

Slovenská technická univerzita v Bratislave, Stavebná fakulta

Ing. Dušan Cibulka

Autoreferát dizertačnej práce

**UPLATNENIE WEBOVÝCH SLUŽIEB PRI SPRÍSTUPŇOVANÍ
A SPRACOVANÍ GEODÁT**

na získanie akademického titulu doktor (philosophiae doctor, PhD.)

v doktorandskom študijnom programe: 3636 geodézia a kartografia

Bratislava 2012

Dizertačná práca bola vypracovaná v dennej forme doktorandského štúdia na Katedre geodetických základov Stavebnej fakulty Slovenskej technickej univerzity v Bratislave.

Predkladateľ: Ing. Dušan Cibulka
Katedra geodetických základov
Stavebná fakulta, STU v Bratislave
Radlinského 11, 813 68 Bratislava

Školiteľ: Prof. Ing. Ján Hefty, PhD.
Katedra geodetických základov
Stavebná fakulta, STU v Bratislave
Radlinského 11, 813 68 Bratislava

Oponenti: Prof. Ing. Aleš Čepek, CSc.
Katedra mapování a kartografie
Fakulta stavební, ČVUT v Praze
Thákurova 7, 166 29 Praha 6, Česká republika

Doc. Mgr. Jaroslav Hofierka, PhD.
Katedra geografie a regionálneho rozvoja
Fakulta humanitných a prírodných vied, Prešovská univerzita v Prešove
17. novembra 1, 081 16 Prešov

Ing. Jan Růžička, Ph.D.
Institút geoinformatiky
Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava
17. listopadu 15, 708 33 Ostrava – Poruba, Česká republika

Autoreferát bol rozoslaný:

Obhajoba dizertačnej práce sa koná o h
na Katedre geodetických základov SvF, STU v Bratislave, Radlinského 11, 813 68 Bratislava

Prof. Ing. Alojz Kopáčik, PhD.
dekan Stavebnej fakulty STU
Radlinského 11, 813 68 Bratislava

1 Úvod

GIS (geografický informačný systém) môže byť realizovaný rôznymi spôsobmi. S nástupom internetu sa jeden z týchto spôsobov javí ako veľmi efektívny. Jedná sa o použitie webových služieb. Tie dokážu zabezpečiť veľa funkcií, ktoré má GIS obsahovať a zároveň priniesť so sebou mnoho výhod. Využívajú prednosti webu, sú flexibilné a ich používanie je jednoduché a v prípade štandardizovaných služieb aj transparentné.

Dizertačná práca sa zaoberá práve využívaním webových služieb pri budovaní geografických informačných systémov prípadne infraštruktúr pre priestorové informácie. Sústreďuje sa na princípy architektúry orientovanej na služby a na jej výhody, ktoré by mohli priniesť pokrok pri budovaní GIS. V tejto súvislosti sa javia práve webové služby ako prostriedok, ktorý by mohol zabezpečiť hlavné komponenty systémov pracujúcich s heterogénnymi priestorovými údajmi. Pri týchto rôznorodých údajoch je výhodou, že webové služby majú schopnosť poskytovať ich prehľadným spôsobom. Dizertačná práca by mala objasniť využívanie a uplatnenie rôznych druhov webových služieb z oblasti priestorových informácií pri poskytovaní a spracovaní geoúdajov. Pri realizácii týchto aktivít je potrebné zamerať sa aj na medzinárodné špecifikácie a štandardy od organizácií, ktoré sa snažia zabezpečiť svojimi aktivitami interoperabilitu informačných systémov. Štandardizácia prináša do tejto oblasti veľa výhod, napríklad transparentnosť, flexibilitu, možnosť zdieľať komponenty a funkcionality systémov, možnosť prenosu údajov a iné. Využívanie týchto špecifikácií je základom ak chceme vytvoriť systém, ktorý nebude uzavretý voči okolitému svetu a bude schopný komunikovať nie len so systémami v rámci jednej organizácie. Moderne postavený systém by mal umožňovať komunikáciu naprieč organizáciami verejnej správy, súkromnej sféry ale aj nadnárodnú komunikáciu medzi organizáciami rôznych štátov bez ohľadu na to, aká legislatíva je práve v platnosti.

Praktická časť práce je zameraná práve na publikáciu vybraných údajov školiaceho pracoviska – Katedry geodetických základov prostredníctvom webových služieb. Ako súčasť tohto procesu sú v práci popisované sprievodné aktivity, ktoré bolo potrebné vykonať pred, počas a po publikácii údajov. V rámci týchto aktivít boli vyvinuté prototypy dvoch softvérov. Prvým je geoportál, ktorý umožňuje pracovať so štandardizovanými priestorovými službami a relevantnými špecifikáciami a zdrojmi. Druhým je nástroj WebTest, ktorý slúži na testovanie výkonnosti mapových služieb a na realizáciu základných metaúdajových testov. Súčasťou práce sú tiež odporúčania, ktoré vyplynuli z jej realizácie. V rámci nich sú naznačené predpoklady, ktoré je vhodné brať do úvahy pri realizácii podobných systémov.

2 Súčasný stav riešenej problematiky

2.1 Vývoj geografických informačných systémov

Pojem geografický informačný systém môže zahŕňať rôznorodé systémy. Vo všeobecnosti však platí, že GIS je definovaný ako celok skladajúci sa z piatich základných komponentov: ľudia, výpočtová technika, údaje, softvér a metódy. Dizertačná práca sa zameriava na softvér, ako na komponent, ktorý je ovplyvňovaný trendmi z oblasti informačných technológií.

