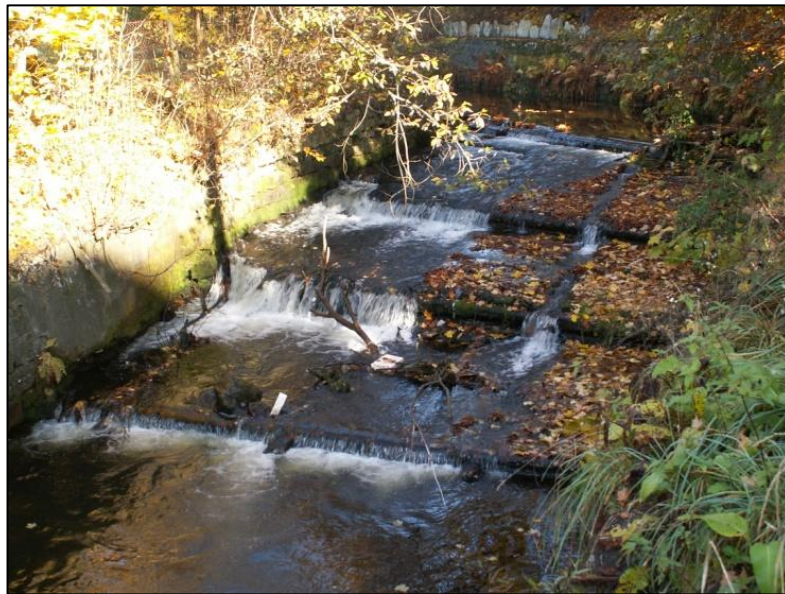
## 6.1 Psaný podélný profil

0,000 km - soutok Černé a Bílé Desné (uzávěrový profil povodí)

0,066 km - silniční betonový most za soutokem

0,244 km – železobetonová lávka pro pěší (u hřiště)

0,412 km – Pevný dřevěný jez s výplní dlouhý 12,5 m, široký 2 m a vysoký 1,8 m. Za jeho přelivnou plochou pokračuje kamenný skluz, který je rozdělen na tři 0,5 m vysoké stupně. Celková délka skluzu je 16,5 m. Na levém břehu je 2,5 m široký vtok do náhonu hrazený stavidlem. Stavidlo se ovládá ručně z manipulační lávky.



Obrázek č. 5: Stupně v říčním kilometru 0,412

0,355 km – silniční železobetonový mostek ve sportovním areálu

0,838 km – železodřevěná lávka pro pěší u železničního mostu

0,854 km – kamenný železniční most před firmou Preciosa Ornela, a.s.<sup>5</sup>

0,872 km – silniční železobetonový mostek do areálu Preciosa Ornela, a.s.

0,972 km – silniční betonový mostek v areálu Preciosa Ornela, a.s.

1,012 km – soutok s Černou říčkou

1,029 km – silniční betonový mostek

1,051 km – silniční betonový mostek uprostřed areálu Preciosa Ornela, a.s.

1,302 km – Pevný kamenný jez široký 1,3 m a vysoký 2 m. Na levém břehu se nachází odlehčovací výpust, která je hrazena ručně ovládaným 1,2 m širokým

<sup>5</sup> PRECIOSA ORNELA, a.s. je vlastníkem rozlehlého komplexu průmyslových budov, kterým protéká Černá Desná ve své délce přibližně 620 m.

stavidlem. Vtok do náhonu je hrazen 2 m širokým stavidlem stejného typu. Jez je ve velice špatném stavu.

1,512 km – Pevný kamenný 12 m dlouhý jez s dřevěnou korunou. Jez je 3,5 m široký a 1,5 m vysoký. Náhon o rozměrech 3,5 m na šířku a 1 m na výšku je krytý a bez uzávěru. Jez je z 60% poškozen.



Obrázek č. 6: Pevný kamenný jez v říčním kilometru 1,512

1,525 km – silniční betonový most za firmou Preciosa Ornela, a.s.

1,552 km – starý silniční železodřevěný most, v současné době odstraněný; jeho funkci nahrazuje silniční most o 27 m níže na toku.

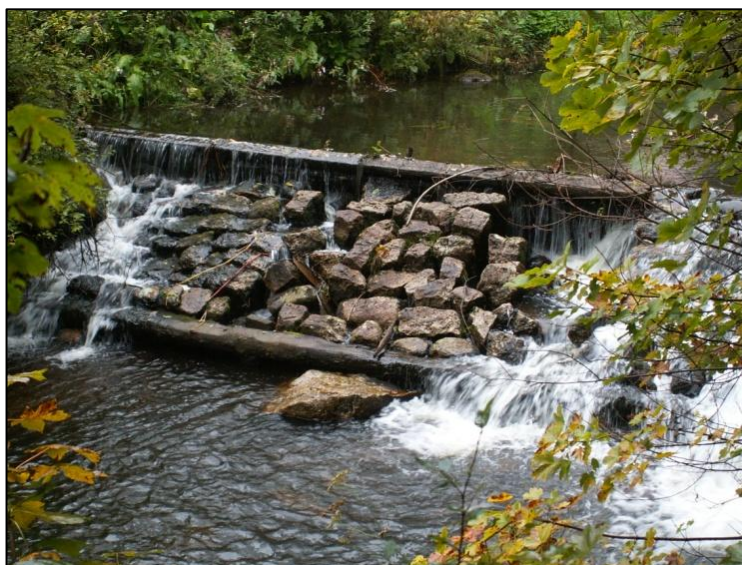
1,587 km – Místo, kde stál dnes již odstraněný 21 m dlouhý kamenný jez. Byl vysoký 3,75 m a vysoký 3 m.

1,752 km – Pevný kamenný 16 m dlouhý jez. Je vysoký 2 m a široký 4,5 m. Vtok do náhonu je hrazen stavidlem širokým 3,8 m. Náhon byl však zrušen.



