

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA APLIKOVANÝCH VĚD



Hydrologické analýzy v distribuovaném prostředí

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Jakub Šilhavý

Vedoucí práce:
Ing. Karel Jedlička

Plzeň, jaro 2010

Prohlášení

Prohlašuji, že tato diplomová práce je mým původním autorským dílem, které jsem vypracoval samostatně. Všechny zdroje, prameny a literaturu, které jsem při vypracování používal nebo z nich čerpal, v práci řádně cituji s uvedením úplného odkazu na příslušný zdroj.

V Plzni dne

.....

Jakub Šilhavý

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce Ing. Karlu Jedličkovi za metodické vedení a věcné připomínky při zpracování diplomové práce. Velké poděkování patří také celé mojí rodině za podporu nejen při zpracování této práce, ale i během celého studia.

Abstrakt

V práci se zabývám aplikací distribuovaných geografických informačních systémů. Zaměřuji se na služby vzdáleného zpracování a analýzy geografických dat. Zkoumanou oblastí jsou hydrologické analýzy z Geomorfologického informačního systému (GmIS), které zveřejňuji jako webové služby v serverovém prostředí. Náplní práce je i tvorba webového uživatelského rozhraní ke zveřejněným analýzám. Výsledkem práce je aplikace, která umožňuje distribuované zpracování hydrologických analýz na serveru a jejich ovládání prostřednictvím webového prohlížeče. Na straně serveru jsem využil technologii ArcGIS Server 9.3.1. Existující hydrologické analýzy vyvinuté pro ArcGIS Desktop jsem upravil a rozšířil za účelem použití v serverovém prostředí. Pro tvorbu webového rozhraní na straně klienta jsem využil technologii JavaScript.

Klíčová slova

Geoinformační technologie, Geomorfologický informační systém (GmIS), distribuované prostředí, webové služby, hydrologické analýzy, ArcGIS Server.

Abstract

The thesis concerns about application of distributed geographic information systems. It focuses on the remote geoprocessing services. The study field is a Geomorphologic Information System (GmIS), especially the hydrological analyses. The analyses are published as web services. The thesis solves a web user interface for consuming the published web services. It results in a web application that allows distributed processing of hydrological analyses. The users can access the analyses via the web browser. On the server-side, the technology of ArcGIS Server 9.3.1 is used. The existing hydrological tools were designed for ArcGIS Desktop. The thesis modifies them to use in the ArcGIS Server environment. Web interface on the client-side uses JavaScript technology.

Key words

Geoinformation technology, Geomorphologic Information System (GmIS), distributed environment, web services, hydrological analyses, ArcGIS Server.

Obsah

1	Úvod	4
1.1	Terminologie použitá v práci	5
1.1.1	Geografický informační systém	5
1.1.2	Geoinformační technologie	5
1.1.3	Distribuovaný GIS	6
1.1.4	Geomorfologický informační systém	6
1.1.5	Geoprocessing	6
2	Distribuované informační systémy jako základ pro Internet GIS	7
2.1	Síťové protokoly pro DIS	8
2.1.1	Protokol TCP/IP	8
2.1.2	Protokol HTTP	9
2.2	Architektury DIS	10
2.2.1	Softwarová architektura	10
2.2.2	Rozhraní	10
2.2.3	Typy klientů	11
2.2.4	Vícevrstvé architektury	12
2.3	Využívané architektury GIS	12
2.3.1	Řešení Desktop GIS	13
2.3.2	Řešení Client/Server GIS	14
2.3.3	Distribuované služby GIS	16
2.4	Technologie pro distribuovaný GIS	17
2.5	Technologie ArcGIS Server	17
2.5.1	Představení technologie ArcGIS	18
2.5.2	Architektura ArcGIS Server	18
2.5.3	Pozice distribuovaného GmIS v architektuře ArcGIS Server . .	19
3	Webové služby jako rozhraní v distribuovaných GIS	20
3.1	Definice webové služby	21
3.2	Normalizované webové služby v GIT	22

3.2.1	Normy ISO	22
3.2.2	Specifikace a normy OGC	23
3.3	Firemní standardy	23
3.4	Služby technologie ArcGIS Server	24
3.4.1	ArcGIS Server SOAP API	25
3.4.2	ArcGIS Server REST API	26
4	Hydrologické analýzy v GIS	27
4.1	Hydrologické analýzy v počítači	27
4.1.1	Vektorová a rastrová reprezentace	28
4.1.2	Výškové digitální modely	29
4.2	GIS pro řešení hydrologických analýz	29
4.3	Přístup ArcGIS k hydrologickým analýzám	30
4.4	Analýza vymezení povodí pro účely GmIS	32
4.4.1	Povodí	32
4.4.2	Klasifikace toků do řádů	33
4.4.3	Algoritmy pro vymezení povodí	33
4.5	Analýza vytvoření báзовých povrchů	40
4.5.1	Bázové povrchy	40
4.5.2	Algoritmy pro vytvoření báзовých povrchů	40
5	GmIS v distribuovaném prostředí	44
5.1	Identifikace uživatelských požadavků	44
5.2	Analýza uživatelských požadavků	45
5.2.1	Požadavek na analýzu vymezení povodí	46
5.2.2	Požadavek na analýzu vytvoření báзовých povrchů	46
6	Návrh distribuovaného řešení GmIS	47
6.1	Návrh architektury aplikace	47
6.2	Specifika prostředí ArcGIS Server	48
6.2.1	Představení ArcGIS Desktop	48
6.2.2	Představení ArcGIS Server	51
6.2.3	Podporované datové typy	52
6.2.4	Adresářová struktura ArcGIS Server	53
6.2.5	Symbologie výstupů	54
6.2.6	Zpřístupnění zdrojů	55
6.3	Návrh webového klienta	55
6.3.1	Aplikační rozhraní pro distribuovaný GmIS	56
6.3.2	Návrh rozvržení grafického uživatelského rozhraní	57
6.3.3	Interakce a funkčnost klienta	58

6.3.4	Rozbor uživatelského datového vstupu webové aplikace	59
7	Realizace distribuovaného GmIS	61
7.1	Realizovaná architektura distribuovaného řešení	61
7.1.1	Instalace ArcGIS Serveru	62
7.2	Analýzy v prostředí ArcGIS Server	62
7.2.1	Organizace a příprava dat	62
7.2.2	Datový vstup serverových nástrojů	63
7.2.3	Výstup dat	64
7.2.4	Zveřejnění analýz na serveru	65
7.3	Analýza vymezení povodí v prostředí ArcGIS Server	66
7.3.1	Vytvoření hydrologicky korektního DEM	66
7.3.2	Vytvoření rastrů směrů a akumulace vodních toků	67
7.3.3	Vytvoření rastru vodních toků	68
7.3.4	Vytvoření povodí	69
7.4	Analýza vytvoření bazových povrchů v prostředí ArcGIS Server . . .	69
7.4.1	Klasifikace vodních toků podle Strahlera	70
7.4.2	Vytvoření 3D linie	70
7.4.3	Vytvoření bazových povrchů	71
7.5	Tvorba webového klienta	72
7.5.1	Vývojová prostředí	72
7.5.2	Tvorba grafického uživatelského rozhraní	73
7.5.3	Představení JavaScript API	74
7.5.4	Tvorba interaktivního klienta	76
8	Diskuze	79
9	Závěr	81
	Použité zdroje a literatura	82
A	Přiložené soubory	85

Kapitola 1

Úvod

V diplomové práci se zabývám problematikou distribuovaného zpracování geografických dat. Od obecného popisu vztahu distribuovaných informačních systémů (DIS) a geografických informačních systémů (GIS) přecházím k reálné aplikaci geomorfologického informačního systému (GmIS) v distribuovaném prostředí. Potenciálním uživatelem GmIS je geomorfolog, který chce využívat informační technologie (IT) k řešení svých úloh. K tomu může sloužit realizace GmIS v rámci práce [Jedlička 2010], ve které je GmIS navržen pro desktop software, konkrétně pro technologii ESRI ArcGIS Desktop. Podle závěrů zmiňované práce a konzultací s autorem Karlem Jedličkou se u desktop realizace GmIS objevují problémy s administrací systému. Desktop GmIS se skládá z velkého množství rozšíření, které je obtížné udržovat v každé instalaci systému. Jako možné řešení autor práce [Jedlička 2010] uvádí přesunutí GmIS z desktopu na server.

V této práci se zaměřuji na přechod Geomorfologického informačního systému do distribuovaného prostředí. Cílem práce je na části GmIS, konkrétně hydrologických analýzách, ověřit a vyzkoušet tento nový směr vývoje GmIS.

Motivací je poskytnout geomorfologovi nástroj pro jeho práci, bez nutnosti učit ho spravovat geografické informační systémy. Předpokladem je základní uživatelská znalost GIS a internetu resp. jeho součástí World Wide Web (WWW). K dosažení tohoto cíle je potřeba geomorfologické analýzy zveřejnit jako služby pro zpracování geoinformačních dat (*geoprocessing services*) na speciální server. K takto zveřejněným analýzám může geomorfologický pracovník přistupovat prostřednictvím uživatelského rozhraní uvnitř webového prohlížeče odkudkoli, bez nutnosti instalovat speciální software pro GIS. Tím dojde ke snížení minimálních nároků na inženýrské znalosti uživatele a tím k rozšíření uživatelské základny GmIS.

Technologicky jsem řešení postavil na platformě software ESRI, která je společná s desktop řešením GmIS. Analýzy napsané pro GmIS pro technologii ArcGIS Desktop jsem upravil pro použití v distribuovaném prostředí a zveřejnil pomocí

technologie ArcGIS Server. Webové uživatelské rozhraní, které obsluhuje publikované analýzy, jsem vytvořil v programovacím jazyce JavaScript.

Řešení uvedené v práci má základy v distribuovaných informačních systémech, jejichž architekturu popisuje kapitola 2. Na nich jsou postaveny webové služby, kterým se věnuje kapitola 3. Témata obou úvodních kapitol mohou být rozebírána z mnoha hledisek, v této práci jsem je pojal ve spojitosti s distribuovanými GIS.

V kapitole 4 popisují hydrologické analýzy z hlediska digitálního prostředí počítačových algoritmů. Kapitoly 5, 6 a 7 popisují vývoj přechodu GmIS z desktopové realizace do serverového prostředí. Kapitola 5 identifikuje a definuje požadavky na distribuovaný GmIS. V kapitole 6 seznamuji s prostředím ArcGIS Server a navrhuji řešení aplikace pro distribuovaný GmIS a kapitola 7 popisuje tvorbu této aplikace. Diskuze v kapitole 8 rozebírá výhody a nevýhody aplikace a navrhuje její budoucí rozšíření. Závěrečná kapitola 9 shrnuje dosažené cíle a rozebírá využitelnost aplikace.

1.1 Terminologie použitá v práci

V práci pracuji s mnoha odbornými pojmy. Na tomto místě uvádím převzaté definice stěžejních pojmů, které vysvětlují, jak jsem uvedené termíny pojal v této práci. Další specializované pojmy zavádím v textu práce při jejich prvním použití.

1.1.1 Geografický informační systém

Podle výkladového slovníku Ministerstva hospodářství ČR je geografický informační systém (GIS) organizovaná kolekce počítačového technického vybavení, programového vybavení, geografických dat a personálu určená k účinnému sběru, pamatování, údržbě, manipulaci, analýze a zobrazování všech forem geograficky vztažené informace. [Neuman 1996]

1.1.2 Geoinformační technologie

Geoinformační technologie (GIT) jsou specifické informační technologie určené pro zpracovávání geodat a geoinformací, jejich získáváním počínaje a vizualizací konče. [Rapant 2006]

Geodata jsou počítačově zpracovatelná forma informace týkající se jevů přímo nebo nepřímo přidružených k místu na Zemi. [Šíma 2003]

Geoinformace je informace týkající se jevů implicitně nebo explicitně přidružených k místu vztaženému k Zemi, znalost získaná jako výsledek syntézy, analýzy nebo integrace geografických dat, jde o specifický případ prostorové informace. [Šíma 2003]

1.1.3 Distribuovaný GIS

Distribuovaný GIS je podle [Peng, Tsou 2003] výzkumná a aplikační oblast, která využívá internet a jiné internetové systémy zahrnující bezdrátovou komunikaci a intranety, k ulehčení přístupu, zpracování a šíření znalosti geografických informací a prostorových analýz. Nástroje pro analýzy a data jsou distribuována různými počítači na různých fyzických místech napříč internetem.

1.1.4 Geomorfologický informační systém

GmIS je geografický informační systém určený geomorfologům pro jejich vědeckou činnost. Pro svůj hlavní cíl, usnadnění práce geomorfologa, GmIS nabízí podporu pro sběr dat v terénu, uložení dat v databázi a hlavně poskytuje sadu nástrojů pro zpracování dat v geomorfologických analýzách. Jsou to například analýzy týkající se digitálního modelu reliéfu (DMR), elementárních forem reliéfu, výpočtů morfometrických charakteristik, bazových povrchů, geomorfologické mřížky a vymezení povodí. [Minár et al. 2005]

1.1.5 Geoprocessing

[ESRI 2010d] vysvětluje termín geoprocessing jako operaci nad daty, při které je na vstupu jedna skupina dat a po provedení operace je na výstupu jiná skupina dat. To zahrnuje české pojmy zpracování dat a analýzu dat. Pokud jsou na výstupu kvalitativně stejná data, jen např. v jiném formátu, nebo v jiném souřadnicovém systému, jedná se o zpracování dat. Pokud je na výstupu kvalitativně jiná skupina dat, např. vytvořený digitální výškový model z dat obsahující vrstevnice, jedná se o analýzu dat. V textu práce jsem pojem geoprocessing překládal jako zpracování a analýza dat.

Kapitola 2

Distribuované informační systémy jako základ pro Internet GIS

V úvodu diplomové práce popisují potřebu distribuovaného geomorfologického informačního systému. Podle [Minár et al. 2005] je GmIS speciálním typem geografického informačního systému, distribuovaný GmIS je tedy speciálním typem distribuovaného GIS. Geoinformační technologie mají základ v informačních technologiích, tedy i distribuovaný GIS se opírá o architekturu distribuovaných informačních systémů.

Proto se v kapitole věnují základním principům distribuovaných informačních systémů (DIS) a popisují, co z nich přebírají distribuované GIS. Podrobně rozepíší témata, která se týkají distribuovaného GmIS. První část kapitoly tvoří popis síťových komunikačních protokolů a softwarové architektury, v další části se věnují technologiím GIS, které mají distribuované řešení a podrobně popisují architekturu technologie ArcGIS Server, která tvoří základ pro distribuovaný GmIS.

Podle [Ledvina 2009] distribuovaný informační systém tvoří skupina navzájem nezávislých počítačů, které uživatel vnímá jako jeden souvislý celek. Uživatel distribuovaného GIS přistoupí k programu v prohlížeči na svém počítači, kde zadá vstup a získá výsledek. Na pozadí jiný počítač poskytuje mapovou službu, program na jiném serveru provádí výpočet analýzy a o zobrazení a komunikaci s uživatelem se stará klientský počítač. V tomto příkladě systém tvoří tři nezávislé počítače, které se uživateli zdají jako jeden souvislý systém.

Podle typu sítě a typu klienta publikace [Peng, Tsou 2003] a [Longley et al. 2005] rozlišují distribuovaný GIS na mobilní (*Mobile GIS*) a internetový (*Internet GIS*). Mobile GIS využívá bezdrátové připojení k internetu a mobilní klienty jako notebooky, PDA a mobilní telefony. Internet GIS pracuje na stolních počítačích s pevným připojením k internetu. Vzhledem k odlišnostem využívaných klientů a sítí mají obě skupiny jiné nároky na funkcionalitu aplikací. Liší se především rychlostí a kapacitou síťového připojení, výpočetním výkonem a velikostí zobrazovacího zařízení.

Distribuovaný GmIS se pohybuje v oblasti stolních počítačů s vysokorychlostním připojením k internetu a jedná se tedy o případ Internet GIS.¹

Základem výměny informací v distribuovaném prostředí jsou síťové modely a protokoly.

2.1 Síťové protokoly pro DIS

Internet GIS je distribuovaný systém, ve kterém spolu komunikují počítače umístěné na různých fyzických místech, vybavené různým hardware a s nainstalovaným různým operačním systémem prostřednictvím sítě internet. Počítače a počítačové sítě spojené přes internet si vyměňují data pomocí síťových komunikačních protokolů. Jak má síťová komunikace vypadat, definují dva hlavní referenční komunikační modely ISO/OSI (International Organization for Standardization/Open Systems Interconnection) a TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol).

ISO/OSI je řešení mezinárodní organizace, jedná se o obecnou koncepci, která definuje činnosti a vzájemnou komunikaci sedmi vrstev síťového programového vybavení. Referenční model ISO/OSI je ukázkou, jak by měla vypadat ideální síťová komunikace. Pro své vysoké nároky na spolehlivost přenosů se model ISO/OSI ukázal příliš složitým na nasazení v praxi.

Přednost dostal referenční model TCP/IP, který byl původně řešením pro počítačovou síť ARPANET ministerstva obrany USA, ze které se vyvinul dnešní internet. Model TCP/IP je založen na principu rychlé komunikace, která počítá s chybami přenosů a vyžaduje kontrolu na straně klientů. Toto řešení více odpovídá praxi, proto je model TCP/IP velmi rozšířený. [Peterka 2010]

O realizaci modelů se starají síťové protokoly. V síti internet je nejvyužívanější sada protokolů TCP/IP, které vycházejí ze síťového komunikačního modelu TCP/IP. [Peterka 2010], [Peng, Tsou 2003]

2.1.1 Protokol TCP/IP

Protokol TCP/IP je realizací stejnojmenného modelu síťové komunikace, jedná se o sadu protokolů členěných do čtyř hierarchických vrstev, které zajišťují komunikaci a výměnu dat mezi počítači.

Nejspodněji je umístěna vrstva síťového rozhraní (*Network Interface Layer*), která se stará o řízení přenosů na konkrétní fyzické síti a je závislá na použité pře-

¹V rámci GmIS je rozvíjena i sekce patřící do mobilního GIS. Jedná se o sběr dokumentačních materiálů elementárních forem mobilním klientem v terénu a usnadnění úpravy atributů elementárních forem při zpracování v kanceláři. [Jedlička, Šilhavý 2009]

nosové technologii². O pozici výše v hierarchii vrstev protokolu TCP/IP se nachází síťová vrstva (*Internet Layer*), která se stará o adresaci počítačů v síti. Hlavním protokolem této vrstvy je protokol IP. Každý počítač připojený do sítě má jednoznačnou identifikaci v podobě IP adresy. Podle této identifikace se mohou počítače vzájemně nalézt a navázat komunikaci. Transportní vrstva (*Transport Layer*) se stará o přenos dat mezi dvěma koncovými účastníky síťové komunikace, tedy mezi dvěma počítači. Aplikační vrstva (*Application Layer*) obsahuje protokoly a metody, které využívají aplikace pro komunikaci po síti (např. webový prohlížeč, emailový klient nebo FTP klient). [Peterka 2010], [Wikipedia 2010]

2.1.2 Protokol HTTP

Nejpoužívanější aplikací běžící v aplikační vrstvě protokolu TCP/IP je bezesporu World Wide Web, známá pod zkratkou WWW a zkráceným označením web. Jedná se o vzájemně propojené dokumenty nazývané se webové stránky. K navigaci mezi webovými stránkami slouží hypertextové odkazy. Webové stránky jsou založeny na značkovacím jazyku HTML (HyperText Markup Language).

K zobrazení webových stránek je zapotřebí klient, tzv. webový prohlížeč. Webový prohlížeč po zadání jednoznačného identifikátoru zdroje (URI – Uniform Resource Identifier) kontaktuje příslušný webový server, který klientu vrátí požadovaný dokument. O přenos dokumentů a jiných zdrojů mezi webovým prohlížečem a webovým serverem se stará protokol HTTP (HyperText Transfer Protocol).

HTTP obsahuje několik metod pomocí nichž klient dává příkazy serveru. Metoda GET slouží k získání dat ze serveru na klienta. Mimo dokumentů v jazyce HTML dokáže HTTP přenášet i jiné datové formáty díky podpoře normy Multipurpose Internet Mail Extensions (MIME). Pro opačný směr toku dat, tedy z klienta na server, je určena metoda POST.

Protokol HTTP neslouží jen k zobrazování HTML stránek, je základem komunikace na webu a využívají ho třeba webové služby popsané v kapitole 3.

Web není jedinou aplikací internetu, proto tyto pojmy nelze zaměňovat. V aplikační vrstvě TCP/IP fungují např. protokoly FTP, SCP pro přenos souborů a nebo protokoly POP3, IMAP4 pro elektronickou poštu a spousta dalších. Problematika síťové komunikace přesahuje rámec této práce, proto jsem jen nastínil ta nejdůležitější témata a pro podrobnější informace odkazuji do zdrojů [Peterka 2010], [Peng, Tsou 2003] a [Wikipedia 2010].

²Např. Ethernet, Internet, Wifi, mobilní síť GPRS.

2.2 Architektury DIS

Počítače v síti spolu komunikují pomocí protokolů TCP/IP. Role počítače v komunikaci je dána modely architektur jako *Client/Server* nebo *Peer-to-Peer*.

Client/Server je model síťové architektury, ve kterém jeden počítač, zvaný klient, vysílá požadavky na druhý, zvaný server, který je přijímá, zpracovává a vrací odpověď. Architektura *Client/Server* může být také chápána ze softwarové stránky. Jedná se o hierarchii softwarových elementů, ve které klient je program, který posílá požadavky a server je program, který je zpracovává. Pojmy klient a server nejsou v tomto případě vázány na fyzický počítač. Jeden počítač může být zároveň klientem i serverem. V dalším textu uvažuji pod pojmem *Client/Server* právě model softwarové architektury.

V architektuře *Peer-to-Peer* (P2P) mají všechny počítače (potažmo programy) stejnou roli. Tento model je také nazýván klient-klient.³ Tato architektura je základem *Peer-to-Peer* sítí, které slouží zejména ke sdílení souborů mezi uživateli. Dále se věnuji architektuře *Client/Server*, která má pro Internet GIS větší význam. [Peng, Tsou 2003]

2.2.1 Softwarová architektura

Terminologie informačních systémů definuje pojem softwarová architektura, který s modelem *Client/Server* úzce souvisí. Typická aplikace obsahuje tři vrstvy, prezentační, logickou a datovou. Každá z těchto vrstev zastává v aplikaci jinou úlohu.

Prezentační vrstva má za úkol interaktivně komunikovat s uživatelem, nejčastěji pomocí grafického uživatelského rozhraní, a zobrazovat výsledky práce ostatních vrstev. Logická vrstva, též nazývaná aplikační vrstva, zaštiťuje funkcionalitu aplikace, většinou se jedná o operace nad daty z datové vrstvy, například výpočty a zpracování dat. Datová vrstva je zodpovědná za uložení dat a jejich zprostředkování pro využití v aplikační či prezentační vrstvě, může se jednat například o databázi nebo souborový systém. [Longley et al. 2005]

2.2.2 Rozhraní

Aby mohly jednotlivé softwarové vrstvy pracovat samostatně a komunikovat s ostatními vrstvami, je potřeba definovat spojení a dorozumívací prostředek. Spojení zajišťuje počítačová síť a protokoly s ní související popsané v 2.1. Aby si softwarové vrstvy mohly vyměňovat informace, musí používat stejný dorozumívací prostředek. Tím je komunikační rozhraní.

³<http://cs.wikipedia.org/wiki/Peer-to-peer>

Rozhraní je domluvený způsob, jakým spolu komunikují dva odlišné systémy. Rozeznáváme aplikační, databázové a grafické uživatelské rozhraní. Aplikační rozhraní (*Application Programming Interface* – API) je sada funkcí, příkazů a protokolů softwarového programu či systému, která umožňuje vzájemnou komunikaci s ostatními programy⁴. API se např. nachází mezi prezentační a aplikační vrstvou v případě, že klient využívá funkcí aplikačního serveru prostřednictvím aplikačního rozhraní serverového programu.

Mezi aplikační a datovou vrstvou se nachází databázové rozhraní. Jedná se o API databázového systému, které umožňuje klientům využívat funkce systému řízení báze dat (SŘBD). Databázové rozhraní může být závislé na programovacím jazyku a operačním systému aplikace a databázovém systému, nebo se může jednat o standardizované rozhraní typu ODBC (Open Database Connectivity) nebo JDBC (Java Database Connectivity).

Interakce mezi uživatelem a prezentační vrstvou probíhá nejčastěji přes grafické uživatelské rozhraní (GUI – *Graphical User Interface*). GUI umožňuje ovládat klientský program pomocí grafických prvků jako jsou např. ikony, formuláře a tlačítka.

Komunikace přes standardní rozhraní umožňuje různým klientům komunikovat s různými druhy serverů. Více o komunikačních rozhraních jsem napsal v kapitole 3.

2.2.3 Typy klientů

Podle umístění jednotlivých částí vícevrstvé architektury v modelu Client/Server rozlišujeme typy klientů. Klienty dělíme obecně na tenké a silné. V případě tenkého klienta jsou aplikační a datová vrstva umístěny na server. Server tedy počítá analýzy a poskytuje data a tenký klient se stará o komunikaci s uživatelem a o zobrazení výsledku. V případě silného klienta se server stará o provoz datové vrstvy a klient je schopen analýzy provádět sám.

Klientem může být například desktop klient, aplikace nainstalovaná na počítači. Výhodou desktop klientů je provázanost s operačním systémem, využití jeho prostředků a možnost práce v režimu offline, kdy klient nevyžaduje připojení k internetu. To značí, že desktop klienti jsou většinou závislé na platformě. Nevýhodou je i nutnost aktualizace každé instalace klienta v případě změny na serveru. Pro uživatele to znamená, že se starým klientem mu nemusí nástroj fungovat a správce serveru nemá jistotu, že došlo k aktualizaci všech klientů. Typickým desktop klientem je silný klient s grafickým uživatelským rozhraním a aplikační logikou na straně klienta a databází na vzdáleném serveru. O komunikaci se stará protokol TCP/IP a rozhraní k příslušné databázi.

⁴http://cs.wikipedia.org/wiki/Application_Programming_Interface

Nevýhody desktop klienta řeší tzv. webový klient, program umístěný na internetu a přístupný přes webový prohlížeč. Instalace programu je jen jedna a přes web k ní přistupuje více uživatelů. Při aktualizaci stačí změnit program na jednom místě a změna se projeví u všech uživatelů. Nevýhoda webových klientů spočívá v omezenějších možnostech programování ve prospěch zachování bezpečnosti uživatelských dat (např. zápis a čtení dat na straně uživatelského počítače).

Webový klient je typickým zástupcem tenkých klientů, u kterých se funkcionality aplikace nachází na straně serveru spolu s datovou vrstvou. [Peng, Tsou 2003], [Longley et al. 2005]

2.2.4 Vícevrstvé architektury

Provázanost a umístění logických softwarových vrstev určuje základní architektury aplikací. Jednovrstvá architektura je nejjednodušší variantou, kdy jsou v aplikaci integrovány vrstvy prezentační, logická i datová (viz obrázek 2.1). Celá aplikace se nachází na jednom počítači. Data se mohou nacházet i ve vzdáleném úložišti, ale aplikace zastává funkci datové vrstvy, tedy sama spravuje vzdálená data.

Dvojevrstvá architektura se skládá ze dvou oddělených aplikací. Aplikace běžící na klientu vykonává funkci prezentační vrstvy a serverová aplikace se stará o realizaci úloh pro datovou vrstvu. Podle umístění logické vrstvy rozlišujeme tenkého a silného klienta, jak je popsáno v sekci 2.2.3. Vrstvy na pomezí obou aplikací spolu komunikují přes definované rozhraní. Změna vnitřku jedné aplikace při zachování rozhraní neovlivní běh Client/Server aplikace jako celku. Příklad silného klienta ukazuje obrázek 2.2.

V trojevrstvé architektuře je logická vrstva reprezentována samostatnou aplikací, která funguje mezi prezentační vrstvou na tenkém klientu a datovou vrstvou na datovém serveru (viz obr. 2.3). Jedná se o nejpoužívanější architekturu typu Client/Server. Komunikace jednotlivých komponent přes definovaná rozhraní umožňuje jejich záměnu. V případě potřeby lze ke klientu připojit jinou aplikaci pro výpočty, která je ve spojení s různými datovými servery. [MSDN]

Dalším rozdělením vrstev trojevrstvé architektury můžeme v architektuře aplikace rozeznávat i více vrstev. V takovém případě se jedná o n-vrstvou architekturu. Oddělené vrstvy jsou samostatné elementy, které s okolím komunikují přes definované rozhraní.