Vývoj geografických informačných systémov môžeme rozdeliť do troch štádií. Tie priamo súvisia s vývojom v oblasti výpočtovej techniky. V minulosti bola možnosť stretnúť sa s centralizovanými GIS. Druhé štádium vývoja boli desktopové GIS, ktoré môžeme rozdeliť na samostatné tzv. stand-alone GIS a sieťovo založené GIS. Tretím štádiom vývoja sú distribuované GIS, ktoré môžeme označovať už ako distribuované geografické informačné služby. (Tsou, Peng, 2003). Distribuovaný GIS je podľa (Tsou, Peng, 2003) definovaný ako sieťovo založený GIS nástroj, ktorý používa internet alebo bezdrôtové siete ako hlavný

prostriedok na poskytovanie prístupu k distribuovaným údajom a iným informáciám, na rozširovanie priestorových informácií a na vykonávanie GIS analýz. Takýto GIS je postavený na pokročilých sieťových riešeniach. Najdôležitejší rozdiel je osvojenie si technológie distribuovaných komponentov, ktorá je schopná prepojenia a spolupráce s mnohými heterogénnymi systémami a platformami bez obmedzenia tradičných klient/server vzťahov. Sú dve možnosti ako realizovať technológiu distribuovaných komponentov, prvou je model komponentov distribuovaných objektov a druhou je použitie webových služieb. Práca sa zameriava práve na webové služby a na ich uplatniteľnosť pri budovaní moderného GIS.

2.2 Webové služby

Webové služby poskytujú možnosť komunikácie a interakcie medzi dvoma prístrojmi, respektíve aplikáciami prostredníctvom siete. Výhodou je, ak služby vyhovujú štandardom a špecifikáciám, ktoré zabezpečia zrozumiteľnosť rozhrania pre oboch účastníkov komunikácie. Webové služby sú založené na technológiách ako HTTP (Hypertext Transfer Protocol) (W3C HTTP, 2012), XML (Extensible Markup Language) (W3C XML, 2012), SOAP (Simple Object Access Protocol) (W3C SOAP, 2007), WSDL (Web Services Description Language) (W3C WSDL, 2001) a iných (W3C, 2004).

S webovými službami súvisí architektúra orientovaná na služby, alebo SOA (Service Oriented Architecture). Jedná sa o spôsob budovania systémov pomocou služieb. Podľa (Erl, 2005) je SOA asociovaná so súborom všeobecných charakteristík a výhod ako rozšíriteľnosť, znovupoužiteľnosť, interoperabilita, otvorenosť, nezávislosť na platformách, operačných systémoch alebo programovacích jazykoch a iných.

2.2.1 Webové služby z oblasti geografických informácií

Webové služby z oblasti geografických informácií a ich štandardizácia prinášajú pracovný rámec, ktorý umožňuje vytvárať softvér poskytujúci používateľom prístup a možnosť spracovávať geografické informácie z rôznorodých zdrojov cez všeobecné počítačové rozhranie v otvorenom informačno-technologickom prostredí (OGC Service Architecture, 2002). O štandardizáciu týchto služieb sa starajú hlavne dve organizácie, prvou je OGC (Open Geospatial Consortium) a druhou je Medzinárodná organizácia pre normalizáciu ISO (International Organization for Standardization) technická komisia TC 211 (technical committee) pre geografické informácie a geomatiku. Medzi služby štandardizované týmito organizáciami patria napríklad WMS (Web Map Service), WFS (Web Feature Service), WPS (Web Processing Service), WCS (Web Coverage Service), CSW (Catalogue Service), WMTS (Web Map Tile Service), WCTS (Coordinate Transformation Services), LS (Location Service). K podpore týchto a iných služieb sú zverejnené špecifikácie, ktoré tiež zabezpečujú a uľahčujú interoperabilný prístup k priestorovým údajom. Medzi tieto špecifikácie patria napríklad GML (Geography Markup Language), WMC (Web Map Context), FE (Filter Encoding), SLD (Styled Layer Descriptor), SE (Symbology Encoding) a iné. Ďalšou kapitolou z oblasti štandardizácie a webových služieb je takzvaný senzorový web, ktorý obsahuje interoperabilné rozhrania a metaúdajové kódovania umožňujúce integráciu heterogénneho senzorového webu do informačnej infraštruktúry. Patria sem jazyky a služby ako SensorML (Sensor Model Language), TML (Transducer Model Language), SOS (Sensor Observations Service), SPS (Sensor Planning Service), SAS (Sensor Alert Service), WNS (Web Notification Services). Úplný zoznam špecifikácií pre priestorové údaje od OGC je dostupný na internetovej stránke konzorcia (OGC, 2012).

2.3 Infraštruktúry pre priestorové informácie

Pojem IPI (infraštruktúra pre priestorové informácie) – SDI (Spatial Data Infrastructure) je často používaný na označenie príslušnej základnej kolekcie technológií, politik a inštitucionálneho usporiadania, ktoré uľahčujú dostupnosť a prístup k priestorovým údajom. K sprístupneniu priestorových údajov v rámci IPI sa využívajú práve webové služby spomínané v dizertačnej práci. IPI poskytuje základ pre vyhľadávanie priestorových údajov, ich hodnotenie a aplikácie pre používateľov a poskytovateľov vo všetkých úrovniach verejnej správy, komerčného a nekomerčného sektora, akademickú obec a občanov všeobecne. Aby mohla byť IPI realizovaná, musí zahŕňať organizačné dohody potrebné k jej koordinácii na lokálnej, národnej a nadnárodnej úrovni (SDI Cookbook, 2009). Príkladom infraštruktúr pre priestorové informácie sú napríklad nadnárodná infraštruktúra INSPIRE (Infrastructure for Spatial Information in Europe), alebo NSDI (National Spatial Data Infrastructure) v Spojených štátoch amerických, ktorú zastrešuje FGDC (Federal Geographic Data Committee). Medzi ďalšie infraštruktúry založené na podobných princípoch patria napríklad GMES (Global Monitoring for Environment and Security) alebo GEOSS (Global Earth Observing Systems of Systems).