Obrázek č. 7: Kamenný jez v říčním kilometru 1,752

1,892 km – Pevný dřevěný jez s kamenným skluzem. Jez je 12 m dlouhý, 2,5 m široký a 2 m vysoký. Vtok do náhonu na pravém břehu je hrazený ručně ovládaným stavidlem širokým 2 m. Kamenný skluz je částečně poškozen.



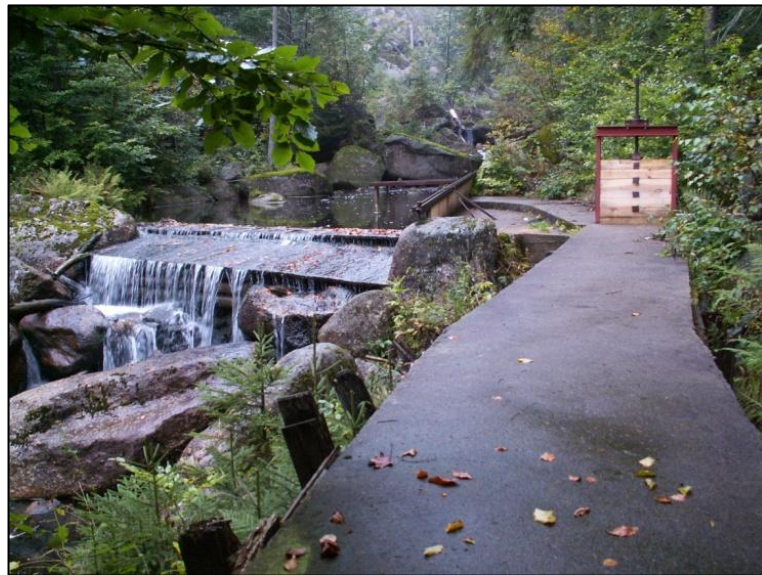
Obrázek č. 8: Dřevěný jez s kamenným skluzem v říčním kilometru 1,892

2,238 km – Pevný kamenný jez s betonovou přelivnou plochou. Jez je dlouhý 14,5 m, 2 m široký a 3 m vysoký. Náhon je na pravém břehu hrazen ručně ovládaným stavidlem širokým 3, 2 m. Náhonem je voda přiváděna k vodní elektrárně Desná – Helštejn II a do areálu firmy Preciosa Ornela, a. s.



Obrázek č. 9: Kamenný jez s betonovou přelivnou plochou v říčním kilometru 2,238

2,552 km – Pevný dřevěný jez s výplní dlouhý 6 m, široký 2 m a vysoký 1,6 m. Na vtoku do náhonu, který je na pravém břehu, jsou umístěny ocelové česle. Voda je odtud přiváděna tlakovým potrubím k vodní elektrárně.



Obrázek č. 10: Dřevěný jez v říčním kilometru 2,552

4,463 km – šikmý silniční betonový most

4,684 km – silniční betonový most pod hrází přehrady Souš

4,820 km – hráz vodní nádrže Souš.<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> O vodní nádrži Souš a vodních elektrárnách na Černé Desné bude pojednáno v dalších kapitolách.



Obrázek č. 11: Hráz vodní nádrže Souš

11,000 km – prameny Černé Desné



Obrázek č. 12: Prameny Černé Desné

## 6.2 Malé vodní elektrárny

### 6.2.1 Malá vodní elektrárna Desná - Helštejn II <sup>7</sup>

Jedná se o nejmladší vodní elektrárnu na Černé Desné. Povolení k nakládání s vodami bylo vydáno v červnu roku 1998. Do zkušebního provozu byla

---

<sup>7</sup> MVE Desná - Helštejn na Černé Desné je v pořadí již druhá. Jako první MVE je uváděna elektrárna, která je v současné době mimo provoz. Vzdouvacím objektem pro tuto elektrárnu je jez v říčním kilometru 1,892. O jejím uvedení do provozu se nyní jedná. Nižší na toku se nachází ještě jedna MVE. Ta je však říčním kilometrem 1,040 počítaného od soutoku Desné s Kamenicí, tedy na tzv. Spojené Desné a z toho důvodu nebude v této práci řešena.

elektrárna uvedena až v roce 2002. Vodní elektrárna ovlivňuje průtoky v Černé Desné na délce toku přibližně 340 m. Minimální zůstatkový průtok v korytě toku byl stanoven na hodnotu 60 l/s. Jelikož minimální průtok pro provoz MVE je 42 l/s, elektrárna bude pracovat pouze v případě, bude li průtok v Černé Desné větší jak 102 l/s.

### **Vzdouvací objekt**

Vzdouvací objekt (pevný jez) vodní elektrárny je umístěn v říčním kilometru 2,238 šikmo k ose toku, se kterou svírá úhel 60°. Koruna jezu je zpevněna betonovou deskou o šířce 2,11 m a délce 14,5 m. Za betonovou deskou je jez opevněn žulovým kyklopským zdívkem. To vytváří skluz a postupně se zužuje k ose toku ve své délce 4,5 m. Pravá i levá strana jezu je opevněna kamennou opěrnou zdí. Účelem jezu je vzduť vody pro energetické využití v MVE, dále odběr technologické vody pro firmu Preciosa Ornela, a.s. a stabilizace spádových poměrů na vodním toku.

Údaje o jezové zdrži:

Celkový objem vody v jezové zdrži.....	650 m <sup>3</sup>
Plocha jezové zdrže.....	1500 m <sup>2</sup>
Délka jezové zdrže.....	50 m
Kóta koruny jezu.....	551,77 m n. m. <sup>8</sup>

### **Přivaděč**

Přivaděč vody ke strojovně MVE se skládá ze dvou částí. Na délce 184 m se nachází otevřený přivaděč, který je tvořen betonovým profilem ve tvaru rovnoramenného lichoběžníka. Jeho průměrný sklon činí 2,94‰ a maximální kapacita je 4,015 m<sup>3</sup>/s. Vtok do otevřeného přivaděče je na pravém břehu hrazen ručně ovládaným stavidlem o šířce 3,5 m. Na dalších 96 m je voda vedena v přivaděči tlakovém ze svařovaného ocelového potrubí o maximální průtokové kapacitě 565 l/s.