2.3 Využívané architektury GIS

Vývoj GIS kopíruje vývoj informačních technologií. Postupem času s novými možnostmi IT přicházejí nová řešení pro GIS. To platí i pro architektury, které GIS

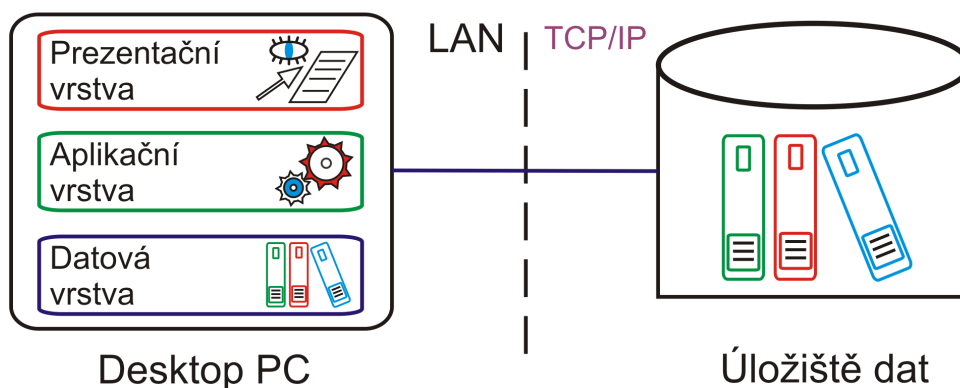
využívají. Vývoj šel od nasazení GIS na sálových počítačích, přes přesun na počítače osobní připojené do lokální sítě až po distribuované systémy v prostředí internetu. [Peng, Tsou 2003]

V řešeních GIS lze rozeznat vícevrstvou architekturu. Prezentační vrstvou v aplikacích GIS rozumíme uživatelské rozhraní (např. GUI), které uživateli zprostředkovává přístup k nástrojům a datům, zobrazuje výsledky analýz a data, nejčastěji v podobě mapy a atributových informací. Logická vrstva zahrnuje nástroje pro práci s převážně prostorovými daty. Stará se o jejich zpracování a analýzu, souhrnně se tyto operace nazývají geoprocessing⁵. Pod datovou vrstvou v GIS nacházíme větší systém řízení báze dat (*Database Management System – DBMS*), který dokáže pracovat s prostorovými daty. Např. Oracle Spatial, PostgreSQL s nadstavbou PostGIS, nebo prostorová nadstavba ArcSDE fungující nad konkrétní relační databází. Datovou vrstvou ale může také být souborový systém operačního systému, ve kterém jsou geodata uložena v prostorových datových formátech.

Následující podkapitoly představují nejvýznamnější architektury GIS z hlediska vývoje a vymezují pole působnosti pro GmIS.

2.3.1 Řešení Desktop GIS

Nejjednodušší konfigurace GIS je založena na jednovrstvé architektuře. Všechny tři softwarové vrstvy jsou umístěny na jednom fyzickém počítači – desktopu, odtud název řešení. Řešení vyhovuje systémům pro jednoho uživatele, je závislé na platformě a je těžké je migrovat na jiný systém. [Longley et al. 2005], [Peng, Tsou 2003]



Obrázek 2.1: Řešení Desktop GIS

Jedna aplikace zastává úlohy všech tří vrstev. Ikony a nástrojové nabídky grafického uživatelského rozhraní reprezentující prezentační vrstvu jsou závislé na konkrétních nástrojích, které aplikace nabízí. Zároveň tyto nástroje využívají jeden stálý

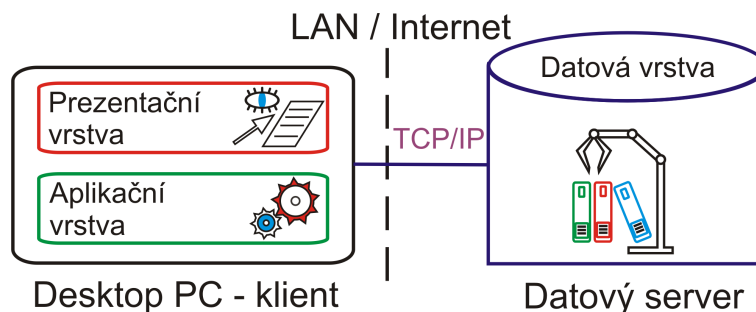
⁵Viz definice v 1.1.5.

typ uložení dat, např. jeden typ databáze či jeden souborový datový formát, a funkce na přístup k datům jsou fixovány na tuto databázi. Aplikace je většinou závislá na operačním systému a každý uživatel má kompletní instalaci aplikace na svém počítači.

Na obrázku 2.1 desktop PC reprezentuje počítač s nainstalovaným GIS a úložištěm dat je centralizovaný server, přístupný přes lokální síť (LAN). Tento server nemá řídicí logiku, jeho úkolem je poskytnout potřebná data, která jsou přenesena přes síť do aplikace, která s nimi provede požadovanou operaci. To znamená, že v případě potřeby jen malé části souboru je nutné přenést soubor celý a v jeden okamžik může data editovat pouze jeden uživatel. [Peng, Tsou 2003], [Longley et al. 2005]

Jednotlivé vrstvy jsou zapouzdřeny v aplikaci a nelze je využít přes rozhraní v jiné aplikaci. Např. aplikace obsahuje nástroj na vytvoření DEM z vrstevnic. Ten lze zavolat jen z GUI aplikace a využít v něm data z databáze aplikace. Jiný program, který potřebuje vytvářet DEM, musí mít vlastní nástroj na jeho tvorbu, který zavolá z vlastního GUI a využije data z vlastní databáze. Dochází tak k duplikování nástrojů i dat.

Výhody desktop GIS řešení oproti serveru vycházejí z delšího vývoje tohoto typu GIS. Spočívají zejména v bohaté funkcionalitě, v komfortním a interaktivním uživatelském prostředí, v provázanosti na funkce operačního systému⁶ a také v menších bezpečnostních rizicích než u serverových řešeních.



Obrázek 2.2: Dvojvrstvá architektura Client/Server se silným klientem

2.3.2 Řešení Client/Server GIS

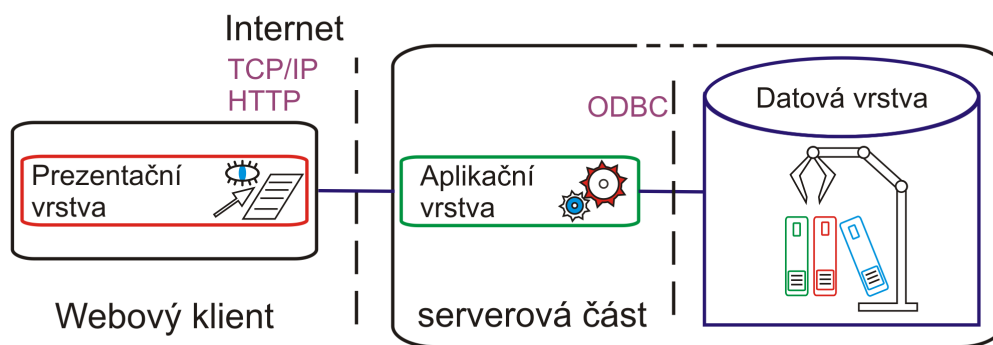
S příchodem a vývojem počítačových sítí, zejména internetu, bylo možné od sebe jednotlivé vrstvy oddělit. Tím je umožněno centrálně spravovat a opakovaně využívat nejen data, ale i nástroje pro práci s nimi. Jednotlivé vrstvy v softwarové architektuře mezi sebou komunikují prostřednictvím rozhraní (viz 2.2.2).

⁶Využíváním předdefinovaných funkcí operačního systému vede na unifikovaný vzhled s ostatními aplikacemi operačního systému a tím je zajištěno intuitivní ovládání GUI aplikace.

V publikacích [Longley et al. 2005] a [Peng, Tsou 2003] jsou uvedena různá řešení zakládající se na architektuře Client/Server. Obrázek 2.2 ukazuje řešení vzniklé z desktopové jednovrstvé aplikace oddělením datové vrstvy a jejím umístěním na server. Využívá dvojvrstvé architektury se silným klientem a vzdáleným databázovým serverem. Jedná se o desktop program s vlastním GUI a vlastními nástroji, které dokáží využívat vzdálené zdroje dat nejčastěji přes databázové rozhraní. [Peng, Tsou 2003] [Wiki]

Další technický vývoj umožnil oddělit aplikační vrstvu a přesunout ji na server. Na klientu zůstalo pouze GUI, které dokáže přes rozhraní využívat nástroje na aplikačním serveru. Komunikačním rozhraním na pomezí klienta a serveru je v tomto případě aplikační programové rozhraní. Jedná se o případ tenkého klienta GIS, který funkcemi definovanými v API řídí chod aplikačního serveru. Aplikační serverem může být například mapový server, který poskytuje klientu mapové služby. Aplikační server může také být výpočetní server, který poskytuje služby vzdáleného zpracování a analýzy dat (*processing services*). Více webových o službách jsem pojednal v kapitole 3.

Aplikační server může plnit úlohu uložení a správy dat, to v případě dvojvrstvé architektury. Když jsou data spravována jinou serverovou aplikací komunikující s aplikačním serverem přes databázové rozhraní, jedná se o architekturu trojvrstvou (viz obr. 2.3). Velmi rozšířeným a využívaným typem Client/Server architektury



Obrázek 2.3: Trojvrstvá architektura Client/Server s webovým klientem

je kombinace webového klienta komunikujícího s aplikačním serverem přes webový server. Rozhraním mezi klientem, nejčastěji webovým prohlížečem, a webovým serverem je protokol HTTP. O HTTP jsem pojednal v sekci 2.1.2 a vlastnosti webového klienta jsem popsal v podkapitole 2.2.3.

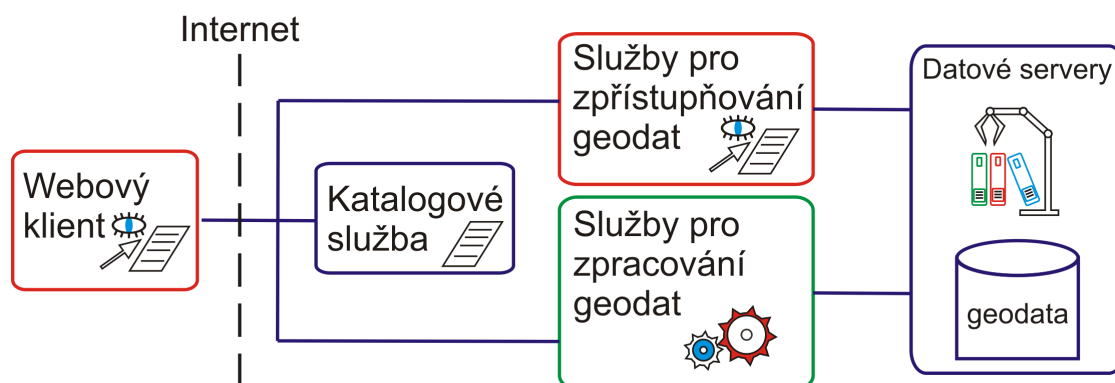
2.3.3 Distribuované služby GIS

Zkratka GIS, ve které písmeno S znamená *Services* – služby, tedy termín *GIServices*, souvisí s pojmem *component based services* – služby založené na komponentách. Princip komponent vychází z objektově orientovaného programování (OOP). Komponenta je softwarový element provádějící množinu operací, které jsou uživatelem vnímány jako jedna úloha. Zdrojový kód komponenty není pro její využití nutné znát. Tato vlastnost se nazývá zapouzdřenost a je jednou ze základních vlastností OOP.

[Peng, Tsou 2003]

Distribuovaná komponenta je služba umístěná na serveru v internetu. Komponenty mezi sebou vzájemně komunikují pomocí rozhraní. V jednu chvíli komponenta vysílá požadavek a plní roli klienta, jindy zas požadavek přijímá, zpracovává a vrací odpověď a chová se jako server. [Peng, Tsou 2003]

Distribuované služby GIS jsou založeny na distribuovaných komponentách, které jsou rozptýleny po internetu. Z hlediska architektury prezentační vrstvu tvoří klient a aplikační s datovou vrstvou tvoří distribuované komponenty, které fungují jako webové služby. O webových službách pojednává kapitola 3.



Obrázek 2.4: Služby založené na komponentách

Důvodem pro rozdělení aplikace na elementární komponenty je jejich opakované využití. Na obrázku 2.4 je znázorněno schéma fungování component based services. Uživatel se pomocí webového prohlížeče připojí ke katalogové službě, kterou tvoří metadatový server s informacemi o dostupných distribuovaných službách. Z těchto komponent lze sestavit aplikaci na míru potřeb uživatele. Publikace [Rapant 2006] tuto možnost pojmenovává jako koncept geowebu.

2.4 Technologie pro distribuovaný GIS

V předešlých sekcích jsem popsal architekturu distribuovaných GIS z obecného hlediska. V této podkapitole jsem se zaměřil na nabídku GIS zabývajících se distribuovaným zpracováním a analýzou dat.

Produktů nabízejících internetové mapové služby je v dnešní době celá řada, ať už na poli komerčních nebo otevřených (*open source*) řešení. V takovém případě aplikační vrstvu tvoří mapový server. V diplomové práci se zaměřuji na systémy, ve kterých hlavní úlohu v aplikační vrstvě tvoří server analytický.

Takovým řešením je například produkt společnosti ESRI, ArcGIS Server. Technologii ArcGIS Server jsem použil k realizaci distribuovaného GmIS, proto o ní pojednávám v samostatné podkapitole 2.5. Výběr technologie je zdůvodněn v kapitole 5.

ESRI není na trhu s distribuovaným GIS jediná. Své produkty pro zpracování a analýzu dat v distribuovaném prostředí nabízí například komerční firma Intergraph se svým systémem GeoMedia WebMap Professional. Komplexní otevřené řešení pro distribuovaný GIS není autorovi známo, lze ho však poskládat z více programů od různých vývojářů. Například na místě aplikační vrstvy lze využít software GRASS GIS (Geographic Resources Analysis Support System), pro správu dat kombinaci databáze PostgreSQL s prostorovou nadstavbou PostGIS a pro prezentační vrstvu lze použít technologii OpenLayers. Rozhraním mezi klientem OpenLayers a aplikačním serverem GRASS GIS je standard WPS, resp. jeho implementace PyWPS.⁷

2.5 Technologie ArcGIS Server

ArcGIS Server je jedním z produktů společnosti ESRI (Environmental Systems Research Institute) patřících do systému ArcGIS. ESRI je americká firma zabývající se vývojem software pro geoinformační technologie. Systém ArcGIS je celosvětově rozšířená a používaná sada produktů geografických informačních systémů. ArcGIS Server umožňuje vytvářet centrálně spravovaný GIS pro tvorbu webových aplikací a služeb. [ESRI 2004]

Architektura ArcGIS Server je svázána s architekturou celého systému ArcGIS. Proto nejprve přibližuji vztah technologie ArcGIS Server k ostatním produktům ArcGIS. V následujícím textu jsem rozebral architekturu řešení ArcGIS Server z pohledu dříve definovaných softwarových vrstev.

⁷<http://pywps.wald.intevation.org/>

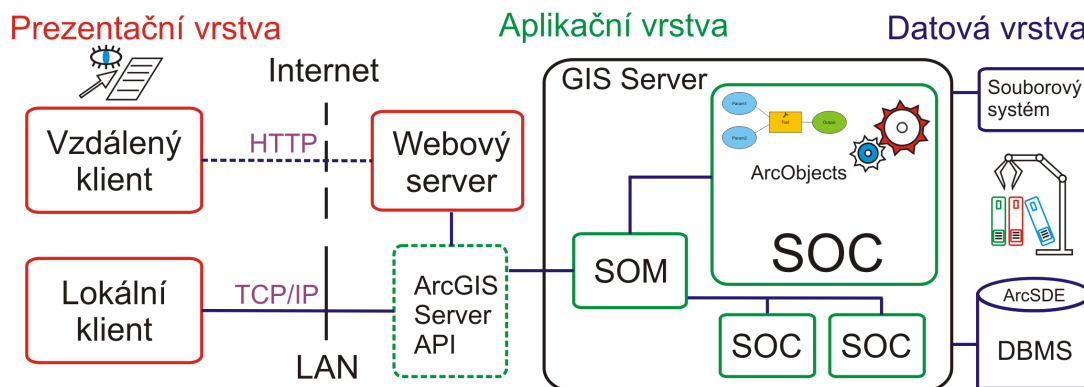
2.5.1 Představení technologie ArcGIS

System ArcGIS tvoří několik skupin produktů, které mají společný základ, ale každá skupina slouží k jiným účelům. Například ArcGIS Desktop je sada aplikací GIS pro lokální operační systémy, ArcGIS Mobile slučuje produkty pro mobilní zařízení. Pro vývojáře systém ArcGIS nabízí zapouzdřené knihovny komponent ArcGIS Engine pro vývoj vlastních aplikací. Pro tvorbu aplikací a služeb běžících na serveru je určena skupina produktů ArcGIS Server.

Jádrem systému jsou softwarové objekty ArcObjects, které vychází z modelu COM (Component Object Model). Z těchto komponent jsou poskládány jednotlivé produkty systému ArcGIS a tím je umožněno sdílení společných funkcí mezi nimi. To usnadňuje přepsání aplikací vyvinutých např. pro ArcGIS Desktop k použití na technologii ArcGIS Server (více viz 6.2). [ESRI 2004]

2.5.2 Architektura ArcGIS Server

V architektuře ArcGIS Server (viz obr. 2.5) lze rozpoznat tři softwarové vrstvy popsané v sekci 2.2.1. Prezentační vrstva je tvořena různými druhy klientů, jenž přistupují k aplikační vrstvě buď přímým spojením přes lokální síť LAN, nebo skrz webový server v síti internet. Úlohu aplikační vrstvy zastává GIS Server, jehož výpočetní jádro je postaveno na komponentech ArcObjects. O data a jejich správu se stará buď databázový nebo souborový systém.



Obrázek 2.5: Architektura ArcGIS Server [ESRI 2004]

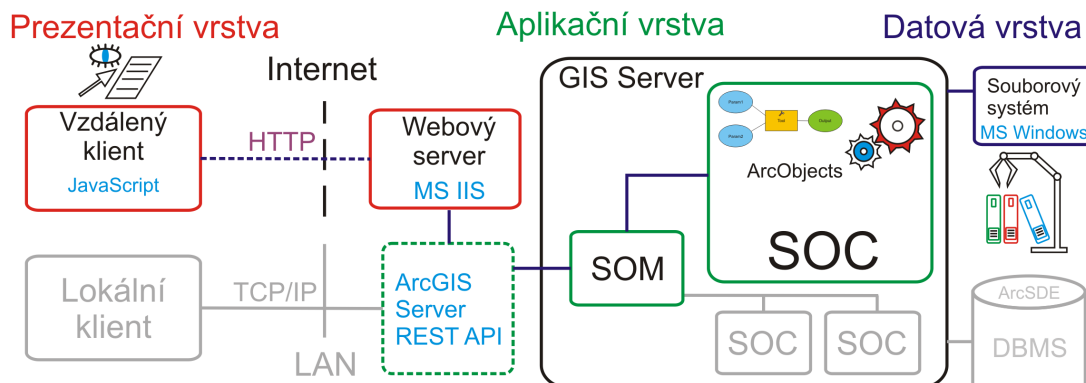
Jak jsem zmínil výše, jádrem ArcGIS Server jsou knihovny softwarových komponent ArcObjects. Komponenty ArcObjects používané na serveru jsou nazývány serverové objekty (*server objects*) a jsou uloženy a spravovány v tzv. Server Object Containers (SOC). V závislosti na požadovaném využití serveru, ArcGIS Server obsahuje jeden nebo více SOC. O správu serverových objektů rozmístěných na různých

SOC se stará Server Object Manager (SOM). Požadavek na spuštění požadovaného procesu jde nejprve na SOM a ten určí, ve kterém SOC se má proces spustit.

Komunikace mezi klienty a SOM probíhá přes komunikační rozhraní (viz 2.2.2). ArcGIS Server nabízí několik rozhraní pro komunikaci se širokou řadou různých klientů (viz 3.4). Lokální klienty připojené na SOM lokální sítí mohou přes komunikační rozhraní využívat funkcionality serverových komponent přímo, zatímco internetové klienty přistupují nejprve na webový server pomocí protokolu HTTP (viz obr. 2.5). [ESRI 2004]

2.5.3 Pozice distribuovaného GmIS v architektuře ArcGIS Server

Architektura distribuovaného GmIS využívá webového klienta napsaného v programovacím jazyce JavaScript. Klient komunikuje s webovým serverem pomocí protokolu HTTP. Příkazy na aplikační server, respektive SOM, klient posílá prostřednictvím rozhraní ArcGIS Server REST API. Pro uložení dat aplikace využívá souborový systém operačního systému Microsoft Windows Server 2008. Pozici řešení ukazují obrázek 2.6, návrhu architektury GmIS jsem se podrobně věnoval v kapitole 6.

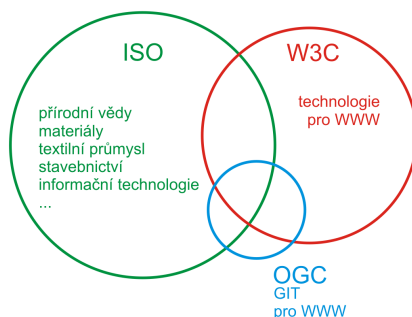


Obrázek 2.6: Pozice GmIS v architektuře ArcGIS Server

Kapitola 3

Webové služby jako rozhraní v distribuovaných GIS

Webovou službu lze chápat jako dorozumívací prostředek mezi aplikacemi v prostředí internetu. Často se jedná o komunikaci mezi klientem a serverem. Například na serveru je program, který umí počítat hydrologické analýzy, tento program nabízí dvě rozhraní ke komunikaci. Jedním je uzavřené rozhraní pro klientské programy téhož výrobce a druhým je normalizovaná služba, kde klientem může být libovolná aplikace podporující tuto normu.



Obrázek 3.1: Vztah organizací vyvíjejících normy

World Wide Web Consortium (W3C) je mezinárodní komunita, která se zabývá vývojem protokolů a metodických postupů určených pro web. Normy definované touto organizací jsou klíčovou částí fungování World Wide Web (WWW). Na poli vývoje norem geoinformačních technologií (GIT) v prostředí WWW působí jednak mezinárodní společenství organizací Open Geospatial Consortium (OGC) a také mezinárodní organizace pro normalizaci ISO (International Organization for Standardization), respektive její technická komise 211 s názvem ISO/TC 211 Geographic information/Geomatics. Pole působnosti těchto tří organizací znázorňuje obr. 3.1. Ve společných tématech probíhá mezi nimi spolupráce.

Normalizace (*standardization*) přispívá k zjednodušení a umožnění spolupráce systémů či programů od různých výrobců, na různých platformách napsaných v různých vývojových prostředích. Používání webové služby definované normou můžeme přirovnat k používání společného jazyka při komunikaci mezinárodních společenstev lidí. Tato komunikace je vždy složitější a pomalejší než komunikace lidí mluvících stejným národním jazykem. Proto výrobci GIS dále vyvíjejí svá vlastní řešení pro webové služby. Ty jim umožní zachovat rychlou a snadno implementovatelnou komunikaci vlastních produktů. Zároveň podpora mezinárodních norem rozšíří možnosti využití jejich produktů ke spolupráci s programy ostatních výrobců software.

Náplní diplomové práce je zpracování a analýza dat v distribuovaném prostředí a zobrazování jejich výsledků, v podobě mapových služeb. V této kapitole jsem se převážně zaměřil na webové služby týkající se mapových služeb a služeb na zpracování a analýzu dat. Webovou službu definuji v 3.1, v podkapitole 3.2 popisuji nejvýznamnější normy vyvinuté OGC a ISO, firemním řešením se věnuji v sekci 3.3. Technologii použitou pro distribuovanou realizaci GmIS jsem popsal v podkapitole 3.4.

3.1 Definice webové služby

Podle definice W3C⁸ je webová služba softwarový systém, který podporuje vzájemnou spolupráci počítačů v síti. K tomuto účelu webová služba disponuje rozhraním definovaným strojově čitelným formátem WSDL (Web Services Description Language). Vzájemná komunikace ostatních systémů s webovou službou je umožněna pomocí zpráv SOAP (Simple Object Access Protocol), které jsou přenášeny přes protokol HTTP.

Princip interakce klienta a webové služby je zachycen na obrázku 3.2. Webová služba je umístěna na serveru poskytovatele spolu se svým popisem v jazyce WSDL. Její WSDL dokument obsahuje informace pro nalezení a spuštění služby, o nabízených operacích, o vstupních a výstupních formátech a o výjimkách, které může služba vyvolat. Tzn. WSDL formát přesně popisuje komunikační rozhraní webové služby.

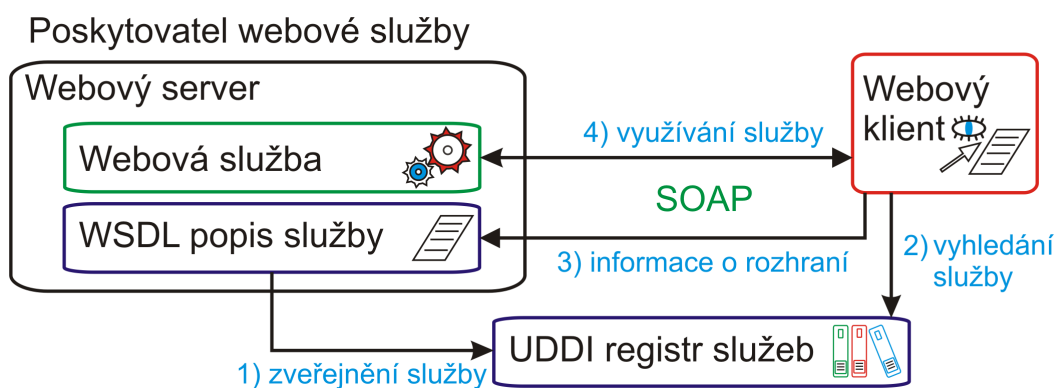
Poskytovatelé služeb zveřejňují informace o webových službách v tzv. globálních registrech webových služeb UDDI (Universal Description Discovery and Integration)⁹. UDDI je otevřený standard pro sdílení informací o webových službách, který umožňuje klientům automaticky vyhledávat služby na internetu.

⁸<http://www.w3.org/TR/ws-arch/>

⁹<http://www.oasis-open.org/committees/uddi-spec/doc/tcpspecs.htm>

Klient, který chce využívat webovou službu, musí znát adresu jejího WSDL dokumentu, ze kterého zjistí, jak má se službou komunikovat. Odkazy na WSDL popis služeb lze zjistit z registru UDDI nebo přímo na stránkách poskytovatele webové služby. Klient nejprve zpracuje WSDL dokument a pak naváže komunikaci se službou pomocí XML zpráv strukturovaných podle protokolu SOAP.

V této sekci jsem čerpal z článku [Richta 2003] a internetových zdrojů.¹⁰



Obrázek 3.2: Architektura webových služeb

3.2 Normalizované webové služby v GIT

Jak jsem již zmínil, vývojem norem pro geoinformační technologie se zabývá technická komise ISO/TC211 a organizace OGC. Náplní práce technické komise TC211 je poskytnout rámec pro vývoj geoinformačních technologií napojený na související normy z informačních technologií a cílem OGC je zpřístupnit geoinformační technologie veřejnosti pomocí webu. ISO/TC211 a OGC při vývoji norem vzájemně spolupracují. V této podkapitole zmíním normy obou organizací. [OGC 2010], [ISO 2009]

3.2.1 Normy ISO

ISO ovlivňuje webové služby v GIT normami, které mají obecný charakter. Např. norma *ISO 19107 Spatial Schemas* zavádí metodologii, jak pracovat s prostorovými geografickými informacemi, norma *ISO 19110 Feature Cataloging Methodology* určuje, jak katalogizovat typy prvků a prezentovat je uživatelům, norma *ISO 19115 Metadata* definuje, jak popisovat geografické informace a služby. OGC i výrobci GIS vycházejí z ISO norem při vývoji vlastních webových služeb.