3 Ciele dizertačnej práce

Návrh a realizácia webových služieb a geoportálu pre sprístupňovanie a spracovanie dát zvolenej domény, testovanie ich kvality a tvorba metodického návodu na ich zavádzanie.

Čiastkové ciele a úlohy:

1. Princípy, technológie a štandardizácia webových služieb pre zobrazovanie, získavanie a spracovanie dát v doméne GIS.
2. Rozbor teoretických možností a praktickej implementácie webových služieb.
3. Návrh vhodnej štruktúry uloženia dát pre oblasť geodézie a zhodnotenie jej kladov a záporov.
4. Návrh distribuovanej infraštruktúry webových služieb pre priestorové dáta geodézie a dáta produkované Katedrou geodetických základov vzťahujúcich sa k regiónu Slovenska a strednej Európy, ktorá by umožňovala priamy prístup používateľov k dátam, s možnosťou zobrazovania, získavania a spracovania dát cez štandardizované rozhranie webových služieb, primárne vo webovom prostredí.
5. Implementácia a testovanie webových služieb navrhovanej infraštruktúry.
6. Návrh a implementácia geoportálu ako centrálného vstupného bodu do navrhovanej infraštruktúry.
7. Tvorba metodického návodu pre sprístupňovanie geodát geodézie prostredníctvom webových služieb.
8. Vytvorenie nástroja na testovanie webových služieb.
9. Testovanie funkcionality vytvorenej infraštruktúry voči zadaným požiadavkám, zhodnotenie využívania a možností jej rozšírenia.

4 Praktická časť

4.1 Vstupné údaje

Pre potreby praktickej časti práce boli vybrané vzorové údaje z oblasti geodézie, ktoré sú používané alebo produkované na KGZA (Katedra geodetických základov). Zoznam týchto údajov sa nachádza v tabuľke 4-1.

Tabuľka 4-1 Vstupné údaje

Vrstva	Popis
Relatívny kvázigeoid	Relatívny model kvázigeoidu pre oblasť Slovenska vypočítaný z modelu EGM08 (Earth Gravitational Model) a SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). (EGM, 2010)
Zvislicové odchýlky	Zvislicové odchýlky pre oblasť Slovenska vo forme modelov pre meridiánovú a priečnu zložku vypočítané z modelu EGM08 a SRTM.
Model SRTM	Výškový model SRTM pre oblasť strednej Európy. (SRTM, 2009)
Modely obsahu vodnej pary (PWV) v troposfére	Modely obsahu vodnej pary (PWV - Precipitable Water Vapour) v troposfére pre oblasť Slovenska počítané z meraní permanentných staníc GNSS (Globálne navigačné satelitné systémy). (Igonďová, Cibulka, 2010).
Sieť bodov CEPER	Sieť bodov permanentných staníc CEPER (CEGRN, 2012).

4.2 Návrh infraštruktúry

Pri návrhu infraštruktúry bolo potrebné brať do úvahy požiadavky na budúci systém. Navrhované technológie museli byť zvolené s ohľadom na ich možnosti tak, aby zabezpečovali požadovanú funkcionálnosť. Medzi základné požiadavky, ktoré boli kladené na realizovanú infraštruktúru pracujúcu s priestorovými údajmi patria možnosť zobrazovať vlastné údaje v mapovom klientovi, možnosť prepojiť cudzie údaje z iných infraštruktúr, možnosť prepojiť vlastné údaje do iných infraštruktúr, možnosť upravovať údaje, možnosť vykonať spracovanie údajov. Okrem týchto základných požiadaviek existuje mnoho ďalších, ktoré bývajú kladené na špecifické IPI. Medzi všeobecné požiadavky, ktoré boli kladené na realizovanú infraštruktúru môžeme zahrnúť otvorenosť, rozširiteľnosť, interoperabilita, dostupnosť, nezávislosť na jednom produkte alebo jednej platforme, kompatibilita s platnou legislatívou. Z týchto požiadaviek vyplýva, že pri návrhu infraštruktúry bolo vhodné využiť výhody SOA a existujúcich štandardov a špecifikácií, ktoré v tejto oblasti existujú. Bolo navrhnuté použiť špecifikácie ISO a OGC. Konkrétne webové služby WMS (OGC WMS, 2006), WFS (OGC WFS, 2010) a WCS (OGC WCS, 2012), ktoré umožňujú sprístupniť rastrové a vektorové údaje. Možnosť spracovania údajov by mala byť zabezpečená prostredníctvom služieb WPS (OGC WPS, 2007). Tieto služby umožňujú implementovať ľubovoľné procesy, prípadne ich reťazenie.

4.3 Realizácia služieb

4.3.1 Príprava údajov

Pred realizáciou služieb bolo potrebné publikované údaje harmonizovať. Bolo vykonané posúdenie využiteľných formátov, ktoré umožňujú uloženie rastrových modelov. Toto posúdenie je širšie popísané v (Cibulka, 2011). Pre potreby uchovávaní a publikácie modelov SRTM, relatívneho kvázigeoidu a zvislicových odchýlok bol použitý formát GeoTIFF, ktorý umožňuje vytvárať interné pyramídy a dlaždice. Aj vďaka tomu je tento formát dostatočne výkonný. Zároveň podpora formátu GeoTIFF je v súčasných softvéroch široká.

Model relatívneho kvázigeoidu bol pre publikáciu prevedený do troch foriem, rastra s exaktnými hodnotami, rastra ako hypsometrickej vizualizácie a do líniových vektorových vrstiev vo forme izočiar kvázigeoidu v intervaloch 0,1 a 0,01 metra.

Modely zvislicových odchýlok boli pre publikáciu prevedené do dvoch foriem, rastrov s exaktnými hodnotami a do formy troch bodových vektorových vrstiev, ktoré obsahujú atribúty smer a veľkosť zvislicovej odchýlky v mieste bodu. Tieto bodové vektory majú vzdialenosť susedných bodov 0,2, 0,05 a 0,01 stupňa.

