

**UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE**

**Přírodovědecká fakulta**

Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie

Studijní program: Geografie (bakalářské studium)

Studijní obor: Geografie - kartografie



Matěj SOUKUP

## **VYUŽITÍ HYDROLOGICKÝCH NÁSTROJŮ GIS VE VODOHOSPODÁŘSTVÍ**

**USE OF GIS HYDROLOGY TOOLS IN WATER  
MANAGEMENT**

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Přemysl Štych, Ph. D.

Praha 2011

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne 27. 5. 2011

.....

podpis

## **Poděkování**

Rád bych zde na prvním místě poděkoval vedoucímu mé práce RNDr. Přemyslu Štychovi, Ph. D. za čas i ochotu při konzultacích a cenné rady a připomínky k práci. Velký dík také patří pracovníkům Vodohospodářské společnosti Dobříš za jejich čas strávený při konzultacích a měření v terénu.

# Využití hydrologických nástrojů GIS ve vodohospodářství

## Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá využitím hydrologických nástrojů geoinformačních systémů (GIS) ve vodohospodářství na příkladu regionu Dobříšsko. Je zde řešeno vymezení ochranných pásem vodních zdrojů na základě digitálního modelu terénu. Digitální model terénu byl vytvořen z výškopisných dat ZABAGED a upraven podle dat o říční síti z databáze DIBAVOD. Práce se také zabývá využitím hydrologických funkcí při hledání potencionálních vodních zdrojů. V rámci práce byla zpracována geodatabáze obsahující data využitelná pro vodohospodářské účely.

## Klíčová slova

GIS, vodohospodářství, vodní hospodářství, hydrologické modelování, ochranná pásma, vodní zdroje

# Use of GIS hydrology tools in water management

## Abstract

This thesis deals with the use of GIS hydrology tools in water management. It is solved on example of Dobříš region. It deals with delineating water protection zones based on digital elevation model. The digital elevation model was derivated from elevation data from the ZABAGED database and then modified by the river network data from the DIBAVOD database. The paper also discusses the use of hydrological functions in the search for potential water sources. During the work was developed a geodatabase containing the data usable in water management.

## Keywords

GIS, water management, hydrologic modelling, protection zones, water resources

# OBSAH

<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>7</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>7</b>
<b>PŘEHLED POUŽITÝCH ZKRATEK .....</b>	<b>8</b>
<b>1 ÚVOD.....</b>	<b>9</b>
<b>2 LITERÁRNÍ REŠERŠE A UVEDENÍ DO PROBLEMATIKY.....</b>	<b>10</b>
2.1 Voda a její zdroje.....	10
2.1.1 Vodohospodářství.....	10
2.1.2 Zdroje pitné vody.....	10
2.1.3 Ochranná pásma a jejich stanovování.....	11
2.1.4 Ochranná pásma vodních zdrojů v České republice.....	12
2.2 Využití GIS ve vodohospodářství.....	12
2.2.1 Geoinformační systémy.....	13
2.2.2 Digitální výškové modely.....	14
2.2.3 Určení oblastí potencionálních vodních zdrojů.....	15
2.3 Situace v řešeném území.....	15
2.3.1 Historie zásobování Dobříše pitnou vodou.....	15
2.3.2 Současné zdroje a jejich ochrana.....	16
<b>3 DATA A METODIKA .....</b>	<b>18</b>
3.1 Vstupní data.....	18
3.2 Hardware.....	18
3.3 Použitý software.....	19
3.4 Metodika.....	19
3.4.1 Tvorba databáze vodních zdrojů a vodohospodářské infrastruktury.....	19
3.4.2 Vytvoření DMT.....	21
3.4.3 Úpravy DMT.....	21
3.4.4 Vytvoření dílčích vrstev.....	23
3.4.5 Vymezení okolí.....	24
3.4.6 Vymezení oblasti odvodňované do určitého bodu.....	25
3.4.7 Vymezení oblasti podle vzdálenosti a doby odtoku.....	26

3.5 Uložení dat.....	26
<b>4 VÝSLEDKY.....</b>	<b>28</b>
4.1 Doplnění dat.....	28
4.2 Ochranná pásma.....	28
4.2.1 Lokalita Roubená studánka – Baba .....	28
4.2.2 Lokality Trnová, Brodce a Lipíže.....	30
4.2.3 Lokalita Sanatorka .....	31
4.2.4 Lokality Svatá Anna a Jezírko .....	31
4.2.5 Lokalita Chotobuš.....	33
<b>5 DISKUZE .....</b>	<b>34</b>
5.1 Databáze hydrologických dat .....	34
5.2 Určení ochranných pásem.....	34
5.3 Určení potencionálních zdrojů vody.....	35
5.4 Použitý software a hardware.....	35
<b>6 ZÁVĚR.....</b>	<b>37</b>
<b>7 ZDROJE .....</b>	<b>38</b>

# SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. č. 1: Hodnoty rastru směru toku .....	23
Obr. č. 2: Situace Baba .....	29
Obr. č. 3: Situace Trnová.....	30
Obr. č. 4: Situace Sanatorka .....	31
Obr. č. 5: Situace Sv. Anna a Jezírko .....	32
Obr. č. 6: Chotobuš - povodí .....	33

# SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1: Dobříš – vodovodní síť a zařízení

# PŘEHLED POUŽITÝCH ZKRATEK

CAD – Computer Aided Design, projektování za pomoci počítače

DMT – digitální model terénu

DIBAVOD – Digitální báze vodohospodářských dat

GIS – Geoinformační systém

GPS – Global Position System, globální poziční systém

OP – ochranné pásmo

OPVZ – ochranné pásmo vodního zdroje (úředně vymezené)

RMS – Root Mean Square, střední kvadratická chyba

S-JTSK – Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální

TIN – Trinagulated Irregular Network, nepravidelná trojúhelníková síť

VÚV – Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka

ZABAGED – Základní báze geografických dat



# 1 ÚVOD

Dostupnost vody je už od pradávna jedním z limitujících faktorů pro lidské osídlení. Žádné území nemůže být trvale osídleno lidmi bez zajištění zásobování pitnou vodou. Současná stále se zvětšující civilizace musí neustále hledat nové zdroje zajišťující její potřeby. Zároveň je třeba chránit kvalitu stávajících vodních zdrojů. S těmito i jinými úkoly z oblasti vodohospodářství může dnes výrazně pomoci rozvíjející se segment geoinformačních systémů. Tyto systémy zjednodušují a zrychlují dříve velice složité analýzy. S pomocí kvalitních výškopisných, hydrologických, geologických a dalších dat pomáhají nacházet nové vodní zdroje, modelovat proudění povrchové i podpovrchové vody či zjišťovat mnoho dalších informací nejen z oblasti vodního hospodářství.

Cílem práce je aplikace hydrologických nástrojů GIS ve vodohospodářství se zaměřením na problematiku mapování vodních zdrojů a určování jejich ochranných pásem. Úkolem práce je odpovědět na otázku vhodnosti použití geoinformačních systémů k těmto účelům. Prostřednictvím hydrologických nástrojů GIS se práce pokusí lokalizovat stávající i potenciální zdroje pitné vody a vymežit k nim rizikové plochy, na kterých nastíní rizika znečištění. Součástí práce by měla být i tvorba databáze geografických dat využitelných pro potřeby vodohospodářství.

První část této práce se věnuje obecnému shrnutí tématu. Je zde probrána problematika ochrany vodních zdrojů. Dále jsou zde řešeny geoinformační systémy obecně a jejich použití v hydrologických aplikacích. Vysvětleno je také několik základních pojmů z této oblasti. Stručně teoreticky je tu nastíněna metoda vyhledávání potenciálních vodních zdrojů pomocí GIS. Na závěr této části je shrnuta situace v řešeném území, tedy v okolí města Dobříš. Další oddíly pojednávají o praktické části práce. Jsou zde popsána vstupní data a postupy použité při práci. Následně jsou prezentovány výsledky doplněné o několik grafických výstupů. Celá bakalářská práce je zakončena diskuzí nad zvolenou metodikou i výsledky a závěrem.

# 2 LITERÁRNÍ REŠERŠE A UVEDENÍ DO PROBLEMATIKY

## 2.1 Voda a její zdroje

Voda je jednou z nejdůležitějších látek přítomných na Zemi. Hydrosféra je nejproměnlivější a nejdynamičtější částí zemského tělesa. Po celou dobu zemské historie je přítomnost, množství, forma či kvalita vody pevně spjata s vývojem života na konkrétních místech zemského povrchu.

Člověk, jakožto živočišný druh, je rovněž závislý na vodě. V minulosti byla přítomnost pitné vody jedním z hlavních kritérií při výběru vhodného místa osídlení (Kemel; Kolář, 1980). Dodnes vodní zdroje zůstávají limitujícím faktorem pro lidskou činnost na mnoha místech Země. Pro člověka je voda nejen potravinou, ale i surovinou, dopravní cestou či prostředím pro trávení volného času.

### 2.1.1 Vodohospodářství

O praktické problémy spojené s využíváním vodních zásob pro potřeby lidské populace se stará část hydrologie zvaná vodní hospodářství (či vodohospodářství). Mezi jeho úkoly patří zejména (eAGRI, 2010):

- a. zajišťování zdrojů vody pro přímou spotřebu obyvateli, pro průmysl a zemědělství
- b. transport této vody k jejím uživatelům
- c. transport odpadních vod, jejich čištění a návrat zpět do přírodního prostředí
- d. ochrana před extrémními vlivy počasí – povodně, sucho

### 2.1.2 Zdroje pitné vody

Zdroje pitné vody můžeme dělit na zdroje povrchové vody (hlavně nádrže a vodní toky) a zdroje podzemní vody. Kvalitnějšími jsou zpravidla zdroje podzemní vody, protože tato voda má většinou vyhovující chemické složení a je méně náchylná vůči znečištění než voda povrchová (Pačes, 1982).

V Česku je zásobování obyvatel pitnou vodou uskutečňováno ze 42 % z podzemních zdrojů vody, 32 % dostává vodu z povrchových zdrojů a 26 % populace je zásobováno smíšenými zdroji (SZÚ, 2008).

### 2.1.3 Ochranná pásma a jejich stanovování

Ochranná pásma se používají pro ochranu vydatnosti, jakosti či zdravotní nezávadnosti vodních zdrojů povrchových a podzemních vod (§30 zákona 254/2001 Sb.). V těchto pásmech jsou omezeny nebo zakázány některé činnosti potenciálně ohrožující kvantitu nebo kvalitu vodního zdroje.