¹⁰<http://www.ibm.com/developerworks>>, <http://www.linuxtopia.org/online_books>

Spolupráce OGC a ISO/TC211 vede ke schvalování některých OGC norem jako mezinárodních ISO norem. Např. OGC norma *Web Map Service* (WMS) byla schválena jako norma *ISO 19128 Web map server interface* a norma OGC *Web Feature Service* (WFS) je připravována ke schválení pod označením *ISO/DIS 19142 Web Feature Service*. [ISO 2009]

3.2.2 Specifikace a normy OGC

OGC vyvíjí mnoho norem týkajících se webových služeb, souhrnně je nazývá *OGC Web Services* (OWS). Jejich společné vlastnosti definuje norma *OGC Web Services Common Specification* (WS-Common). WS-Common vzchází z W3C definice webové služby a definuje obecný rámec pro všechny OGC webové služby. Určuje povinné metody, parametry a datové struktury. V každé normě odvozené od WS-Common jsou tyto základy zachovány a implementovány podle potřeb dané služby. [OGC 2007]

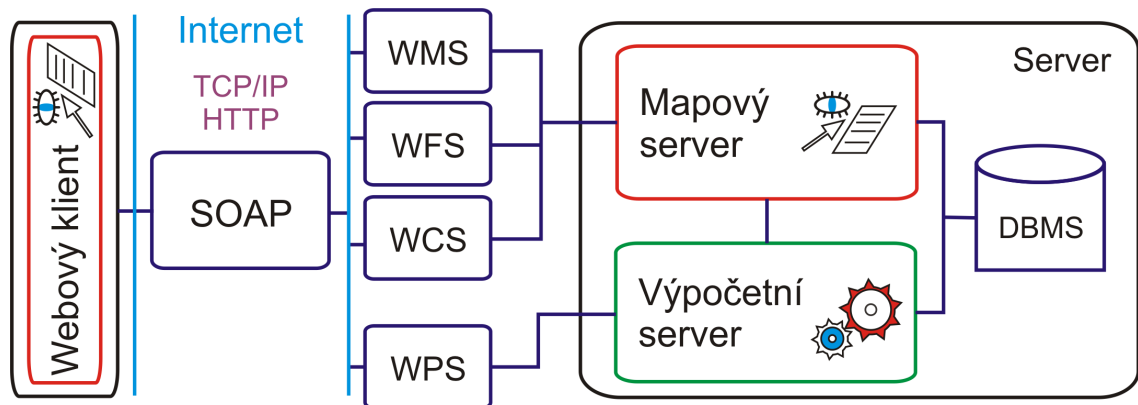
OGC normou pro dynamické sdílení mapových dat je služba *Web Map Service* (WMS). Pomocí WMS lze sdílet rastrová i vektorová data, přičemž na klient jsou data přenášena vždy v rastrovém formátu. Tzn. vektorová data jsou převedena na rastr a poté předána klientu. Norma webové služby *Web Coverage Service* (WCS) určuje, jak sdílet tzv. *coverages*, prostorová data vztahovaná k digitálnímu modelu zemskému povrchu. WCS poskytuje data v jejich původním formátu, tzn. lze je dále zpracovat a analyzovat. Pro poskytování vektorových dat přímo klientu slouží norma *Web Feature Service* (WFS) a norma pro zpracování a analýzu geografických dat se nazývá *Web Processing Services* (WPS).

WS-Common definuje metodu *GetCapabilities*, která je pro všechny OWS společná. Po zavolání této metody server pošle na klienta metadatový dokument popisující schopnosti služby (*capabilities*) poskytované serverem. Schéma metadat vychází z normy *ISO 19115 Metadata*. Na základě *GetCapabilities* klient zasílá na server další požadavky, např. *GetMap* u mapové služby WMS nebo *Execute* u služby WPS.

Služba předává požadavky mapovému či aplikačnímu serveru, který požadavek zpracuje a přes webovou službu pošle odpověď zpět klientu. Komunikace mezi klientem a webovou službou probíhá podle architektury webových služeb popsané v 3.1. Pozici webových služeb OGC v architektuře distribuovaných GIS ukazuje obrázek 3.3.

3.3 Firemní standardy

Jak jsem již uvedl na začátku kapitoly, výrobci GIS mimo podpory mezinárodních norem vyvíjejí vlastní řešení pro webové služby. Firemní standardy nepodléhají cen-



Obrázek 3.3: Pozice webových služeb v DIS

trální registraci a terminologii, a proto se jejich pojmenování liší výrobce od výrobce. Většinou se jedná o uzavřená řešení pro využití mezi produkty stejného výrobce.

Některé firemní standardy se vahou trhu prosadí natolik, že se jejich výrobci vyplatí zveřejnit jejich zdrojový kód nebo aplikační rozhraní pro ostatní vývojáře. Příkladem z prostředí webových služeb je KML formát od Google¹¹ nebo aplikační rozhraní pro využívání služeb zveřejněných pomocí technologie ArcGIS Server. Služby ArcGIS Server detailně rozebírám v následující podkapitole.

3.4 Služby technologie ArcGIS Server

ArcGIS Server slouží ke zveřejnění zdrojů dat (*GIS resources*) a jejich sdílení po síti. Podle typu zdroje dat ArcGIS Server vytvoří patřičnou službu. Např. pro mapová data ArcGIS Server nabízí *Map service*, pro vyhledávání adres službu *Geocode service* a pro zpracování a analýzu dat službu *Geoprocessing service*. Kompletní seznam služeb je k nalezení na webových stránkách nápovědy ArcGIS Server.¹²

V popisu architektury ArcGIS Server (2.5.2) jsem uvedl, že klientský program přistupuje ke zveřejněnému zdroji pomocí komunikačního rozhraní. Rozhraní ArcGIS Server nabízí několik druhů. Produkty skupiny ArcGIS¹³ komunikují se službami ArcGIS Server pomocí uzavřeného binárního formátu zpráv (*binary messaging format*).

ArcGIS Server podporuje i mezinárodní normalizovaná rozhraní. Jedná se o webové služby konsorcia OGC – WMS, WCS a WFS (viz 3.2.2). Tzn., že k zveřejněnému zdroji může přistoupit libovolná aplikace podporující tyto OGC normy.

¹¹Keyhole Markup Language <<http://code.google.com/intl/cs/apis/kml>>

¹²<http://webhelp.esri.com/arcgisserver/9.3.1/dotNet/index.htm#what_can_you_publish.htm>

¹³Např. ArcMap, ArcGlobe či ArcGIS Explorer.

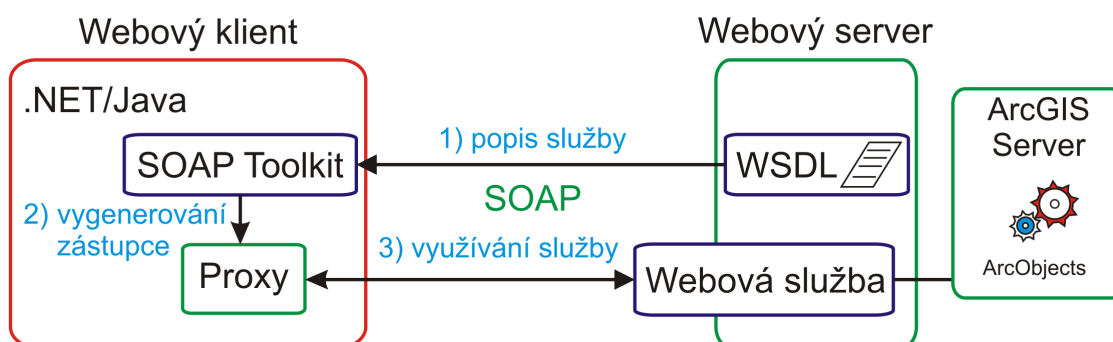
Mapové a obrazové¹⁴ služby lze dále zveřejnit pomocí formátu KML, který je na internetu velmi rozšířen. [ESRI 2010a]

Vývojářům webových aplikací jsou určena rozhraní *ArcGIS Server SOAP API* a *ArcGIS Server REST API*, ke kterým lze přistupovat z mnoha vývojových prostředí. Vývojem webové aplikace se v diplomové práci zabývám, proto se oběma rozhraními věnuji v samostatných podkapitolách.

V případě požadavku na rozšíření funkcionality serveru vlastním programováním nabízí ArcGIS Server rozhraní *ArcGIS Server ArcObject API*, které slouží pro práci se serverovými objekty umístěnými v SOC na GIS Server. ArcGIS Server ArcObject API lze využít při programování desktopových aplikací pomocí ArcGIS Engine nebo webových aplikací s využitím Web Application Developer Framework (Web ADF).

3.4.1 ArcGIS Server SOAP API

Rozhraní ArcGIS Server SOAP API je komunikační jazyk určený k přístupu ke službám zveřejněným pomocí ArcGIS Server. SOAP API je založeno na mezinárodní normě – protokolu SOAP. Princip komunikace mezi klientem a službou pomocí SOAP API vychází z architektury webových služeb popsané v 3.1. Zveřejněná služba je definována popisem v jazyce WSDL.



Obrázek 3.4: Architektura SOAP API

Pro tvorbu webových aplikací využívajících SOAP API lze využít vývojová prostředí Web ADF pro platformy .NET a Java. Tato vývojová prostředí nabízí sadu nástrojů pro automatické generování SOAP zpráv, tzv. SOAP Toolkit. Jak ukazuje obrázek 3.4, klientská aplikace se nejprve pomocí SOAP Toolkit dotáže na popis služby v jazyce WSDL a z něj vytvoří na klientu zástupce pro webovou službu (tzv. *proxy*¹⁵). Klient pracuje se zástupcem jako s webovou službou, tzn. zasílá na

¹⁴http://services.arcgisonline.com/ArcGIS/SDK/REST/kml_image.html

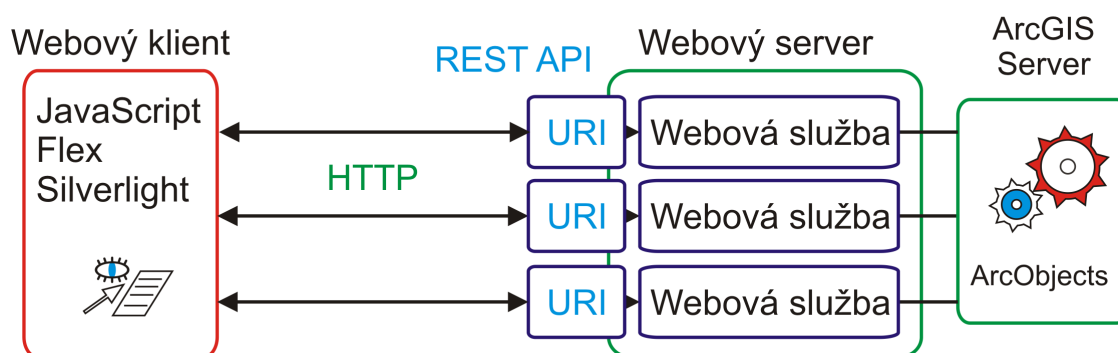
¹⁵Zástupce (proxy) je lokální reprezentace vzdáleného objektu.

něj požadavky a získává výsledky. Komunikace mezi zástupcem a webovou službou probíhá pomocí protokolu SOAP. [ESRI 2010c]

3.4.2 ArcGIS Server REST API

ArcGIS Server REST API je jednoduché webové rozhraní ke službám běžícím na ArcGIS Server, které je vychází z architektury REST (Representational State Transfer). Architektura REST je založena na přístupu ke zdrojům pomocí HTTP požadavků (*HTTP requests*). Jak ukazuje obrázek 3.5, každý zveřejněný zdroj (služba ArcGIS Server) má svůj unikátní identifikátor URI (Uniform Resource Identifier). Klient, který chce využívat službu, posílá HTTP požadavky přímo na její URI.

REST API je snadněji využitelnou alternativou k SOAP API. Rozhraní REST využívají zejména klienty napsané v programovacích jazycích JavaScript, Flex nebo Silverlight, ke kterým ESRI nabízí příslušná API. [ESRI 2010c]



Obrázek 3.5: Architektura REST API

Kapitola 4

Hydrologické analýzy v GIS

Potřeba geomorfologa využívat pro analýzy informační technologie vedla k vytvoření koncepce GmIS v rámci práce [Jedlička 2010]. V úvodu této diplomové práce jsem stanovil cíl převedení GmIS do distribuovaného prostředí na příkladu hydrologických analýz. V předchozích dvou kapitolách jsem popsal distribuované zpracování dat ve vztahu ke GIS. V této kapitole jsem se zaměřil na hydrologické analýzy.

V úvodu kapitoly popisuji vztah GmIS a hydrologických analýz a nahlížím obecně na hydrologické analýzy v digitálním prostředí počítače a na software GIS, který se jimi zabývá. V podkapitole 4.4 jsem se podrobně věnoval analýze vymezení povodí, jejímu vztahu ke GmIS a technickému popisu algoritmů. Podkapitola 4.5 popisuje geomorfologickou analýzu tvorby bazových povrchů, která z hydrologických analýz vychází. Algoritmy analýz jsem popisoval z pohledu technologie ArcGIS, kterou jsem k realizaci distribuovaného GmIS využil.

4.1 Hydrologické analýzy v počítači

Geografické informační systémy se podle definice v 1.1 zabývají prostorovými analýzami, mezi které řadíme i analýzy hydrologické. Geomorfologický informační systém (GmIS) je určen pro geomorfologický výzkum a podle [Jedlička, Mentlík 2002] jsou pro geomorfologický výzkum stěžejní informace získané z analýz nad digitálním výškovým modelem (DEM¹⁶). Pro účely této práce chápu pojem hydrologická analýza právě ve spojitosti s hydrologickými analýzami nad DEM. Jsou jimi například určení směrů odtoků, akumulace vody či vymezení povodí. Hydrologickými analýzami se v prostředí výpočetní techniky nezabývají jen GIS. Např. v práci [Šeblová04] je řešena hydrologická analýza modelování záplavového území s využitím hydrologického programu HEC-RAS, kde GIS slouží pro přípravu vstupních dat a následně pro vizualizaci a analýzu výsledků programu HEC-RAS.

¹⁶Různá označení výškových digitálních modelů vysvětlují v sekci 4.1.2.

V této kapitole se také zabývám analýzami, které tvoří základ pro hydrologické analýzy (např. tvorba hydrologicky korektního DEM) nebo naopak z hydrologických analýz vycházejí (např. tvorba báзовých povrchů).

GIS využívají pro hydrologické analýzy dva základní datové modely, rastrový a vektorový. V následujících podkapitolách jsem přiblížil problematiku obou reprezentací prostorových dat.

4.1.1 Vektorová a rastrová reprezentace

Vektorový digitální model popisuje danou lokalitu pomocí prvků reprezentujících jednotlivé geografické objekty, které se v ní nacházejí. Základními stavebními kameny jsou body, linie a plochy. Z těchto elementů je složen každý obraz geografického objektu. Oproti tomu rastrový datový model reprezentuje danou lokalitu jako celek. Rastr tvoří nejčastěji matice čtvercových buněk (zvaných *pixel*), které jsou základem rastrového modelu. Každá buňka nese hodnotu reprezentující informaci o zkoumaném jevu (např. o nadmořské výšce).

Základem pro hydrologické analýzy v GIS je DEM, který může mít vektorovou i rastrovou podobu. V případě vektoru se jedná o vrstevnice, ekvidistantní linie s informací o nadmořské výšce, doplněné výškovými kótami, nebo o nepravidelnou trojúhelníkovou síť TIN (Triangulated Irregular Network). Rastrový DEM reprezentuje rastr povrchu, ve kterém je hodnotou buňky údaj o nadmořské výšce. Hodnota buňky se v případě rastru povrchu vztahuje k jejímu středu, který má dané souřadnice v rovinném souřadnicovém systému. Nadmořské výšky ostatních míst na povrchu se dají pak snadno interpolovat.

Vektorový model se lépe hodí pro aplikace, které realitu modelují rozkladem na jednotlivé geografické objekty. Ve vektorovém modelu zabírají místo jen existující objekty, kdežto model rastrový vždy ukládá danou lokalitu jako celek, tzn. při zachování stejné kvality dat zabírá vektorový model méně úložného prostoru. Kvalita vykreslení vektorového modelu je ve všech měřítkách stejná, kdežto kvalita rastru je omezena prostorovým rozlišením. Rozlišení rastru je určeno velikostí oblasti, kterou buňka zabírá v reálném světě. Např. velikost buňky 10 m znamená, že buňka znázorňuje území o rozloze 10 x 10 m. Při zmenšení velikosti buňky získáme větší kvalitu, ale rastr zabere více úložného prostoru na disku počítače.

U prostorových analýz mimo znalosti, kde se objekt nachází, je důležité znát i vzájemné polohy a vztahy objektů, tzv. topologii. U vektorových modelů je topologii nutné zavádět zvlášť a tím vzniká poměrně složitá datová struktura. V případě rastru jsou buňky umístěny v pravidelné mřížce, tím je jasně daná i topologie. Datová struktura rastru odpovídá datovým typům programovacích jazyků (např. typ pole – *array*) a tím je snadněji použitelná.

V hydrologických analýzách se s úspěchem používají rastrové i vektorové datové modely. Jejich vzájemný převod je umožněn procesy rasterizace a vektorizace. V podkapitole jsem čerpal ze zdrojů [ESRI 2010b] a [Jedlička, Břehovský 2007].

4.1.2 Výškové digitální modely

V odborné literatuře i na internetu se setkáváme s různými označeními pro digitální modely reprezentující zemský povrch. Zvláště uvádění podobných zkratk v českém i anglickém jazyce může být pro čtenáře zavádějící. Cílem následujícího odstavce je ujasnit termíny pro digitální modely a vymezit ty, se kterými pracuji v diplomové práci. Při definici termínů jsem čerpal z článků [Šíma 2003] a [Jedlička 2009].

Digitální model reprezentující reliéf zemského povrchu, jehož součástí je algoritmus pro interpolaci výšky mezilehlých bodů, má český název digitální model reliéfu nebo digitální model terénu a můžeme se setkat se zkratkami DMR a DMT. V anglické literatuře se tento model nazývá *digital terrain model* se zkratkou DTM.

Speciálním případem, kdy model pracuje výhradně s nadmořskými výškami, mluvíme o digitálním výškovém modelu, anglicky o *digital elevation model* se zkratkou DEM.

Pokud digitální model reliéfu vznikl automatizovanou cestou, např. z vyhodnocení fotogrammetrických snímků, a do modelu reliéfu jsou zahrnuty vrcholy umělých i přirozených objektů na zemském reliéfu (staveb, budov, korun stromů apod.), jedná se o digitální model povrchu, anglicky *digital surface model* (DSM).

Podobně vypadající název a zkratku má i digitální model území (DMÚ), anglicky *digital landscape model* (DLM), který není pouze modelem zemského reliéfu, ale celým komplexem digitálních informací o území.

V rámci této práce se zabývám výškovými digitálními modely pracujícími s nadmořskými výškami, které používám jako základ pro hydrologické a geomorfologické analýzy. Jedná se tedy o digitální výškový model, v textu jsem se rozhodl využívat zkratku z anglického názvu DEM, pod kterou rozumím právě český název digitální výškový model.

4.2 GIS pro řešení hydrologických analýz

V této kapitole uvádím příklady GIS, které mají nástroje pro hydrologické analýzy.

GRASS GIS (Geographic Resources Analysis Support System) je volně šiřitelný GIS pro výpočty prostorových analýz. Jeho vývoj zaštiťuje organizace Open Source Geospatial Foundation. Tento software disponuje dobře napsanými algoritmy pro analýzy nad rastrovými daty [Pacina 2005]. Pro hydrologické analýzy nabízí několik modulů, např. pro výpočet odvozených povrchů z DEM – mapy

směrů odtoků a akumulace vody. Dále nabízí analýzu vymezení povodí, výpočet sítě vodních toků, klasifikaci vodních toků do řádů podle Strahlera, Shreva a dalších. [GRASS Community 2010]

SAGA (System for Automated Geoscientific Analyses) je dalším volně šiřitelným GIS nabízejícím zpracování hydrologických analýz. Vzhledem k počátkům systému, který byl vyvíjen pro účely fyzické geografie, obsahuje SAGA velké množství modulů zaměřených na práci s DEM a tedy i na hydrologické analýzy. Například se jedná o různé metody na výpočet rastru akumulace vody, výpočet rozlohy a objemu zatopení jezer na základě dešťových srážek a analýzy počítající vlhkost půdy. Je třeba konstatovat, že SAGA má lépe zpracované grafické uživatelské rozhraní. [Saga 2009]

Hydrologickým analýzám se věnuje i software ArcGIS, který nabízí sadu nástrojů *Hydrology toolset*. Nástroje systému ArcGIS jsem použil v této práci a podrobně je proto rozebírám ve zbytku kapitoly.

4.3 Přístup ArcGIS k hydrologickým analýzám

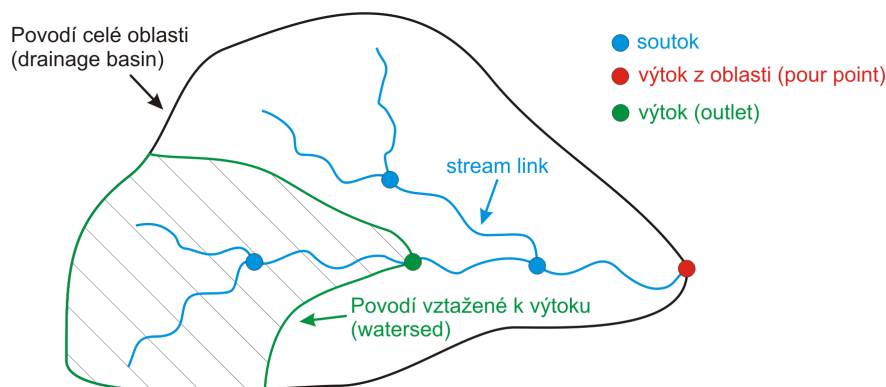
Hydrologické analýzy v ArcGIS jsou převážně zaměřeny na analýzu povrchového odvodňovacího systému vymezeného na základě rastrového digitálního výškového modelu zemského povrchu (DEM). Pro účely analýzy jsou předpokládána určitá zjednodušení reality pro snadnější modelování. Jako zdroj vody pro odvodňovací systém hydrologický model ArcGIS uvažuje pouze srážky spadlé na povrch. Dále předpokládá, že všechny srážky otekly po povrchu a žádné nebyly zachyceny, odpařeny ani neodtekly do systému podzemních vod.

Dalším zjednodušením reality je rozdělení povrchu na pravidelné čtvercové buňky reprezentované formou rastru. Voda v tomto modelu teče z buňky do buňky, ve směru do buňky může přitékat voda z více buněk, ale odtéká vždy jen do jedné buňky. To znamená, že síť vodních toků je tvořena rastrovou linií o šířce jedné buňky. Prostorové rozlišení rastru musí být voleno dostatečně podrobně, aby se rastrový model choval co nejpodobněji realitě (aby zkreslení způsobené rasterizací povrchu nemělo zásadní negativní vliv na chování modelu odvodňovacího systému). [ESRI 2010b]

Území zkoumané hydrologickými analýzami ArcGIS musí mít dostatečně podrobný DEM, aby vymezení odvodňovacího systému bylo možné. To je důležité zejména u rovinatých oblastí, ve kterých při jeho výpočtu např. z vrstevnic nemusí základní interval dostatečně vystihovat skutečný průběh terénu.

Před využitím systému ArcGIS pro výpočet hydrologických analýz je potřeba znát několik pojmů, které ESRI používá v dokumentačních materiálech k nástrojům z *Hydrology toolset*. V následujících řádcích jsem vysvětlil vybrané pojmy, u kterých

jejich význam nemusí být na první pohled zřejmý.



Obrázek 4.1: Povodí a jeho části

Termín *sink* označuje oblast, do které voda vtéká, ale ze které po povrchu dále neodtéká. V rastrovém DEM jde o oblast buněk, které mají nižší hodnoty nadmořské výšky než buňky okolní. Pro pojem *sink* se používají česká označení bezodtoková oblast, prohlubeň, sníženina či deprese. V práci používám pojem bezodtoková oblast a sníženina.

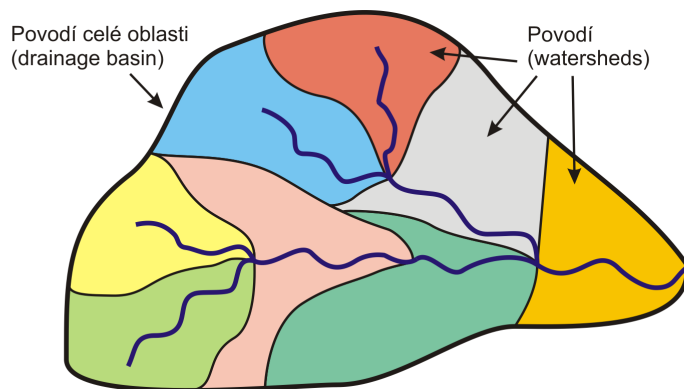
Pod pojmem *pour point* je myšlen bod, ve kterém vytéká voda z dané oblasti. Většinou se jedná o bod s nejmenší nadmořskou výškou na hranici zkoumané oblasti. S ním souvisí i pojem *outlet*, který lze přeložit jako výtok. Ve smyslu výtok z oblasti ho ESRI používá jako synonymum k pojmu *pour point*.

Stream link je část vodního toku mezi dvěma po sobě následujícími soutoky, resp. mezi počátkem a prvním soutokem nebo mezi posledním soutokem a výtokem. V textu tento pojem nepřekládám.

Pro lepší názornost jsem pojmy zachytil na obrázku 4.1. Na obrázku jsem pojmem basin označil povodí celé oblasti a pojmem watershed příspěvkovou oblast pro zvolený výtok (outlet).

Podle [Trizna 2004] a [ESRI 2010b] se v anglické terminologii používají pro označení povodí termíny *watershed*, *basin*, *catchment* a *contributing area*. V práci používám pojmy *watershed* a *basin* ve významu, který ukazuje obrázek 4.2. Pojmem *watershed* rozumím povodí vztahující se k částem vodního toku (stream links), jednotlivé watersheds jsou znázorněny barevnými polygony. Všechna tato povodí dohromady tvoří celé povodí odvodňovací sítě – basin, někdy také označované jako *drainage basin*. Plocha, na kterou voda dopadne a síť vodních toků, ve které voda proudí se nazývá odvodňovací systém, *drainage system*. [ESRI 2010b]

Volbu označení pojmů *watershed* a *basin* jsem provedl s ohledem na funkcionalitu stejnojmenných hydrologických nástrojů ArcGIS.



Obrázek 4.2: Rozdíl pojmů *drainage basin* a *watershed*

4.4 Analýza vymezení povodí pro účely GmIS

V geomorfologickém výzkumu existuje několik variant zkoumání georeliéfu. Publikace [Minár et al. 2005] razí plošný přístup, který spočívá v segmentaci zájmového území na elementární formy nebo na povodí. Práce [Jedlička 2010] představuje GmIS postavený nad konceptem elementárních forem. Elementární forma je homogenní jednotka, nad kterou může geomorfolog provádět výzkum georeliéfu. Problémem elementárních forem je absence algoritmu na jejich automatické vymezení. Jejich poloautomatickým vymezením se zabývá disertační práce [Pacina 2008]. Jiný způsob, který lze použít na segmentaci georeliéfu, je rozčlenit ho na povodí. Povodí lze vymežit automatizovaně na základě DEM a lze ho tak snáze využít ke zkoumání georeliéfu než elementární formy. [Jedlička 2010]

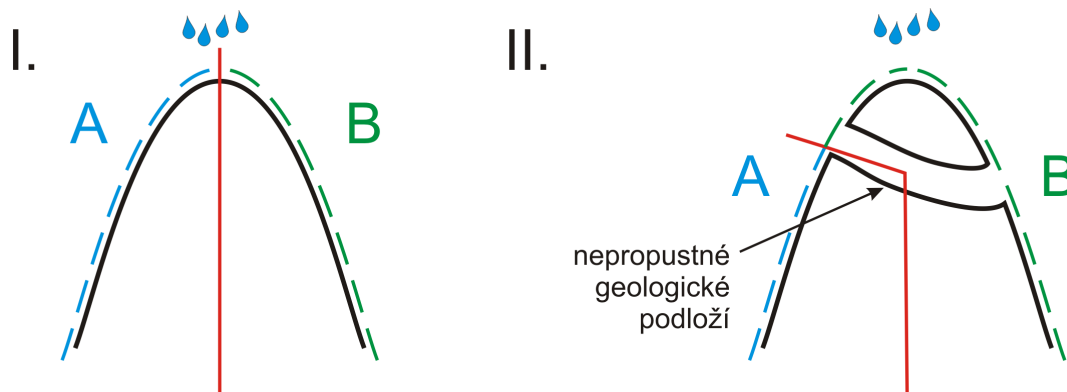
4.4.1 Povodí

Povodí je vztaheno ke konkrétnímu vodnímu toku nebo ploše. Všechna místa, ze kterých voda stéká do jednoho vodního toku nebo plochy, tvoří oblast definovanou jako povodí. Voda dopadá na zemský povrch z atmosférických srážek nebo stéká z ledovců či trvalé sněhové pokrývky. [Trizna 2004]

Geomorfologové mají s povodím spjatou celou řadu analýz, např. rozdělení povodí na levé a pravé polopovodí, klasifikaci povodí do řádů, zkoumání charakteristik povodí jako např. minimální, maximální, průměrná a nejčastější nadmořská výška povodí. Základem pro tyto analýzy je analýza vymezení povodí, kterou se v této podkapitole zabývám.