Model SRTM bol pre publikáciu prevedený do dvoch foriem, rastra s exaktnými hodnotami a vizualizácie modelu, ktorá vznikla spojením hypsometrickej reprezentácie a tieňovaním modelu.

Pre potreby ukladania a publikovania špecifických údajov PWV bol okrem formátu GeoTIFF použitý aj formát ArcInfo ASCII Grid. Širší popis riešenia pre uloženie tohto typu údajov je popísaný v (Cibulka, 2010) a (Igonďová, Cibulka, 2010).

Sieť bodov CEPER bola uložená vo formáte Shapefile. Tento formát umožňuje uloženie geometrickej aj atribútovej zložky geoúdajov. Použitie tohto formátu je jednoduché a v prípade malého objemu údajov aj postačujúce. Ak by sa jednalo o väčší objem údajov, alebo o zložitejšiu štruktúru, bolo by vhodnejšie uloženie údajov v databáze s priestorovou nadstavbou (napríklad PostgreSQL/PostGIS).

4.3.2 Publikácia služieb pre sprístupnenie údajov

K publikácii služieb pre sprístupnenie údajov boli použité programy MapServer a GeoServer. Pre jednotlivé vrstvy publikované programom GeoServer boli vytvorené SLD štýly. Programom GeoServer boli publikované služby typu WMS, WMS-C (Web Mapping Service - Cached), WCS a WFS. Zoznam vrstiev publikovaných programom GeoServer sa nachádza v tabuľke 4-2.

Tabuľka 4-2 Zoznam vypublikovaných vrstiev pre program GeoServer

Meno	Popis	Podvrstvy	Popis	V	I
srtm	skupina vrstiev modelu SRTM	srtm_model	model s exaktnými hodnotami	N	A
		srtm_visualization	vizualizácia modelu	A	A
kvasigeoid	skupina vrstiev kvázigeoidu	kvasigeoid_model	model s exaktnými hodnotami	N	A
		kvasigeoid_visualization	vizualizácia modelu	A	A
kvasigeoid_lines	izočiary kvázigeoidu	kvasigeoid_lines_01	izočiary kvázigeoidu v intervale 0,1 m	A	A
		kvasigeoid_lines_001	izočiary kvázigeoidu v intervale 0,01 m	A	A
dov	zvislicové odchýlky	dov_points_02	body s rozstupom 0,2°	A	A
		dov_points_005	body s rozstupom 0,05°	A	A
		dov_points_001	body s rozstupom 0,01°	A	A
		dov_ksi_model	modely s exaktnými hodnotami	N	A
		dov_eta_model		N	A
ceper_sites	body siete CEPER	---	---	A	A

Vysvetlivky:

- V – viditeľnosť vrstvy
- I – identifikovateľnosť prostredníctvom operácie GetFeatureInfo
- A – áno / N - nie

Programom MapServer boli vypublikované údaje PWV a nPWV ako vrstvy WMS Time (MapServer WMS Time, 2006).

4.3.3 Publikácia služieb pre spracovanie údajov

Webové služby pre spracovanie údajov boli nasadené do infraštruktúry dvoma softvérmí. Pomocou WPS rozšírenia nástroja GeoServer (GeoServer WPS, 2012) a pomocou 52° North WPS - repozitár Sextante (52° North, 2012) boli sprístupnené rôzne priestorové operácie, ktoré

sú súčasťou týchto riešení. Tieto operácie obsahujú veľa štandardných procesov potrebných pri spracovaní alebo analýze priestorových údajov. Spolu tieto dva nástroje ponúkajú 290 operácií.

Na demonštráciu štandardizovaného sprístupnenia výpočtu bola implementovaná WPS operácia, ktorá počíta meridiánovú konvergenciu. Algoritmus výpočtu meridiánovej konvergencie bol prebratý z (Melicher, Husár, 1999). Vstupom pre výpočet sú:

- bodové objekty, v súradniciach X a Y týchto bodov sa bude počítať meridiánová konvergencia,
- súradnicový systém vstupných bodov.

4.3.4 Odporúčania pre publikáciu služieb

Najefektívnejší spôsob sprístupňovania geoúdajov zabezpečujúci interoperabilitu sú v súčasnosti štandardizované webové služby. Ich využívanie prináša so sebou výhody SOA. Je vhodné využívať služby pre prístup k údajom a metaúdajom ako CSW, WMS, WMTS, WMS-C, WFS, WCS. Údaje publikované týmito službami je možné využívať v iných infraštruktúrach a klientoch prípadne bezproblémovo ich kombinovať s ďalšími údajmi z rovnakých služieb. Publikácia služieb pre sprístupnenie geoúdajov by mala byť vykonaná v niekoľkých na seba nadväzujúcich krokoch podľa nasledovného metodického postupu:

- Analýza publikovaných údajov a požiadaviek na účel a formu ich sprístupnenia. Je nevyhnutné zosumarizovať potreby používateľov, ktoré ovplyvnia budúce služby a klienta pre služby.
- Výber vhodných špecifikácií a formátov na sprístupnenie údajov. Je potrebné zvážiť, či majú byť údaje sprístupnené iba na prezeranie, alebo majú byť k dispozícii aj zdrojové údaje, ktoré sú nevyhnutné pri ďalšej práci s údajmi. Tiež je tu potrebné brať do úvahy predpokladaný počet používateľov služieb a aký je objem publikovaných údajov. Súčasťou je tiež výber verzií jednotlivých špecifikácií, novšie verzie často prinášajú širšie možnosti, ale ich podpora v existujúcich nástrojoch nie je samozrejmosťou. Pokiaľ ide o formát údajov, vzhľadom na prostredie webu je výhodné na prenos údajov uprednostniť formáty založené na XML.
- Výber softvéru, ktorý by mal nasledovať až po výbere vhodných špecifikácií a to tak, aby zvolený softvér vyhovoval všetkým navrhnutým špecifikáciám a formátom.
- Návrh publikácie služieb, vrstiev prípadne skupín vrstiev, súčasťou ktorého by mal byť aj návrh štruktúry, formátov a rozhraní pre jednotlivé vrstvy. Musia sa brať do úvahy také typy uloženia údajov, ktoré ponúkajú možnosť ich rýchleho čítania z údajového skladu. Môžu to byť formy údajových skladov, ktoré využívajú priestorové indexy, prípadne obsahujú odvodené prehľadové vrstvy.
- Reštrukturalizácia publikovaných údajov, konverzia do požadovaného formátu a štruktúry. Pre potreby vyššej výkonnosti je vhodné transformovať údaje do jedného alebo viacerých súradnicových systémov, v ktorých budú najčastejšie využívané.
- Konfigurácia služieb a ich nasadenie. Realizácia tohto kroku je závislá od zvoleného produktu alebo produktov, ktoré boli k publikácii služieb navrhnuté.
- Testovanie a ladenie služieb. Testovanie implementovaných služieb môže obsahovať overovanie všetkých parametrov kvality služieb, alebo iba vybraných parametrov, ktoré sú považované za primárne. Miera testovania a ladenia sa môže prejaviť pri prevádzke systému, kedy sa môžu vyskytnúť nečakané zlyhania alebo nežiaduce chyby. Tie bývajú zapríčinené absenciou alebo nesprávnou realizáciou niektorých typov testov.

Pri všetkých krokoch je potrebné brať do úvahy interoperabilitu, otvorenosť, rozšíriteľnosť, dostupnosť, prispôsobiteľnosť a podobné pozitívne vlastnosti moderných systémov.

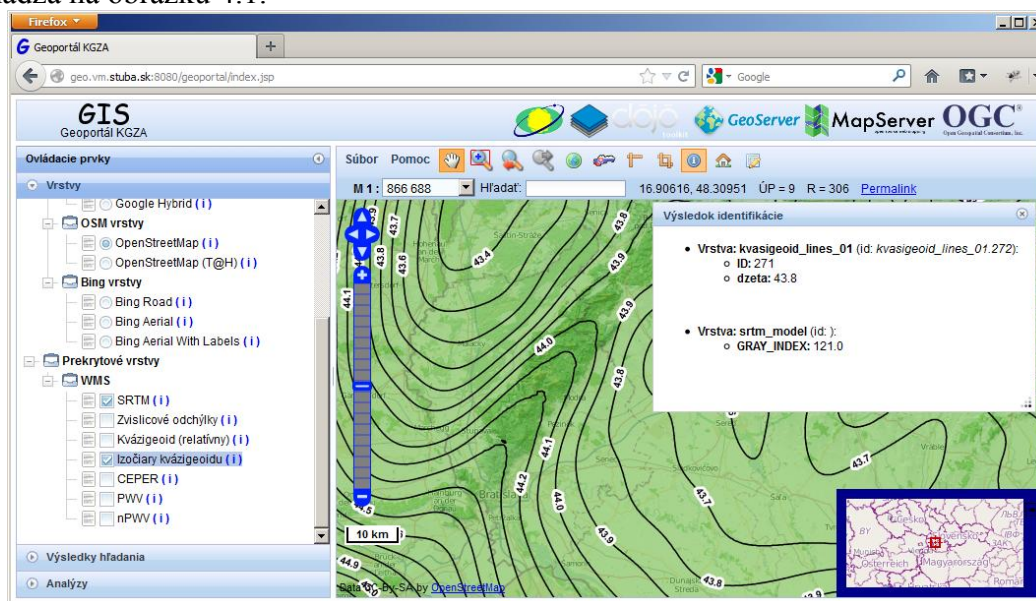
Pri službách typu WMS, WMS-C, WMTS je potrebné zamerať sa na:

- kartografiu mapovej služby (pokiaľ možno využiť SLD),
- generalizované vrstvy (potrebné kvôli prehľadnosti a výkonnosti),
- spájanie vrstiev do skupín (vytváranie mapovej kompozície),
- ladenie mapovej kompozície v závislosti od mierky (je potrebné zobrazovať primeraný počet objektov v mape tak, aby bola mapa prehľadná a výkonnosť mapovej služby uspokojivá),
- pridávanie prehľadových vrstiev (uplatnia sa pri prvom načítaní služby, kedy je zobrazované celé záujmové územie služby).

Spracovanie údajov je potrebné zabezpečiť prostredníctvom štandardizovaných služieb ako WPS. Procesy budú takto využiteľné ľubovoľným klientom bez potreby inštalácie prostriedkov zabezpečujúcich chod algoritmov.

4.4 Realizácia geoportálu

K interakcii používateľa s infraštruktúrou bol vyvinutý prototyp geoportálu, ktorý umožňuje pracovať s realizovanými priestorovými službami. K implementácii funkcií geoportálu boli využívané JavaScriptové triedy knižnice OpenLayers a vlastné JavaScriptové funkcie. Pri geoportáli sú samozrejmosťou nástroje pre prácu s mapou. Geoportál bol naprogramovaný tak, aby podporoval prístup k ľubovoľným službám typu WMS, WFS, WFS-T a WPS. Umožňuje načítavať, upravovať, spracovávať a ukladať vektorové formáty GML, GeoJSON (Geographic JavaScript Object Notation), GPX (GPS Exchange Format) a WKT (Well-Known Text). Možnosť definovať štýl týmto vektorovým údajom je zabezpečená podporou SLD. Užitočnou vlastnosťou je možnosť uložiť mapovú kompozíciu do formátu WMC pre potreby budúceho načítania, prípadne aby bolo možné mapovú kompozíciu preniesť do iného klienta, ktorý podporuje špecifikáciu WMC. Pre potreby práce s geoúdajmi boli do geoportálu začlenené voľne dostupné mapové podklady zo serverov Google Maps, Bing Maps a OSM (OpenStreetMap). Vďaka tomu sú v aplikácii dostupné dva zdroje leteckých snímok, a tri rôzne podkladové mapy. Realizovaný geoportál ako kombinácia OpenLayers a Dojo toolkit sa nachádza na obrázku 4.1.