Ochranná pásma můžeme v zásadě rozdělit na pásma zdrojů podzemní vody a na pásma zdrojů povrchové vody. Pro tyto dva druhy zdrojů probíhá vymezení ochranných pásem odlišně.

Stanovení pásem okolo podzemních zdrojů je složitější, protože pro přesnější vymezení jsou potřeba hydrogeologická měření. Pro stanovení velikosti ochranných pásem se používají různé metody. Jejich použití je ovlivněno zejména jejich požadovanou přesností a složitostí jejich použití. Mezi tyto metody se podle Chave (2006) zahrnují (řazeno od nejjednodušších po nejpřesnější):

- a. daná fixní vzdálenost – pásmo je stanoveno jako kruh o určitém pevně daném poloměru od zdroje
- b. spočítaná fixní vzdálenost – šířka pásma je spočítána na základě objemu vody, který do zdroje přitéká za určitý čas
- c. jednoduché geometrické útvary – stanovány podle převažujících směrů toků podzemní vody, bere se v úvahu, za jak dlouho voda z daného místa doteče ke zdroji
- d. použití analytických hydrogeologických metod
- e. použití hydrogeologického mapování
- f. použití počítačového modelování

Protože ke zdrojům povrchové vody přichází voda hlavně po povrchu, nejsou hydrogeologické parametry území tolik důležité jako při stanovování pásem v okolí zdrojů podzemních vod. Zde mají zásadní vliv tvary reliéfu a říční síť nad odběrným

místem. Při stanovování ochranných pásem okolo zdroje povrchových vod lze vymezit několik druhů ochranných pásem. U plošného povrchového zdroje, jakým je například vodárenská nádrž, můžeme stanovit ochranná pásma (OP) v zásadě čtyřech druhů:

- a. Ochranné pásmo v bezprostředním okolí odběrného místa
- b. Ochranné pásmo nádrže zahrnující její hladinu a případně nejbližší okolí
- c. Ochranné pásmo vodních toků přitékajících do nádrže
- d. Celé povodí odvodňující se do nádrže, či jeho část danou například vzdáleností či časem dotečení vody k odběrnému místu

Pro stanovení okolí odběrného místa, nádrže či vodního toku lze použít buď fixně danou vzdálenost, nebo přesněji vzdálenost spočítanou na základě rychlosti proudění podzemní vody. Například lze použít vzdálenost, kterou podzemní voda proteče za 24 hodin (Klamut, 2001).

#### **2.1.4 Ochranná pásma vodních zdrojů v České republice**

V Česku se ochranná pásma stanovují zpravidla pro vodní zdroje s ročním odběrem větším než 10 000 m<sup>3</sup> za rok (§30 zákona 254/2001 Sb). Rozlišují se ochranná pásma prvního a druhého stupně. Pásmo 1. stupně je souvislé území nacházející se v určité vzdálenosti od zdroje. Vzdálenost je dána zákonem podle charakteru zdroje. Pásmo 2. stupně se stanovuje vně pásma 1. stupně a může být tvořeno jak souvislým územím, tak i několika od sebe oddělenými oblastmi. Pásma jsou stanovována vodoprávními úřady. Pokud to není zákonem stanoveno jinak, tak je za vodoprávní úřad považován úřad obce s rozšířenou působností.

V České republice jsou minimální parametry 1. pásma stanoveny zákonem (§30 zákona 254/2001 Sb). Vyhláška č. 137/1999 Sb. Ministerstva životního prostředí stanovuje obecné zásady stanovování ochranných pásem a jevy, ke kterým je třeba přihlížet, nicméně neobsahuje konkrétní metodiku jejich vymezení, které je tak do značné míry v kompetenci příslušného vodoprávního úřadu.

## **2.2 Využití GIS ve vodohospodářství**

Při řešení vodohospodářských úloh se vyskytuje velké množství dat, pro která je důležitý prostorový údaj. Data o srážkách, říčních systémech, nádržích, vodních

zdrojích, vodovodním potrubí, kvalitě vody, kanalizaci a mnohá další by byla velice špatně využitelná, pokud by se nedalo pracovat s jejich prostorovými údaji. Proto se pro takovéto použití hodí geoinformační systémy (GIS).

### 2.2.1 Geoinformační systémy

Geoinformační systémy jsou informační systémy, které pracují s geografickými daty a usnadňují získání geografických informací z nich (Kolář, 2003). GIS jsou komplexními systémy obsahující nástroje:

- a. *Pro uložení a přístup k datům* – databáze, řídicí databázový systém (DBMS), dotazovací jazyk
- b. *Pro analýzu dat a získávání informací* – funkční nástroje
- c. *Pro vizualizaci dat* – uživatelský interface

V oblasti softwaru GIS existuje množství komerčních i volně dostupných produktů. Největší podíl na trhu drží firma Esri se softwarem ArcGIS, který je v mnoha oblastech již považován za standard (ESRI, 2002). Pro potřeby vodohospodářství je ale možné využít i systémů jiných výrobců včetně softwaru typu opensource, který je výhodný zvláště při potřebě snížit náklady na zavedení systému na minimum.

Podle logiky fungování systému můžeme GIS aplikace rozdělit:

- a. *Desktop aplikace*

GIS provádí výpočty, uložení dat i zobrazení výsledků lokálně na počítači uživatele.

- b. *Server aplikace*

GIS provádí výpočty a uložení dat na vzdáleném počítači (serveru), na počítači uživatele se provádí pouze zobrazení. K datům tak může přistupovat více různých uživatelů z různých míst i zařízení (desktop, mobilní zařízení).

- c. *Mobilní GIS*

GIS je zjednodušen pro použití na lehkých přenosných zařízeních (chytřejí telefony, kapesní počítače) přímo v terénu. S pomocí mobilního internetu může být používán v kombinaci se serverovými aplikacemi.

## 2.2.2 Digitální výškové modely

Pokud vycházíme z principu, že voda teče vždy dolů, je tvar a nadmořské výšky povrchu Země (a případně i objektů na něm) určující pro chování povrchové vody. Pro modelování hydrologických procesů v prostředí GIS je tedy zapotřebí vystihnout vlastnosti konkrétního povrchu Země.

K tomuto účelu se využívají tzv. digitální výškové modely (anglicky DEM – Digital Elevation Model) (Podobnikar, 2008). Tyto modely členíme na (Li, 2005):

### *a. Digitální model terénu – DMT (anglicky Digital Terrain Model – DTM)*

Model kopíruje holý terén Země vzniklý přirozenými pochody či přetvořený člověkem bez přírodních i antropogenních objektů.

### *b. Digitální model povrchu – DMP (anglicky Digital Surface Model – DSM)*

Kopíruje povrch Země včetně přírodních i člověkem vytvořených objektů (budov, stromů, keřů, ...).

V holém terénu se oba modely shodují. Modely dále dělíme podle způsobu jejich uložení. Pro uložení výškových modelů využíváme 2 různé datové modely (Rapant, 2006):

### *a. Grid*

Data jsou zachycena povětšinou v pravidelném čtvercovém rastru, kde každá buňka s sebou nese informaci o nadmořské výšce jejího středu. Tento formát je relativně jednoduchý na tvorbu i výpočty, avšak často vystihuje terén hůře než TIN.

### *b. TIN*

V trojúhelníkové nepravidelné síti (angl. Triangulated Irregular Network – TIN) je terén vyjádřen sestavou nepravidelných navazovaných trojúhelníkových plošek, kde každý vrchol má přiřazenou výškovou souřadnici. Na rozdíl od gridu je možné hustotu sítě přizpůsobit členitosti krajiny a tím lépe vystihnout její charakter (Kolář, 2003).

Protože při hydrologickém modelování v menším měřítku nemění objekty významně hydrologické charakteristiky povrchu (s výjimkou vodních staveb), vystačí k takovému použití DMT. Kvůli jednoduchosti výpočtů je hydrologickými nástroji podporován zpravidla formát grid.

### **2.2.3 Určení oblastí potencionálních vodních zdrojů**

Základní představu o možnostech čerpání vody z povrchových zdrojů dává vypočtený rastr akumulace vody. Ten zjednodušeně znázorňuje, kolik vody proteče přes konkrétní prostor. V místech, kde je hodnota tohoto rastru dostatečně velká, by bylo možno vystavět vodohospodářská zařízení a část vody z toku odebírat. Bylo by samozřejmě nutno přihlédnout k dalším parametrům, jako je využití půdy, kvalita vody, ekologické aspekty či ekonomická výhodnost.

Pro přesnější určení oblastí potenciálních podzemních zdrojů vody je třeba použít sofistikovanějších metod. Nagarajan a Singh (2009) používají pro určení těchto zón v GIS vážený překryv (Weighted overlay), kde váhy odpovídají důležitosti jednotlivých vrstev v určení oblastí zvýšeného výskytu podzemní vody. K analýze používají geologickou vrstvu, vrstvu využití krajiny (land-use), vrstvu půd, svažitost, vrstvu lineamentů a odtok. Každá vrstva je reklasifikována na 3 třídy podle pravděpodobnosti výskytu podzemní vody. Podobně i jiný model (Murthy, 2003) využívá podobné vrstvy, avšak navíc k nim přidává srážky. Tento model je podrobněji klasifikovaný a jinak určuje jejich váhy, v zásadě funguje ale podobně. Váženým překryvem všech reklasifikovaných vrstev je získán rastr, kde hodnota každé buňky ilustruje, jak je daný prostor vhodný pro potencionální čerpání vody.

## **2.3 Situace v řešeném území**

Řešeným územím je okolí města Dobříš, nacházející se asi 35 km jihovýchodně od Prahy. Dobříšsko je na severozápadě omezeno hřebenem Brd, odkud se terén svažuje jihovýchodním směrem k řece Kocábě (Vacek, 2005). Území leží ve slabém srážkovém stínu části brdského pohoří zvané Hřebeny a je dotováno atmosférickými srážkami a povrchovým přítokem od jihovýchodu Kotenčickým potokem. Do toho se v okolí Dobříše vlévají levostranné přítoky Lipížský a Trnovský potok a následně se pod obcí Stará Huť vlévá do Kocáby (Vacek, 2005). Zásobování města pitnou vodou je řešeno hlavně podzemními, ale i povrchovým zdrojem.

### **2.3.1 Historie zásobování Dobříše pitnou vodou**

V minulosti se město potýkalo s nedostatkem vody, proto byla vybudována vodohospodářská nádrž Chotobuš na Kotenčickém potoce, která zásobovala město od

roku 1962. Kvalita vody z tohoto zdroje však nebyla vyhovující, proto byl nahrazen zdroji podzemními. Úprava vody pro tuto nádrž se pak v 90. letech začala využívat pro nedaleký zdroj Jezírko (Vacek, 2005). Jezírko je umělá nádrž vzniklá těžbou kamene, která má přirozený přítok podzemní vody dostačující pro vodohospodářské účely, a je tak v současnosti jediným povrchovým zdrojem vody pro Dobříš.