Podle [Trizna 2004] se rozlišuje povodí povrchové a podzemní vody. Obě povodí jsou ve většině případů velmi podobná. Jen v případě složitějšího geologického podkladu se povodí povrchové vody může od povodí podzemní vody lišit. Podzemní

voda stéká po nepropustném geologickém podloží do jiného toku než voda povrchová (viz obr. 4.3). Vymezení povodí podzemní vody zpravidla vyžaduje nákladný geologický průzkum, i proto se povodí vymezuje převážně jen z povrchových dat.



Obrázek 4.3: Povodí I. z povrchových II. z geologických dat

4.4.2 Klasifikace toků do řádů

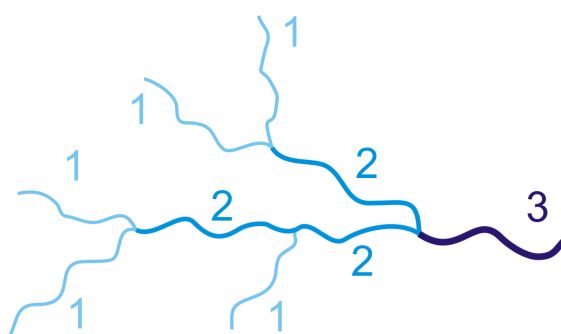
Řád toku je jednou z morfometrických charakteristik vodního toku. Podle zvolené klasifikace je vodnímu toku přiřazeno číslo – řád. Klasifikace se rozdělují na klesající a stoupající. Mezi klesající patří klasifikace podle Gravelia, mezi stoupající patří klasifikace podle Hortona, Strahlera či Sherva [Trizna 2004]. Důvodem zavádění klasifikací je jejich využití k porovnávání povodí nebo vodních toků stejných řádů v podobně charakteristických povodích. V GIS je často využívána klasifikace podle Strahlera zejména kvůli její přímé úměře některým geometrickým parametrům vodních toků (např. velikosti povodí nebo velikosti přítoku) [Trizna 2004].

V případě Strahlerovy klasifikace je tokem prvního řádu tok od svého pramene k prvnímu soutoku s jiným tokem. Při soutoku toků stejných řádů vzniká tok o jeden řád vyšší. Tzn. při soutoku prvního a druhého řádu se řád nezvyšuje a při soutoku dvou toků druhého řádu je tok označen třetím řádem (viz obr. 4.4).

4.4.3 Algoritmy pro vymezení povodí

Nástroje pro vymezení povodí jsem převzal z práce [Jedlička 2010], ve které byly vytvořeny pro technologii ArcGIS Desktop. V této sekci rozebírám podrobně jednotlivé algoritmy a popisuji způsob jejich použití. Algoritmy popsané v této sekci jsou navrženy pro desktopovou verzi GmIS, jejich nasazení v serverovém prostředí se věnuji v sekci 7.3.

Cílem analýzy vymezení povodí je rozdělit zájmovou oblast na povodí ve smyslu watersheds na obr. 4.2. K tomu je v ArcGIS určen nástroj Watershed, který jako



Obrázek 4.4: Klasifikace řádů toků podle Strahlera

vstup potřebuje rastr směrů odtoků z buněk a rastr sítě vodních toků, která je rozčleněna na jednotlivé stream linky. Tyto vstupní rastry lze odvodit z analýzy digitálního výškového modelu.

GmIS vytvořený pro ArcGIS Desktop obsahuje čtyři nástroje, jejichž zřetěžením se docílí vymezení povodí. Jsou jimi:

- *Create Hydrologically Correct DEM* – vytvoření hydrologicky korektního DEM.
- *Create Flow Direction and Flow Accumulation Rasters* – vytvoření rastrů směrů a akumulace vodních toků.
- *Create Stream Raster* – vytvoření rastru vodních toků.
- *Create Basins* – vytvoření povodí.

Technologicky se jedná o modely sestavené v aplikaci *ModelBuilder*¹⁷, které využívají nástroje z rozšíření Spatial Analyst programu ArcGIS, zejména nástrojů z Hydrology toolset. Nástroje jsem popsal v následujících odstavcích, čerpal jsem zejména ze zdroje [ESRI 2010b].

Vytvoření hydrologicky korektního DEM

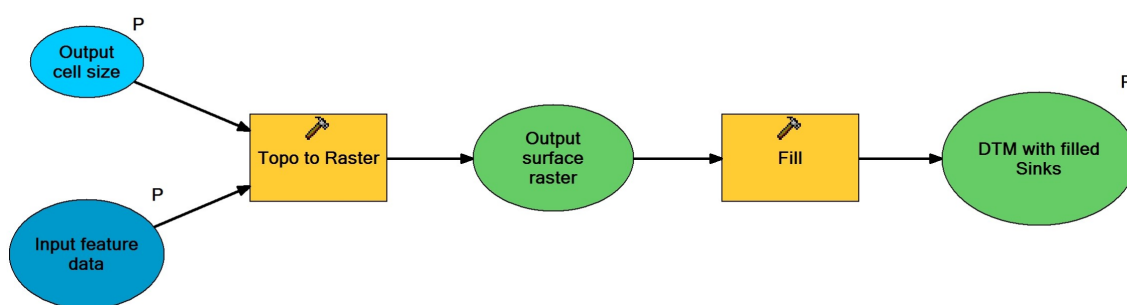
Cílem tohoto nástroje je vytvoření rastrové reprezentace digitálního výškového modelu upraveného pro hydrologické analýzy. Pro správnou funkčnost hydrologických analýz ArcGIS je nutné, aby odvodňovací systém odvozený z DEM neobsahoval nespojitosti. To znamená, že žádná voda není zachycena v bezodtokových oblastech¹⁸.

¹⁷Více o aplikaci ModelBuilder a práci s nástroji v ArcGIS popisují v podkapitole 6.2.1.

¹⁸V některých oblastech se mohou vyskytovat přirozené bezodtokové sníženiny. K stanovení, které sníženiny jsou přirozené a které vznikly chybou ve vstupních datech, je potřeba odborného geomorfologického úsudku.

Nástroj Create Hydrologically Correct DEM vytváří rastrový DEM interpolací z výškových vektorových dat, zejména vrstevnic, na který aplikuje nástroj na vyplnění nespojitostí povrchu (viz obr. 4.5).

Pro účely hydrologických analýz ArcGIS nabízí speciálně vyvinutý interpolační nástroj *Topo to Raster*, který je uzpůsoben ke smysluplnému zpracování vrstevnic, které jsou jinak obtížně algoritmicky zpracovatelné [ESRI 2010b]. Topo To Raster vychází z vlastností topografie reliéfu, a proto správně reprezentuje hřbetnice a údolnice a zajišťuje spojitý odvodňovací systém. Jiné interpolační algoritmy ArcGIS (např. IDW, Kriging či Spline) jsou zaměřeny na zpracování obecných dat a tyto hydrologické podmínky nezohledňují.



Obrázek 4.5: Model nástroje Create Hydrologically Correct DEM

Na vstupu nástroje Create Hydrologically Correct DEM je povinným parametrem seznam vektorových vstupů. V dokumentaci k nástroji se dočteme, že vektorové vstupy mohou být šesti druhů – *contours*, *point elevation*, *stream*, *boundary*, *lake* a *sink*. [ESRI 2010b]

Publikace [Jedlička, Sládek 2009] doporučuje minimálně zadat vrstevnice (*contour*) a výškové kóty (*point elevation*). Oba parametry vyžadují zadat atributové pole, které obsahuje informaci o nadmořské výšce. Pro urychlení výpočtů doporučuje použít parametr *stream*, který umožní do interpolace zahrnout topografické informace. Jedná se o síť vodních toků, která musí být tvořena souvislými liniemi, orientovanými ze svahu dolů.

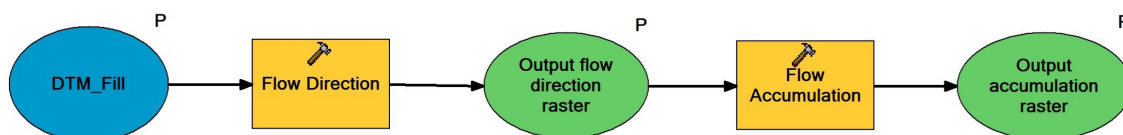
K oříznutí vstupních dat podle definované hranice slouží vektorový vstup *boundary*. Oříznutí se využije v zájmových oblastech konkávního tvaru, ve kterých interpolační algoritmus dopočítává i hodnoty pro buňky ležící mimo oblast, což vede ke zkreslení DEM. Při použití polygonového vstupu *boundary*, dostanou všechny buňky vně hranice přiřazenu hodnotu NoData.

Pro zadání polohy vodních ploch slouží polygonový vstup *lake*. Všem buňkám uvnitř polygonu je přiřazena nadmořská výška nejnižšího bodu hranice vodní plochy.

Nástroj Topo To Raster automaticky odstraňuje chyby ve vstupních datech vedoucí k tvorbě bezodtokových oblastí (sinks). Přirozené topografické deprese zadané parametrem sink, nebudou algoritmem vyhodnoceny jako chyba a zůstanou v DEM zachovány.

Vedle seznamu vektorových vstupů, ze kterých je interpolován rastrový DEM, umožňuje nástroj Topo To Raster zadat mnoho nepovinných argumentů. Za zmínku stojí zejména parametr *output cell size* (velikost buňky výstupního rastru), který určuje prostorové rozlišení výsledného DEM. Toto rozlišení je nutné volit s ohledem na hustotu výškových údajů ve vstupních datech, které přibližně odpovídá průměrnému rozestupu vrstevnic. Algoritmus nedokáže přiřadit jedné buňce dva nebo více výškových údajů o nadmořské výšce. Prostorové rozlišení rastru jsem popsal v 4.1.1. Podle [Jedlička, Sládek 2009] nemají ostatní parametry nástroje Topo To Rastr patrný vliv na kvalitu tvorby DEM.

Topo To Raster nemusí odstranit všechny bezodtokové oblasti, proto nástroj Create Hydrologically Correct DEM na vytvořený digitální výškový model aplikuje nástroj Fill. Tento nástroj nalezne všechny lokální sníženiny a přiřadí jim nadmořskou výšku bodu označovacího jako pour point. Pour point je vztažen ke každé bezodtokové oblasti a lze si ho představit tak, že kdyby oblast byla zaplněna vodou, pour point je první bod, ze kterého by voda přetekla. Fill je iterativní algoritmus, po zaplnění všech sinks v první iteraci mohou vzniknout nové sinks, které se odstraní další iterací. [ESRI 2010b]



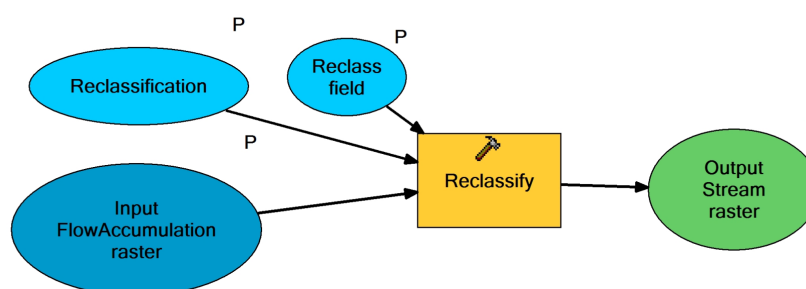
Obrázek 4.6: Model nástroje Create FlowDirection and FlowAccumulation Rasters

Vytvoření rastrů směrů a akumulace vodních toků

Nástroj GmIS s názvem Create FlowDirection and FlowAccumulation Rasters vytvoří ze vstupního rastru DEM dva výstupy, rastr směrů odtoků z buňky (*flow direction raster*) a rastr akumulace vody (*flow accumulation raster*).

Pro tvorbu prvně jmenovaného výstupu je využit nástroj Flow Direction, který na vstupu vyžaduje rastr DEM. Pro každou buňku rastru určí nástroj směr největšího spádu a ten označí jako odtok z buňky. Algoritmus vychází z rozdílů nadmořských výšek mezi zkoumanou buňkou a buňkami v jejím bezprostředním okolí (označované jako osmiokolí). Při stejném sklonu sousedních buněk se toto okolí rozšíří, dokud se směr největšího spádu nenalezne. Směr odtoku je v buňce zakódován jednou z číselných hodnot 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, které reprezentují osm možných směrů odtoku z buňky.

Pro druhý výstup je využit nástroj Flow Accumulation, který předpokládá jako vstup výsledný rastr z nástroje Flow Direction. Na základě směrů odtoků z buněk spočte algoritmus pro každou buňku rastru, kolik do ní vtéká ostatních buněk. Tato hodnota je označována jako akumulace vody a pomocí ní lze odvodit řadu charakteristik odvodňovacího systému. Například buňky s vysokou hodnotou akumulace vody znázorňují vodní toky a buňky s nulovou akumulací zase hřbetnice. Následující nástroj této možnosti využívá k vytvoření rastru vodních toků. [ESRI 2010b]



Obrázek 4.7: Model nástroje Create Stream Raster

Vytvoření rastru vodních toků

Účelem analýzy Create Stream Raster je vytvořit síť vodních toků v rastrové reprezentaci. Analýza vychází z výše popsaných vlastností rastru akumulace vody. K identifikaci vodního toku poslouží buňky, které mají hodnotu akumulace vody vysokou. Minimální hodnotou buňky vodního toku určuje tzv. prahová hodnota (práh).

Princip analýzy spočívá v označení buněk vodního toku hodnotou 1 a ostatních buněk hodnotou *NoData*. Jako vodní tok jsou označeny buňky, které mají akumulaci

vody větší, než je stanovená prahová hodnota. Takto vzniklý binární rastr (jednotkové hodnoty na pozadí NoData) se snadno používá v dalších analýzách. Lze ho vytvořit různými způsoby.

Model vytvořený v práci [Jedlička 2010] využívá nástroje *Reclassify*, který hodnotám rastru přiřadí nové hodnoty podle reklasifikační tabulky. Tabulka 4.1 znázorňuje parametry reklasifikace pro získání rastru vodních toků (nové hodnoty) z rastru akumulace vody (staré hodnoty).

Staré hodnoty	Nové hodnoty
0 – práh	NoData
práh – maximum	1
NoData	NoData

Tabulka 4.1: Parametry reklasifikace rastru akumulace vody

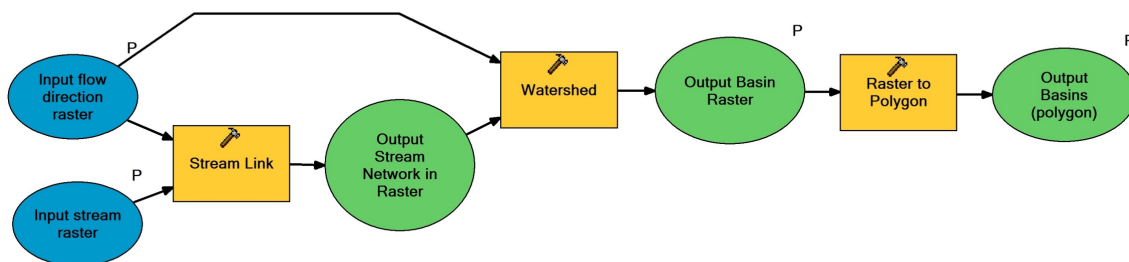
Další možností je na rastr akumulace vody použít funkci mapové algebry *Set Null*. Při nastavení podmínky $value < práh$ a konstantní hodnoty 1 se dosáhne stejného výsledku jako při výše popsané reklasifikaci. Alternativou k funkci *Set Null* je funkce *Con*, která vyžaduje opačně postavenou podmínku ve smyslu $value > práh$. Výstupem všech tří alternativ je binární rastr sítě vodních toků, který se dále využije pro vymezení povodí. [ESRI 2010b]

Volba prahu záleží na úsudku geomorfologa a vyžaduje odborné znalosti o analyzovaném území. Článek [Jedlička, Sládek 2009] doporučuje iterativně vyzkoušet různé prahy a podle vizuální kontroly výsledku určit, který práh nejlépe vystihne vodní toky v oblasti. Hodnota prahu nezávisí jen na charakteristice zájmového území, ale i na prostorovém rozlišení rastru. Ve stejném území, při jiné velikosti buňky rastru, bude optimální práh rozlišný.

Např. pro oblast Fatransko-Turčianského regionu článek [Jedlička, Sládek 2009] určil, že za vodní tok lze považovat buňku s minimálním povodím (příspěvkovou oblastí) 0,15 km². Pro případ rastru s velikostí buňky 25 m vychází prahová hodnota na 250 buněk.

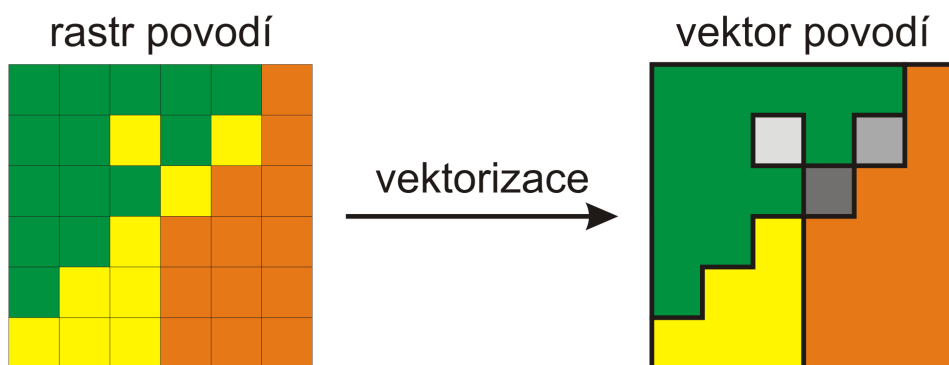
Vytvoření povodí

Nástroj *Create Basins* je posledním krokem analýzy vymezení povodí. Povodí jsou počítána pro vstupní zájmové body (pour points) na základě rastru směrů odtoků (flow direction raster). Model nástroje *Create Basins* ukazuje obrázek 4.8.



Obrázek 4.8: Model nástroje Create Basins

Hydrology toolset programu ArcGIS disponuje nástrojem Watershed, který spočte příspěvkovou oblast pro zadané pour points. Ty mohou být zadány jako vektorová bodová vrstva nebo jako rastrová množina buněk. V případě, že vstupem parametru pour points je rastrová množina buněk znázorňující síť vodních toků, nástroj Watershed vypočte povodí pro každý segment vodního toku mezi dvěma následujícími soutoky (stream link). Tyto segmenty vymezí nástroj Stream Link z rastru sítě vodních toků (stream raster). Vytvořená povodí odpovídají pojmu watershed definovaného obrázkem 4.2. Povodí jsou v rastru rozlišena unikátními identifikátory tak, že jedno povodí tvoří buňky se stejnými hodnotami.



Obrázek 4.9: Příklad chybné vektorizace rastru povodí

Rastrový výstup nástroje Create Basins, rastr povodí, je převeden do vektorové reprezentace nástrojem Raster To Polygon. Důležité je současně uchovat i původní rastrová data. Při vektorizaci polygonů může dojít k chybám, např. ke vznikům jednobuněčných povodí, jak ukazuje obrázek 4.9. Tyto chyby, na obrázku označené šedou barvou, lze indentifikovat a odstranit právě na základě původních rastrových dat.

4.5 Analýza vytvoření bazových povrchů

Analýza vytvoření bazových povrchů se řadí mezi morfometrické analýzy, které jsou součástí geomorfologického výzkumu. Do kapitoly o hydrologických analýzách jsem ji zařadil z důvodu její přímé návaznosti na výstupy z analýzy vymezení povodí, popsané v předchozí podkapitole 4.4. Princip analýzy bazových povrchů spočívá ve vytváření digitálních modelů povrchů obdobných DEM.

4.5.1 Bazové povrchy

Bazový povrch je digitální výškový model, který vznikl zpětnou rekonstrukcí ze sítě vodních toků po odstranění údolnic do určitého řádu, kde se pro určení řádu toku užívá klasifikace podle Strahlera (viz 4.4.2). Bazový povrch prvního řádu vzniká ze sítě vodních toků prvního a vyšších řádů. Povrch n-tého řádu vznikne ze sítě vodních toků n-tého a vyšších řádů. Tzn. ze sítě vodních toků jsou postupně odstraňovány řády a tvořeny bazové povrchy. [Sládek 2006]

Zkoumání bazových povrchů vyšších řádů odhaluje stále starší morfostruktury reliéfu. Srovnání postupné řady bazových povrchů umožňuje sledovat vývoj zkoumané oblasti, např. zdvih pohoří. [Sládek 2006]

4.5.2 Algoritmy pro vytvoření bazových povrchů

Vstupem do analýzy tvorby bazových povrchů je rastrová říční síť. Ta je jedním z výstupů analýzy povodí, konkrétně nástroje Create Stream Raster. Vodní síť je oklasifikována podle Strahlera a převedena na vektor. Lomovým bodům linie je přiřazena souřadnice nadmořské výšky z DEM. Z této sítě je vytvořen výškový model ve vektorové reprezentaci TIN, který je následně převeden na rastr. Takto vzniklý DEM je bazovým povrchem prvního řádu. Postupným odebráním nejmenších řádů ze sítě vodních toků a opakováním tvorby výškového modelu vznikají bazové povrchy vyšších řádů.

Postupem vytvoření bazových povrchů se zabývá práce [Sládek 2006] a algoritmy jsou uvedeny v článku [Jedlička, Sládek 2009]. Podle těchto dvou prací jsem vhodně zřetězil 3 nástroje vedoucí k vytvoření bazových povrchů:

- *Order Streams By Strahler* – klasifikace vodních toků podle Strahlera.
- *Create 3D Line* – vytvoření 3D linie.
- *Create Base Surface* – vytvoření bazových povrchů.

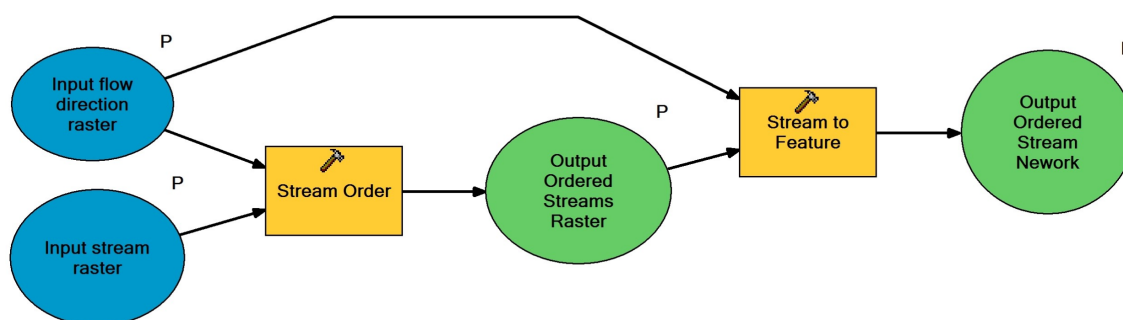
První dva nástroje jsem převzal z desktopové realizace GmIS [Jedlička 2010] a třetí jsem vytvořil na základě popisu článku [Jedlička, Sládek 2009]. V následujících

řádcích jsem popsal význam a správné použití algoritmů vedoucích k vytvoření bázo-
vých povrchů s použitím technologie ArcGIS, při kterém jsem čerpal z [ESRI 2010b].

Klasifikace vodních toků podle Strahlera

Cílem tohoto nástroje je vytvořit vektorovou síť vodních toků, ve které je jednot-
livým stream links¹⁹ přiřazen řád podle Strahlerovy klasifikace. K tomu lze využít
nástroje *Stream Order* pro klasifikaci a *Stream to Feature* pro vytvoření vektorových
dat (viz obr. 4.10). Oba nástroje jsou ze sady nástrojů Hydrology toolset programu
ArcGIS.

Nástroj *Stream Order* vyžaduje na vstupu rastr vodních toků, ve kterém je vodní
tok reprezentován hodnotou 1 a ostatní buňky mají hodnotu NoData. Dalším vstu-
pem je rastr směrů odtoků (flow direction raster). Nejlepších výsledků se dosáhne,
když si buňky obou rastrů přesně korespondují, tj. oba rastry pocházejí ze stejného
DEM. Výpočet je pak přesnější a rychlejší. [ESRI 2010b]



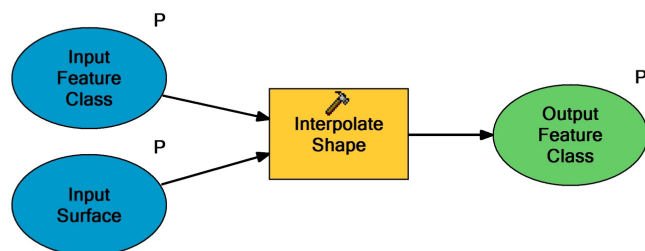
Obrázek 4.10: Model nástroje Order Streams By Strahler

Výstupem nástroje *Stream Order* je rastr, který je pro účely dalších výpočtů
je převeden na vektor nástrojem *Stream To Feature*. Výsledkem zřetězení obou
nástrojů je vektorová síť vodních toků oklasifikovaná podle Strahlera.

Vytvoření 3D linie

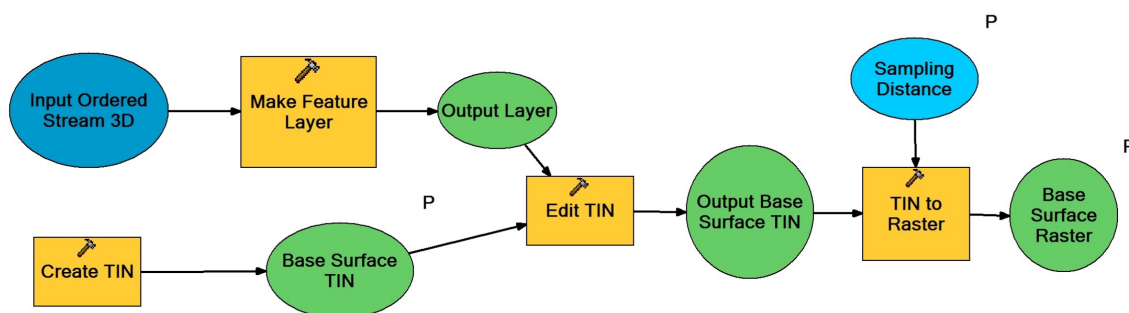
Za účelem tvorby bázo-
vých povrchů musí být vodnímu toku přiřazeny souřadnice
nadmořských výšek. K tomu nástroj *Create 3D Line* z desktopové realizace GmIS
využívá nástroj *Interpolate Shape* z nástrojové sady ArcGIS, který vektorovým
vstupům přiřadí nadmořské výšky ze vstupního DEM (viz obr. 4.11). Za zdroj výš-
kových dat lze použít rastr povrchu nebo TIN.

¹⁹Pojem stream link jsem popsal v 4.3.



Obrázek 4.11: Model nástroje Create 3D Line

V případě rastru povrchu je použita bilineární interpolace. Tzn., že výška pro interpolovaný bod je vypočtena jako průměrná hodnota čtyř nejbližších buněk rastru. Pro TIN lze použít lineární interpolaci nebo interpolační metodu *Natural Neighbors*.²⁰



Obrázek 4.12: Model nástroje Create Base Surface

Vytvoření bazových povrchů

Nástroj Create Base Surface vytváří bazový povrch zadaného řádu. Pro bazové povrchy vyšších řádů je třeba odstranit nižší řády ze sítě vodních toků. To lze provést atributovým výběrem, který se uloží do nové vrstvy. K tomu v ArcGIS slouží nástroj *Make Feature Layer* ze sady nástrojů Data Management. Řád bazového povrchu je určen atributovou podmínkou $GRID_CODE \geq \text{řád}$, kde GRID_CODE je atributové pole obsahující informaci o řádu vodního toku podle Strahlera.