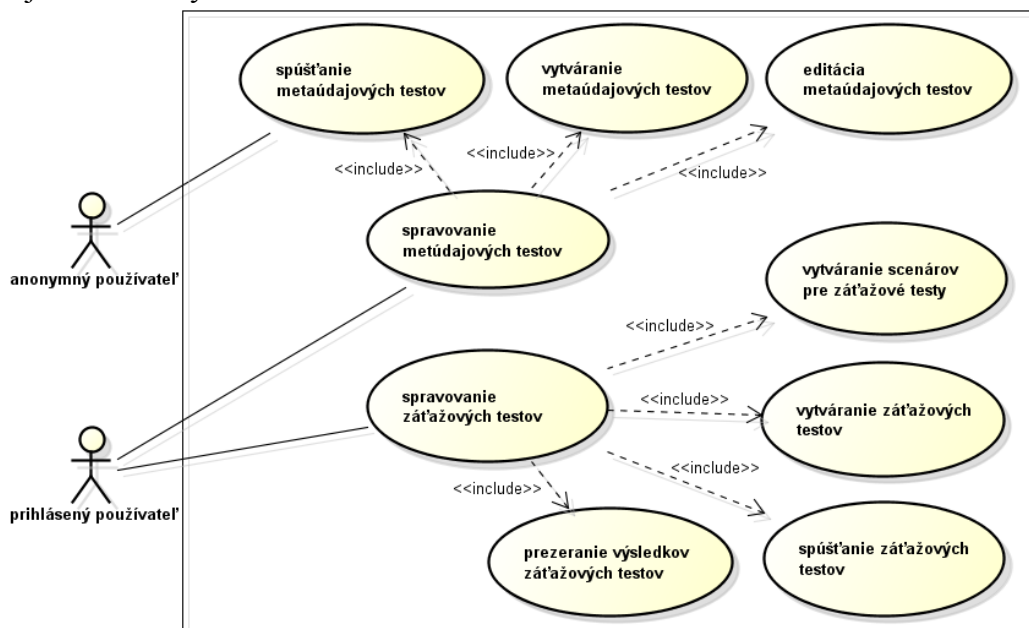


Obrázok 4.1 Realizovaný geoportál

Geoportál bol realizovaný tak, aby využíval štandardizované rozhrania webových služieb. Príkladom sú operácie GetCapabilities, GetFeatureInfo, DescribeFeatureType a iné.

4.5 Nástroj na testovanie webových služieb - WebTest

Po realizácii služieb je potrebné overiť ich nastavenie a správnu konfiguráciu dátových štruktúr, vrstiev, mierok a štýlov. V súčasnosti je k dispozícii väčšie množstvo programov, ktoré umožňujú vykonať testovanie webových aplikácií zo strany používateľa. Medzi ne patria aj komerčný program WAPT (WAPT, 2011) alebo Open Source JMeter (JMeter, 2012). Spôsob testovania týchto nástrojov spočíva v cyklickom odosielaní žiadostí, vyhodnocovaní odpovedí a v meraní oneskorenia, času odozvy, objemu prenesených údajov, počtu chýb a iných parametrov. Pre potreby simulácie viacerých používateľov je možné nastaviť počet súčasných používateľov. V rámci dizertačnej práce bol vyvinutý prototyp nástroja, ktorý na podobnom princípe umožňuje testovanie priestorových služieb. Jeho pracovný názov je WebTest. Nástroj je primárne určený na záťažové testovanie, ale umožňuje tiež spravovať základné metaúdajové testy, ktoré kontrolujú správnosť XML dokumentov. Diagram prípadov použitia pre nástroj WebTest je znázornený na obrázku 4.2



Obrázok 4.2 Diagram prípadov použitia nástroja WebTest

Nástroj bol realizovaný ako trojvrstvová webová aplikácia. Skladá sa z troch častí, z jadra aplikácie, z webového používateľského rozhrania a z databázy.

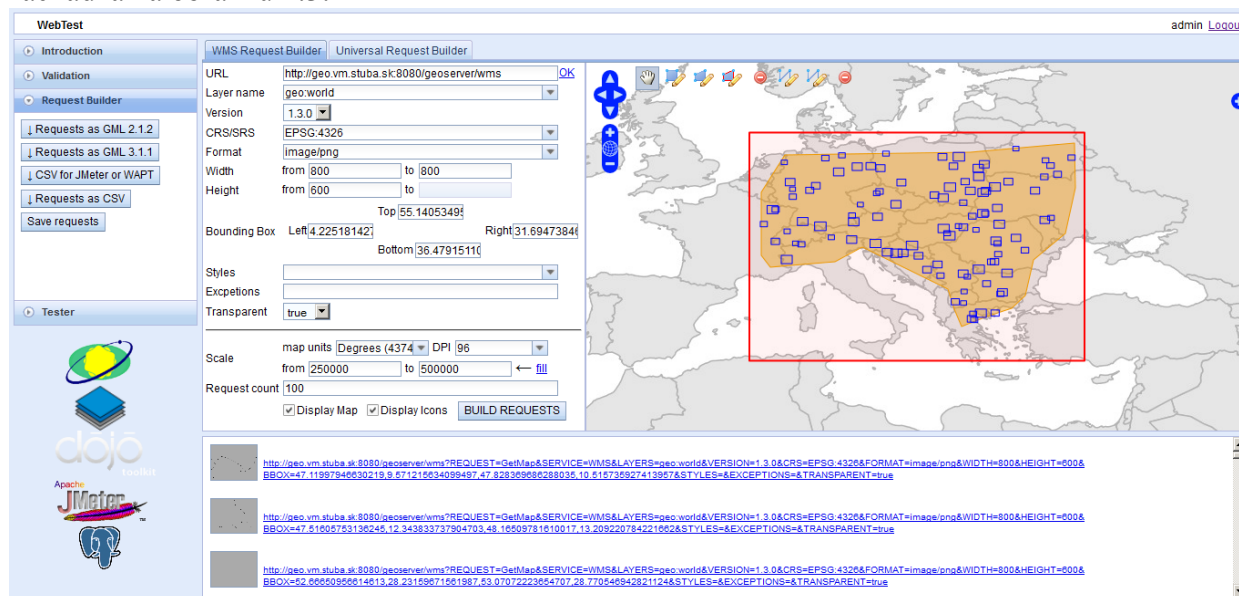
Jadro aplikácie je naprogramované v jazyku Java, a je v ňom zahrnutá logika testovania. V tejto časti aplikácia využíva vybrané triedy z Open Source programu JMeter (JMeter, 2012).