### **Strojovna**

Je umístěna na pravém břehu v říčním kilometru 1,898, přibližně 50 metrů severně od domu č.p. 256. Voda zde pohání dvě Francisovy turbíny. Při malých průtocích je v provozu pouze jedna turbína. Minimální průtok pro provoz jedné turbíny činí 42 l/s. Se zvětšujícím se průtokem se postupně

---

<sup>8</sup> Výškový systém Balt po vyrovnání



zapojuje i turbína druhá. Při maximálním průtoku 565 l/s jsou v provozu obě turbíny. Výkon turbín je 24,9 kW a 60,4 kW. Celkově je tedy MVE schopna dodávat do sítě 85,3 kW. Provozovatelem elektrárny je společnost Rejnok energy s. r. o. se sídlem v Liberci.

(KNAP 2010)

### **6.2.2 Malá vodní elektrárna Desná III**

Povolení k výstavbě MVE bylo vydáno v roce 1989. Vodní elektrárnou jsou ovlivňovány průtokové poměry na toku o délce 300 m. Minimální zůstatkový průtok v toku byl v povolení k nakládání s vodami stanoven na 50 l/s. Minimální průtok pro fungování elektrárny je 46 l/s, elektrárna je tedy uvedena do provozu v případě, že je průtok v toku větší jak 96 l/s.

#### **Vzdouvací objekt**

Jedná se o pevný dřevěný jez v říčním kilometru 2,552, jehož postavení je kolmo k ose toku. Těleso jezu je tvořeno dvěma srubovými stěnami, které jsou vyplněny kamenným záhozem z místních zdrojů. Přelivná hrana je dlouhá 8,6 m. Za touto hranou následuje šikmá přelivná plocha tvořená dřevěnou podlahou z fošen. Druhá přelivná hrana je přibližně o 60 cm níže a je široká 6,1 m. Funkcí vzdouvacího objektu je vzduť vody pro MVE a stabilizace spádových poměrů na toku.

Údaje o jezové zdrži:

Celkový objem vody v jezové zdrži.....	180 m <sup>3</sup>
Plocha jezové zdrže.....	200 m <sup>2</sup>
Délka jezové zdrže.....	22 m
Kóta koruny jezu.....	583,91 m n. m.

#### **Přivaděč**

Vtok do přivaděče se nachází na levém břehu a je opatřen ocelovými česlemi. Voda je nejprve přiváděna 6,05 m dlouhým uzavřeným betonovým náhonem obdélníkového profilu ke stavidlu, které uzavírá vtok do 33,45 m dlouhého betonového náhonu. Ten přechází do kruhového profilu ocelového tlakového přivaděče o průměru 620 mm. Tlakový přivaděč je dlouhý 348 m. Přibližně 3 m před vstupem do strojovny přechází opět do obdélníkového profilu.

## **Strojovna**

Nachází se na levém břehu přibližně 30 m od jezu, který vzdouvá vodu pro vodní elektrárnu Helštejn II. Voda z elektrárny tak vytéká přímo do prostoru zdrže jezu v říčním kilometru 2,252. Strojovna má tři podlaží. V prvním podzemním podlaží se nachází tři stejné Bánkiho turbíny. Tyto turbíny využívají průtoky v rozsahu 46 l/s až 555 l/s. Hltnost každé turbíny je 185 l/s a její maximální výkon je 30,9 kW. Při maximálním průtoku mají tedy dohromady výkon 92,7 kW. Vodní dílo je v soukromém vlastnictví čtyř osob.

(KNAP 2012)



Obrázek č. 13: Strojovna malé vodní elektrárny Desná III

## **6.3 Vodní nádrž Souš**

### **6.3.1 Historie a důvody výstavby**

Již od roku 1846 existují archivní záznamy o výskytu povodní na Černé Desné a na nedalekých tocích – Bílé Desné, Kamenici a horním povodí Jizery. Při těchto povodních docházelo k hospodářským škodám a často i ke ztrátám na lidských životech (Trejtnar 1975). K velké povodni na Černé Desné došlo v roce 1897. Ve srážkoměrné stanici Nová Louka byl dne 29. 8. 1997 naměřen srážkový úhrn 345,1 mm. Jedná se o vůbec největší srážkový úhrn, který byl na území ČR kdy naměřen (Kubát 1996). Od této povodně začali lidé uvažovat o výstavbě ochranných vodních nádrží. V roce 1902 byly zpracovány první dokumentace hydrologickým oddělením bývalého zemského úřadu v Praze. Podrobnější projekty byly zpracovány v roce 1907 z podnětu vodního družstva

v Dolním Polubném. Stavební práce na přehradě Souš byly zahájeny v roce 1911 podle projektu Ing. Plenknera a prof. Intzeho (Maršalko, Datel 2008). V roce 1912 byla zahájena výstavba přehrady na Bílé Desné v sousedním údolí. Obě přehrady byly kolaudovány ve stejný den 18. 11. 1915. Přehrada na Bílé Desné se však přesně po deseti měsících protrhla. Náklad na výstavbu přehrady Souš činil 1 454 882 tehdejších rakouských korun, v případě přehrady na Bílé Desné to bylo přibližně o milion korun méně (Trejtnar 1975). Z přehrady na Bílé Desné byla vybudována 97 m dlouhá štola, která slouží dodnes k převedení vody do vodní nádrže Souš. Po katastrofě v roce 1916 se lidé obávali, aby se to samé neopakovalo na přehradě Souš, z toho důvodu proběhla v letech 1924 – 1927 její rekonstrukce. V roce 1966 byl schválen návrh na odběr pitné vody pro zásobování aglomerace Jablonecka. Ke změně účelu vodního díla bylo zapotřebí mnoha úprav, které probíhali od roku 1971 do roku 1974, kdy byla úpravna vody Souš uvedena do zkušebního provozu. Trvalý provoz byl povolen až v roce 1982 (Maršalko, Datel 2008). V minulých letech probíhaly studie na zpětné celoroční zprovoznění komunikace II/290 v úseku Smědava – Souš, při kterých se do rozporů dostávala ochrana pitné vody v nádrži se socioekonomickým významem průjezdnosti této lokality.