Zdroje podzemní vody se nacházejí ve čtyřech jímacích územích severozápadně od města směrem v pramenných oblastech Lipízkého a Trnovského potoka. Prameniště Baba je nejstarší, byla zde získávána voda pro vodovod už od konce 19. století. Voda je jímána gravitačně. Další jímací území jsou Trnová s osmi vrty, Lipíže s osmi vrty a Brodce s dvěma vrty (Vodohospodářská společnost Dobříš, 20??). Tato 3 prameniště jsou z 90. let 20. stol., kdy vznikly kvůli potřebě nahradit nevyhovující vodu z nádrže Chotobuš, která ani kapacitně nestačila a město muselo být dotováno vodou pomocí přivaděče z Příbrami (Vacek, 2005).

### **2.3.2 Současné zdroje a jejich ochrana**

Město je tedy v současnosti zásobeno mnoha zdroji několika různých typů. Jedná se o 20 vrtů, sběrnou studnu se systémem rýh, 3 studny a povrchový zdroj vody v lokalitě Jezírko. V nedávné době byla také voda čerpána z povrchové nádrže Chotobuš na Kotenčickém potoce, proto i jí se bude práce zabývat. Každý druh zdroje vyžaduje jiné vymezení ochranných pásem.

U vrtů je vzhledem k jejich hloubce ovlivnění povrchovou vodou minimální. Z tohoto důvodu lze ochranné pásmo určit nejjednodušeji fixně danou vzdáleností od čerpacího místa.

Studny, které sbírají vodu gravitačně systémem rýh, jsou povrchovou vodou ovlivněny více. Ochranné pásmo je zde možno určit jako oblast, z které voda může být odvedena systémem rýh do sběrné studánky.

Nádrž Jezírko se nachází v místě bývalého lomu, nemá povrchový přítok ani odtok. Je tedy zásobována hlavně vodou podzemní. Proto ochranné pásmo povrchového přítoku musí zahrnovat pouze bezprostřední okolí přímo stékající do nádrže.

Nádrž Chotobuš naopak leží na Kotenčickém potoce, mimo okolí nádrže je tedy třeba brát na zřetel tento tok, jeho přítoky a celou značně rozsáhlou oblast, která je odvodňována přes tuto nádrž. Kvalitu vody z toho zdroje ohrožuje velké množství vlivů



z celé této oblasti. Právě hlavně pro nevyhovující kvalitu vody byla tato nádrž v minulosti z vodních zdrojů pro Dobříš vyloučena.

# 3 DATA A METODIKA

## 3.1 Vstupní data

Pro zpracování práce byla využita široká škála zdrojů prostorových dat. V první řadě se jednalo o databáze ZABAGED a DIBAVOD. ZABAGED je digitální geografický model území ČR obsahující jak polohopisná, tak výškopisná data, který svoji přesností a obsahem odpovídá Základní mapě 1 : 10 000 (Zeměměřický úřad, 2011). Podle studie (Divišová, 2006) dosahují výškové nepřesnosti v ZABAGED hodnoty do 2 m, pouze v místech výrazných terénních úprav (náspů a výkopů) můžou dosáhnout až 10 m. Pro hydrologické studie většího území jako je např. toto zpracovávané území, je přesnost dat ZABAGED dostačující a bylo možno tato data použít.

DIBAVOD (Digitální báze vodohospodářských dat) je geografická databáze vodohospodářských dat. Byla vytvořena Výzkumným ústavem vodohospodářským T. G. Masaryka (VÚV) jako nadstavba databáze ZABAGED a je poskytována zdarma. Přesností odpovídá taktéž Základní mapě 1 : 10 000 (VÚV, 2007).

Tyto zdroje byly využity v procesu modelace rastrového digitálního modelu. Konkrétně byla použita výšková data ZABAGED a model byl dále zpřesněn daty vodních toků a nádrží z databáze DIBAVOD.

Vodní zdroje, kterými je zásobována Dobříš, byly ručně zaměřeny přístrojem GPS a tato bodová data byla spojena s digitálními CAD podklady Vodohospodářské společnosti Dobříš. Prostorová data o stávajících ochranných pásmech vodních zdrojů pocházejí z databáze DIBAVOD.

Pro vizualizaci byly použity volně dostupné vrstvy z Národního geoportálu INSPIRE.

## 3.2 Hardware

Pro většinu prací byl použit průměrně výkonný osobní počítač se systémem Windows 7. Zaměřování bodů v terénu bylo provedeno pomocí turistického GPS přístroje Garmin eTrex Legend HCx s udávanou přesností 3–5 m.

### 3.3 Použitý software

K práci byly použity převážně produkty společnosti Esri, hlavně systém ArcGIS Desktop ve verzi 10 a jeho doplněk pro hydrologické aplikace Arc Hydro Tools 2.0. K převodu dat z GPS přístroje do programu ArcGIS byly využity programy Garmin MapSource, Google Earth a rozšíření GPSFile to SHP pro ArcGIS.

Arc Hydro je rozšířením programu ArcGIS Desktop, které slouží k hydrologickým analýzám. Skládá se jednak z modelu prostorových a časových dat ArcHydro Data Model, který se využívá pro uložení hydrologických dat a definování vztahů mezi nimi, a dále ze sady hydrologických nástrojů ArcHydro Tools. ArcHydro také obsahuje podporu hydrologických simulací, pro jejichž tvorbu je však zapotřebí externí program (Jedlička; Štych, 2007).

### 3.4 Metodika

Prvotním krokem bylo vytvoření databáze a import vstupních dat. Následně byly ukládány i výsledky dalších prací. Další v hydrologických analýzách nutnou činností bylo vytvoření věrného DMT. Po jeho vygenerování a upravení bylo třeba vytvořit z něj několik dalších vrstev, které pak vstupují do hydrologických funkcí, pomocí kterých byla modelována ochranná pásma vodních zdrojů.

#### 3.4.1 Tvorba databáze vodních zdrojů a vodohospodářské infrastruktury

Město Dobříš a VHS Dobříš vlastní několik cenných datových sad vhodných pro účely managementu vodních zdrojů. Tyto kvalitou odlišné datové zdroje bylo nutné spolu s ostatními vstupními vrstvami spojit do jedné databáze prostorových dat. Pro tento účel byl vybrán datový model ESRI File Geodatabase. Databáze obsahuje jak rastrová, tak vektorová data, která jsou členěna do několika Feature Datasetů. Všechny vrstvy jsou zde uloženy v souřadnicovém systému S\_JTSK\_Krovak\_East\_North. Tento systém byl zvolen, protože většina vrstev v něm již byla uložena. Vzhledem k tomu, že byl vytvořen speciálně pro Československo, je vhodný pro uložení a vizualizaci těchto dat.

Do této databáze byly v programu ArcCatalog funkcí *Export – To Geodatabase (multiple)* importovány podklady zahrnující vektorovou databázi vodohospodářské infrastruktury a katastrální vektorovou databázi nacházející se původně v CAD formátu

s příponou .dgn. Databáze byla doplněna vybranými prvky databáze DIBAVOD a některými vrstvami zpracovanými v rámci dřívější bakalářské práce na stejném území (Hladíková, 2010).

Další součástí databáze se staly i ručně georeferencované geologické mapy části území a územní plán města Dobříše. Tyto podklady bylo nutno georeferencovat, protože se je nepodařilo získat ve vhodném formátu prostorových dat, ale pouze ve formě obrázků či dokumentů PDF. Georeferencování bylo provedeno v programu ArcGIS pomocí nástroje *Georeferencing*. Tímto nástrojem byly podklady zobrazeny, byly do nich vloženy vlíčovací body. Na základě daných vlíčovacích bodů byly vypočteny transformační rovnice. Podklady již byly zobrazeny v systému S-JTSK, proto byla použita co nejjednodušší transformace, tedy transformace 1. řádu (afinní). Následně byl rastr převzorkován metodou *Nearest Neighbour* a nový rastr uložen do databáze.

Geologické mapy byly staženy z mapového serveru České geologické služby (ČGS, 2010). Protože se již nacházely v souřadnicovém systému S-JTSK a mapový server umožňuje zobrazit souřadnice rohů zobrazeného mapového výřezu, byly použity 4 vlíčovací body umístěné v rozích rastru. Díky tomuto přesnému usazení činila střední kvadratická chyba méně než 1 m. Územní plán města Dobříše (Město Dobříš, 2010) se podařilo získat ve formátu PDF. Dokumenty bylo nutno nejprve převést na obrázky ve formátu TIFF a až poté georeferencovat. První dokument byl georeferencován nad ortofotomapou z Národního geoportálu INSPIRE (CENIA, 2011). Zde činila střední kvadratická chyba (RMS) 3 m. Další dokumenty územního plánu s odlišným tématem byly georeferencovány nad prvním dokumentem. Vzhledem ke značné podobnosti všech částí územního plánu byla kvadratická chyba menší než 1 m.

Velice důležitou součástí bylo i doplnění databáze o polohová data vodovodních zařízení získaná ručním měřením GPS přístrojem přímo v terénu. Tyto údaje o bodové poloze zdrojů pitné vody bylo nutné stáhnout z GPS přístroje do počítače a převést do formátu vhodného pro ArcGIS. Data byla z GPS přístroje stažena do programu Google Earth a uložena ve formátu .kml. Pak byla pomocí skriptu *Convert KML to SHP* v rozšíření GPSFile to SHP převedena na shapefile. Následně byla importována do geodatabáze. Protože GPS přístroj nepodporuje systém S-JTSK, byla data nejprve uložena v systému GCS\_WGS\_1984 a až při importu byla převedena do systému S-JTSK. Přitom bylo nutné zvolit správnou transformační rovnici, což pro území České republiky je programem ArcGIS nabízená transformace *S\_JTSK\_To\_WGS\_1984\_1* (ARCDATA, 2011).

### 3.4.2 Vytvoření DMT

Aby bylo možné provádět další analýzy, bylo prvním úkolem vytvoření DMT. V hydrologických nástrojích ArcGIS je podporováno použití výškového modelu ve formě gridu. DMT vzniká zpravidla interpolací vstupních výškových dat, nejčastěji vrstevnic či bodů (kót) s udanou výškou. Pro přesnější interpolaci mohou být mezi vstupními daty zahrnuty i vodní toky či jezera.