Rozhranie na ovládanie nástroja je realizované ako webová aplikácia (HTML (Hypertext Markup Language), JavaScript, Dojo Toolkit, OpenLayers). Konfigurácia jednotlivých záťažových a metaúdajových testov sa vykonáva na strane klienta a nakonfigurované testy sa ukladajú na server vo forme XML dokumentu a záznamu do databázy. Logika webovej aplikácie zo strany servera potrebná na spravovanie testov, spúšťanie a prezeranie výsledkov testov je zabezpečená prostredníctvom JSP (Java Server Pages). Na obmedzenie prístupu neprihlásených používateľov k niektorým funkciám bol použitý nástroj Spring Security.

Informácie o testoch a výsledky testovania sú ukladané do databázy PostgreSQL (PostgreSQL, 2012). Výsledky testovania uložené v databáze je možné jednoduchým spôsobom vyhodnotiť a vyselektovať štatistiku z jednotlivých spustených testov. Uloženie výsledkov do databázy umožňuje aj dlhodobé testovanie dostupnosti, bez obáv zo straty nameraných hodnôt.

Pri prezeraní výsledkov testovania je potrebné ako súčasť výsledku testu vykresľovať rôzne typy grafov, ktoré znázorňujú závislosti vybraných parametrov kvality služieb. K vykresľovaniu týchto grafov bola použitá knižnica JFreeChart (JFreeChart, 2011).

Nástroj WebTest a rozhranie slúžiace na konfiguráciu scenárov pre záťažové testovanie sa nachádza na obrázku 4.3.



Obrázok 4.3 Nástroj na testovanie mapových služieb

Na obrázku 4.3 sú náhodne vygenerované geografické ohraničenia, ktoré sú spolu so záujmovým územím zobrazené v mapovom okne aplikácie WebTest.

Pri realizácii záťažových testov pomocou nástroja WebTest je možné určiť oneskorenie alebo čas odozvy v závislosti od mierky mapy, čo pri klasických aplikáciách na testovanie výkonnosti nie je priamo možné. Nástroj umožňuje určiť kvalitu služby v závislosti od konfigurácie služby a žiadostí, počtu používateľov alebo iných parametrov.

Na testovanie metaúdajov služieb a validáciu XML dokumentov v nástroji WebTest boli použité technológie XSLT (Extensible Stylesheet Language Transformations) (W3C XSLT, 1999), Schematron (ISO/IEC 19757-3:2006, 2006) a XML schéma (W3C XML Schema, 2012). Ako XSLT procesor je použitý Open Source produkt Saxon-HE (home edition) (Saxon-HE, 2011). Princíp validácie spočíva v možnosti vytvoriť Schematron, ktorý by umožňoval skontrolovať štruktúru XML dokumentu a obsah elementov. Pri vytváraní sa tento Schematron prekladá do XSLT dokumentu. Pomocou tohto XSLT dokumentu sa kontrolujú vstupné XML a následne sa vypisuje používateľovi výsledok kontroly, ktorý zobrazuje správne a chybné elementy, prípadne podporné informácie. Validácia pomocou Schematronu a XSLT môže byť doplnená validáciou voči XML schéme. Výsledky oboch kontrol sú zobrazované v HTML výstupe validácie. Kontrolované XML dokumenty je možné do aplikácie nahrávať z disku počítača, alebo je možné zadať URL (Uniform Resource Locator) takéhoto dokumentu. K vytváraniu a úprave metaúdajových scenárov bolo vytvorené grafické rozhranie, v ktorom je možné editovať zdrojový kód Schematronu a XSLT dokumentu. K zvýrazňovaniu editovaného zdrojového kódu bola použitá Open Source knižnica CodeMirror (CodeMirror, 2012). Scenáre potrebné pri validácii metaúdajov sú ukladané v súborovom systéme. Keďže validácia metaúdajov sa vykonáva synchronne, nie je potrebné dlhodobé ukladanie výsledkov validácie a tieto výsledky sú priamo odosielané používateľovi.

4.6 Testovanie infraštruktúry

Testovanie softvéru zahŕňa viacero problematik. Medzi tieto problematiky patria predmety testovania ako: Akceptačné testovanie, Inštalčné testovanie, Alfa a beta testovanie, Funkčné testovanie, Testovanie spoľahlivosti, Regresné testovanie, Testovanie výkonu, Stresové testovanie, Testovanie obnoviteľnosti, Testovanie konfigurovateľnosti a Testovanie použiteľnosti (Abran, Moore, 2004). S testovaním webových služieb súvisia parametre kvality služieb (QoS - Quality of Service) medzi ktoré podľa (INSPIRE PG, 2007) a (W3C, 2003) patrí výkonnosť, spoľahlivosť, škálovateľnosť, kapacita, presnosť, prístupnosť, dostupnosť, interoperabilita, bezpečnosť, integrita, odolnosť, správa výnimiek a so sieťou súvisiace požiadavky na QoS.