### **6.3.2 Účel vodního díla**

Hlavním účelem přehrady, pro který byla zbudována, je ochrana níže ležícího území před povodněmi. Současně má přehrada zajistit stálější průtokové poměry v průběhu roku. V době výstavby se počítalo s tím, že budou obě přehrady pracovat jako vodohospodářská soustava. V současnosti je důležitým účelem vodní nádrže její vodárenské využití. Na přehradě se také nachází malá vodní elektrárna s hltností turbíny 159 l/s a maximálním výkonu 22 kW (Trejtnar 1975).

### **6.3.3 Technické parametry**

Vodní nádrž Souš má sypanou hráz z hlinitých písků a drobného štěrku. Na návodní straně se nachází 3 - 5 m tlustá jílová těsnicí vrstva. Ta je doplněna 8 m vysokou betonovou zdí. Celkově je hráz vysoká 21 m a dlouhá 364 m (Maršalko, Datel 2008). Její tzv. vzdušná strana je obložena kamennou

rovnáním. Další parametry, které uvádí Trejtnar (1975), jsou vypsány v následující tabulce:

TECHNICKÉ PARAMETRY VODNÍ NÁDRŽE SOUŠ	
plocha povodí k profilu hráze	13,96 km <sup>2</sup>
průměrné roční srážky	1462 mm
průměrný roční odtok	15,453 mil. m <sup>3</sup>
průměrný průtok	0,486 m <sup>3</sup> /s
stoletý průtok	124 m <sup>3</sup> /s
kóta koruny hráze	771,68 m n. m.
celkový objem nádrže	7 565 000 m <sup>3</sup>
zásobní objem	4 626 000 m <sup>3</sup>
stálé nadržení	485 000 m <sup>3</sup>

Tabulka č. 4: Technické parametry vodní nádrže Souš

Voda z nádrže je vypouštěna dvěma výpustěmi o průměru 1 m. Jsou ovládány šoupátkovými uzávěry ze strojovny věže. Pro převod povodňových průtoků byla vybudována boční kaskádová přepust' (obrázek č. 14).



Obrázek č. 14: Boční kaskádová přepust' na vodní nádrži Souš

Se změnou účelu vodní nádrže na zdroj pitné vody byla poprvé od protržení přehrady v sousedním povodí zprovozněna již zmiňovaná štola, která převádí vodu do nádrže Souš a posiluje tak její zásobní obsah. Jak uvádí Maršalko, Datel (2008), rozměry štoly se v obdélníkovém příčném profilu pohybují okolo 2,5 na 3 m.

# 7. Výpočet maximálního odtoku z povodí

## 7.1 Výpočet pomocí empirických vzorců

Maximální stoleté průtoky jsem vypočítal pomocí empirických vzorců, které uvádím v kapitole 3.3.1. a na které také níže v textu odkazuji.

### Vzorce oblastní

Pro výpočet  $Q_{100}$  podle vzorce (10) jsem vyhledal oblastní parametry v tabulce, kterou uvádějí Dub, Němec (1969):

$$A = 16,3 [-], n = 0,393 [-], F = 26,77 \text{ km}^2$$

$$\underline{Q_{100} = 119,9 \text{ m}^3/\text{s}}$$

### Vzorce objemové (podle Sokolovského)

Nejprve jsem podle Duba, Němce (1969) stanovil průměrnou rychlost stékání vody v povodí Černé Desné a spolu s délkou údolnice dosadil do vzorce (15) a vypočítal dobu koncentrace  $t_k$ :

$$L_u = 11,272 \text{ km}, v = 3,87 \text{ m/s}$$

$$\underline{t_k = 0,809 \text{ h}}$$

Doba trvání deště podle vzorce (16):

$$t_k = 0,809 \text{ h}$$

$$\underline{t_d = 0,719 \text{ h} = 43,14 \text{ min}}$$

Pro výpočet náhradní intenzity přívalového deště dle vztahu (17) jsem vyhledal parametry a, b, c pro srážkoměrnou stanici v Polubném.

$$a = 13,9 [-], b = -3,1 [-], c = 0,17 [-], N = 100 \text{ let}, t_d = 43,13 \text{ min}$$

$$\underline{i_N = 0,995 \text{ min}}$$

Výpočet výšky výpočtového deště dle vztahu (18):

$$i_N = 0,995 \text{ min}, t_d = 43,13 \text{ min}$$

$$\underline{H_{s,N} = 42,93 \text{ mm}}$$

Hodnotu objemového součinitele odtoku  $\varphi$  pro výpočet průtoku  $Q_{100}$  podle Sokolovského (14), jsem dohledal v mapě izolinií uváděnou v příloze Duba, Němce (1969):

$$f = 0,6 [-], k = 0,28 [-], H_{s,N} = 42,93 \text{ mm}, \varphi = 0,7 [-], F = 26,77 \text{ km}^2,$$

$$t_k = 0,809 \text{ h}$$

$$\underline{Q_{100} = 167 \text{ m}^3/\text{s}}$$

### Vzorce objemové (podle Čerkašina)

Nejprve je nutné zjistit hodnotu výrazu (20) a z tabulky odečíst parametr  $p$ :

$$L_u = 11,272 \text{ km}, F = 26,77 \text{ km}^2$$

$$p = 1,40 [-]$$

Pro výpočet  $Q_{100}$  podle Čerkašina (19) jsem použil následující vstupní hodnoty:

$$\varphi = 0,7 [-], v = 3,87 \text{ m/s}, F = 26,77 \text{ km}^2, p = 1,40 [-], L_u = 11,272 \text{ km}$$

$$\underline{Q_{100} = 103 \text{ m}^3/\text{s}}$$

### Vzorce intenzitního typu

Pro výpočet objemového součinitele  $\varphi$  dle vztahu (22) jsem v tabulce dle Armanda, kterou uvádí Hrádek, Kuřík (2008), odečetl hodnotu  $V_T$  [mm] pro kategorii půd II a dobu infiltrace  $T = t_d = 43,13$  min. Celkovou retenci povodí  $R$  jsem vypočítal podle plošného zastoupení jednotlivých povrchů váženým průměrováním (viz tabulka č. 3).