Pro využití modelu ve vodním hospodářství je důležité, aby byl hydrologicky správný. V naší přírodě se téměř nevyskytují bezodtoké prohlubně, které se ale často mohou objevovat při interpolaci a tvorbě DMT. Proto je doporučeno používat pro tvorbu DMT funkci *Topo to Raster*, která na rozdíl od jiných interpolačních funkcí vytváří hydrologicky korektní model (ESRI, 2010b). V závislosti na nastavení eliminuje všechny prohlubně s výjimkou těch, které přímo vyplývají ze vstupních dat (z vrstevnic).

Model pro tuto práci byl vytvořen z výškopisných dat databáze ZABAGED, převážně z vrstevnic intervalu 2 m. Vrstevnice z jednotlivých mapových listů zahrnující požadované území byly spojeny funkcí *Merge* a pomocí funkce *Topo to Raster* z nich byl vytvořen DMT. Velikost buňky (pixelu) byla nastavena na 5 m.

### 3.4.3 Úpravy DMT

Pokud DMT není hydrologicky korektní, tvoří se v něm neexistující bezodtoké oblasti či neodpovídá místní hydrologické situaci, musíme na něm provést korekce.

Podle Djokice (2008) můžeme terény rozlišovat podle hydrologické sítě na dendritické, nedendritické (anglicky *deranged*) či jejich kombinace. Dendritické sítě mají tvar stromu – vodní toky povodí se sbíhají do jediného bodu jako větve do kmenu. Takové sítě se tvoří se na pevných horninách zpětnou erozí (Nagle, 2000). Často zde hraje dominantní roli geologie. Naproti tomu nedendritické sítě se nacházejí na sedimentech, v periglaciálních či semiaridních rovinách (Nagle, 2000). Můžou se zde nacházet bezodtoké oblasti a v závislosti na hydrologické situaci se mohou některé bezodtoké oblasti naplnit a rozlít do jiného přilehlého povodí (Djokic, 2008). Na charakteru říční sítě jsou závislé nástroje, které se použijí pro úpravu DMT. Protože říční síť v Česku má, až na některé antropogenní výjimky, dendritický charakter, budu se zabývat nástroji pro úpravu takového terénu.

Vhodné nástroje k úpravě modelu jsou poskytovány rozšířením Arc Hydro Tools pro ArcGIS Desktop. Funkce k úpravě DEM se nachází na panelu této extenze v menu *Terrain Preprocessing – DEM Manipulation* (ESRI, 2010a).

Pro základní používání hydrologických nástrojů je nutné pouze zajistit, aby v modelu nebyly sníženiny – aby každá buňka měla v okolí buňku s menší nadmořskou výškou, tedy aby voda z každé buňky odtékala do některé sousední buňky. Z vygenerovaného DMT se tohoto docílí funkcí *Fill Sinks*. Mezi parametry této funkce patří DMT a volitelně i známé sníženiny a maximální hloubka sníženiny, která má být odstraněna. Sníženiny hlubší odstraněny nebudou.

Pokud takto upravený model stále nedostačuje požadavkům, je nutné použít další funkce na úpravu DMT. Pokud existují jiná prostorová hydrologická data o území mimo těch, z kterých byl tvořen DMT, může být model podle nich upraven. K tomuto účelu je nutné používat data o stejném měřítku a podobného termínu vzniku, jako data vstupní, z kterých byl tvořen DMT (Djokic, 2008).

Jednou z nejpoužívanějších vrstev pro zpřesnění DMT v oblasti hydrologických aplikací je vrstva vodních toků. Hlavně na rovinách, kde se nadmořská výška mění jen málo, a proto není z DMT zřejmý průběh toků, může úprava DMT podle vodních toků model více přiblížit reálnému odtoku. V Arc Hydro Tools je k dispozici funkce *DEM Reconditioning*, která provádí „vypálení“ vodních toků. Funguje tak, že buňky pod vrstvou vodních toků uměle prohloubí, tedy sníží jejich nadmořskou výšku. Tím se zabezpečí, že voda v modelu bude skutečně odtékat těmito buňkami a ne sousedními, které se v realitě liší nadmořskou výškou jen minimálně. Po provedení funkce je opět nutné vyplnit sníženiny, které mohly vzniknout (Djokic, 2008).

Mezi další možné úpravy patří upravení podle vrstvy jezer funkcí *Level DEM*, kdy se všem buňkám uvnitř jezera přiřadí stejná nadmořská výška, a upravení toků v jezerech funkcí *Adjust Flow Direction in Lakes*, aby z nich všechny toky vycházely jedním výstupovým bodem. Dále je možné „vnutit“ modelu rozvodnici vybudováním virtuálních zdí v místech hranice. K tomu slouží funkce *Build Walls*. Je možné budovat jak vnější zdi (hranice), ohraničující celé povodí, tak zdi vnitřní, které modifikují malá dílčí povodí.

### 3.4.4 Vytvoření dílčích vrstev

Pokud už DMT dostatečně reflektuje reálný stav, je třeba pokračovat tvorbou dílčích vrstev, které budou používány v dalších analýzách.

#### a. *Flow Direction*

Výsledkem funkce *Flow Direction* (směr toku) je rastr, kde je buňce přiřazena hodnota, která označuje, kterým směrem z ní odtéká voda. Funkce vybere z osmi okolních buněk buňku s nejmenší hodnotou a směr k ní zaznamená. Směr je zaznamenáván pomocí hodnoty 0–255, jak je vidět na Obr. č. 1.

**Obr. č. 1: Hodnoty rastru směru toku**

32	64	128
16		1
8	4	2

Zdroj: ESRI, 2010b

Po vytvoření rastru směru toku je vhodné ho ověřit pomocí nástroje *Flow Path Tracing* (Djokic, 2008). Tento nástroj nám z testovaného bodu ukáže cestu vody až na okraj zkoumané oblasti či do sníženiny (v případě bezodtokých oblastí). Výsledky nejsou ukládány jako vrstva, pouze jako grafické objekty v dokumentu. Tento nástroj slouží k vizuálnímu ověření správnosti DMT. V případě, že tok vody neodpovídá realitě, je třeba DMT dále upravovat nástroji popsány výše.

#### b. *Flow Accumulation*

*Flow Accumulation* (rastr akumulace vody) je rastr, který se vytváří na základě výsledku předchozí funkce. Hodnota buňky zde označuje počet buněk, z kterých voda teče přes tuto buňku. Nejvyšší hodnoty mají buňky na dolních tocích řek, protože přes ně protéká voda z celého povodí. Naopak nejmenší hodnoty mají buňky v blízkosti hřebenů, protože přes ně neprochází voda z žádné jiné buňky.

#### c. *Stream Definition*

Výsledkem nástroje *Stream Definition* je rastr, kde hodnotu 1 mají buňky, jejichž hodnota ve *Flow Accumulation* přesahuje určitou hranici – tedy teče tudy voda z více buněk, než je daná hranice (threshold). Tyto buňky tvoří vlastně síť vodních toků. Dobrým kompromisem mezi přesností výsledků a rychlostí zpracování je zadávat

hranici mezi 0,5 % a 1 % maximální hodnoty ve *Flow Accumulation* rastru (Djokic, 2008).

*d. Stream Segmentation*

Pracuje s výsledkem předchozí funkce, kdy všem buňkám každého segmentu sítě (mezi dvěma soutoky) přiřadí jako hodnotu stejné unikátní číslo, které je číslem daného úseku vodního toku.

*e. Catchment Grid Delineation*

Pro každý segment říční sítě vycházející z předchozí funkce rastrově označí jeho povodí.

*f. Catchment Polygon Processing*

Předchozí výsledek převede do vektorového formátu.

*g. Drainage Line Processing*

Převede segmenty sítě do vektorového formátu.

*h. Adjoint Catchment Processing*

Vytvoří pro každý segment toku vektorovou vrstvu jeho povodí tak, že spojí povodí daného segmentu s povodími segmentů výše na toku (z *Catchment Polygon Processing*). Povodí horního úseku toku je součástí povodí dolního toku, proto se tyto polygony překrývají.

*i. Drainage Point Processing*

Na základě vrstvy *Catchment Grid* vytváří závěrové body těchto dílčích povodí.

### **3.4.5 Vymezení okolí**

Pro odběrné zařízení, vrt, vodárenskou nádrž i vodní toky přitékající do ní je možné vymežit okolí dané fixní vzdáleností, které bude součástí ochranného pásma. Toho lze docílit funkcí *Buffer*.



### 3.4.6 Vymezení oblasti odvodňované do určitého bodu

V modulu Arc Hydro se třída označující odvodňovanou oblast (*Drainage*) dělí dále na 3 podtřídy (Jedlička; Štych, 2007):

- a. *Catchment* – elementární povodí každého segmentu říční sítě
- b. *Watershed* – oblast odvodňovaná do určitého uživatelem zadaného bodu
- c. *Basin* – administrativně určené povodí, pojmenované většinou po hlavní řece, které obsahuje zpravidla množství elementárních povodí typu *Catchment*

Pro určování ochranných pásem hlavně povrchových zdrojů pitné vody je rozhodující právě oblast odvodňovaná do určitého bodu, ve kterém je voda odebírána, tedy vrstva typu *Watershed*.

Funkce pro určování odvodňovaných oblastí k určitému bodu se nacházejí na panelu Arc Hydro v menu *Watershed Processing*.

Hlavním nástrojem pro vymezení oblasti, která se odvodňuje přes zvolený bod, je funkce *Batch Watershed Delineation*. K jejímu použití potřebujeme kromě dříve vytvořených dílčích vrstev i vrstvu bodů tzv. *Batch Point*, ke kterým budou oblasti vymežovány. Ty je třeba vymežit ručně pomocí nástroje *Batch Point Generation* na panelu Arc Hydro. Při jejich vytváření se kromě jména a popisu zadávají i 2 parametry *BatchDone* a *SnapOn*. *BatchDone* slouží k uchování informace, zda už byla oblast pro tento bod vymežována. Pokud ano, při dalším běhu se už nebude znovu vymežovat. Parametr *SnapOn* označuje, zda-li se má bod pro potřeby vymezení přichytit k nejbližšímu vodnímu toku (ESRI, 2010a).

Tato funkce se týká chování povrchové vody, v práci byla použita mimo povrchových zdrojů i pro stanovení ochranných pásem studen. U povrchových zdrojů byla vztahována k hladině vodárenské nádrže, u studen k jejímu nejbližšímu okolí.