²⁰Více o interpolačních metodách ArcGIS v [ESRI 2010b].

Z nově vzniklé vrstvy vodních toků je vytvořen digitální výškový model, který představuje bazový povrch zadaného řádu. Pro vytvoření DEM z vektorových dat je v ArcGIS nutné nejprve nástrojem *Create TIN* vytvořit prázdný TIN, do kterého jsou nástrojem *Edit TIN* přidána vektorová data sítě vodních toků. Vytvořený TIN je převeden na rastr povrchu nástrojem *TIN To Raster*. Prostorové rozlišení výsledného rastrového DEM určuje parametr *Sampling Distance*. Model nástroje je znázorněn na obrázku 4.11.

Kapitola 5

GmIS v distribuovaném prostředí

Koncept GmIS byl realizován v disertační práci [Jedlička 2010] pro prostředí desktop GIS. Cílem diplomové práce bylo na příkladu vybraných analýz navrhnout realizaci GmIS pro distribuované prostředí. Výsledkem návrhu je aplikace, která umožňuje vzdálené zpracování a analýzu geografických dat bez nutnosti spravovat GIS na každém klientu.

Při návrhu aplikace jsem vycházel z metodiky návrhu systému, popsané v publikaci [Arlow, Neustadt 2007]. Návrh aplikace jsem rozdělil do následujících kroků:

- *Identifikace uživatelských požadavků* – požadavky vyjadřují potřebu uživatele ve vztahu k systému. Definují, co uživatel od systému očekává.
- *Analýza uživatelských požadavků* – cílem analýzy je zjistit, co je potřeba udělat ke splnění uživatelských požadavků.
- *Návrh řešení* – popisuje způsoby, jakými lze dosáhnout cílů stanovených analýzou požadavků.
- *Realizace řešení* – uskutečnění návrhu řešení. Popisuje způsob, jakým bylo dosaženo cílů stanovených analýzou požadavků.

V této kapitole jsem popsal identifikaci a analýzu uživatelských požadavků, návrh a realizace řešení jsem rozebral v samostatných kapitolách 6 a 7.

5.1 Identifikace uživatelských požadavků

Pro systémy s velkým počtem požadavků publikace [Arlow, Neustadt 2007] doporučuje požadavky rozdělit do různých kategorií a podkategorií, kvůli zpřehlednění a zefektivnění práce. V případě této práce není požadavků takové množství, proto jsem zavedl jen základní dělení na požadavky funkční a nefunkční.

Funkční požadavky stanovují očekávané činnosti systému a tím definují, co by měl systém dělat. Nefunkční požadavky vycházejí z technických limitů daného systému a stanovují, v jakých podmínkách budou stanovené činnosti prováděny. Mezi nefunkční požadavky se řadí např. požadavky na výkon, zabezpečení či otevřenost a dostupnost systému.

Požadavky jsem zachycoval ústně na základě konzultací s uživatelem a také jsem je čerpal z práce [Jedlička 2010], ve které byly identifikovány obecné požadavky na GmIS. Distribuovaná realizace GmIS vychází z koncepce GmIS popsané právě ve zmiňované práci [Jedlička 2010].

Na základě komunikace s uživatelem jsem identifikoval následující požadavky:

Funkční

- Systém bude počítat analýzu vymezení povodí.
- Systém bude počítat analýzu vytvoření bázových povrchů.

Nefunkční

- Nahradit desktopovou realizaci GmIS řešením, které umožňuje oddělit správu systému od jeho užívání.
- Zajistit otevřenost a dostupnost systému²¹.

Identifikované požadavky jsem analyzoval v následující sekci.

5.2 Analýza uživatelských požadavků

Analýzou uživatelských požadavků jsou určeny činnosti potřebné k jejich splnění. Pro popis identifikovaných činností se podle [Arlow, Neustadt 2007] používá vyjádření pomocí případů užití. Pro účely této práce jsem použil stručný zápis případů užití (*brief use case*), který spočívá ve slovním popisu kroků vedoucích k cíli [Arlow, Neustadt 2007].

Nejprve jsem analyzoval nefunkční požadavky, které svými omezeními ovlivňují vývoj celého systému, tedy i požadavky funkční. Z konzultací s uživatelem vyplynulo, že geomorfolog je s GmIS spokojen a chce systém využívat pro svůj výzkum, ale rád by oddělil správu systému od jeho užívání. Tím dojde k zjednodušení ovládání a GmIS se stane dostupným větší skupině uživatelů.

Z typů GIS, popsaných v kapitole 2.3, nejlépe požadavkům uživatele vyhovuje řešení Client/Server GIS s tenkým klientem, které nabízí centrální správu GIS na serveru a užívání systému mnoha uživateli – geomorfology.

²¹Požadavek na otevřenost a dostupnost systému uvádí jako základní nefunkční požadavek práce [Jedlička 2010].

K zajištění požadavku na otevřenost a dostupnost systému²² je nutné zvolit odpovídající technologii, která je schopna snadno spolupracovat s desktopovou realizací GmIS. Je zřejmé, že tuto vlastnost nejlépe splní řešení postavené na stejné technologii, proto je serverová část distribuovaného GmIS realizována v prostředí technologie ESRI ArcGIS.

Z požadavků otevřenosti a dostupnosti lze identifikovat i podmínky pro klient-skou část řešení. Dostupnost zajistí intuitivní GUI s dobrou ergonomií ovládacích prvků, které je snadno použitelné většinou uživatelů. Požadavek otevřenosti splňuje klient, který není vytvořen jen na míru konkrétním analýzám, ale umožňuje snadnou rozšiřitelnost a využitelnost při aplikaci jiných analýz. Ke splnění požadavku na oddělení užívání systému od jeho správy musí být systém přístupný všem uživatelům prostřednictvím klienta bez nutnosti dalších instalací.

Analýzou nefunkčních požadavků byla zjištěna nutnost přechodu z desktop řešení na Client/Server řešení a použití technologie ESRI ArcGIS. Následuje analýza funkčních požadavků, ve které jsou zohledněny výsledky analýzy požadavků nefunkčních.

5.2.1 Požadavek na analýzu vymezení povodí

Desktop realizace GmIS požadavek na vyzarování povodí splňuje. Jeho nástrojová sada obsahuje algoritmy, které lze vhodně zřetěžit k dosažení vymezení povodí²³. Tyto algoritmy jsem podrobně popsal v sekci 4.4. Pro splnění požadavku v realizaci GmIS pro distribuované prostředí je nutné tyto algoritmy převzít a upravit k použití v serverovém prostředí.

5.2.2 Požadavek na analýzu vytvoření bázových povrchů

GmIS vytvořený pro desktop analýzu bázových povrchů neposkytuje. V sekci 4.5 jsem popsal algoritmy, ze kterých lze analýzu vytvoření bázových povrchů sestavit. Pro splnění požadavku na tvorbu bázových povrchů je třeba nasadit tyto algoritmy do serverového prostředí technologie ESRI.

Problémem, jak lze provést činnosti stanovené v analýze uživatelských požadavků, se zabývám v následující kapitole věnující se návrhu řešení.

²²Práce [Jedlička 2010] požadavkem otevřenosti chápe schopnost systému zvládat častou výměnu dat mezi uživateli GmIS, zpracování dat v externím software a možnost doprogramovat vlastní nástroje a řetěžit je se stávajícími. Požadavek dostupnosti znamená, že je systém přístupný komukoli a není ho nutné chránit bezpečnostními hesly.

²³Viz případ užití popsaný v práci [Jedlička 2010].

Kapitola 6

Návrh distribuovaného řešení GmIS

Analýzou uživatelských požadavků jsem zjistil, že je potřeba nasadit analýzy popsané v 4.4 (vymezení povodí) a 4.5 (vytvoření bázových povrchů) do distribuovaného prostředí. V této kapitole se věnuji způsobům, kterými lze daných cílů dosáhnout.

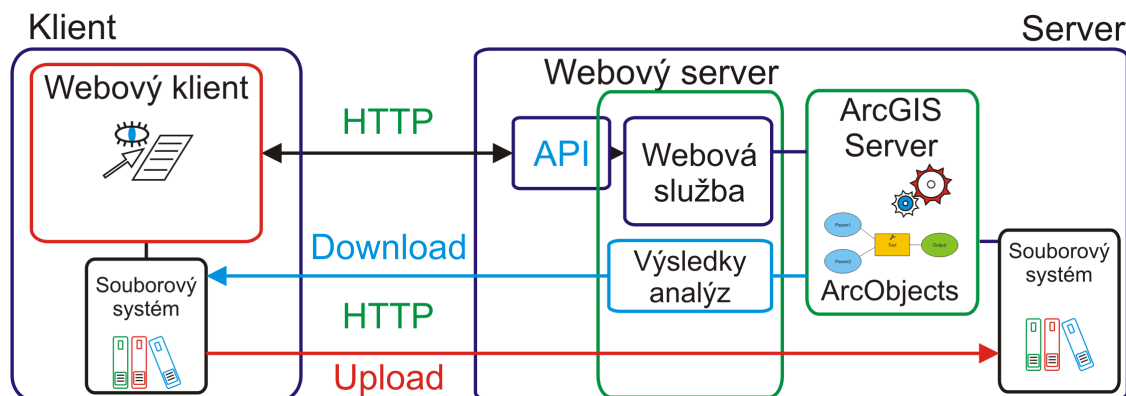
V úvodu kapitoly rozebírám návrh architektury aplikace, která je distribuovanou realizací GmIS. V dalších podkapitolách se věnuji návrhu serverové a klientské části aplikace.

6.1 Návrh architektury aplikace

Architektura navrženého řešení je znázorněna na obrázku 6.1. Z rozboru nefunkčních uživatelských požadavků (5.2) vyplývá použití stejné technologie jako pro desktop GmIS, který je realizován v prostředí ESRI. Pro serverové řešení, které umí zpracovat a analyzovat prostorová data, ESRI nabízí produkt ArcGIS Server. Při návrhu jsem vycházel z architektury ArcGIS Server popsané v sekci 2.5.2 a z architektury aplikačních rozhraní ArcGIS Server popsané v 3.4.

Aplikace má dvojvrstvou architekturu. Prezentační vrstvu tvoří webový klient a úlohu aplikační a datové vrstvy zastává ArcGIS Server²⁴. V rozboru architektury jsem identifikoval serverovou a klientskou část.

²⁴V práci jsem se detailně nevěnoval návrhu datové vrstvy. Pro hlavní cíl, zpracování a analýzu dat v distribuovaném prostředí, jsem si vystačil s daty uloženými v souborovém systému. Data jsou uložena a spravována na klientu, pro účely jejich zpracování jsou nahrána na server (upload) a výsledky lze stáhnout zpět na klienta (download). Způsoby přenosu dat navrhuji v sekci 6.2.3, možnost budoucího vylepšení datové vrstvy diskutuji v kapitole 8.



Obrázek 6.1: Návrh architektury distribuovaného GmIS

Jádrem serverové části jsou analýzy umístěné na serveru a zveřejněné jako služby zpracování a analýzy dat (*geoprocessing services*). ArcGIS Server má k tvorbě nástrojů odlišný přístup, který si vyžádá úpravy modelů vytvořených pro ArcGIS Desktop. Návrh zpracování analýz v prostředí ArcGIS Server jsem popsal v podkapitole 6.2.

Klient je grafickým uživatelským rozhraním pro obsluhu zveřejněných analýz, které zajišťuje interaktivitu mezi uživatelem a nástroji na serveru. Návrh klientské části řešení jsem popsal v podkapitole 6.3.

6.2 Specifika prostředí ArcGIS Server

Technologii ArcGIS Server jsem představil v sekcích 2.5 a 3.4. V této kapitole jsem se zaměřil na schopnost systému ArcGIS Server zveřejňovat služby na zpracování a analýzu geografických dat.

Současná realizace GmIS ([Jedlička 2010]) je postavena na technologii ArcGIS Desktop. V úvodu podkapitoly jsem představil technologii ArcGIS Desktop se zaměřením na zpracování a analýzu dat. V dalším textu jsem rozebral hlavní odlišnosti prostředí ArcGIS Server od prostředí ArcGIS Desktop a navrhl jsem, jak řešit omezení, která přináší přechod na serverovou technologii.

6.2.1 Představení ArcGIS Desktop

Označení ArcGIS Desktop představuje sadu programů GIS určených pro desktop počítače. ArcGIS Desktop je postaven na třech stěžejních částech:

- *ArcMap* – centrální aplikace ArcGIS Desktop určená pro zobrazování geografických dat, jejich editaci, dotazování na data, vytváření mapových kompozic, vytváření symbologie a zobrazování výsledků analýz.

- *ArcCatalog* – pokročilý správce geografických dat, nástrojů a databází. Používá se zejména v procesu přípravy dat různých formátů, umožňuje jejich nahlížení, organizaci, tvorbu nových dat a databází a v neposlední řadě nabízí správu dokumentačních materiálů formou metadat.
- *ArcToolbox* – kolekce nástrojů pro zpracování a analýzu geografických dat, tvoří výpočetní jádro systému ArcGIS.

Výhodou desktop instalace systému ArcGIS je vysoká integrace jeho součástí. Např. ArcToolbox je obsažen v obou aplikacích ArcMap i ArcCatalog. V nástrojích z ArcToolbox lze snadno použít data otevřená v ArcMap včetně informací o jejich datovém typu a všech atributech. Mezi aplikacemi lze intuitivně přesouvat data principem drag & drop (přetáhnout a pustit). To vše zajišťuje dobrou interaktivitu uživatelského prostředí, která výrazně zjednodušuje práci se systémem ArcGIS Desktop.

Součástí ArcGIS Desktop jsou i další nástroje, které jsou nabízeny jako rozšíření (*extensions*) systému ArcGIS. Např. ArcScene a ArcGlobe pro práci s 3D daty nebo ArcScan pro vektorizaci rastrových dat. [ESRI 2006]

Datové typy

Nedílnou součástí GIS jsou geografická data. Při práci s ArcGIS je nutné vnímat rozdíl mezi zdrojem dat a jejich reprezentací (datovým typem). Mezi základní datové typy ArcGIS Desktop patří:

- *Table* – tabulka; datový typ složený z řádků, které obsahují v rámci tabulky stejné sloupce. Jedna řádka v tabulce odpovídá jednomu prvku reálného světa, ve sloupcích jsou uloženy atributové informace o daném prvku. Jako zdroj pro datový typ Table může být např. dokument aplikace MS Excel nebo Access, DBF tabulka či textový formát TXT.
- *Feature Class* – prvková třída; speciální typ tabulky, který obsahuje sloupec s informacemi o geometrii prvku (*shape*). Feature Class je vektorová reprezentace ArcGIS pro uložení bodových, liniových a plošných dat. Zdrojem pro Feature Class jsou např. soubory Shapefile, Coverages nebo DXF.
- *Raster Dataset* – rastrová data; reprezentace různých rastrových dat uložených např. ve formátech BMP, JPEG, TIFF a jiných.

ArcGIS Desktop podporuje i mnoho dalších datových typů pro práci s geografickými daty. Např. síťová data (network dataset), terénní data (terrain), topologii, uložení adresy (adres locator) a objemná rastrová data (raster catalog). Geografická

data používaná v ArcGIS Desktop mohou být uložena v souborovém systému nebo v geografické databázi.²⁵ [ESRI 2010b]

Zpracování a analýza dat

Z činností, které lze s ArcGIS Desktop provádět, jsem se zaměřil na zpracování a analýzu dat (geoprocessing) z důvodu zaměření diplomové práce. Základem pro zpracování a analýzu dat v ArcGIS je ArcToolbox. Nástroje jsou zde tématicky organizovány do hierarchie Tool < Toolset < Toolbox.²⁶

Každý nástroj provádí malou specifickou operaci nad geografickými daty. Tyto malé operace lze vhodně řetězit a sestavovat tak nástroje k řešení komplexních úloh. V prostředí ArcGIS Desktop mají všechny nástroje vlastní GUI pro zadávání vstupních a výstupních parametrů. Alternativně lze nástroj spustit z příkazové řádky (*Command Line*), která je dostupná v každé aplikaci ArcGIS Desktop.

Zřetěžení nástrojů, kdy výstup z jednoho nástroje je vstupem do nástroje následujícího, lze uložit pro opakované využití v podobě modelu nebo skriptu. K tvorbě modelů slouží grafický modelovací program ModelBuilder. Nástroje z ArcToolbox lze do prostředí ModelBuilder interaktivně přidávat a vzájemně řetězit.

Pokročilejší způsob kombinace nástrojů nabízí využití skriptovacího jazyka Python. V programovém kódu lze spouštět nástroje z ArcToolbox s větší kontrolou nad výkonem analýz. Z modelů existujících v ModelBuilder lze automaticky vygenerovat skript v Pythonu, tím se programování skriptů přibližuje většímu počtu uživatelů.

Vytvořením modelu nebo skriptu vzniká z pohledu ArcToolbox nový nástroj (Tool) se všemi náležitostmi předdefinovaných nástrojů ArcGIS Desktop. Tzn. uživatelský nástroj obsahuje vlastní GUI (dialogové okno), lze ho spouštět přes příkazovou řádku i dále řetězit v modelech a skriptech. [ESRI 2010b]

Symbologie dat

Symbologie určuje vzhled a vypovídající hodnotu zobrazených dat. Symbologie software ArcGIS se skládá ze dvou částí, druhu symbolu (*symbol type*) a symbologie vrstvy (*layer symbology*). Druh symbolu určuje vzhled jednoho prvku, např. barvu výplně, tloušťku linie nebo symbol bodu. Symbologie vrstvy umožňuje odlišit data různých atributů ve stejné vrstvě. Např. barevně odlišit vodní toky různých řádů,

²⁵ArcGIS Desktop podporuje tři typy geodatabází – Personal geodatabase, File geodatabase a ArcSDE geodatabase, více informací v online nápovědě systému ArcGIS Desktop <http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=The_geodatabase>.

²⁶Např. nástroj pro výpočet akumulace vody (Flow Accumulation tool) je umístěn v Hydrologic toolset uvnitř Spatial Analyst toolbox.

nebo podle rozmezí hodnoty nadmořské výšky přiřadit buňkám rastru barvu zvolené barevné hypsometrie.

ArcGIS Desktop nabízí mnoho možností, jak symbolizovat zobrazená data. Od jednoduché symbologie, jakou je barva prvku, až po komplexní symbologii složenou z výplně měnící se podle hodnot atributů a měřítka mapy. [ESRI 2010b]

6.2.2 Představení ArcGIS Server

Jak jsem popsal v 2.5, ArcGIS Server sdílí s ArcGIS Desktop stejný funkční základ, knihovny ArcObjects. Zároveň se ale oba produkty odlišují ve svém zaměření, a tak mají část ArcObjects knihoven rozdílnou. Nástroje napsané pro ArcGIS Desktop je v prostředí ArcGIS Server možné použít, ale s nutnými úpravami. Odlišnosti prostředí se především týkají datových typů na vstupu a výstupu analýz, používáním jiné adresářové struktury, možností symbologie výsledků a přípravy podkladových map.

Srovnám-li oba systémy v kontextu zpracování a analýz dat, ArcGIS Desktop je navržený pro řešení komplexních problémů nad libovolnými daty a oproti tomu ArcGIS Server je primárně navržen na práci s jednoduchými vstupy nad zájmovou oblastí (*study area*), kde server již obsahuje podkladová data. Uživatel jednoduchým grafickým (bodovým, liniovým nebo polygonovým) vstupem zadá oblast, ke které je spočtena (buť složitá) analýza. Výstup vrácený na klienta už je ale zase jednoduchý. Pro práci s komplexními datovými vstupy odeslanými uživatelem je podle [ESRI 2010a] potřeba pokročilých technologií a vlastního programování.

Uvedu dva příklady, jeden vyhovuje primárnímu účelu ArcGIS Server a druhý potřebám této práce.

Například se může jednat o analýzu hledání nejkratší cesty v malém městě. Podkladová data (silnice, popisky ulic, budovy) jsou nahrána na serveru a zveřejněna jako mapová služba. Stejně tak server obsahuje patřičně připravená síťová data, nad kterými funguje analýza vyhledání nejkratší cesty. Uživatelská interakce spočívá v zadání bodu A a bodu B, mezi kterými nástroj spočte nejkratší cestu a zobrazí ji jako linii nad podkladovými daty. Na vstupu je jednoduchá bodová vrstva a na výstupu linie – lomená čára. Pro takové analýzy je ArcGIS Server primárně navržen.

V druhém příkladu se jedná o analýzu tvorby rastrového DEM z vektorových dat – vrstevnic a výškových kót. Jako podkladová data je zvolena přehledná mapa ČR, která je nahrána na serveru nebo připojena z externího zdroje jako mapová služba. Vstupem uživatele je datový soubor obsahující potřebná vektorová data ve formátu shapefile. Výstupem analýzy je opět datový soubor, který obsahuje rastrový DEM vypočtený ze vstupních dat. Uživatel není omezen malou zájmovou oblastí, ale polohu i velikost analyzovaného území si volí nahráním vstupních dat. Na zpracování

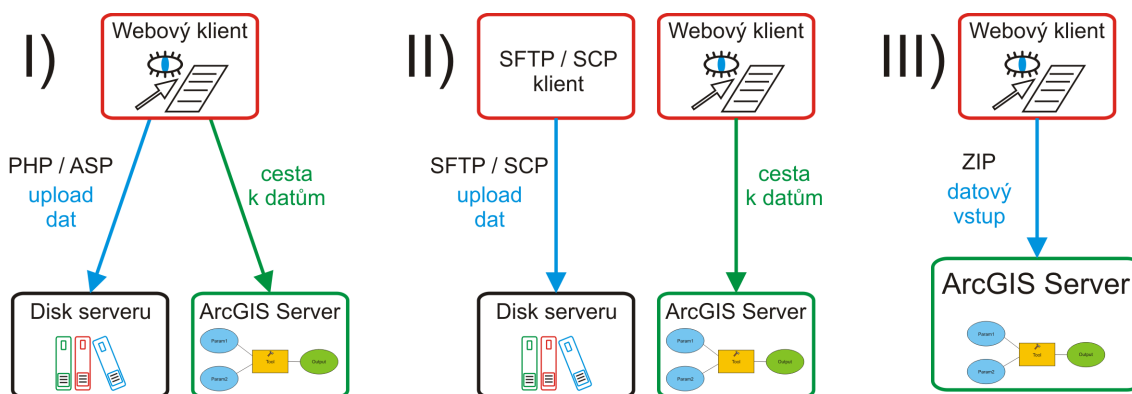
datových souborů na vstupu i výstupu je potřeba vlastního programování na straně klienta i serveru.

6.2.3 Podporované datové typy

Zaměření ArcGIS Server, popsané v předchozí sekci, ovlivňuje i datové typy, které mohou být použity na vstupu a výstupu²⁷ analýz. Příčinou je komunikace převážně s tenkými klienty a jednoduchými desktopovými klienty (*lightweight client*). Tenké klienty není potřeba instalovat (klient ve webovém prohlížeči) a jednoduché klienty obsahují jen malou instalaci (ArcGIS Explorer²⁸). Oba typy klientů nemají k dispozici objemné knihovny ArcObject, které jsou nutné pro práci s komplexními datovými typy jako Feature Class, Raster Dataset či Table popsanými v 6.2.1. Tzn., že klient nedokáže zobrazit komplexní datový typ a předat ho v proměnné jako vstup do analýzy zveřejněné na serveru.

Pro účely tenkých a jednoduchých klientů je datový typ Feature Class nahrazen jednodušším typem Feature Set a obdobně typ Table typem Record Set. Jednodušší datové typy plně postačí pro jednoduché uživatelské vstupy ve smyslu sekce 6.2.2. Datový typ Raster Dataset nemá jednodušší alternativu, tzn. rastrová data nelze použít jako uživatelský vstup z prostředí tenkého nebo jednoduchého klienta. [ESRI 2010a]

To neznamená, že složité datové typy nelze použít vůbec, jen je nelze odeslat z paměti aplikace přímo do nástroje²⁹. Po prostudování dokumentů webové nápovědy ArcGIS Server [ESRI 2010a] jsem navrhl tři způsoby, jak řešit uživatelský vstup komplexních dat (viz obr. 6.2).



Obrázek 6.2: Tři možné způsoby nahrání dat na server

²⁷Situací podporovaných formátů na výstupu z ArcGIS Server se zabývám v sekci 6.2.5.

²⁸ArcGIS Explorer je volně dostupný prohlížeč geografických dat od společnosti ESRI.

²⁹Tzn. složitý datový typ nelze v nástroji označit jako vstupní parametr.

První řešení je data neposílat z klienta přímo do analýz, ale pomocí technologie skriptování na straně serveru (*server-side scripting*³⁰) je nejprve uložit na disk serveru. Vstupním parametrem analýzy je absolutní cesta k těmto datům. Nutnou podmínkou je data uložit do umístění, do kterého má ArcGIS Server přístupová práva v rámci operačního systému.

Druhý způsob je obměnou předchozího s tím rozdílem, že data jsou nahrána na disk serveru využitím jiné aplikace komunikující se serverem pomocí protokolů SFTP nebo SCP³¹. Tento způsob vyžaduje na serveru povolit komunikaci přes zmíněné protokoly a na klientském počítači použít SFTP nebo SCP klienta. Vstupním parametrem pro zveřejněnou službu je, stejně jako v předchozím řešení, absolutní cesta k datům nahraným na server.

Třetí možné řešení využívá skutečnosti, že ArcGIS Server podporuje na vstupu datový typ File (např. XML nebo ZIP). Uživatel vstupní data zkomprimuje do ZIP souboru a přes tenkého klienta pošle jako parametr analýzy na server. Nástroje ArcGIS Server zvládnou formát ZIP dekomprimovat do adresáře na serveru a ten použít jako vstupní parametr pro další nástroje.

V podkapitole 6.3.4 jsem rozebral návrh uživatelského vstupu z hlediska zadávání parametrů z webového klienta. V 7.2.2 jsem popsal realizaci konkrétního řešení.

6.2.4 Adresářová struktura ArcGIS Server

ArcGIS Desktop využívá interaktivity operačního systému, na kterém je nainstalován. Pro zadávání vstupů a výstupů dat uživatel využívá dialogová okna a vidí adresářovou strukturu dat, se kterými pracuje. Prokliká se k potřebným datům nebo je přetáhne způsobem drag & drop rovnou do nástroje. ArcGIS Desktop nabízí velký uživatelský komfort.

U ArcGIS Server je situace jiná. Data i nástroje jsou umístěny na vzdáleném počítači a uživatel je odkázán na GUI klientské aplikace. Tenký klient nemá možnost interaktivně nahlížet na adresářovou strukturu serveru, proto se návrh nástrojů i webového klienta musí přizpůsobit adresářové struktuře ArcGIS Server. Ta je ovlivněna faktem, že nástroje může spouštět více uživatelů najednou.

Aby nedocházelo ke konkurenčnímu přepisování dat, výsledky se pokaždé zapíší do jiného adresáře. Každému spuštění vzdáleného nástroje je přiřazen unikátní identifikátor *jobID* a na serveru vytvořen pracovní adresář *jobID\scratch*, do kterého jsou výsledky uloženy.

³⁰Server-side scripting umožňují např. technologie ASP či PHP.

³¹Secure File Transfer Protocol (SFTP) a Secure Copy Protocol (SCP) jsou síťové protokoly sloužící k bezpečné výměně dat mezi počítači na síti TCP/IP.

Nápověda [ESRI 2010a] doporučuje při návrhu serverových nástrojů dodržovat tzv. *tool share* adresářovou strukturu. Tzn. v pracovním adresáři na desktopu vytvořit adresář *scratch* a nastavit ho jako *Scratch Workspace* v prostředí programu ArcMap nebo ArcCatalog. Při programování nástrojů je adresář *scratch* přístupný pod proměnnou *%scratchworkspace%*. Uložení výsledků do pracovního adresáře lze docílit nastavením cesty např. *%scratchworkspace%\StreamRaster*. Tím se napodobí adresářová struktura serveru, tzn. při testování se data nahrají do pracovního adresáře *scratch* a při spuštění na serveru se výsledky uloží do unikátního adresáře podle *jobID*.