$$H_{s,N} = 42,93 \text{ mm}, V_T = 14 \text{ mm}, R = 12,32 [-]$$

$$\varphi = 0,387 [-]$$

Z objemového součinitele odtoku a součinitele tvaru hydrogramu  $n_h$  lze dle vztahu (26) dopočítat vrcholový součinitel odtoku  $\varphi_n$ .

$$n_h = 2 [-], \varphi = 0,387 [-]$$

$$\underline{\varphi_n = 0,258 [-]}$$

Výsledný maximální průtok dle rovnice (21):

$$i_N = 0,995 \text{ min}, F = 26,77 \text{ km}^2, \varphi_n = 0,258 [-], k = 16,67 [-]$$

$$\underline{Q_{100} = 114 \text{ m}^3/\text{s}}$$

## 7.2 Výpočet pomocí modelu DesQ - MaxQ

Výpočet maximálního odtoku z povodí jsem uskutečnil pomocí matematického modelu DesQ-MaxQ. Vstupní veličiny, ze kterých byl proveden výpočet, jsou uvedeny v tabulce č. 5. Novou veličinou, která v této práci ještě nebyla popsána, je **drsnostní charakteristika**. Ta byla v programu vypočítána pro pravý a levý svah váženým průměrováním ze zadaných ploch krajinného pokryvu s různým stupněm drsnosti. K určení čísla odtokové křivky byla stanovena hydrologická skupina půd **B** podle hlavní půdní jednotky z čísla BPEJ a následně byly určeny velikosti ploch s různým využitím půdy, tedy s různými čísly odtokových křivek. Z těchto čísel byla vypočítána čísla

odtokových křivek pro oba svahy váženým průměrováním podle zadaných ploch.

VSTUPNÍ VELIČINY		POVODÍ	LEVÝ SVAH	PRAVÝ SVAH	JEDNOTKY
F	plocha povodí	26,78			[km <sup>2</sup> ]
F <sub>s</sub>	plocha svahu		19,19	7,59	[km <sup>2</sup> ]
I <sub>s</sub>	průměrný sklon svahu		19	17,2	[%]
g	drsnostní charakteristika		8,31	7,62	[sec]
L <sub>u</sub>	délka údolnice	11,27			[km]
I <sub>u</sub>	průměrný sklon údolnice	3,52			[%]
CN <sub>typ</sub>	typ odtokové křivky (1,2,3)		2	2	[-]
CN	číslo odtokové křivky		56,5	65,3	[-]
H <sub>1d5</sub>	1-denní max. srážkový úhrn pro N=5	85,4			[mm]
H <sub>1d10</sub>	1-denní max. srážkový úhrn pro N=10	102,5			[mm]
H <sub>1d20</sub>	1-denní max. srážkový úhrn pro N=20	120,3			[mm]
H <sub>1d50</sub>	1-denní max. srážkový úhrn pro N=50	142,2			[mm]
H <sub>1d100</sub>	1-denní max. srážkový úhrn pro N=100	159,3			[mm]

Tabulka č. 5: Vstupní veličiny do modelu DesQ – MaxQ

V tabulce číslo 6 jsou uvedeny výsledné hodnoty maximálních N-letých průtoků a objemů povodňových vln na obou svazích a na celém povodí.

N-LETÉ MAXIMÁLNÍ PRŮTOKY A OBJEMY PV			POVODÍ	LEVÝ SVAH	PRAVÝ SVAH	JEDNOTKY
N	doba opakování					[roky]
5	Q <sub>max</sub>	maximální průtok	<b>25,6</b>	9,18	16,5	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]
	W <sub>PVT</sub>	objem povodňové vlny PV	394	258	135	[10 <sup>3</sup> .m <sup>3</sup> ]
	W <sub>PVT,1d</sub>	objem PV vyvolaný H <sub>1d5</sub>	737	489	248	[10 <sup>3</sup> .m <sup>3</sup> ]
10	Q <sub>max</sub>	maximální průtok	<b>44,1</b>	15,4	28,7	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]
	W <sub>PVT</sub>	objem povodňové vlny PV	512	334	177	[10 <sup>3</sup> .m <sup>3</sup> ]
	W <sub>PVT,1d</sub>	objem PV vyvolaný H <sub>1d10</sub>	948	628	320	[10 <sup>3</sup> .m <sup>3</sup> ]
20	Q <sub>max</sub>	maximální průtok	<b>66,6</b>	22,1	44,5	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]
	W <sub>PVT</sub>	objem povodňové vlny PV	622	401	222	[10 <sup>3</sup> .m <sup>3</sup> ]
	W <sub>PVT,1d</sub>	objem PV vyvolaný H <sub>1d20</sub>	1,11	0,732	0,382	[10 <sup>6</sup> .m <sup>3</sup> ]
50	Q <sub>max</sub>	maximální průtok	<b>97,1</b>	29,6	67,5	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]
	W <sub>PVT</sub>	objem povodňové vlny PV	739	464	276	[10 <sup>3</sup> .m <sup>3</sup> ]
	W <sub>PVT,1d</sub>	objem PV vyvolaný H <sub>1d50</sub>	1,26	0,81	0,445	[10 <sup>6</sup> .m <sup>3</sup> ]
100	Q <sub>max</sub>	maximální průtok	<b>123</b>	35,5	87,6	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]
	W <sub>PVT</sub>	objem povodňové vlny PV	824	508	315	[10 <sup>3</sup> .m <sup>3</sup> ]
	W <sub>PVT,1d</sub>	objem PV vyvolaný H <sub>1d100</sub>	1,37	0,878	0,497	[10 <sup>6</sup> .m <sup>3</sup> ]

Tabulka č. 6: N-leté maximální průtoky a objemy povodňových vln

## 8. Diskuze a závěr

V tabulce č. 7 jsou shrnuty výsledky z empirických vzorců a z modelu DesQ-MaxQ. V pravém sloupci jsou uvedeny procentuální odchylky od hodnoty ČHMÚ získanou z podkladů pro vymezení záplavového území Černé Desné.