Sběrné studny shromažďují vodu, která je do nich dopravována gravitačně z většího území systémem rýh v zemi (Vacek, 2005). Je tedy nutno chránit nikoliv pouze vodu stékající po povrchu k místu studny, ale všechnu, která může stéct do sítě rýh. Z hlediska ochrany můžeme k tomuto zařízení přistupovat jako k povrchové síti toků, která odvádí vodu k odběrnému zařízení.

Pro toto vymezení bylo nutno vytvořit nový speciální DMT oblasti, kde se nacházejí rýhy, s větším rozlišením 2,5 m na buňku. Do toho byla funkcí *DEM*

*Reconditioning* „vypálena“ vrstva rýh, získaná z dat VHS. Dále byly provedeny kroky uvedené v bodech 3.4.2 a 3.4.3. Pak teprve mohlo být provedeno vymezení oblasti, z které může voda stéct do sběrné studny.

### 3.4.7 Vymezení oblasti podle vzdálenosti a doby odtoku

Zejména u rozsáhlých oblastí se může vyskytnout požadavek na vymezení pásma podle vzdálenosti či doby, po kterou voda z daného místa teče k odběrnému zařízení. Funkce *Flow Length*, která je součástí extenze *Spatial Analyst*, vypočítá na základě rastru směru toku (*Flow Direction*) pro každou buňku vzdálenost po toku. Funkce počítá buď po toku dolů (downstream), tedy k ústí či do bezodtoké prohlubně, nebo proti toku nahoru (upstream) k rozvodí (ESRI, 2010b).

Před aplikací této funkce je vhodné rastr směru toku oříznout funkcí *Clip* podle oblasti (*Watershed*), která se přes daný bod odvodňuje. Takto se z výsledků odfiltrují buňky nesouvisející s určeným vodním zdrojem.

Volitelným parametrem této funkce je váhový rastr (*weight raster*). Prostřednictvím něj lze modelovat průchod vody různými prostředím. Rychlost pohybu vody krajinou se mění podle využití půdy, sklonu a dalším charakteristik. Pokud se podaří tuto rychlost dobře vystihnout váhovým rastrem, je možné ve výsledku této funkce získat čas, za který voda z dané buňky doteče k odběrnému zařízení a na základě tohoto modelovat OP.

Výsledek je dále nutné reklasifikovat podle požadovaných vzdáleností funkcí *Reclassify* a převést do vektorového formátu funkcí *Raster to Polygon*.

## 3.5 Uložení dat

Výsledná data jsou uložena v jedné databázi, která je ve formátu Esri File Geodatabase. Vektorová data jsou uložena v logicky strukturovaných Feature Datasets, rastrová pak v Raster Datasets. Databáze obsahuje vektorové vrstvy uložené v těchto datasetech:

- a. DIBAVOD – vybrané vrstvy z databáze DIBAVOD
- b. ochranna\_pasma – výstupy z práce pro jednotlivé lokality vodních zdrojů
- c. PodkladyVHS – původní CAD podklady z VHS převedené do geodatabáze

d. Vodovod – vodovodní síť, povrchové i podzemní vodní zdroje

Dále obsahuje tyto rastrové vrstvy:

e. Geologie – ručně georeferencovaná geologická mapa 1 : 25 000 části území ve formátu Raster Catalog

f. DMT – digitální model terénu o velikosti buňky 5 m

g. DMT\_reconditioned – DMT s „vypálenými“ vodními toky

h. Flow\_Accu – vypočtený rastr akumulace vody v území

i. up\_b2\_hlavnivykres, up\_b3\_hlavnivykres\_detail, up\_b6\_vodovod, up\_b8\_doprava – vybrané ručně georeferencované vrstvy z územního plánu Dobříše

K vrstvám v databázi byla ručně v programu ArcCatalog vložena stručná metadata popisující jejich obsah.

## 4 VÝSLEDKY

### 4.1 Doplnění dat

Datové podklady vodovodní sítě VHS Dobříš byly kombinovány s daty o vodních zdrojích zaměřenými GPS přístrojem a po konzultaci se zaměstnanci VHS Dobříš byly doplněny části vodovodního potrubí, které v podkladech chyběly. Z těchto dat byla vytvořena vrstva aktuální vodovodní sítě, která byla přidána do databáze a zobrazena v mapě (viz příloha č. 1).

### 4.2 Ochranná pásma

Na základě výše uvedené metodiky byly stanoveny ochranná pásma u všech zdrojů používaných v současnosti pro zásobování města Dobříš vodou a navíc u již nepoužívané nádrže Chotobuš. Výsledné vymezení OP odpovídá oblasti, ze které k vodnímu zdroji stéká po povrchu voda (tzv. sběrná oblast).

#### 4.2.1 Lokalita Roubená studánka – Baba

V této lokalitě se nachází nejstarší zdroj vody pro město již z druhé poloviny 19. století. Voda je zde získávána z území rozloze asi 2 km<sup>2</sup> gravitačně systémem rýh v zemi. Celý systém je vyústěn ve sběrné studně, odkud je voda odváděna dále do vodovodní sítě.

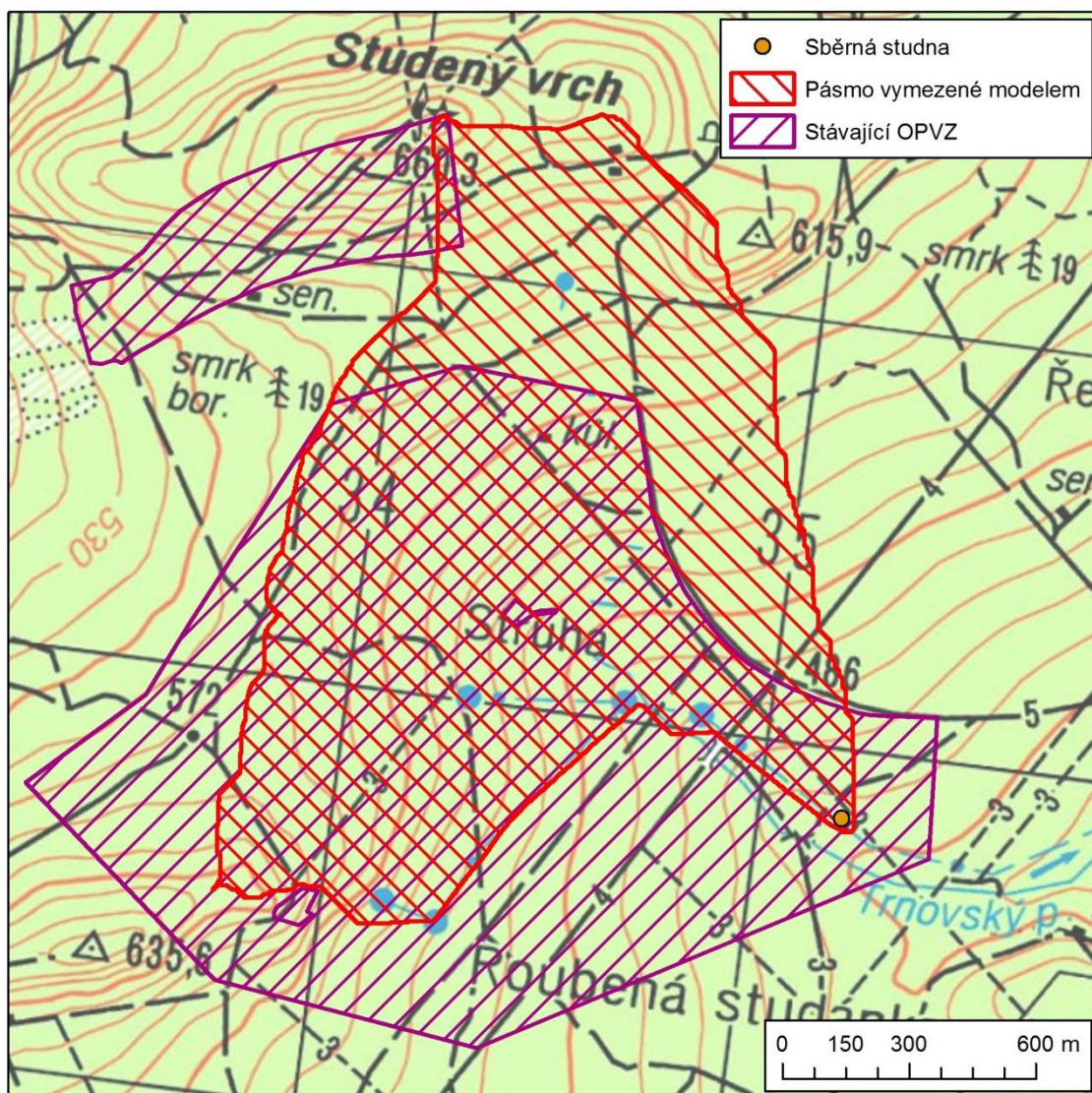
Pro vytyčení ochranného pásma u tohoto zdroje bylo předpokládáno, že systém rýh lze z hlediska odtoku vody z území pokládat za síť povrchových toků ústících do sběrné studánky. Data o poloze rýh byly do DMT „vypáleny“ a následně zjišťována oblast, která je tímto systémem odvodňována do sběrné studny.

Na Obr. č. 2 lze vidět srovnání modelového vymezení s dosavadním ochranným pásmem podle databáze DIBAVOD. Skutečná ochranná pásma bývají vymezena zjednodušeně kvůli snazšímu zaměření v terénu. Lze vidět, že v centrální části se obě vymezení shodují. V severní části je modelová oblast větší, skutečné vymezení kopíruje cestní síť. Tento rozdíl může být způsoben například odvedením povrchové vody umělým korytem podél cest mimo oblast vodního zdroje nebo potřebou zjednodušit vymezení ochranného pásma. V jižní části je naopak modelem určená oblast menší než

úřední ochranné pásmo. V něm jsou i oblasti, z kterých voda po povrchu stéká mimo systém rýh přímo do Trnovského potoka či dokonce na západě do jiného povodí. Voda z těchto území se pravděpodobně může dostat do jímacího území podzemní cestou, může zde být rozdílná hydrologická a hydrogeologická rozvodnice.

OP se nachází celé v lese, mimo zástavbu a významné komunikace, nenachází se zde významné hrozby pro kvalitu jímané vody. Nebezpečím mohou být lesní postřiky či úniky látek z lesní mechanizace.