Před nahráním na server je nutné nastavit ukládání relativních cest (*relative paths*) v dokumentech a modelech ArcGIS. Jedině tak může server přistoupit k datům ve své adresářové struktuře.

6.2.5 Symbologie výstupů

Ze stejných důvodů, z jakých ArcGIS Server nepodporuje složité datové typy na vstupech z tenkých klientů (viz 6.2.3), je nepodporuje ani pro výstupy. Navíc absence objemných knihoven ArcObjects na tenkých klientech neumožňuje výsledky služeb ArcGIS Server zobrazit v komplexní symbologii dat (viz 6.2.1).

Řešením je používat jednoduchou symbologii výstupů, kterou klientská grafika dokáže zobrazit. Další možností je využití tzv. *Result Map Service*. O vykreslení výsledku se pak stará server, který klientu předá rastrový obrázek (např. *.jpg*, *.png*) k zobrazení. Tím lze docílit vykreslení komplexní symbologie, která klientskou grafikou zobrazit nelze nebo vykreslení nepodporovaných datových typů, např. *rastr dataset* digitálního modelu terénu.

V případě *Result Map Service* je nástroj (*tool*) součástí zveřejněného *mx*d dokumentu³² jako tzv. *tool layer* (nástrojová vrstva). Vytvoření *tool layer* se v ArcMapu docílí přetažením nástroje z *toolbox* do obsahu (*Table of Contents*) nebo do pole pro mapu. Tak vznikne nová vrstva, která nese jméno příslušného nástroje.

Tool layer je třeba alespoň jednou spustit a úspěšně dokončit. Nástrojová vrstva pak obsahuje podvrstvy pro každý výsledek. Upravením symbologie výstupů lze docílit stejného zobrazení výsledků i po zveřejnění na serveru.

V případě, že uživatel požaduje výsledná data stáhnout v jejich původním datovém typu (např. *Feature Class*, *Rastr Dataset*), lze využít faktu, že server data nejprve uloží na disk do pracovního adresáře, a pak teprve vytvoří a odešle rastrový obrázek klientu. Se znalostí adresářové struktury ArcGIS Server lze uživatele odkázat na původní data ke stažení (viz 6.2.4).

³²ArcMap ukládá data do mapových dokumentů s příponou *mx*d. Zveřejněním *mx*d dokumentu na server dojde ke zveřejnění nástrojových vrstev, které obsahuje.

Další výhodou Result Map Service je podpora jakékoli vrstvy jako vstupního parametru nástroje (např. Feature Layer, Raster Layer). Podmínkou je, že vrstva je obsažená ve zveřejněném mxd dokumentu. Pro datové typy uvnitř mxd dokumentu neplatí omezení ArcGIS Serveru popsané v sekci 6.2.3. [ESRI 2010a].

6.2.6 Zpřístupnění zdrojů

V ArcGIS Desktop lze vytvořené analýzy ihned používat, analýzy pro ArcGIS Server je potřeba před použitím nahrát na server a zveřejnit jako služby ArcGIS Server. Stejný postup platí i pro prohlížení mapových kompozic. Sady nástrojů a mapové dokumenty určené ke zveřejnění se nazývají zdroji GIS (*GIS resources*).

Nápověda [ESRI 2010a] popisuje dva způsoby zveřejnění zdrojů. Použitím programu ArcCatalog nebo webového rozhraní aplikace ArcGIS Server Manager.

V programu ArcCatalog je třeba vytvořit administrativní spojení s ArcGIS Server, které umožní vytváření a správu služeb (*Add GIS Server – Manage GIS Services*). Připravené zdroje lze zveřejnit jako službu pomocí funkce *Publish to ArcGIS Server*. Použití programu ArcCatalog má tu výhodu, že ke zveřejnění zdrojů dochází ze stejného prostředí, ve kterém jsou zdroje vytvářeny a spravovány. Z bezpečnostních důvodů lze administrativní spojení navázat jen v případě, že se ArcCatalog a ArcGIS Server nachází ve stejné doméně v lokální síti.³³

Alternativou ke správě služeb v programu ArcCatalog je využití webového rozhraní aplikace ArcGIS Server Manager, které je přístupné z internetu. ArcGIS Server Manager supluje schopnosti programu ArcCatalog zveřejňovat zdroje GIS jako služby a přidává další funkce spojené se správou zveřejněných zdrojů, např. automatické vytváření webových aplikací pro zveřejněné zdroje.

Postup zveřejnění zdrojů GIS jsem popsal v 7.2.4.

6.3 Návrh webového klienta

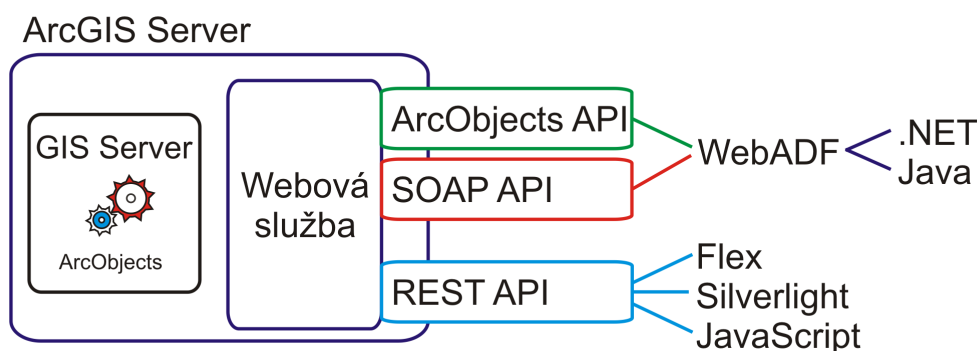
Samotné zveřejnění nástroje na ArcGIS Server běžný uživatel ještě neocení. Chybí mu nějaké rozhraní mezi jeho daty a nástroji na serveru. Rozhraní, které uživatelská data předá nástroji, počká si na výsledek, ten uživateli zobrazí a data nabídne ke stažení. K těmto účelům slouží grafické uživatelské rozhraní (viz 2.2.2).

Architektura navržené aplikace je typu Client/Server s webovým klientem (viz 6.1). V této architektuře plní funkci GUI právě klient (viz 2.3). Cílem této sekce je navrhnout webového klienta pro obsluhu GmIS nástrojů publikovaných jako webové služby v prostředí ArcGIS Server.

³³http://webhelp.esri.com/arcgisserver/9.3/java/index.htm#connect_gis_svr.htm

6.3.1 Aplikační rozhraní pro distribuovaný GmIS

Podle 3.4 nabízí ArcGIS Server aplikační rozhraní pro několik programovacích jazyků (viz obr. 6.3). Ty se dají rozdělit na dvě skupiny. Pro tvorbu čistě klientských aplikací jsou určena API postavená nad rozhraním REST. Ty ESRI nabízí pro programovací jazyky JavaScript, Flex a Silverlight. REST API je jednoduše ovladatelné a plně postačí k tvorbě klientských aplikací určených k obsluze služeb zveřejněných na ArcGIS Server. [ESRI 2010a]



Obrázek 6.3: Aplikační rozhraní ArcGIS Server

Druhou skupinou jsou API pro vývojová prostředí, která jsou určená k tvorbě komplexních Client/Server aplikací. Jedná se o Web Application Developer Framework (Web ADF) pro vývojová prostředí .NET a Java. Web ADF nabízí možnosti vytvořit webové či desktopové klienty, které s ArcGIS Server komunikují přes SOAP API. Pro komplexní aplikace, které rozšiřují funkcionalitu ArcGIS Server, využívá Web ADF rozhraní ArcObject API. [ESRI 2010c]

Pro potřeby aplikace navržené v 6.1 postačuje jednodušší rozhraní REST API. Zdrojový kód aplikací napsaných pro REST API je vykonáván na klientu. Aplikace napsané v JavaScript API jsou vykonávány přímo webovým prohlížečem, zatímco Flex a Silverlight vyžadují na klientu nainstalovaný tzv. *client engine*, prostředí integrované do webového prohlížeče, ve kterém je kód aplikace vykonáván. Pro Flex se jedná o *Adobe Flash Player*, Silverlight vyžaduje prostředí *Microsoft Silverlight*. Tato prostředí je potřeba na klientu instalovat jako tzv. zásuvný modul (*plug-in*) pro webový prohlížeč.

Výhodou aplikací pro client engine je jednotný vzhled a funkčnost ve všech prohlížečích na všech platformách. Instalace client engine pro Flex³⁴ i pro Silverlight³⁵ je podmíněna hardwarovými a softwarovými požadavky na klientský počítač.

³⁴ <<http://www.adobe.com/products/flashplayer/systemreqs/index.html>>

³⁵ <<http://www.microsoft.com/silverlight/resources/install.aspx#sysreq>>

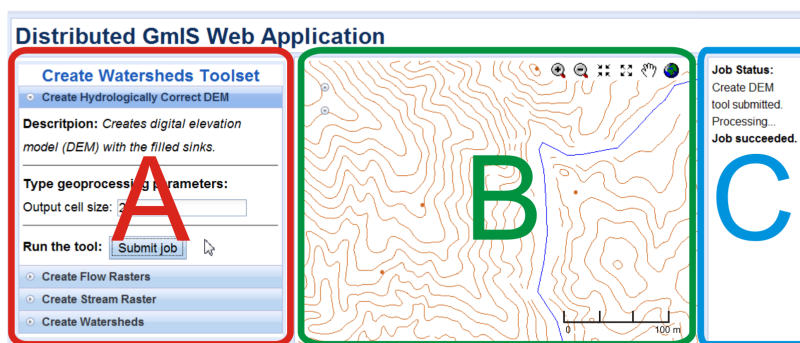
Požadavkům na otevřenost a dostupnost definovaným v 5.1 nejlépe vyhovují aplikace napsané pomocí JavaScript API z důvodu jejich přístupnosti bez nutnosti instalace na klientském počítači. Tzn. již z návrhu vyplývá použití API pro programovací jazyk JavaScript.

6.3.2 Návrh rozvržení grafického uživatelského rozhraní

V sekci 5.2 jsem definoval uživatelské požadavky na GUI. V následujících řádcích se věnuji návrhu GUI, které splňuje podmínku na intuitivní ovládání.

K tvorbě intuitivního GUI je třeba dobře navrhnout rozvržení webové stránky klienta (tzv. *layout*). V navrhované aplikaci (pro obsluhu distribuovaných analýz s možností zobrazení výsledků) jsou hlavními částmi rozvržení stránky ovládací prvky a mapové pole.

Při návrhu GUI jsem vyšel ze zavedených rozvržení, které využívají desktopové aplikace podobného zaměření (viz obr. 6.4). V levé části umístěné ovládací prvky a dominantní mapové pole ve zbytku obrazovky je inspirováno programem ArcMap.³⁶



Obrázek 6.4: Části GUI: A – ovládací prvky, B – mapové pole, C – informativní panel

Ovládací prvky představuje panel pro ovládání nástrojů a interaktivní obsah mapových vrstev. Panel pro ovládání nástrojů je tvořen formuláři pro uživatelský vstup a interaktivní obsah umožní uživatelům přepínání viditelnosti mapových vrstev.

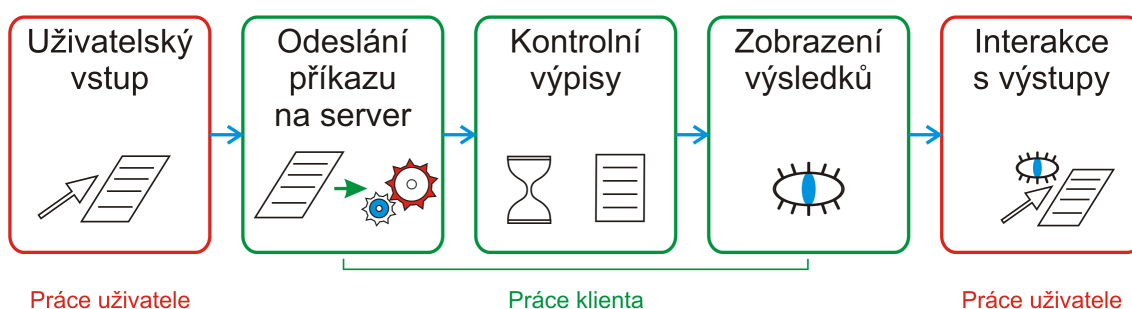
Mapové pole obsahuje podkladové mapy a výsledky vykonaných analýz. V horní části mapového pole je umístěna navigační lišta pro posun a změnu měřítka mapy a v dolní části je grafické měřítko. V pravé části GUI je umístěn panel pro výpis stavu vykonávaných nástrojů a možnost zobrazení nápovědy.

³⁶Uživatelé desktopové realizace GmIS pracují právě s programem ArcMap, proto podobnost rozvržení prvků GUI je dobrý předpoklad k zajištění intuitivní práce uživatelů.

GUI umožňuje přepínání nástrojů (tool), při kterém se změní obsah ovládacích prvků, a přepínání nástrojových sad (toolset), při kterém se změní nabídka nástrojů a obsah mapového pole. Realizaci GUI jsem popsal v sekci 7.5.2.

6.3.3 Interakce a funkčnost klienta

Interakce funkce grafického uživatelského prostředí spočívá ve vzájemné komunikaci s uživatelem. Souhrn činností komunikace s uživatelem znázorňuje obr. 6.5.



Obrázek 6.5: Činnosti uživatele v komunikaci s klientem

Prvním krokem interakce je uživatelský vstup, který je v GUI zajištěn pomocí formulářů. Formulář obsahuje textové a datové³⁷ vstupy. Součástí formuláře je ošetření vstupních dat (*validation*), které zabraňuje chybným zadáním ze strany uživatele. Jednotlivá vstupní pole disponují popisem vysvětlujícím jejich význam, který slouží uživateli jako rychlá nápověda. Tlačítkem pro odeslání dat uživatel předá vstupní parametry klientu.

Klient obsahuje jednoduchou aplikační logiku, která uživatelská data zpracuje do formátu srozumitelného pro server a pomocí API je odešle na server. V průběhu zpracování dat na straně serveru klient zobrazuje uživateli informace o průběžném stavu práce a případné chybové zprávy. Po dokončení operace prováděné serverem klient přijme výsledná data, která zpracuje pomocí jednoduché aplikační logiky a výsledky zobrazí do mapového pole. Zároveň s tím přidá zobrazené vrstvy do interaktivního obsahu spolu s odkazem na stažení dat.

Interakce uživatele s výstupy spočívá zejména v přepínání viditelnosti mapových vrstev, zobrazování detailních informací o vrstvách (umístění, jména, parametry, které byly použity pro jejich výpočet) a v interakci s mapovým polem (změna měřítko, posun).

³⁷Problematiku datového vstupu jsem rozebral v 6.3.4.

6.3.4 Rozbor uživatelského datového vstupu webové aplikace

V sekci 6.2.3 jsem rozebral možnosti nahrání dat na server, aby mohla být použita v analýzách ArcGIS Server. V této sekci předpokládám, že data jsou jednou z technik nahrána na serveru a webový klient zná cestu k adresáři s těmito daty.

Spolu s datovým vstupem je nástroji potřeba sdělit, které soubory v adresáři přísluší kterým vstupním parametrům, a jaká atributová pole jsou v nástroji použita. Např. datový vstup nástroje Create Hydrologically Correct DEM má šest datových vstupů (viz 4.4.3) a některé vyžadují zadat atributové pole s informací o nadmořské výšce. Tzn. nástroji je potřeba sdělit informaci, že soubor *vrstevnice.shp* je datový vstup *Contours* s atributovým polem *VYSKA*.

V této sekci jsem na příkladu nástroje Create Hydrologically Correct DEM navrhl způsoby, jak vyřešit uživatelský datový vstup z webové aplikace.

Prvním řešením je zavedení standardu v pojmenování a struktuře souborů. Jak ukazuje tabulka 6.1, pro každý datový vstup je pevně dáno jméno souboru. Zároveň jsou předem určeny i názvy atributových polí vstupujících do nástroje jako parametry. Toto řešení vyžaduje od uživatele předzpracování dat, které spočívá v přejmenování souborů a jejich atributů.

Soubor	Typ vstupu	Atribut
contours.shp	contour	elevation
rivers.shp	stream	
lake.shp	lake	
boundary.shp	boundary	
sink.shp	sink	elevation
pointelevation.shp	pointelevation	elevation

Tabulka 6.1: Konvenční pojmenování souborů a atributů

Typy vstupních dat uživatel volí pojmenováním souborů na svém počítači. Webový klient v tomto případě nástroji předá cestu k datům bez dalších informací a nástroj předpokládá dohodnutá jména souborů.

Druhým způsobem, jak lze řešit přiřazení souborů datovým vstupům z webové aplikace, je postupné nahrávání souborů na server. Formulář webového klienta obsahuje pro každý datový vstup jedno vstupní pole. Uživatel nahraje do pole pro typ *Contours* soubor *vsrtevnice.shp*. Pro zadání povinných atributů uživatel napíše přesný název atributu do formuláře ručně.

Typy vstupních dat uživatel určuje nahráváním do příslušného pole formuláře. Webový klient předá nástroji cestu k adresáři pro každý datový vstup zvlášť. Ruční zadání atributů je náchylné na chyby (překlepy), které vyjdou najevo až při spuštění nástroje a jedna chyba znamená neúspěšné provedení nástroje.

Třetí navrhovaný způsob předpokládá libovolně uspořádaný adresář nahraný na serveru. Pomocí technologie skriptování na straně serveru (např. PHP, ASP) je prozkoumán obsah vstupního adresáře. Skript na straně serveru rozpozná jména všech použitelných souborů (např. Shapefile, rastrové vstupy, TIN) a zjistí jména všech jejich atributů³⁸. Tyto údaje předá formuláři, který nabídne uživateli seznam možných souborů ke vstupu, umožní zvolit jejich typ a následně zobrazí výčet dostupných atributů (viz obr. 6.6).

Soubor	Typ	Atribut
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> contours.shp ▼ </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> rivers.shp boundaries.shp lakes.shp </div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> contour ▼ </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> stream lake boundary sink pointelevation </div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> elevation ▼ </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> id lenght </div>

Obrázek 6.6: Nabídka vstupů na základě uživatelských dat

Tato varianta je uzpůsobena libovlnnému vstupu a nevyžaduje od uživatele žádnou přípravu dat. Její naprogramování si ale žádá několik komunikací mezi serverem a klientem navíc oproti první variantě. Prvně pro navrácení jmen souborů a podruhé pro navrácení atributů. Uživatelský komfort je v tomto případě vykoupěn časovým zdržením.

Složitost programování a uživatelský komfort představených řešení jsou přímo úměrné. První řešení vyžaduje jednoduché programování na straně klienta a pro poslední řešení je nutné data zpracovat na straně klienta i serveru. S náročností programování ale roste uživatelský komfort. Realizací datového vstupu se zabývám v 7.2.2.

³⁸Zjištění atributů vstupních souborů lze řešit skriptem v jazyce Python publikovaným jako služba ArcGIS Server.

Kapitola 7

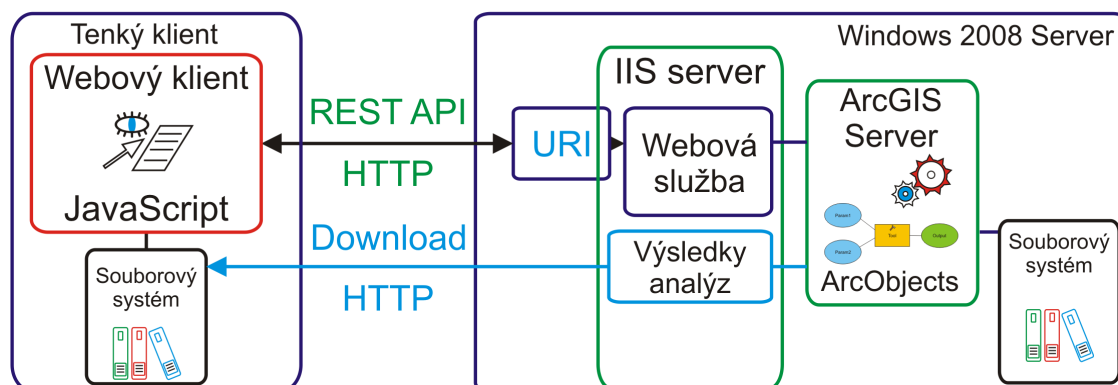
Realizace distribuovaného GmIS

Podle [Arlow, Neustadt 2007] realizace spočívá v převodu návrhu do spustitelného kódu. V této kapitole zdůvodňuji, které varianty návrhu řešení jsem vybral, a jak jsem je uskutečnil. V úvodu kapitoly popisují realizovanou architekturu aplikace a v dalších sekcích popisují realizaci jednotlivých částí – serverové a klientské.

Náplní realizace serverové části bylo převést analýzy popsané v 4.4 (vymezení povodí) a 4.5 (vytvoření bazových povrchů) do distribuovaného prostředí. Obecné kroky při úpravách analýz jsem popsal v 7.2, konkrétních úpravy analýz v 7.3 a 7.4. Realizace klientské části spočívala v naprogramování tenkého webového klienta pro obsluhu zveřejněných analýz (viz 7.5).

7.1 Realizovaná architektura distribuovaného řešení

Architektura realizované aplikace vychází z návrhu v 6.1 a byla ovlivněna specifiky technologie ArcGIS Server (viz 6.2). Architektura je znázorněna na obrázku 7.1.



Obrázek 7.1: Realizovaná architektura distribuovaného řešení GmIS

Klientskou část tvoří webový klient napsaný v jazyce JavaScript, který s webovými službami ArcGIS Server komunikuje pomocí REST API. Výsledky analýz lze prostřednictvím webového klienta stáhnout do souborového systému klientského počítače.

Serverovou část tvoří webový a aplikační server. Webový server Microsoft Internet Information Services (IIS) zajišťuje komunikaci přes internet pomocí rozhraní HTTP. Aplikační server ArcGIS Server zveřejňuje zdroje GIS jako webové služby. Celý server běží na operačním systému Windows 2008 Server. Instalaci serveru popisují v následující sekci.

7.1.1 Instalace ArcGIS Serveru

Pro úspěšné provádění distribuovaných GIS analýz je potřeba nainstalovat a nakonfigurovat software ArcGIS Server na počítač, který bude neustále v provozu online, tzv. server. K tomuto účelu Oddělení geomatiky ve spolupráci s katedrou archeologie využilo serveru EUGEN běžícího v doméně Filozofické fakulty (<http://eugen.ff.zcu.cz/>).³⁹

Instalaci a konfiguraci software ArcGIS Server 9.3 v licenci Advanced Enterprise pro platformu Microsoft .NET na operační systém Windows 2008 Server provedli zaměstnanci společnosti ARCDATA PRAHA, s.r.o. v roce 2008. Pro zajištění práce s aktuální verzí software jsem na server nainstaloval ArcGIS Server Upgrade 9.3.1 v roce 2009.

V průběhu celé práce jsem používal ArcGIS Server ve verzi 9.3.1 a popisovaná řešení se vztahují na tuto verzi. V případě vydání novější verze se mohou některé postupy změnit.

7.2 Analýzy v prostředí ArcGIS Server

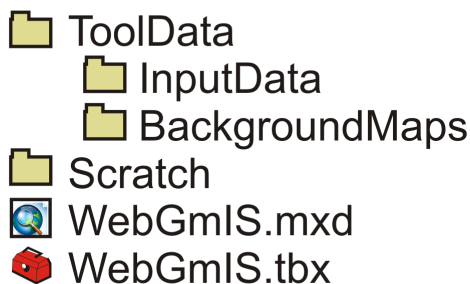
V 6.2 jsem navrhl způsoby, jak zohlednit specifika ArcGIS Server při vytváření distribuovaných nástrojů. V této sekci jsem popsal obecný postup úprav modelu vytvořeného pro ArcGIS Desktop, aby mohl být použit v prostředí ArcGIS Server. Uvedené postupy se dají aplikovat i na nově vytvářené modely.

7.2.1 Organizace a příprava dat

Při realizaci serverových nástrojů jsem využil adresářovou strukturu popsanou v návrhu z 6.2.4 (viz obr. 7.2). V hlavním adresáři se nachází mapové dokumenty ArcMap

³⁹oddělení geomatiky plánuje v budoucnu server přemístit na svoji půdu. Aktuální informace o distribuovaných službách GmIS lze nalézt na <http://git.zcu.cz/index.php/GmIS>.

WebGmIS.mxd, které definují symbologii výsledků, a soubor s nástroji ArcToolbox (*WebGmIS.tbx*), který obsahuje nástroje určené ke zveřejnění. Adresář *ToolData* obsahuje podadresář se vstupními daty (*InputData*) a podadresář s podkladovými daty (*BackgroundMaps*). Adresář *Scratch* je určen k ukládání výsledků.



Obrázek 7.2: Toolshare adresářová struktura

Při tvorbě nástrojové sady pro serverové nástroje jsem vyšel z *Geomorphologic Tools.tbx* z práce [Jedlička 2010]. Nástroje určené ke zveřejnění na serveru jsem přepokopíroval do toolboxu *WebGmIS.tbx*. První úpravou bylo odstranění mezer z názvů jednotlivých nástrojů. Název nástroje je po zveřejnění použit v URI služby (viz 3.4.2), které nesmí obsahovat určitou skupinu znaků, mezi které se řadí i mezera⁴⁰.

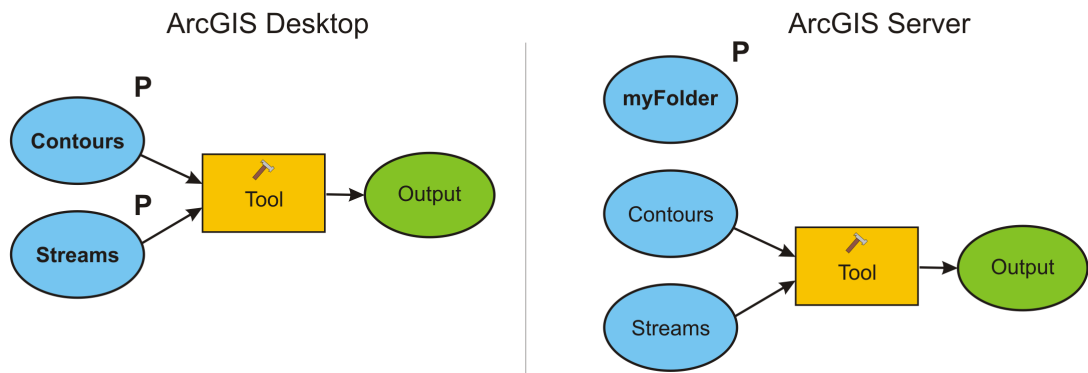
Úpravy nástrojů jsem prováděl v prostředí ArcCatalog a ArcMap. Podle 6.2.4 jsem v obou programech nastavil proměnnou *Scratch Workspace* do umístění výše popsaného adresáře *Scratch* a zároveň jsem nastavil ukládání relativních cest. Takto vytvořenou strukturu lze po ukončení úprav přesunout na server beze změn a zveřejnit její obsah jako služby ArcGIS Server.

7.2.2 Datový vstup serverových nástrojů

Nástroje připravené pro ArcGIS Desktop mají vstupní parametry různých datových typů, např. Feature Class, String, File, TIN, Table a Raster Dataset. Nástroje určené pro ArcGIS Server podporují jako vstupní parametry pouze jednoduché datové typy, např. Feature Set, String, File a Record Set (viz 6.2.3).

Na základě návrhu v 6.2.3 a v 6.3.4 jsem obešel omezení datových vstupů pro nástroje ArcGIS Server. Jako vstupní parametr jsem u serverových nástrojů použil datový typ String, který je na vstupu podporován. Parametr vyjadřuje cestu k adresáři na serveru, ve kterém jsou uložena vstupní data.

⁴⁰ <<http://www.ietf.org/rfc/rfc2396.txt>>



Obrázek 7.3: Způsoby datového vstupu do nástrojů ArcGIS

Obrázek 7.3 ukazuje dva modely, které plní stejnou funkci, jeden pro ArcGIS Desktop a druhý pro ArcGIS Server. Model pro ArcGIS Desktop má na vstupu dva parametry (**P**), datové vstupy *Contours* a *Streams*. Na vstup *Contours* lze dostat např. soubor *vrstevnice.shp* nebo jakýkoli jiný soubor. V případě modelu pro ArcGIS Server je vstupem parametr (**P**) *myFolder* typu *String*. Parametr *myFolder* odkazuje na umístění adresáře se vstupními soubory *contours.shp* a *streams.shp*. Názvy odpovídají pevnému pojmenování souborů podle smyslu sekce 6.3.4. V modelu je u vstupu do nástroje napevno nastavena cesta `%myFolder%\contours.shp`. V případě více datových vstupů umístěných v různých adresářích jsem použil více parametrů typu *String* (např. *myFolder*, *myFolder2*) odkazujících na patřičné adresáře.