ZPŮSOB VÝPOČTU	Q <sub>100</sub> [m <sup>3</sup> /s]	chyba [%]
Vzorce oblastní	119,9	- 1,7
Vzorce objemové (podle Sokolovského)	167	+36,8
Vzorce objemové (podle Čerkašina)	103	- 15,5
Vzorce intenzitního typu	114	- 6,5
DesQ-MaxQ	123	+0,8
ČHMÚ	122	0

Tabulka č. 7: Porovnání výsledků Q<sub>100</sub>

Podle očekávání vyšel nejpřesněji výsledek z modelu DesQ – MaxQ, který zohledňuje nejvíce charakteristik povodí. Velice přesně vyšel i výsledek maximálního průtoku z oblastního vzorce. Ten je sice nastaven pro konkrétní oblast, bližší charakteristiky, zejména ty, které se v průběhu let mění, oblastní vzorec nemůže zohlednit. Z tohoto důvodu je přesnost, s jakou výsledek vyšel, poměrně překvapivá. S větší odchylkou od hodnot ČHMÚ vyšly výsledné průtoky z objemových vzorců. V těchto vzorcích byla použita hodnota odtokového součinitele z mapy izolinií, která byla sestrojena pro celou ČR. Tato hodnota může být pro malá povodí nepřesná a je možné, že z tohoto důvodu jsou odchylky ve výsledcích větší než u vzorce intenzitního, který odvozuje hodnotu objemového součinitele odtoku z hodnot retence a infiltrace konkrétního povodí.

Vypočítané hodnoty maximálních N-letých průtoků modelem DesQ – MaxQ jsem ještě porovnal s podklady ČHMÚ ve všech pěti výsledcích.

Černá Desná	Q <sub>5</sub>	Q <sub>10</sub>	Q <sub>20</sub>	Q <sub>50</sub>	Q <sub>100</sub>
ČHMÚ	43,8	58,3	75	100	122
DesQ-MaxQ	25,6	44,1	66,6	97,1	123

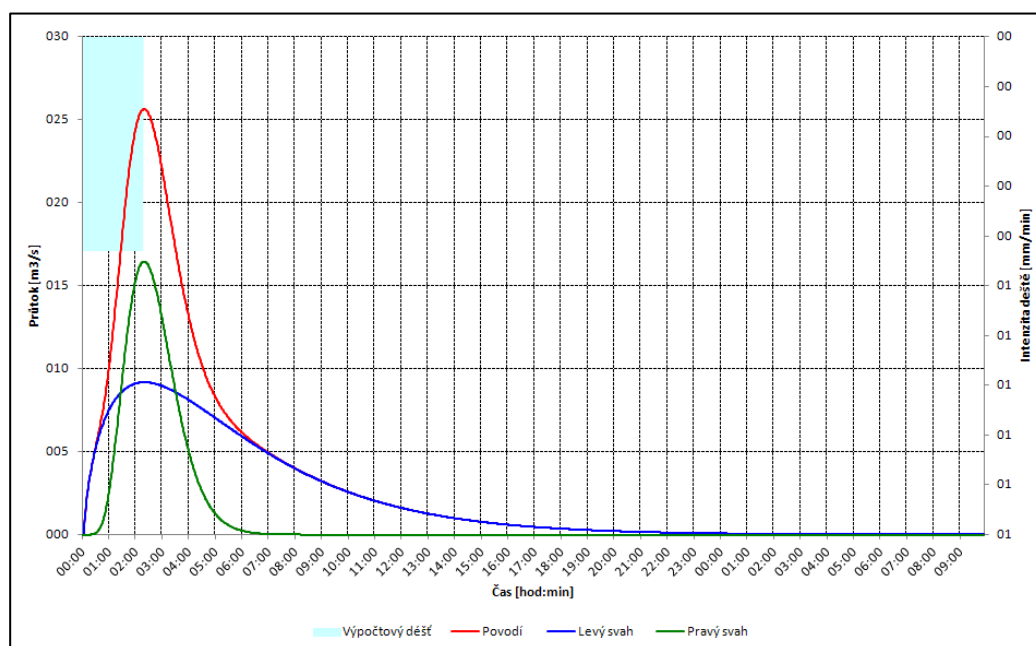
Tabulka č. 8: Porovnání N-letých průtoků

Jak je patrné z tabulky č. 8, výsledný průtok pro Q<sub>100</sub>, vyšel v porovnání s údaji z ČHMÚ velice přesně. U ostatních průtoků směrem k průtoku Q<sub>5</sub> se výsledky začínají rozcházet. To, že jsou N-leté průtoky vypočítané modelem DesQ-MaxQ v těchto případech nižší, se dá vysvětlit tím, že model rozděluje povodí na dva svahy a odtoky vyvolané výpočtovým deštěm počítá pro každý svah