**Obr. č. 2: Situace Baba**



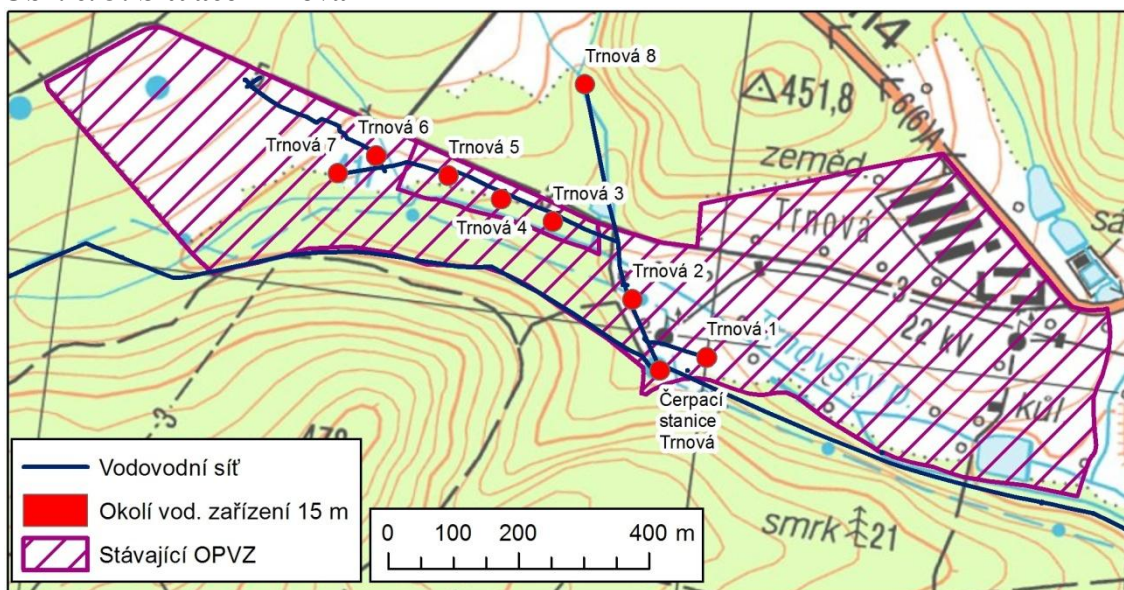
Zdroj: vlastní výpočty, DIBAVOD, CENIA

#### 4.2.2 Lokality Trnová, Brodce a Lipíže

V těchto lokalitách se nacházejí skupiny hlubokých vrtů, kde ochrana před znečištěním povrchovou vodou nehraje tak významnou roli. Podle zákona je minimální poloměr OPVZ 1. stupně u podzemních zdrojů vody 10 m. U těchto vrtů bylo pro ilustraci vymezeno jednoduché okolí o trochu větší, o poloměru 15 m, stejně jako i u ostatních vodohospodářských zařízení.

Situaci lze ilustrovat na lokalitě Trnová. Při srovnání s úředně vymezenými OP (viz Obr. č. 3) je vidět, že úřední pásmo je mnohem větší. Lze si všimnout, že je vymezeno nikoliv podle terénu či geologie, ale hlavně podle využití půdy (land-use). Zahrnuje de facto pouze přilehlé otevřené plochy, které mohou být využívány k zemědělství. Na okraji OPVZ se nachází zemědělský podnik, který by taktéž mohl představovat hrozbu. V případě jiného půdního pokryvu by pravděpodobně i OP bylo vymezeno jinak. Bylo zjištěno, že se v databázi DIBAVOD nenachází OP vrtu Trnová 8.

Obr. č. 3: Situace Trnová



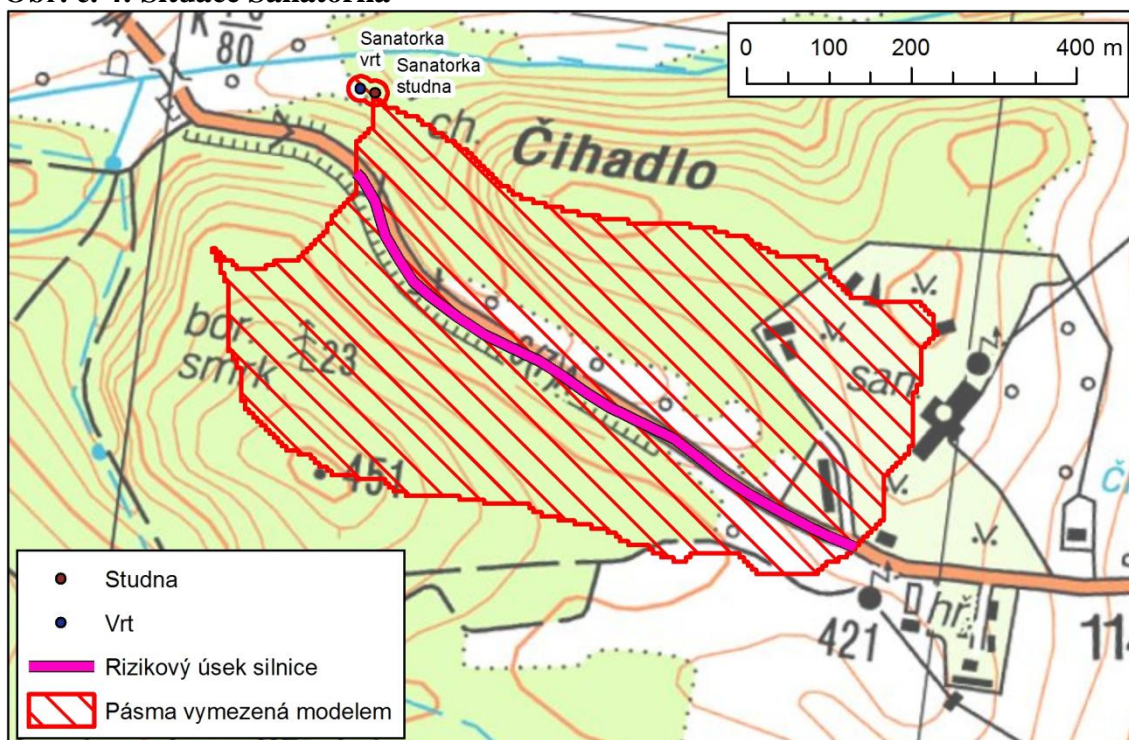
Zdroj: vlastní výpočty, DIBAVOD, CENIA

### 4.2.3 Lokalita Sanatoroka

V lokalitě se nachází vrt a studna. Pro obě zařízení bylo určeno 15ti metrové pásmo. Studna je daleko více ovlivněna povrchovou vodou, proto bylo určeno území, z něhož voda stéká povrchově do její blízkosti (viz Obr. č. 4). Stávající ochranné pásmo k těmto zdrojům v databázi není, proto není s čím porovnávat.

V OP se nachází část areálu léčebného zařízení a malá plocha OP je zemědělsky využívána. Největší nebezpečí pravděpodobně tvoří silnice procházející středem OP.

Obr. č. 4: Situace Sanatoroka



Zdroj: vlastní výpočty, DIBAVOD, CENIA

### 4.2.4 Lokality Svatá Anna a Jezírko

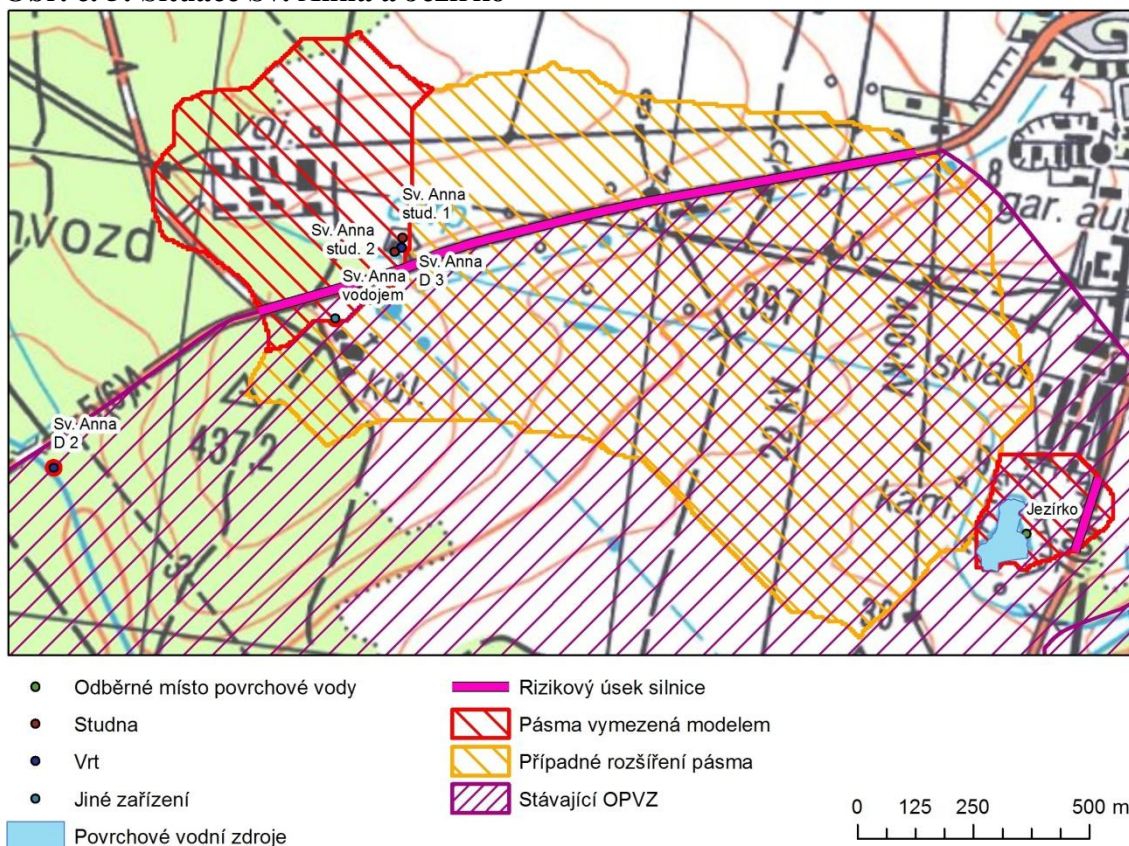
V lokalitě Sv. Anna se nachází dvě studny, dva vrty a vodojem. Ke studnám byl obdobně jako v předchozím případě určen prostor, z něhož může voda po povrchu stéct do jejich blízkosti (viz Obr. č. 5 – červenou barvou).

V lokalitě Jezírko je voda čerpána z povrchového jezera vzniklého v bývalém kamenolomu, které je napájeno převážně podzemní vodou. Oblast přímo odvádějící povrchovou vodu do Jezírka je malá (viz Obr. č. 5 – červená barva). Nedaleko tohoto zdroje protéká potok a je možné, že se voda z jeho povodí dostává podzemní cestou k odběrnému zařízení. V tomto případě by bylo nutno chránit i povodí tohoto potoka (viz Obr. č. 5 – oranžová barva).