Stejného postupu lze využít i při zřetězení nástrojů, kdy výstupy z jednoho nástroje jsou použity jako vstupy do jiného nástroje. Např. nástroj C využívá na vstupu výsledky z nástrojů A a B. Vstupem do nástroje C jsou dva parametry typu *String* odkazující na adresáře s výsledky nástrojů A a B. U nástrojů A a B je nutné použít pevné názvy u výstupních souborů.

Realizací zřetězení nástrojů se zabývám v 7.5.4. Pevné názvy souborů pro vstupy a výstupy jsem popsal v 7.3 a 7.4 u jednotlivých nástrojů.

7.2.3 Výstup dat

Jak jsem popsal v 6.2.2, u ArcGIS Server je problematický vstup a výstup dat do nástrojů. Operace prováděné uvnitř nástroje není třeba při převodu do serverového prostředí měnit⁴¹. Vstupy nástrojů jsem popsal v předchozí sekci a v následující se zaměřím na výstupy.

⁴¹O správu mezivýsledků označených jako *Managed* se server postará sám.

Podle 6.2.4 a 7.2.1 je nutné upravit cestu k uložení výsledků do pracovního adresáře Scratch. Cesta k výsledku má následující strukturu `%scratchworkspace%\jmenoVysledku`, kde `jmenoVysledku` je pevně stanovený název (viz 7.2.2).

Výstupy z nástrojů z ArcToolbox z ArcGIS Desktop jsou většinou datových typů nepodporovaných ArcGIS Server (viz 6.2.3) a pro zobrazení využívají komplexní symbologie, která není ArcGIS Server podporována. Podle návrhu z 6.2.5 lze oba problémy řešit použitím Result Map Service. Všechny serverové nástroje GmIS jsem publikoval jako tool layer v mapových dokumentech WebGmIS.mxd, kde jsem definoval symbologii pro výstup každého nástroje.

Adresář s výsledky každého nástroje je zkomprimován do zip souboru a uložen na veřejně přístupné místo serveru. K tomu jsem využil skript *zip python script*⁴² publikovaný jako služba ArcGIS Server. Vstupem do skriptu je cesta k adresáři, který má být zkomprimován, tzn. jedná se o zřetězení nástrojů ve smyslu 7.2.2.

7.2.4 Zveřejnění analýz na serveru

V 6.2.6 jsem popsal dva způsoby zveřejnění zdrojů GIS jako služeb ArcGIS Server. Pomocí administrativního připojení z programu ArcCatalog a pomocí webové aplikace ArcGIS Server Manager.

ArcGIS Server použitý v práci byl nainstalován v jiné lokální síti než počítač, ze kterého jsem k němu přistupoval. To znemožňovalo použít ke správě ArcGIS Server program ArcCatalog (viz 6.2.6). Pro správu ArcGIS Server jsem využil internetového rozhraní aplikace ArcGIS Server Manager. Pro vzdálený přístup k ovládání operačního systému serveru jsem využil program *Připojení ke vzdálené ploše*, který je součástí operačního systému Windows.

Data připravená v adresářové struktuře podle 7.2.1 jsem zkopíroval z desktopového počítače na disk serveru pomocí programu Připojení ke vzdálené ploše přes schránku Windows. Data musí být zkopírována do adresáře, do kterého má ArcGIS Server přístupová práva. V aplikaci ArcGIS Server Manager lze využít průvodce *Publish a GIS Resource*, kde nastavíme cestu k nahraným datům. V případě Result Map Service zadáme jako zdroj dat dokument mxd obsahující tool layer a ArcGIS Server Manager se postará i o zveřejnění příslušného nástroje.

U služby zpracování a analýzy dat (*geoprocessing service*) lze po zveřejnění nastavit dva způsoby vykonávání služby. Synchronní služby jsou určeny pro krátkodobé operace, asynchronní služby pro operace trvající delší dobu⁴³. Synchronní služba

⁴²Nástroj vytvořený ESRI, dostupný na http://webhelp.esri.com/arcgisserver/9.3/dotNet/index.htm#geoprocessing/zip_python_script.htm

⁴³Nápověda [ESRI 2010a] doporučuje asynchronní operace využít pro služby trvající déle než 3 sekundy.

vrátí klientu výsledky operace okamžitě po jejím ukončení bez ukládání výsledků na server. Oproti tomu asynchronní služba nejprve výsledky uloží na server a vrátí na klienta identifikátor *jobID*, který klient využije k získání výsledků ze serveru. Tím je klientu umožněno vykonávat jiné operace během čekání na výsledek asynchronní služby. Všechny zveřejněné služby jsem nastavil jako asynchronní.

7.3 Analýza vymezení povodí v prostředí ArcGIS Server

Algoritmy pro vymezení povodí vytvořené pro ArcGIS Desktop jsem popsal v 4.4. Tato sekce popisuje specifické úpravy jednotlivých modelů pro zprovoznění v serverovém prostředí. Úpravy společné pro všechny modely jsem popsal v předchozí podkapitole 7.2.

Pro účely serverové analýzy vymezení povodí jsou nástroje zřetězeny tak, že výstup z prvního nástroje je použit jako vstup do nástrojů následujících. Tzn., že nástroje musí být spuštěny za sebou v daném pořadí. Pořadí nástrojů odpovídá jejich postupnému uvedení v textu práce. Pro srovnání, nástroje popsané v 4.4 byly vytvořeny jako samostatně spustitelné. Tj. uživatel desktopových nástrojů zadává datový vstup pro každý nástroj zvlášť, uživatel serverového nástroje zadá datový vstup jen pro první nástroj.⁴⁴

7.3.1 Vytvoření hydrologicky korektního DEM

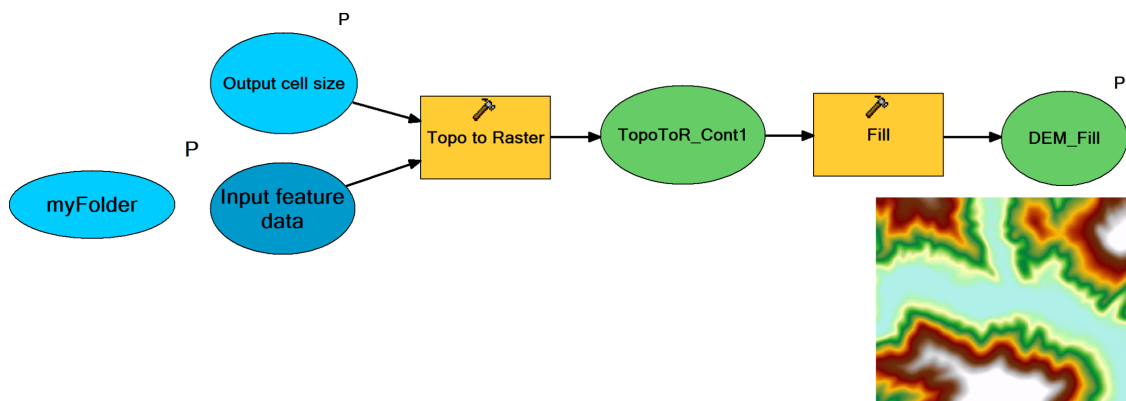
Model serverového nástroje Create Hydrologically Correct DEM na obrázku 7.4 se od desktopového modelu (obr. 4.5) liší ve vstupních a výstupních parametrech.

Pro ArcGIS Desktop bylo vytvořeno interaktivní přidávání vektorových vstupů uživatelem (*Input feature data*). V modelu pro server jsem v seznamu Input feature data nastavil pevné relativní cesty ke vstupním datům do adresáře myFolder, který je vstupním parametrem nástroje (podle úprav v 7.2.2). U každého vstupu jsem pevně nastavil jeho typ (viz 4.4) a také atribut, pokud je vyžadován. Seznam pevně daných vstupů a jejich atributů shrnuje tabulka 7.1.

V popisu nástroje pro desktop GmIS v sekci 4.4 uvádím šest typů datového vstupu. Jak je patrné z tabulky 7.1, pro serverový nástroj jsem použil pouze tři typy vstupu doporučené v publikaci [Jedlička, Sládek 2009].

Velikost výstupní buňky rastru (output cell size) zůstala zachována jako parametr modelu zadávaný uživatelem. Je datového typu *Analysis cell size*, který je

⁴⁴V dalším rozšíření práce uvažuji i serverové nástroje vytvořit jako samostatně spustitelné (viz kapitola 8).



Obrázek 7.4: Model serverového nástroje Create Hydrologically Correct DEM

Soubor	Typ vstupu	Atribut
contours.shp	contour	elevation
rivers.shp	stream	
pointelevation.shp	pointelevation	elevation

Tabulka 7.1: Názvy vstupů pro serverový nástroj Create Hydrologically Correct DEM

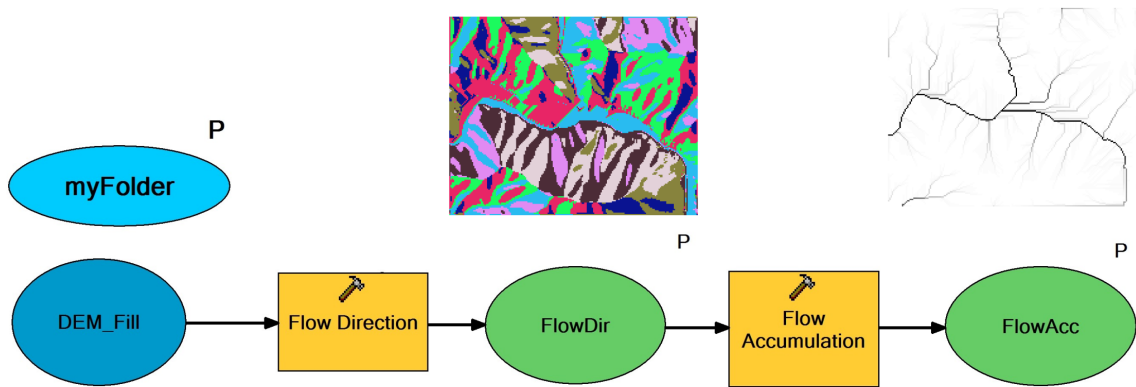
přijatelným vstupem pro ArcGIS Server. Všechny vstupní parametry jsou povinné, tzn. uživatel musí zadat velikost výstupní buňky a na server nahrát všechny soubory uvedené v tabulce 7.1.

Výstupem z nástroje je vytvořený DEM upravený do hydrologicky korektní podoby nástrojem Fill. Cesta pro zapsání výsledku je přednastavena do dočasného adresáře a pro jméno souboru je určen název `DEM_Fill`. Cesta k uložení mezivýsledku, v tomto případě k DEM před vyplněním nástrojem Fill, se nezadává. Mezivýsledek je v Model Builderu nastaven jako *Managed* a ArcGIS Server ho uloží do dočasného souboru, který po skončení analýzy smaže.

7.3.2 Vytvoření rastrů směrů a akumulace vodních toků

Serverový nástroj Create Flow Direction and Flow Accumulation Rasters nemá žádný uživatelský vstup. Jediným vstupním parametrem je cesta k adresáři s výsledkem nástroje Create Hydrologically Correct DEM. Zadání vstupního parametru zajistí webový klient (viz 7.5.4).

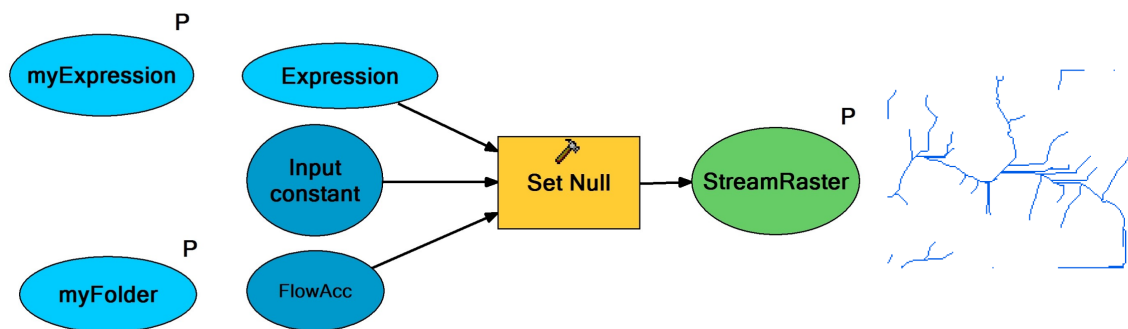
Model předpokládá název vstupního rastru `DEM_Fill`, který je výstupem z předchozího nástroje. Výstupy serverového modelu jsou rastr směrů odtoků z buňky s názvem `FlowDir` a rastr akumulace vody pojmenovaný `FlowAcc` (viz obr. 7.5).



Obrázek 7.5: Model serverového nástroje Create Flow Direction and Flow Accumulation Rasters

7.3.3 Vytvoření rastru vodních toků

Jak jsem popsal v 4.4, nástroj Create Stream Raster spočívá v naprahování rastru akumulace vody, který je výstupem z předešlé analýzy. Práce [Jedlička 2010] řešila prahování nástrojem Reclassify v prostředí ArcGIS Desktop, ve kterém lze parametry reklasifikace zadat interaktivně v dialogovém okně nástroje. Při přechodu do serverového prostředí jsem narazil na problém zjištění maximální hodnoty rastru akumulace vody, kterou je pro reklasifikaci nutné zadat (viz tabulka 4.1). Problém jsem obešel použitím nástroje Set Null, který je alternativou k řešení prahování reklasifikací (viz. 4.4).



Obrázek 7.6: Model serverového nástroje Create Stream Raster

Vstupní parametr `myExpression` je sestaven z uživatelem zadané hodnoty prahu a atributového pole akumulace vody. Nástroj předpokládá atributové pole s názvem `value`.⁴⁵ Pro hodnotu prahu 250 má `myExpression` hodnotu `value > 250` (viz. 4.4).

⁴⁵Rastr bez definovaného atributového pole má v ArcGIS hodnoty přístupné přes atribut `value`.

Parametr `myExpression`, který je datového typu `String`, je předán nástroji `Set Null` v proměnné `%myExpression%` zapsané jako hodnota do parametru `Expression` (viz obr. 7.6). Parametr `Input constant` je nastaven na hodnotu 1 (viz. 4.4).

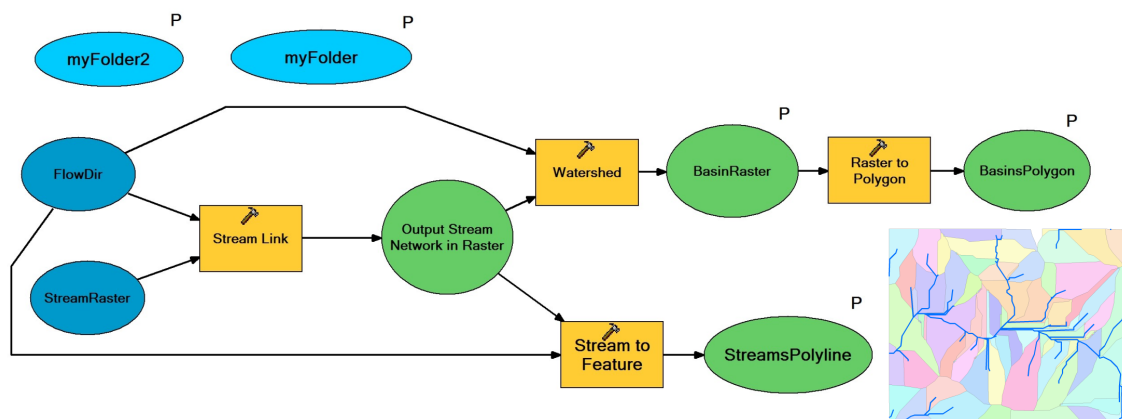
Výstup nástroje je pojmenován `StreamRaster` a znázorňuje rastr vodních toků.

7.3.4 Vytvoření povodí

Nástroj `Create Basins` vyžaduje na vstupu rastr směrů odtoků a rastr vodních toků. Pro tyto rastry předpokládá názvy `FlowDir` a `StreamRaster`. Každý vstup pochází z jiného nástroje, proto nástroj obsahuje dva vstupní parametry typu `String`.

Parametr `myFolder` odkazuje na adresář s výsledky nástroje `Create Flow Direction and Flow Accumulation Rasters`, ve kterém se nachází rastr `FlowDir` a parametr `myFolder2` slouží k zapsání cesty k adresáři s výsledky nástroje `Create Stream Raster`, který obsahuje soubor `StreamRaster`. Cesty k adresářům předá nástroji webový klient, jak jsem popsal v 7.5.4.

Výstupem z nástroje jsou rastr povodí `BasinRaster` a povodí ve vektorové reprezentaci `BasinPolygon.shp`. Oproti desktopovému modelu jsem přidal vektorový výstup `StreamsPolyline.shp`, který vznikl převedením rastru vodních toků nástrojem `Stream To Feature` (viz obr. 7.7). Vektorový výstup jsem přidal z důvodu lepší vizualizace na klientu.



Obrázek 7.7: Model serverového nástroje `Create Basins`

7.4 Analýza vytvoření bázevých povrchů v prostředí ArcGIS Server

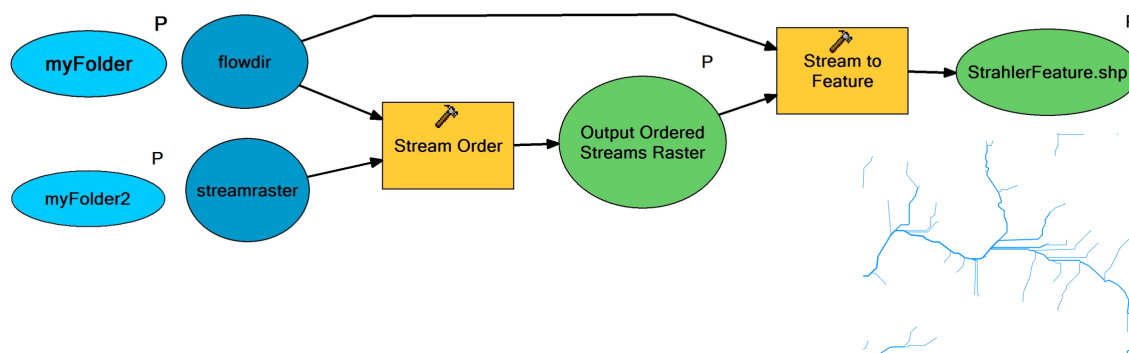
Druhou analýzou, kterou jsem v práci nasadil do distribuovaného prostředí ArcGIS Server, je analýza vytvoření bázevých povrchů. Popisem algoritmů a realizace v pro-

středí ArcGIS Desktop jsem se zabýval v podkapitole 4.5. Změnám, které si vyžádala příprava na zveřejnění modelů jako webových služeb ArcGIS Server, se věnuji v následujících sekcích.

Stejně jako pro analýzu vymezení povodí, jsou následující nástroje připraveny pro postupné spouštění, tj. nástroje na sebe navazují vstupy a výstupy.

7.4.1 Klasifikace vodních toků podle Strahlera

Vstupy do nástroje Order Streams By Strahler jsou rastry `flowdir` a `streamraster`. Tyto rastry jsou výstupy z analýzy vymezení povodí. Pro případ provázání obou analýz má nástroj Order Streams By Strahler dva vstupní parametry `myFolder` a `myFolder2`, které odkazují na adresáře se vstupními daty.⁴⁶



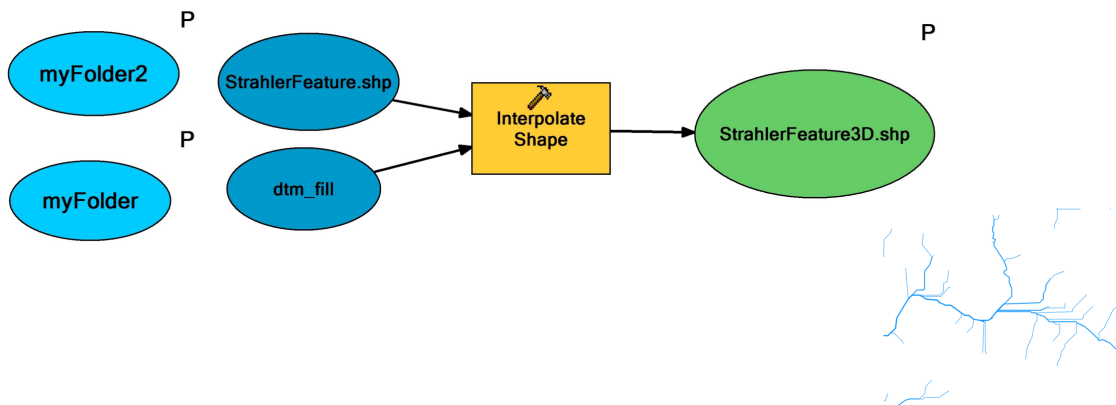
Obrázek 7.8: Model serverového nástroje Order Streams By Strahler

Jak ukazuje obrázek 7.8, výstupem z analýzy jsou oklasifikované vodní toky v rastrové (`StrahlerGrid`) a vektorové podobě (`StrahlerFeature.shp`). Vektorové toky vstupují do dalšího nástroje.

7.4.2 Vytvoření 3D linie

Nástroj Create 3D Line vyžaduje vstup `StrahlerFeature.shp` z předchozího nástroje a `dem_fill`, který je výstupem z prvního nástroje analýzy vymezení povodí. Vstupy jsou řešeny přes vstupní parametry `myFolder` a `myFolder2` (viz obr. 7.9). Výstupem je vektorová reprezentace sítě vodních toků s údaji o nadmořské výšce. Výstup pojmenovaný `StrahlerFeature3D.shp` je zároveň vstupem do dalšího nástroje.

⁴⁶V práci jsem obě analýzy realizoval odděleně.



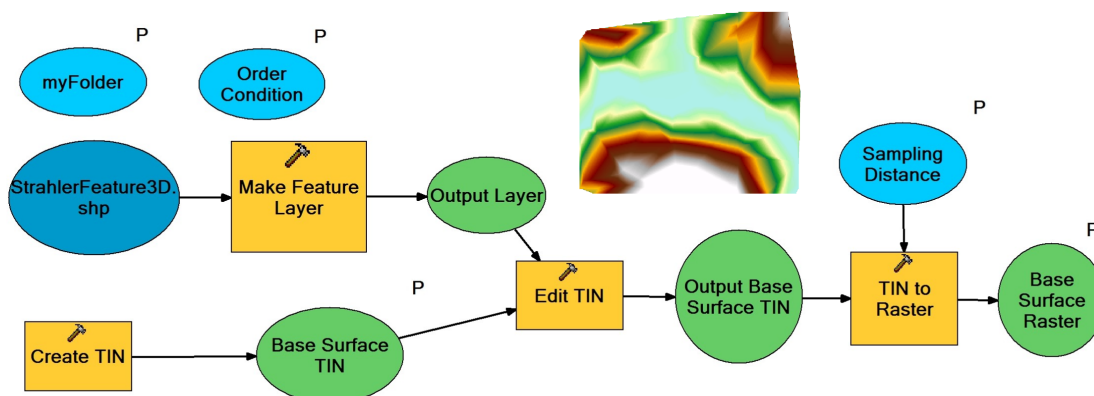
Obrázek 7.9: Model serverového nástroje Create 3D Line

7.4.3 Vytvoření bazových povrchů

Datovým vstupem do nástroje Create Base Surface je soubor `StrahlerFeature3D.shp` umístěný v adresáři `myFolder`, který odkazuje na cestu k výsledku z předchozího nástroje Create 3D Line.

Dalším vstupním parametrem je textový řetězec `orderCondition`, který předá nástroji Make Feature Layer podmínku pro vytvoření nové vrstvy (viz 4.5). Předání je provedeno nastavením parametru `Expression` na hodnotu `%orderCondition%`.

Výstupem nástroje je bazový povrch reprezentovaný TIN (`BaseSurfaceTIN`), který je převeden do rastrové reprezentace nazvané `BaseSurfaceR` (viz obr. 7.9). Při převodu TIN na rastr uživatel volí prostorové rozlišení výstupního rastru (viz 4.5). To je předáno nástroji TIN to Raster přes vstupní parametr `Sampling_Distance`, který má tvar `CELLSIZE 25` pro zvolenou velikost buňky 25 x 25 m.



Obrázek 7.10: Model serverového nástroje Create Base Surface

7.5 Tvorba webového klienta

Při realizaci webového klienta jsem vycházel z návrhu v 6.3. V této sekci popisují technologie a prostředky tvorby grafického uživatelského rozhraní (7.5.2), způsoby komunikace s webovými službami ArcGIS Server pomocí JavaScript API (7.5.3) a zpracování uživatelských vstupů webovým klientem (7.5.4). V úvodní podkapitole 7.5.1 představuji vývojová prostředí, která jsem použil pro programování a testování webového klienta.

7.5.1 Vývojová prostředí

V návrhu v sekci 6.3.1 jsem na základě analýzy požadavků na otevřenost a dostupnost zvolil ArcGIS Server API pro programovací jazyk JavaScript. V případě ArcGIS JavaScript API (dále JS API) je webový klient tvořen HTML stránkou obohacenou JavaScript kódem. Pro usnadnění programátorské práce jsem zvolil vývojové prostředí *Aptana Studio*, které je doporučované vývojářským blogem ArcGIS Server Blog⁴⁷. Výhodou tohoto prostředí je oficiální podpora ESRI v podobě rozšíření *Aptana Code Assist Plugin*⁴⁸, které umožňuje automatické dokončování kódu a rychlý přístup k dokumentaci JS API.

Programování v JS API je založeno na knihovnách *Dojo JavaScript Toolkit*⁴⁹. Dojo je open source sada funkcí, která umožňuje v aplikaci využívat předprogramované komponenty, tzv. *Dojo widgets* (také nazývané *dijits*). Dijits lze využít na programování uživatelského rozhraní, např. formulářů s ošetřením vstupu, tlačítek, nabídek, tabulek, grafů nebo lze využít přednastavená rozvržení webové stránky. V práci jsem použil JS API ve verzi 1.6, které je postaveno na Dojo 1.4.1.⁵⁰

Ve vývojovém prostředí Aptana jsem založil nový projekt webové aplikace a práci jsem rozčlenil do tří částí. Soubor `WebGmIS.html` představuje webovou stránku s GUI klienta, vzhled GUI jsem definoval v souboru `style.css` pomocí kaskádových stylů (CSS) a do souboru `functions.js` jsem uložil JavaScript funkce použité v aplikaci.

Při tvorbě klienta jsem pracoval s webovými standardy JavaScript, CSS a HTML, které jsou podporovány většinou používaných prohlížečů. Pro testování a ladění kódu jsem využíval prohlížeč *Mozilla Firefox* s vývojářským doplňkem *Firebug*⁵¹, určeným k ladění a monitorování JavaScript, CSS a HTML prvků webových stránek.

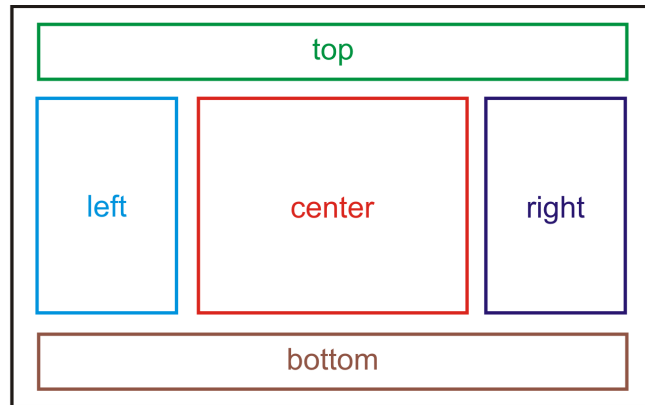
⁴⁷<http://blogs.esri.com/dev/blogs/arcgisserver/>

⁴⁸http://resources.esri.com/help/9.3/arcgisserver/apis/javascript/arcgis/help/jsapi/api_codeassist.htm

⁴⁹<http://www.dojotoolkit.org/>

⁵⁰V květnu 2010 byla verze JS API 1.6 nejvyšší verzí pro ArcGIS Server 9.3.1. Verze JS API 2.0, která byla ve stejné době k dispozici v testovací verzi, je určena pro ArcGIS Server 10. V práci jsem pracoval s verzí ArcGIS Server 9.3.1 (viz 7.1.1).