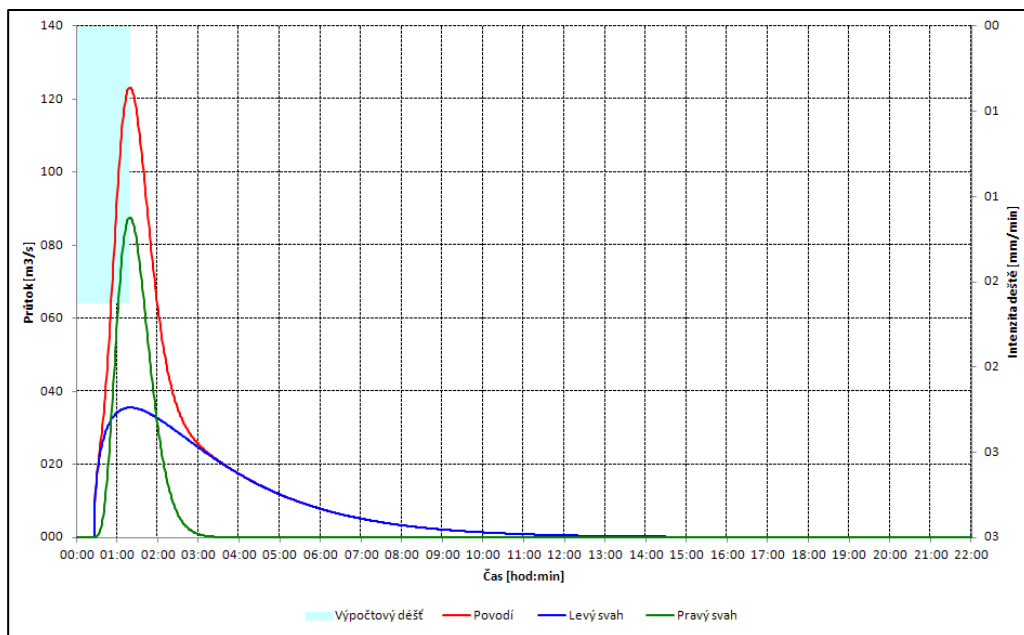


zvláště. Plocha levého svahu je na povodí Černé Desné bezmála třikrát větší. To znamená, že průměrná délka levého svahu je v porovnání s průměrnou délkou svahu pravého také větší a tudíž i doba odtoku do vodoteče se prodlužuje. Rovnoměrnější rozložení odtoku z levého svahu dále způsobuje skutečnost, že je zde větší drsnost povrchu a při výpočtu sehrálo roli i nižší číslo odtokové křivky. Z těchto důvodů je odtok z levého svahu delší a vyvolává menší maximální průtoky, než odtok z pravého svahu. Vlivem rozdílného nárůstu maximálních průtoků při vyšších intenzitách deště na obou svazích je i celkový součet těchto průtoků a jejich rozložení pro jednotlivá N-letá opakování odlišný v porovnání s údaji z ČHMÚ.

Protože je plocha levého svahu větší, je i celkový objem povodňové vlny o mnoho větší v porovnání s objemem povodňové vlny vyvolané odtokem z pravého svahu. Z hydrogramů na obrázcích číslo 15 a 16 lze na první pohled vyčíst, že čím je větší intenzita deště, tím větší je nárůst maximálních průtoků z pravého svahu v porovnání se svahem levým. To může být způsobeno skutečností, že i když je objem povodňové vlny na levém svahu větší, odtok je na něm rozložen do mnohem většího časového intervalu. Nárůst odtoku na pravém svahu se tak musí kvůli kratšímu časovému intervalu realizovat vyššími průtoky a v průběhu zvyšování intenzit deště i větším nárůstem těchto průtoků oproti levému svahu.



Obrázek č. 15: Hydrogram odtoku pro  $Q_5$



Obrázek č. 16: Hydrogram odtoku pro  $Q_{100}$

Jak je patrné z odlišnosti výsledků, odtokový proces z povodí je jev velice složitý a závisí na mnoha faktorech, které jsou v několika vzorcích těžko uchopitelné. Pro přesné popsání charakteristik oblasti daného povodí a jevů, které zde probíhají, je zapotřebí velice podrobný průzkum dané lokality včetně popsání geologických poměrů a charakteristik proudění podzemních vod. Nepostradatelná je bezesporu i zkušenost s fungováním jednotlivých empirických vzorců pro různá povodí, co se týče jejich velikosti a oblastního zařazení.

Výsledky práce bych chtěl využít při dalším zkoumání lokality, které bych chtěl rozšířit ve své diplomové práci. Zde chci pracovat i s jinými matematickými modely a s konkrétními srážkovými daty povodí Černé Desné.

## 9. Použité zdroje a literatura

- BRUNNER W. Gerry, 2010: *HEC – RAS River Analysis System*, Army Corps of Engineers, Davis, 1 – 5 s., [online]. [cit. 29. 3. 2013] Dostupné z: <[http://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/documentation/HEC-RAS\\_4.1\\_Users\\_Manual.pdf](http://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/documentation/HEC-RAS_4.1_Users_Manual.pdf)>
- ČUZK (2012): Základní báze geografických dat ZABAGED
- DHI Water & Environment, 2007: *MIKE SHE User Manual*, Danish Hydraulic Institute, Horsholm, Denmark, 396 s., [online]. [cit. 19. 3. 2013] Dostupné z: <[http://www.hydroasia.org/jahia/webdav/site/hydroasia/shared/DocumentD\\_public/Project/Manuals/WRS/MIKE\\_SHE\\_UserGuide.pdf](http://www.hydroasia.org/jahia/webdav/site/hydroasia/shared/DocumentD_public/Project/Manuals/WRS/MIKE_SHE_UserGuide.pdf)>
- DUB Oto, NĚMEC Jaromír a kol., 1969: *Hydrologie*, SNTL - Nakladatelství technické literatury, Praha 1, 380 s.
- FLEMING J. Matthew, 2010: *Hydrologic Modeling Systém HEC - HMS*, U.S. Army Corps of Engineers, Davis, 46 s., [online]. [cit. 29. 3. 2013] Dostupné z: <[http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/HEC-HMS\\_QuickStart\\_Guide\\_3.5.pdf](http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/HEC-HMS_QuickStart_Guide_3.5.pdf)>
- GEOPORTAL, 2013: *Mapy – prohlížení* [online]. [cit. 5.3.2013] Dostupné z: <<http://geoportal.gov.cz/web/guest/map>>
- HEJDUK Tomáš, 2010: *Hydraulické a hydrologické modelování*, Disertační práce na Fakultě životního prostředí České zemědělské university v Praze na Katedře vodního hospodářství a matematického modelování. Praha, s. 15-20.
- HRÁDEK František, KUŘÍK Petr, 2001: *Maximální odtok z povodí*, Česká zemědělská universita v Praze ve vydavatelství CREDIT Praha, Praha, 37 s., ISBN 80-213-0872-X
- HRÁDEK František, KUŘÍK Petr, 2008: *Hydrologie*, Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 230 s., ISBN 978-80-213-1744-4
- HUBAČÍKOVÁ Věra, 2002: *Hydrologie*, Mendelova zemědělská a lesnická universita v Brně, Brno, 45 s.