V okolí obou lokalit se nacházejí rozsáhlé zemědělsky využívané plochy a oběma OP procházejí významné silniční komunikace. Další hrozbou může být blízkost bývalého vojenského areálu na Sv. Anně a průmyslového areálu u Jezírka. Tyto plochy jsou v územním plánu (Město Dobříš, 2010) určeny pro lehký průmysl a drobnou a řemeslnou výrobu.

Stávající OPVZ se sice s výsledky částečně překrývá, nicméně je vymezeno k ochraně nádrže Chotobuš, nikoliv těchto zdrojových lokalit, proto se rozsah ochranných pásem nedá srovnávat.

**Obr. č. 5: Situace Sv. Anna a Jezírko**



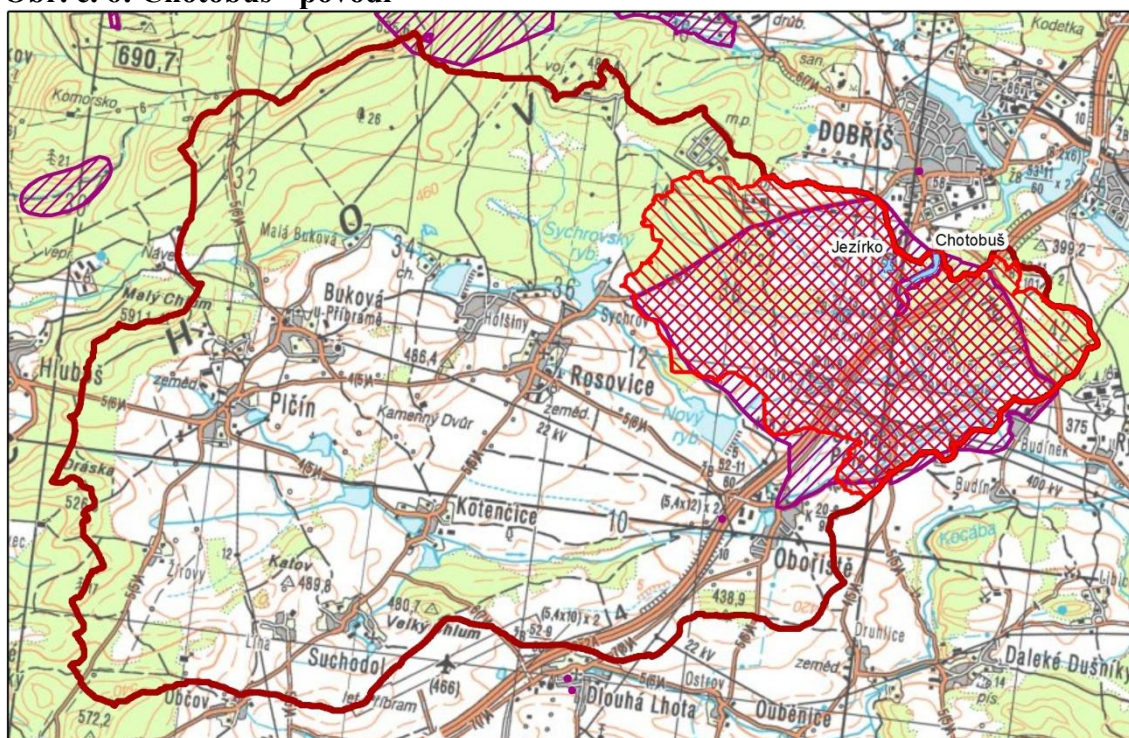
Zdroj: vlastní výpočty, DIBAVOD, CENIA







#### 4.2.5 Lokalita Chotobuš

Z nádrže Chotobuš se voda, hlavně kvůli její špatné kvalitě, přestala čerpat po vyhloubení vrtů v jiných lokalitách. Nádrž se nachází na Kotečickém potoce, který nad nádrží odvodňuje rozsáhlou oblast, proto je vymezení OP poměrně složité. Potenciální rizika pro toto odběrné místo se mohou nacházet v celém povodí Kotečického potoka nad nádrží (viz Obr. č. 6). Větším rizikem jsou místa nacházející se blíže nádrže, protože voda z nich do nádrže teče kratší dobu, snižuje se tedy i čas na zjištění znečištění a reakci. V celém území jsou rozsáhlé zemědělské plochy a prochází tudy i rychlostní silnice R4. Stávající OPVZ je vymezeno v přibližně dvoukilometrovém pásmu nad nádrží. K vymezení území podobného rozsahu byla v této práci využita metoda vzdálenosti po toku (viz 3.4.7), kdy bylo vymezeno území, které se nachází do 5 km po toku od nádrže Chotobuš. Úřední vymezení se od modelového (viz Obr. č. 6) liší hlavně použitím jasných hranic (např. silnic) a reflektováním skutečného využití půdy (nezahrnutí lesních pozemků). Takovýto rozsah odpovídá OPVZ 2. stupně.

Obr. č. 6: Chotobuš - povodí



-  Povrchové vodní zdroje
-  Pásmo 5 km po toku
-  Celé povodí nad n. Chotobuš
-  Stávající OPVZ

0 1 000 2 000 4 000 m

Zdroj: vlastní výpočty, DIBAVOD, CENIA

## 5 DISKUZE

Tato kapitola si bere za úkol zhodnotit použité datové podklady, metody a dosažené výsledky. Je zřejmé, že použití pokročilejších metod a přesnějších dat by vedlo v mnoha směrech k dosažení kvalitnějších výsledků. Vyžadovalo by to zpracování více datových vstupů, lepší znalost souvisejících věd (např. hydrogeologie), či větší prostor, který by ovšem přesahoval požadavky kladené na bakalářskou práci.

### 5.1 Databáze hydrologických dat

Zpracování podkladů dodaných VHS Dobříš bylo problematické. Data byla do dána v CAD podobě a převod do formátu Esri geodatabáze byl složitý. Například mapové značky byly původně uloženy jako polylinie, od takovýchto krátkých linií bylo nutno nejprve data očistit. Data také obsahovala několik různých druhů potrubí, v původních dokumentech označených odlišným stylem linie. Geometrická data však neobsahovala atributová data ani žádná metadata a nebylo tak možné tyto informace zachovat při převodu do geodatabáze. Proto byly všechny druhy potrubí spojeny do jednoho druhu, a tím došlo ke ztrátě informací. Zároveň v podkladech některé části vodovodní sítě chyběly a byly tak dokresleny pomocí analogových mapových podkladů VHS Dobříš.

Pro další využití v každodenní praxi by bylo vhodné doplnit objektům jejich popisné údaje a udržovat data aktuální. Na takovéto síti by pak bylo možno s použitím síťových funkcí GIS modelovat průchod vody. Kromě správy majetku by pak toto řešení našlo uplatnění i v krizovém řízení, například při haváriích v potrubí (Hladíková, 2010).

### 5.2 Určení ochranných pásem

Vymezení ochranných pásem bylo v této práci uděláno výhradně na základě tvaru reliéfu podle DMT. OP jsou tedy modelována pro povrchovou vodu, kdy podpovrchový tok vody není brán v úvahu. Vymezení tímto způsobem je vhodné pro povrchové zdroje (například přehrady), které jsou ovlivněny hlavně povrchovou vodou. Použitelné je také pro mělké podzemní zdroje (jako jsou například studny), kdy toky vody pod povrchem jsou podobné jako toky povrchové vody. Zcela nevhodné je pro hluboké zdroje

podzemní vody, například vrty, protože hluboký oběh vody je zcela odlišný od chodu povrchového. Pro vymezení ochranných pásem týkajících se podzemních vod je nutné použít jiné metody zahrnující například hydrogeologická měření. Proto bylo v rámci této práce vymezeno jen malé fixně dané pásmo okolo samotných vrtů (odpovídá přibližně OPVZ 1. stupně).

I vymezení toků povrchové vody sebou nese některé problémy. Kromě použití nevhodného či neupraveného DMT mohou být problémem i malé antropogenní zásahy do reliéfu, které však výrazně ovlivňují odtok. Příkladem může být vybudování kanalizace, či zatrubnění potoka. Také příkopy podél silnic mohou vodu svádět do úplně jiného povodí, než kam má stékat přirozeně. Takovéto zásahy jsou příliš malé na to, aby je reflektoval DMT a hydrologický model pak určí oblast odvodňovanou do určitého bodu odlišně.

### **5.3 Určení potenciálních zdrojů vody**

V rámci práce bylo zjištěno, že výstupy z hydrologických nástrojů GIS nejsou dostatečným podkladem pro určení potenciálních zdrojů pitné vody, avšak rastr akumulace vody může poskytnout přibližnou představu o dostupnosti povrchové vody, což je velmi cenným vstupem do komplexních hydrologických studií. Pro přesnější studie je tedy zapotřebí udělat hydrologická měření a modelovat i podzemní odtok vody. Pro určení potenciálních podzemních zdrojů vody se jeví jako mnohem podstatnější geologické mapy, které ukazují tektonické zlomy, dále mapy využití půd v současnosti i historii a podrobná hydrogeologická měření.

### **5.4 Použitý software a hardware**

K uvedeným hydrologickým analýzám není nutné používat pouze zde použitý ArcGIS. Tyto typy analýz je možné provádět i na jiných GIS platformách. Při potřebě minimalizovat náklady na zavádění GIS je vhodné vybrat nějakou opensource platformu. Takovéto programy jsou v závislosti na konkrétních licenčních podmínkách zdarma pro různá použití, mají zveřejněné kódy a často širokou komunitní podporu. Mezi nejrozšířenější opensource GIS programy patří například GRASS GIS nebo Quantum GIS (zkráceně QGIS). Postupy práce v jiných programech než zde popsany ArcGIS budou v základních rysech podobné, avšak použití konkrétních funkcí se může lišit.

Práce v terénu byla prováděna turistickým GPS přístrojem, avšak vhodnější by bylo přímo použití mobilního GIS zařízení. Takové zařízení je kapesní počítač (PDA), chytrý telefon nebo tablet vybavený speciálně pro použití jako mobilní GIS. Tyto přístroje jsou vybaveny zjednodušeným softwarem GIS, který umožňuje zobrazování, vytváření a editaci prostorových dat. Tento systém spolupracuje s integrovanou GPS a při použití mobilního připojení k internetu i s webovými službami umožňujícími práci s geografickými daty online přímo v terénu (ARCDATA, 2011).