⁵¹<http://getfirebug.com>



Obrázek 7.11: Rozložení regionů v BorderLayout

7.5.2 Tvorba grafického uživatelského rozhraní

Při tvorbě GUI jsem vyšel z sekce 6.3.2, ve které jsem navrhl základní části GUI a jejich rozvržení. K realizaci rozvržení stránky jsem použil předdefinované komponenty *dijit.layout*.

```
<div dojoType="dijit.layout.BorderContainer" style="width: 100%;
height: 100%;">
  <div dojoType="dijit.layout.ContentPane" region="left"
    style="width: 30%;">
    ...
  ...
</div>
```

Příklad 7.1: Definice rozložení prvků

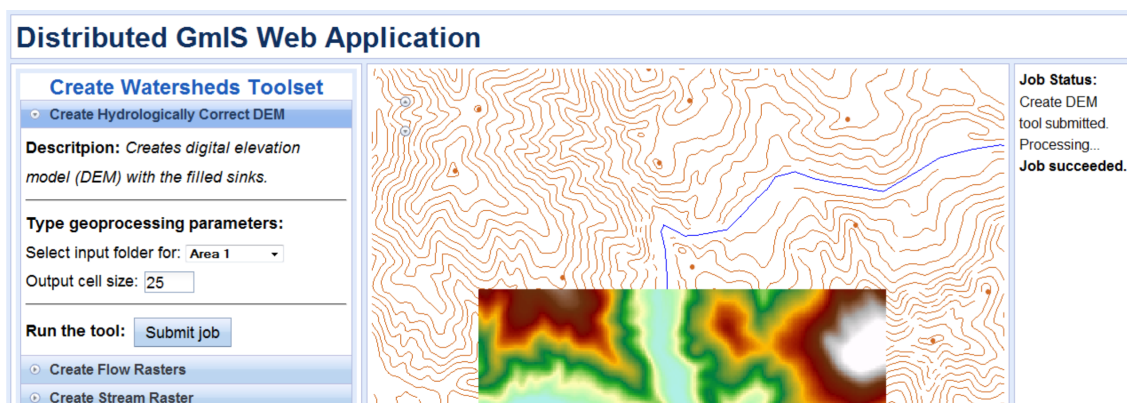
Rozvržení stránky je dáno vnořováním kontejnerů (*container*)⁵² a jejich vzájemným pozicováním. Z knihovny *dijit.layout* jsem použil element *BorderContainer* jako hlavní obalovací prvek. *BorderContainer* umožňuje zobrazit vnořené kontejnery do pěti přednastavených regionů (viz obr. 7.11). Rozměry regionů se zadávají relativně k rozměrům nadřazeného elementu *BorderContainer*.

Knihovna *dijit.layout* nabízí další kontejnery pro obalení obsahu stránky. Prázdnou obálku vytvoří element *ContentPane*, pro kontejner s možností přepínání obsahu jsou určeny prvky *AccordionContainer*, *StackContainer* a *TabContainer*, které se liší v umístění přepínacích tlačítek⁵³.

Kontejnerem *BorderContainer* jsem obalil čtyři elementy *ContentPane*, které jsem umístil do regionů *top*, *left*, *center* a *right*. Příklad 7.1 ukazuje vnoření kontej-

⁵²Kontejner je HTML element, který obaluje jiné HTML elementy a určuje vlastnosti, které jsou pro celý obsah kontejneru společné. Např. umístění na stránce, vlastnosti písma, barva pozadí. Typickým HTML kontejnerem je např. element *<DIV>*.

⁵³<http://docs.dojocampus.org/dijit/layout/AccordionContainer>



Obrázek 7.12: Realizované GUI

neru `ContentPane` do `BorderContainer`, definici regionu `left` a šířky kontejneru 30% zobrazené stránky. Stejným způsobem jsem vnořil i ostatní elementy.

Horní kontejner (top) jsem využil k uvedení názvu webové stránky. Do levého (left) jsem umístil ovládací prvky rozdělené na `AccordionContainer` s nabídkou nástrojů a `ContentPane` s interaktivním obsahem. V celém rozvržení je dominantní region center, který obsahuje mapové pole. Informativní sloupec s kontrolními výpisy a nápovědou jsem umístil do `ContentPane` s atributem `region="right"`.

Dojo nabízí barevná témata (*themes*)⁵⁴ pro vizualizaci komponent widgetů. Témata tvoří sada obrázků a CSS stylů. Obrázky jsou využity jako ikony a pozadí prvků stránky a kaskádové styly definují jejich písma, barvy a velikosti. Pro realizaci GUI jsem využil styl *soria*. Ukázka realizovaného GUI je znázorněna na obrázku 7.12.

Analýza vymezení povodí se skládá ze čtyř nástrojů, ovládací prvky pro tuto analýzu tvoří `AccordionContainer` se čtyřmi vnořenými kontejnery `ContentPane`. Každý `ContentPane` obsahuje stručný popis nástroje, formuláře pro uživatelský vstup a tlačítko ke spuštění nástroje.⁵⁵ Obsah ostatních prvků rozvržení stránky se mění dynamicky v závislosti na spuštěném nástroji a komunikaci se serverem. Programování změny obsahu mapového pole, obsahu mapových vrstev a informativního panelu jsem popsal v následujících sekcích.

7.5.3 Představení JavaScript API

ArcGIS JavaScript API je programátorům dostupné online na adrese `<http://serverapi.arcgisonline.com/jsapi/arcgis/?v=1.6>`, kde 1.6 označuje vývojovou verzi API. Funkce JS API jsou tématicky uspořádány do balíčků (*packages*),

⁵⁴`<http://docs.dojocampus.org/dijit-themes>`

⁵⁵Stejně jsem postupoval i pro analýzu vytvoření báze povrchů.

tzn. v aplikaci lze použít jen potřebné funkce. Základním balíčkem je `esri.map`, který slouží k práci s mapou, umožňuje zobrazovat mapové služby a výsledky služeb na zpracování a analýzu dat.

Příklad 7.2 demonstruje načtení balíčku `esri.map`, zavedení instance objektu pro práci s mapou (`map`) a asociaci s HTML kontejnerem pro zobrazení mapového pole na webové stránce přes indentifikátor `mapContainer`.

```
dojo.require("esri.map");
var map = new esri.Map("mapContainer");
...
<div id="mapContainer"></div>
```

Příklad 7.2: Definice nové instance mapy

Kód v ukázce 7.3 přidává do mapy podkladovou mapu `bgMap`, která odkazuje na zveřejněnou mapovou službu ArcGIS Server. Propojení proměnné `bgMap` a mapové služby se provede pomocí URI služby přístupné přes rozhraní REST API (viz 3.4.2).

```
bgMap = new esri.layers.ArcGISDynamicMapServiceLayer("http://eugen.
ff.zcu.cz/ArcGIS/rest/services/WebGmIS/backgroundMap/MapServer");

map.addLayer(bgMap);
```

Příklad 7.3: Zobrazení mapové služby

Stejným způsobem lze pomocí REST API přistoupit i na služby zpracování a analýzy dat. V příkladu 7.4 jsem uvedl založení nové instance objektu *Geoprocessor*, který s tímto typem služeb pracuje. Klient z uživatelských vstupů vytvoří proměnnou `params`, ve které jsou uloženy vstupní parametry pro vzdálený nástroj. Požadavek na spuštění asynchronní služby⁵⁶ klient vyvolá příkazem `submitJob`, ve kterém službě předá vstupní parametry a definuje dvě funkce `gpCompleted` a `gpStatusCallback`.

Funkce `gpStatusCallback(jobInfo)` je po odeslání dat na server opakovaně spouštěna v pravidelném intervalu. Pomocí ní lze do informativního panelu webové stránky klienta vypisovat stav vykonávané operace, který server na klienta vrací v proměnné `jobInfo`.

Funkci `gpCompleted(jobInfo)` klient vykoná po vrácení stavu *esri.JobSucceeded*, který znamená úspěšné dokončení služby. Funkcí `gp.getResultImageLayer`

⁵⁶Pro synchronní službu je příkaz *execute*. Rozdíl mezi synchronní a asynchronní službou jsem popsal v 7.2.4.

```

gp = new esri.tasks.Geoprocessor("http://eugen.ff.zcu.cz/ArcGIS/rest
/services/WebGmIS/GPServer/CreateHydrologicallyCorrectDEM");
params = { "Output_cell_size": 25,
           "myFolder": "c:\WebGmIS\ToolData\" };
gp.submitJob(params, gpCompleted, gpStatusCallback);
...
gp.getResultImageLayer(jobId, outputParam, imgParams, displayResult);

```

Příklad 7.4: Služba zpracování a analýzy dat

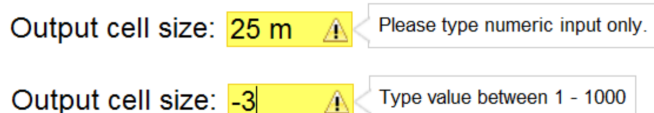
lze vyžádat výsledek distribuovaného nástroje, který je zveřejněn jako Result Map Service (viz 6.2.5). Při požadavku na vrácení výsledku je nutné serveru sdělit identifikátor `jobId`, který je unikátní pro každé vykonání služby (viz 6.2.4), dále výstupní parametr, který chceme vrátit (`outputParam`), parametry vráceného obrázku (`imgParams`) a funkci, která zpracuje vrácený výsledek (`displayResult`).

Server na klienta vrátí požadovaný obrázek jako mapovou službu a spustí funkci `displayResult(layer)`, kde parametr `layer` odkazuje na vrácený obrázek. Zobrazení mapové služby do mapy lze provést příkazem `map.addLayer(layer)`.

```

Output cell size:
<input id="oCellSize" dojoType="dijit.form.NumberTextBox"
constraints="{min:1,max:1000,places:0}"
invalidMessage="Please type numeric input only."
rangeMessage="Type value between 1 - 1000."
>

```

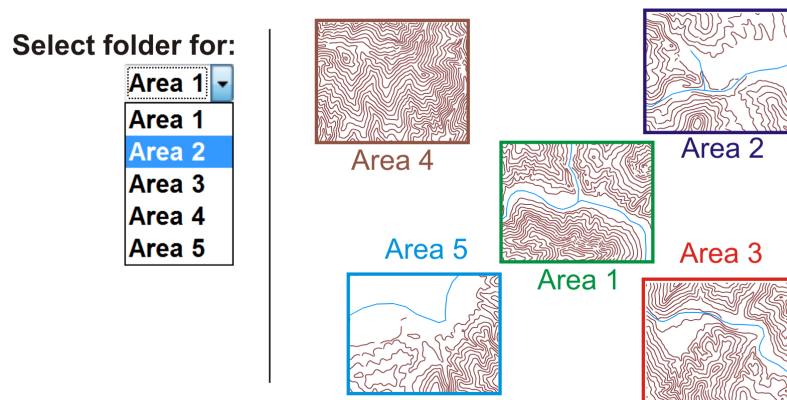


Obrázek 7.13: Ukázka validace vstupních polí formuláře

7.5.4 Tvorba interaktivního klienta

K realizaci činností navržených v 6.3.3 je nutné klientu přidat jednoduchou aplikační logiku. K tvorbě formulářů uživatelského vstupu jsem využil knihovnu *dijit.form*, která umožňuje provádět validaci vstupních dat.

Obrázek 7.13 ukazuje příklad číselného vstupu (typ `NumberTextBox`) s povoleným rozsahem hodnot 1 až 1000. Poli formuláře jsem nastavil chybové zprávy pro neplatný vstup (`invalidMessage`) a pro hodnoty mimo rozsah (`rangeMessage`).



Obrázek 7.14: Výběr území pro výpočet analýzy

Pomocí číselných vstupů ve formulářích uživatel zadává parametry nástrojů, např. rozlišení výstupní buňky, prahovou hodnotu reklasifikace rastru akumulace vody nebo řád báze povrchu. Vstup uživatelských dat jsem nahradil nahráním pěti adresářů na server. Každý adresář obsahuje data jiného zájmového území (viz obr. 7.14). V prvním kroku analýzy uživatel provede výběr zájmového území, na kterém server následně provede všechny nástroje analýzy.

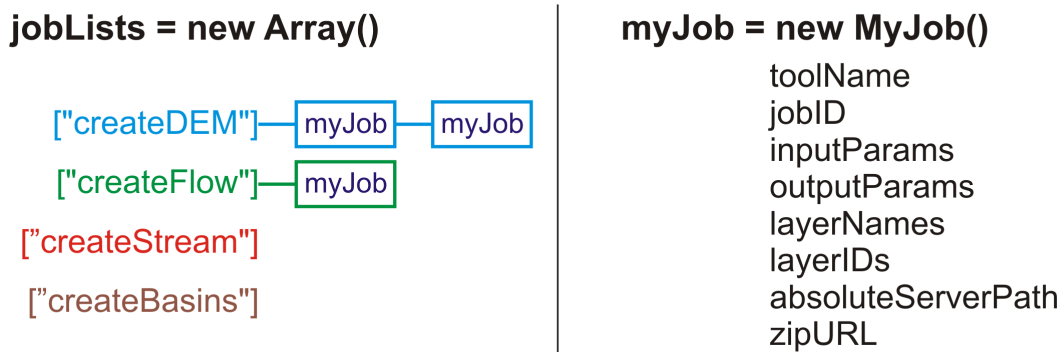
```
onClick="calculateTool('createDEM')"  
...  
switch (toolName) {  
  case "createDEM":  
    var oCellSize = dojo.byId("oCellSize").value;  
    var myFolder = dojo.byId("inputFolder").value;
```

Příklad 7.5: Zpracování uživatelského vstupu

Uživatelské vstupy zpracuje programový kód klienta po stisknutí tlačítka formuláře, které vyvolá funkci `calculateTool('toolName')`. Podle parametru `toolName` klient rozpozná uživatelem spuštěný nástroj. Data z formulářů jsou v kódu přístupná pomocí identifikátoru vstupního pole formuláře. Příklad 7.5 ukazuje spuštění nástroje Create Hydrologically Correct DEM (parametr `createDEM`) se zpracováním vstupů z formuláře. Parametr rozlišení výstupní buňky je přístupný přes identifikátor `oCellSize` a zvolený adresář s daty vybraného zájmového území přes `inputFolder`.

Takto získané hodnoty jsou doplněny do proměnné `params` a odeslány na server, jak jsem popsal v příkladu 7.4.

V případě řetězení nástrojů ve smyslu sekce 7.2.2 klient dosadí za parametr `myFolder` cestu adresáře s výsledky předchozího nástroje. Cesty k výsledkům vykonaných nástrojů klient uchovává v proměnné `jobLists`. Proměnná `jobLists` je



Obrázek 7.15: Seznam výsledků nástrojů

asociativní pole, ve kterém je klíčem identifikátor nástroje `toolName` a hodnotou je spojový seznam (viz obr. 7.15). Jedna položka pole uchovává výsledky jednoho nástroje. V uzlu spojového seznamu je uložena instance objektu `MyJob`, který obsahuje všechny důležité informace o proběhlém vykonání nástroje. Z hlediska řetězení nástrojů je důležitý parametr `absoluteServerPath`, který odkazuje na adresář na disku serveru s výsledky.

```

layer = map.getLayer(layerID);
if(layer.visible)
    layer.hide();
else
    layer.show();

```

Příklad 7.6: Přepínání viditelnosti vrstev v mapě

Např. při spuštění nástroje `Create Streams`, klient zkontroluje, zda v seznamu `jobLists` existuje záznam o výsledku z předchozího nástroje (klíč `createFlow`). Pokud ano, klient přistoupí na poslední položku spojového seznamu, která představuje informace o posledním výsledku nástroje `Create Flow Direction and Flow Accumulation Rasters`. Hodnotu `myJob.absoluteServerPath` klient předá vstupnímu parametru `myFolder` pro nástroj `Create Stream`.

Seznam výsledků `jobLists` klient využívá i při generování interaktivního obsahu mapových vrstev. Průchodem všech instancí `myJob` v seznamu, klient zjistí jména a identifikátory vrstev (`layerNames` a `layerIDs`) a URL ke stažení výsledku (`zipURL`) pro všechny vykonané nástroje. Jména vrstev klient zobrazí v GUI spolu s odkazem na stažení dat a identifikátory vrstev použije k přepínání viditelnosti vrstev v mapě (viz příklad 7.6).

Kapitola 8

Diskuze

Distribuované řešení geomorfologického informačního systému (GmIS) představené v práci je alternativou k desktopovému GmIS s hlavní výhodou centrální správy GIS. Dalším plusem je přístupnost řešení. GmIS je přístupný přes webový prohlížeč a nevyžaduje zvláštní instalaci na uživatelském počítači. Nevýhodou oproti desktopové realizaci GmIS je zjednodušená interaktivita GUI klienta. Webový klient nedokáže nahradit funkce programu ArcMap či ArcCatalog.

Cílem práce bylo objevit možnosti technologie ArcGIS Server v oblasti distribuovaného zpracování a analýzy dat, navrhnout způsoby, jak se vypořádat s přechodem z desktopu do serverového prostředí a na ukázce demonstrovat nový směr vývoje GmIS.

Při realizaci návrhu jsem dal přednost vývoji a zveřejnění většího počtu nástrojů před programováním propracovaného GUI pro jeden nástroj, které supluje funkce ArcGIS Desktop. Proto jsem při realizaci přistoupil na různá zjednodušení oproti možnostem popsaným návrhu. Podněty uvedené v této kapitole mohou sloužit jako návrh pro další rozšiřování distribuovaného GmIS.

Nerealizovaný zůstal uživatelský datový vstup, který byl na vržen v 6.2.3. Pro funkčnost služeb zpracování a analýzy dat jsem vystačil s daty předem nahranými na serveru (viz 7.5.4). V dalším rozvoji GmIS je prostor pro řešení uživatelského vstupu dat spolu s detailním návrhem architektury datové vrstvy aplikace. V úvahu připadá např. vytvoření databázového účtu pro každého uživatele GmIS s nahráváním dat přes databázové rozhraní.

Vylepšit lze i zadávání parametrů pro nástroje. Namísto realizované pevné struktury v pojmenovávání souborů a jejich parametrů lze uplatnit návrh z 6.3.4, ve kterém jsou soubory a parametry načítány dynamicky v závislosti na obsahu vstupního adresáře.

Zveřejněné nástroje jsou pevně zřetězeny do konkrétních analýz. V dalším rozšíření lze nástroje upravit tak, aby je uživatel měl možnost zřetěžit do analýz dle

vlastních potřeb ve smyslu distribuovaných GIServices (viz 2.3.3).

Autor práce plánuje pokračovat na vývoji distribuovaného GmIS v rámci doktorského studia. Aktuální informace o projektu jsou k nalezení na <http://git.zcu.cz/index.php/WebGmIS>.

Kapitola 9

Závěr

Rozvoj informačních technologií přináší na internet aplikace s funkcionalitou desktopových programů a GmIS tento vývoj následuje. Cílem práce bylo vyzkoušet možnosti distribuovaného zpracování a analýzy dat a získané znalosti ověřit na vybraných analýzách GmIS.

Desktopová realizace GmIS je postavena na technologii ESRI ArcGIS, stejnou technologii jsem využil i pro distribuované řešení GmIS. Architektura řešení využívá systém ArcGIS Server pro zveřejnění distribuovaných nástrojů. Nástroje jsou ovládány pomocí GUI, které je přístupné jako webová stránka v prohlížeči.

V rámci práce jsem popsal způsob, jak nástroje napsané pro ArcGIS Desktop upravit pro použití v serverovém prostředí. Popsaný postup jsem aplikoval na dvou analýzách GmIS – *Vymezení povodí* a *Vytvoření bazových povrchů*. Dohromady jsem na server umístil sedm upravených nástrojů desktop GmIS.

Pro obsluhu zveřejněných nástrojů jsem vytvořil webového klienta pomocí technologií JavaScript, HTML a CSS. Klient je grafickým uživatelským rozhraním ke zveřejněným nástrojům, umožňuje jejich spouštění, zobrazení výsledků jako mapové služby a stažení výsledků do počítače uživatele.

Řešení diplomové práce mě obohatilo o nové zkušenosti, zejména jsem se seznámil s technologií ArcGIS Server a prozkoumal její možnosti v oblasti distribuovaného zpracování dat. Poznal jsem vývoj aplikace od požadavků přes návrh k její realizaci, ve kterém hlavní roli hraje uživatel.

Přechod GmIS do distribuovaného prostředí internetu umožní více uživatelům snadno vyzkoušet jeho přínosy pro práci geomorfologa. GmIS se snadno dostane ke všem potenciálním uživatelům, stačí zadat URL.

Literatura

ARLOW, J., NEUSTADT, I. (2007). *UML 2 a unifikovaný proces vývoje aplikací. Objektově orientovaná analýza a návrh prakticky*. Přeložil Bogdan Kiszka. 2. aktualiz. a dopl. vyd. Brno: Computer Press, 2007. 567 s. ISBN 978-80-251-1503-9.

ESRI (2010a). *ArcGIS Server for the Microsoft .NET Framework 9.3 Help*. Redlands (California): ESRI, 2010.

[on-line] <<http://webhelp.esri.com/arcgisserver/9.3/dotNet>>

ESRI (2010b). *ArcGIS Desktop Help 9.3*. Redlands (California): ESRI, 2010.

[on-line] <<http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/>>

ESRI (2010c). *ArcGIS Server Resource Center*. Redlands (California): ESRI, 2010.

[on-line] <<http://resources.esri.com/arcgisserver/>>

ESRI (2010d). *GIS Dictionary*. Redlands (California): ESRI, 2010. [on-line] <<http://resources.arcgis.com/glossary>>

ESRI (2006). *ArcGIS 9: Using ArcGIS Desktop*. Redlands (California): ESRI Press, 2006. ISBN 978-1589481671.

ESRI (2004). *ArcGIS Server Administrator and Developer Guide*. Redlands (California): ESRI Press, 2004. 725 s. ISBN 978-1589480971.

GRASS Community (2010). *GRASS-Wiki*. [on-line] <http://grass.osgeo.org/wiki/Main_Page>

ISO (2009). *ISO/TC 211 Standards guide*. [on-line] <http://www.isotc211.org/Outreach/ISO_TC_211_Standards_Guide.pdf>

JEDLIČKA, K. (2010). *Geomorfologický informační systém* [disertační práce]. Ostrava: Institut geoinformatiky, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2010.

[on-line] <http://gis.zcu.cz/projekty/GmIS/Jedlicka_DSP>

JEDLIČKA, K. (2009). Accuracy of surface models acquired from different sources – important information for geomorphological research. In *Geomorphologia Slovaca et Bohemica*. Bratislava: Geografický ústav SAV, 2009. roč. 9. č. 1. s. 17-28. ISSN 1337-6799. [on-line] <<http://www.asg.sav.sk/gfsb/v091/gfsb090102.pdf>>

JEDLIČKA, K., BŘEHOVSKÝ, M. (2007). *Úvod do GIS* [on-line] <<http://geomatika.kma.zcu.cz/studium/ugi/elearning>>

JEDLIČKA, K., MENTLÍK, P. (2002). Hydrologická analýza a výpočet základních morfometrických charakteristik povodí s využitím GIS. In *Geoinformatika*. Ústí nad Labem: Univerzita Jana Evangelisty Purkyně, 2009. s. 46-58. ISBN 80-7044-410-X.

JEDLIČKA, K., SLÁDEK, J. (2009). Automatization of the base surface delimitation – Case Study in Fatransko-Turčiansky region. In *Geomorfologický sborník 8*. Tribun EU, 2009. ISBN 978-80-7399-746-5.

JEDLIČKA, K., ŠILHAVÝ, J. (2009). Mobile GIS – background of processing collected data. In *Sborník symposia GIS Ostrava 2009*. Ostrava: Tanger, 2009. s. 1-7. ISBN 978-80-87294-00-0. [on-line] <http://gis.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2009/sbornik/Lists/Papers/075.pdf>

LEDVINA J. (2009). *Přednášky z Distribuovaných systémů*. Západočeská univerzita v Plzni, 2009. [on-line] <<http://www.kiv.zcu.cz/~ledvina/Prednasky-DS-2009/>>

LONGLEY, P., A., et al. (2005). *Geographic Information Systems and Science*. 2nd edition. Chichester: Wiley, 2005. ISBN 978-0470870013.

MINÁR, J., et al. (2005). Geomorphological information system: idea and options for practical implementation. In *Geografický časopis*. roč. 57. č. 3. s. 247-266. ISSN 0016-7193.

NEUMAN, J. (1996). *Český výkladový a anglicko-český a česko-anglický překladový slovník : Geografická informace*. Praha: Ministerstvo hospodářství České republiky, 1996. ISBN 80-212-0130-4.

OGC (2010). *OGC Website*. 2010. [on-line] <<http://www.opengeospatial.org>>

OGC (2007). *OGC Web Services Common Specification*. 2007. [on-line] <<http://www.opengeospatial.org/standards/common>>

PACINA J. (2008). *Metody pro automatické vymezení elementárních forem georeliéfu jako součást Geomorfologického informačního systému*. [disertační práce]. Západočeská univerzita v Plzni, 2009.

- PACINA J. (2005). *Popis principu fungování vybraných prostorových analýz a jejich implementace v nekomerčním GIS GRASS pro názornou výuku*. [diplomová práce]. Západočeská univerzita v Plzni, 2005.
- PENG, Z., R., TSOU, M., H. (2003). *Internet GIS: Distributed Geographic Information Services for the Internet and Wireless Network*. Hoboken (New Jersey): Wiley, 2003. 720 s. ISBN 978-0471359234.
- PETERKA J. (2010). *eArchiv.cz : archiv článků a přednášek Jiřího Peterky*. 2010. [on-line] <<http://www.earchiv.cz>>
- RAPANT P. (2006). *Geoinformatika a geoinformační technologie*. Ostrava: Institut geoinformatiky, VŠB – TU Ostrava, 2006. ISBN 80-248-1264-9. [on-line] <http://gis.vsb.cz/rapant/publikace/knihy/GI_GIT.pdf>
- RICHTA K. (2003). Standardy pro Webové služby WSDL, UDDI. In *Moderní databáze 2003*. Praha: Komix, 2003, s. 19-30. ISBN 80-239-0753-0. [on-line] <<http://www.ksi.mff.cuni.cz/~richta/publications/Richta-MD-2003>>
- SAGA (2009). *SAGA – System for Automated Geoscientific Analyses*. Hamburg: SAGA User Group Association, 2009 [on-line] <<http://www.saga-gis.org>>
- SLÁDEK, J. (2006). *Geomorfologická analýza pohoria Žiar s dôrazom na detailný geomorfologický výskum vyšehradského sedla*. [diplomová práce]. Univerzita Komenského v Bratislave.
- ŠEBLOVÁ, V. (2004). *GIS řešení předpovědi rozsahu povodně vhodné pro menší a malé obce*. [diplomová práce]. Západočeská univerzita v Plzni, 2004.
- ŠÍMA, J. (2003). *Geoinformační terminologie pro geodety a kartografy. [Geoinformatic terminology for surveyors and cartographers]*. Zdiby: Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický.
- TRIZNA, M. (2004). *Klimageografia a hydrogeografia*. Bratislava: Geografika, 2004. 154 s. [on-line] <<http://fgg2005-ou.ic.cz/HYDPV/Hydrologie.pdf>>
- Wikipedia contributors (2010). *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. [on-line] <<http://en.wikipedia.org>>

Příloha A

Přiložené soubory

Struktura přiloženého disku DVD:

- **LaTeX** – adresář se zdrojovým textem práce v $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$
 - ImageData – adresář s obrázky
 - DP_Silhavy.tex – zdrojový dokument $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$
- **Ukazky** – adresář s ukázkami webové aplikace
 - Video/ – videoukázky práce s aplikací
 - Screens/ – snímky obrazovky z práce s aplikací
- **WebGmIS** – adresář se zdrojovými daty praktické části diplomové práce
 - Tools/ – serverová část (struktura adresáře viz 7.2.1)
 - Web Client/ – klientská část (struktura adresáře viz 7.5.1)
- DP_Silhavy.pdf – dokumentace diplomové práce
- WebGmIS.url – odkaz na webové stránky diplomové práce