- CHALOUPSKÝ a kol., 1989: *Geologie Krkonoš a Jizerských hor*, Ústřední ústav geologický v Akademii, nakladatelství Československé akademie věd, Praha, 288 s.
- JENÍČEK Michal, 2007: *Modelování srážko-odtokových procesů na malých a středně velkých povodích*, In *Povodně a změny v krajině*, Přírodovědecká fakulta University Karlovy v Praze a Ministerstvo životního prostředí ČR, Praha, 101-110 s., ISBN 978-80-86561-86-8
- JENÍČEK Michal, 2011: *Přehled srážko-odtokových modelů*, Přírodovědecká fakulta university Karlovy v Praze, Praha, 17 s., [online]. [cit. 16. 2. 2013] Dostupné z: <<http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/download.php?akce=dokumenty&cislo=54>>
- JETEL Ján, 1985: *Metody regionálního hodnocení hydraulických vlastností hornin*, Ústřední ústav geologický, Praha, 147 s.
- KEMEL Miroslav, 1996: *Klimatologie, meteorologie, hydrologie*, České vysoké učení technické v Praze, Praha, 289 s., ISBN 80-01-01456-8
- KEMEL Miroslav, KOLÁŘ Václav, 1980: *Hydrologie*, České vysoké učení technické v Praze, Praha, 292 s.
- KNAP Jiří, 2010: *Manipulační řád pro energetické vodní dílo pevný jez a MVE Desná – Helštejn II na Černé Desné*, Povodí Labe, státní podnik, Hradec Králové, s. 6 – 10
- KNAP Jiří, 2012: *Manipulační řád pro energetické vodní dílo pevný jez a MVE Desná III na Černé Desné*, Odbor stavební úřad a životní prostředí Městského úřadu Tanvald, s. 6 – 9
- KOVÁŘ Pavel, 1990: *Využití hydrologických modelů pro určování maximálních průtoků na malých povodích*, Vysoká škola zemědělská Praha v Editpressu MON, Praha, 95 s., ISBN 80-213-0088-4
- KUBÁT Jan, 1996: *Hydrologické podklady pro posuzování bezpečnosti vodních děl*, In *Hydrologická zabezpečení vodních děl*, Česká vědeckotechnická vodohospodářská společnost, Praha, s. 31-40, ISBN 80-02-01132-5
- KULHAVÝ Zbyněk, KOVÁŘ Pavel, 2000: *Využití modelů hydrologické bilance pro malá povodí*, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy Praha, Praha, 123 s.

- KUTÍLEK Miroslav, KURÁŽ Václav, CÍSLEROVÁ Milena, 2000: *Hydropedologie 10*, České vysoké učení technické v Praze, Praha, 176 s., ISBN 80-01-02237-4
- LAUERMAN Jiří: 2009, *Zhodnocení a zdůvodnění socioekonomického významu celoročního zprovoznění komunikace II/290 v úseku Smědava – Souš*, Europ a.s., Praha, 36 s.
- MARŠALCO Pavel, DATEL Josef, 2008: *Posouzení možnosti celoročního zprovoznění komunikace II/290 v úseku Smědava – Souš*, Universita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Praha, 39 s.
- MERTA Ladislav, 2004: *Vymezení záplavového území Černé Desné v ř. km 0,000 – 4,900: Technická zpráva*, Povodí Labe, státní podnik, Hradec Králové, s. 5
- PETŘÍČEK Václav, 2005: *Významné krajinné prvky, nástroj obecné územní ochrany v krajině*, AOPK ČR, Praha, s. 3-4
- POBŘÍŠLOVÁ Jana, 2011: *Hydrologická ročenka 2010*, Český hydrometeorologický ústav, oddělení hydrologického výzkumu, Jablonec nad Nisou, 70 s.
- POBŘÍŠLOVÁ Jana, 2012: *Hydrologická ročenka 2011*, Český hydrometeorologický ústav, oddělení hydrologického výzkumu, Jablonec nad Nisou, 65 s.
- POKORNÁ Dana, ZÁBRSKÁ Jana, 2008: *Hydrologie a hydropedologie*, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha, 218 s., ISBN 978-80-7080-707-1
- SKÁCEL Alexander, 2002: *Potřeba komplexního hodnocení akcí revitalizace říčních systémů*, Ostravská universita, Ostrava, s. 274-278, [online]. [cit. 23. 2. 2013] Dostupné z: <[http://www.umad.de/infos/iuappa/pdf/B\\_42.pdf](http://www.umad.de/infos/iuappa/pdf/B_42.pdf)>
- ŠTĚPÁNOVÁ Marie, 2010: *Mapy podnebí Česka v prostředí googlemaps* [online]. [cit. 5.3.2013] Dostupné z: <<http://gislib.upol.cz/app/stepanova10/map.html>>
- TOURKOVÁ Jana, 2004: *Hydrogeologie*, České vysoké učení technické v Praze, Praha, 165 s., ISBN 80-01-03101-2

- TREJTNAR Karel a kol., 1975: *Přehrady Povodí Labe*, Kruh, Hradec Králové, s. 110 – 121
- VÝZKUMNÝ ÚSTAV VODOHOSPODÁŘSKÝ TGM, 2013: *Vodní hospodářství a ochrana vod* [online]. [cit. 5.3.2013] Dostupné z: <[http://heis.vuv.cz/data/webmap/isapi.dll?map=mp\\_heis\\_voda&](http://heis.vuv.cz/data/webmap/isapi.dll?map=mp_heis_voda&)>

## 10. Příloha

- Podélný profil Černé Desné