## 6 ZÁVĚR

Práce měla za cíl ukázat možnosti využití geoinformačních systémů pro aplikace v prostředí vodního hospodářství. Hlavními oblastmi, o které se práce zajímala, byla problematika uložení a správy dat, lokalizace stávajících vodních zdrojů, vymezení ochranných pásem a určení dalších potencionálně využitelných zdrojů pitné vody. Pro potřeby ukládání vodohospodářských prostorových dat byla vytvořena Esri geodatabáze. Do ní byly převedeny podklady z několika různých zdrojů, mezi nimi i data VHS Dobříš o vodovodní síti. Většina vodních zdrojů byla zaměřena v terénu GPS přístrojem. Tyto podklady byly taktéž uloženy do geodatabáze. Poskytnutá data o vodovodní síti byla v několika případech neaktuální, bylo nutno databázi aktualizovat. Aby byla vytvořená geodatabáze užitečná v provozu vodohospodářské společnosti či v institucích státní správy, měla by být doplněna o atributová data a pravidelně aktualizována.

Pomocí hydrologických nástrojů GIS byl vytvořen hydrologický model pro povodí Kotečického potoka a na jeho podkladě byla modelována ochranná pásma stávajících vodních zdrojů pro povrchovou vodu. Ta byla následně porovnána s OP z databáze DIBAVOD a byly určeny potencionální hrozby těchto zdrojů. Toto modelování se ukázalo jako vhodné pro povrchové a mělké podzemní zdroje, naopak pro hluboké podzemní zdroje není použitelné.

V oblasti určování potencionálních zdrojů pitné vody bylo zjištěno, že hydrologické funkce GIS nám mohou poskytnout přibližnou představu o povrchovém odtoku z území. To lze použít jako jeden z mnoha podkladů, které se při určování oblastí potencionálních podzemních zdrojů používají. Pro reálné vymezení zdrojů jsou však zapotřebí další datové vstupy, technologie a zkušenosti. Větší roli hrají použité hydrologické nástroje při plánování využívání povrchových zdrojů vody.

Většinu vytyčených cílů práce se podařilo splnit. V mnoha případech se podařilo najít limity využití aplikovaných hydrologických nástrojů a podat možná řešení pro případný budoucí výzkum. Řešená problematika je v současné době velice aktuální a při vzrůstajícím využití geoinformačních systémů bude GIS nacházet v hydrologické a vodohospodářské praxi stále větší uplatnění.

## 7 ZDROJE

ARCDATA (2011): Geografické informační systémy [online]. Praha: Arcdata Praha 2011 [cit. 2011-04-25]. Dostupné z WWW: <<http://www.arcdata.cz/>>.

CENIA (2011): Národní geoportal INSPIRE [mapový server]. Praha: CENIA, 2011 [cit. 2011-04-25]. Dostupné z WWW: <<http://geoportal.gov.cz/>>.

ČGS (2010): Mapový server [mapový server]. Praha: Česká geologická služba, 2010 [cit. 2011-05-14]. Dostupné z WWW: <<http://www.geology.cz/extranet/geodata/mapserver>>.

DIVIŠOVÁ, M. (2006): Kontrola přesnosti digitálního modelu reliéfu ZABAGED porovnáním s výškopisem technickohospodářské mapy v lokalitě Česká Skalice. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta aplikovaných věd, 2006, 104 s. Diplomová práce. Dostupné z WWW: <[http://www.kma.zcu.cz/DATA/zaverecne\\_prace/Divisova\\_\\_Kontrola\\_presnosti\\_digita\\_digit\\_modelu\\_reliefu\\_ZABAGED\\_porovnanim\\_s\\_vyskopisem\\_technickohospodarske\\_mapy\\_v\\_lokalite\\_Ceska\\_Skalice\\_\\_DP.pdf](http://www.kma.zcu.cz/DATA/zaverecne_prace/Divisova__Kontrola_presnosti_digita_digit_modelu_reliefu_ZABAGED_porovnanim_s_vyskopisem_technickohospodarske_mapy_v_lokalite_Ceska_Skalice__DP.pdf)>.

DJOKIC, D. (2008): Comprehensive Terrain Preprocessing Using Arc Hydro Tools. ESRI, 2008.

eAGRI (2010): Voda [online]. Ministerstvo zemědělství. 2010 [cit. 2011-04-27]. Dostupné z WWW: <<http://eagri.cz/public/web/mze/voda/>>.

ESRI (2002): COTS GIS: The Value of a Commercial Geographic Information System [online]. Redlands: ESRI, 2002 [cit. 2011-04-25]. Dostupné z WWW: <<http://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/cots-gis.pdf>>.

ESRI (2010a): Arc Hydro Tools v1.4 – Tutorial. ESRI, 2010, 172 s.

ESRI (2010b): ArcGIS Desktop 10 Help [online]. 2010 [cit. 2011-04-27]. Dostupné z WWW: <<http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html>>.

HLADÍKOVÁ, L. (2010): Aplikace GIS ve vodohospodářství na příkladu regionu Dobříšsko [bakalářská práce]. Praha: Univerzita Karlova. Přírodovědecká fakulta. Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie, 2010. 49 s. Vedoucí bakalářské práce RNDr. Přemysl Štych, Ph. D.

CHAVE, P. et al. (2006): Groundwater protection zones [online]. In: Protecting Groundwater for Health: Managing the Quality of Drinking-water Sources. London: World Health Organization, London, 2006 [cit. 2011-02-20]. ISBN: 1843390795. Dostupné z WWW: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd59/protecting/sect4-17.pdf>>.

JEDLIČKA, J.; ŠTYCH, P. (2007): Hydrologické modelování v programu ArcGIS. Praha: CITT, Praha Akademie kosmických technologií, oblast Galileo, GMES, 2007, 62 s.

KEMEL, M.; KOLÁŘ, V. (1980): Hydrologie. Praha: ČVUT, 1980, 292 s.

KLAMUT, J. et al. (2001): Delineating Surface Water Sources and Protection Zones [online]. Davis: University of California, 2001 [cit. 2011-02-20]. Dostupné z WWW: <[http://groundwater.ucdavis.edu/Publications/HarterUCD\\_DHS\\_11\\_Delineation\\_of\\_Surface\\_Water\\_Source\\_Zone\\_draft.pdf](http://groundwater.ucdavis.edu/Publications/HarterUCD_DHS_11_Delineation_of_Surface_Water_Source_Zone_draft.pdf)>.

KOLÁŘ, J. (2003): Geografické informační systémy 10. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. 161 s. ISBN 80-01-02687-6.

LI, Z. et al. (2005): Digital terrain modeling: principles and methodology. CRC Press, 2005, 323 s. ISBN: 0415324629.

Město Dobříš (2010): Nově platná územně plánovací dokumentace [online]. Dobříš: Město Dobříš, 2010 [cit. 2011-05-14]. Dostupné z WWW: <<http://www.mestodobris.cz/uzemni-plan/d-459477>>.

MURTHY, K.S.R. et al. (2003): Integration of Thematic Maps Through GIS for Identification of Groundwater Potential Zones. In: Journal of the Indian Society of Remote Sensing, ročník 31, č. 3, s. 197-210.

NAGARAJAN, M.; SINGH, S. (2009): Assessment of groundwater potential zones using GIS technique. In: Journal of the Indian Society of Remote Sensing, ročník 37, č. 1, s. 67-77.

NAGLE, G. (2000): *Advanced Geography*. India: Oxford University Press, 2000. 464 s. ISBN 0199134073

PAČES, T. (1982): *Voda a Země*. Praha: Academia, 1982, 176 s.

PODOBNIKAR, T. (2008): *Methods for visual quality assessment of a digital terrain model* [online]. S.A.P.I.E.N.S, Volume 1 Issue 2, 2008 [cit. 2011-04-06]. Dostupné z WWW: <<http://sapiens.revues.org/index738.html>>.

RAPANT, P. (2006): *Geoinformatika a geoinformační technologie*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2006. 513 s. ISBN 80-248-1264-9. Dostupné z WWW: <[http://gis.vsb.cz/rapant/publikace/knihy/GI\\_GIT](http://gis.vsb.cz/rapant/publikace/knihy/GI_GIT)>.

SZÚ (2008): *Systém monitorování zdravotního stavu obyvatelstva České republiky ve vztahu k životnímu prostředí* [online]. Praha: SZÚ, 2008 [cit.2011-02-20]. Dostupné z WWW: <[http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/souhrna\\_zprava/Szu\\_10.pdf](http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/souhrna_zprava/Szu_10.pdf)>.

VACEK, S. a kol. (2005): *Historie a současnost dobříšského vodovodu*. Dobříš: Vodohospodářská společnost Dobříš spol. s.r.o., 2005. 50 s.

Vodohospodářská společnost Dobříš (20??): *Prameniště* [online]. Dobříš: VHS [cit.2011-03-23]. Dostupné z WWW: <<http://www.vhs-dobris.cz/pramen.html>>.

VÚV (2007): *O projektu DIBAVOD* [online]. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, 2007 [cit. 2011-05-14]. Dostupné z WWW: <<http://www.dibavod.cz/17/o-projektu-dibavod.html>>.

VÚV (2011): *DIBAVOD [databáze geografických dat]*. 2011 [cit. 2011-05-14]. Dostupné z WWW: <<http://www.dibavod.cz/index.php?id=27>>.

Vyhláška Ministerstva životního prostředí ze dne 10. června 1999, kterou se stanoví seznam vodárenských nádrží a zásady pro stanovení a změny ochranných pásem vodních zdrojů. Dostupné z WWW: <<http://www.vakinfo.cz/legislativa/pravni-predpisy-pro-vodni-hospodarstvi-v-aktualnim-zneni/vyhlaska-c-137-1999-sb>>.

Zákon č. 254/2001 Sb. ze dne 28. června 2001, o vodách o změně některých zákonů (vodní zákon). Dostupné z WWW: <[http://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/2a434831dcbe8c3fc12564e900675b1b/20F9C15060CAD3AEC1256AE30038D05C/\\$file/150-10.pdf](http://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/2a434831dcbe8c3fc12564e900675b1b/20F9C15060CAD3AEC1256AE30038D05C/$file/150-10.pdf)>.



Zeměměřický úřad (20??): ZABAGED [databáze geografických dat].

Zeměměřický úřad (2011): Katalog objektů ZABAGED [online]. Verze 2.3. Praha:

Zeměměřický ústav, 2011 [cit.2011-03-31]. 134 s. Dostupné z WWW:

<[http://www.cuzk.cz/GenerujSoubor.ashx?NAZEV=30-ZU\\_ZAB\\_KAT](http://www.cuzk.cz/GenerujSoubor.ashx?NAZEV=30-ZU_ZAB_KAT)>.