Testovaním výkonnosti WMS sa zaoberá napríklad (Horák et al., 2009) alebo (Kliment, Cibulka, 2011). Popis testovania INSPIRE zobrazovacích služieb je dostupný z (INSPIRE VS TG 3.1, 2011). Výsledky porovnávania výkonnosti rôznych mapových serverov a konfigurácií sú dostupné napríklad v (Anderson, Deoliveira, 2007) alebo (WMS Benchmarking, 2011). Existuje veľa metód ako zvýšiť výkonnosť mapových služieb. Je možné použiť vhodné formáty, údajové sklady, upraviť údajový model atď. Tiež prostriedky ako load balancing, high availability, cluster computing a iné dokážu zvýšiť výkonnosť operácií. Niektoré z týchto techník sú popísané v (Yang et al., 2005).

V rámci testovania infraštruktúry boli vykonané testy funkčnosti webových služieb a testovanie vybranej časti parametrov kvality webových služieb, konkrétne výkonnosti a kapacity.

Testovanie funkčnosti webových služieb bolo realizované prostredníctvom GIS klientov. Všetky realizované služby boli testované pomocou vyvinutého geoportálu, čiže knižnicou OpenLayers a pomocou programu Quantum GIS. Po realizácii testov bolo možné konštatovať funkčnosť implementovaných služieb. Ako problém sa v súčasnosti javí používanie WPS služieb. Komunikácia medzi implementovanými WPS a programom Quantum GIS neprebíhala korektne. Je potrebné poznamenať, že využívanie tohto typu služieb nie je v súčasných GIS nástrojoch dostatočne podporované.

4.6.1 Postup pri záťažovom testovaní webových mapových služieb

V rámci práce bol spracovaný metodický postup záťažového testovania webových mapových služieb. Tento postup sa skladá z nasledovných bodov:

Príprava testovacích scenárov

Zahŕňa prípravu žiadostí na službu, ktoré budú odosielané počas testovania. Je potrebné simulovať prácu používateľov tak, aby bola služba otestovaná v rôznych geografických ohraničeniach a v rôznych mierkach. Výsledkom môže byť séria WMS žiadostí GetMap, alebo hodnoty týchto žiadostí. Takýto scenár by mal byť vo formáte, ktorý je zrozumiteľný pre testovací nástroj.

Definícia parametrov testu

Pri záťažovom testovaní je potrebné zdefinovať vybrané parametre testu medzi ktoré patria dĺžka testu, počet používateľov, perióda nábehu používateľov, prestávky medzi žiadosťami a iné. Testy výkonnosti, kapacity alebo dostupnosti sa odlišujú hlavne týmito parametrami.

Monitorovanie systému

Počas testovania je vhodné monitorovať testovaný systém. Medzi časti hardvéru, ktorých parametre môže byť potrebné monitorovať patria napríklad procesor, prípadne viac procesorov, RAM (Random access memory), pevný disk, parametre sieťového pripojenia a iné. Okrem parametrov hardvéru je možné sledovať aj správanie sa softvérových prostriedkov.

Spustenie testu

Samotné spustenie záťažového testovania by malo byť vykonané s ohľadom na prevádzku systému. Je potrebné brať ohľad na rôzne typy testov tak, aby testy neobmedzovali používateľov a aby používatelia neovplyvňovali testovanie. Výsledky záťažového testovania je vhodné zaznamenávať takým spôsobom, ktorý by v prípade preťaženia testovaného systému alebo testovacieho klienta zabezpečil ich trvalé uchovanie.

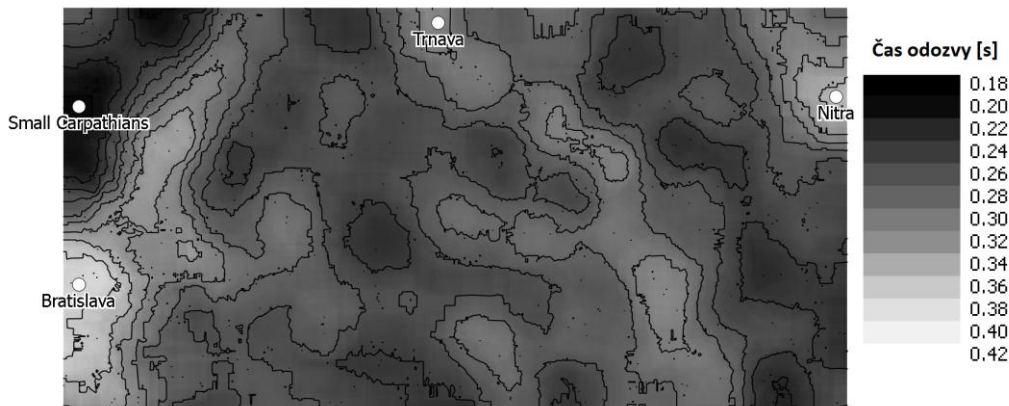
Spracovanie výsledkov

Po ukončení testu je potrebné všetky zaznamenané hodnoty spracovať, prípadne vizualizovať. Štandardný spôsob vizualizácie výsledkov je vykresľovanie údajov do grafov, ktoré znázorňujú závislosť zaznamenaných údajov od času testovania, prípadne od iných hodnôt. Medzi klasické grafy, ktoré bývajú výsledkom záťažového testovania môžeme zaradiť závislosť času odozvy od času testovania, závislosť času odozvy od počtu používateľov, závislosť oneskorenia od času testovania, závislosť počtu vybavených žiadostí za sekundu od času testovania, alebo závislosť počtu vybavených žiadostí za sekundu od počtu používateľov.

Pri mapových službách pribúda ďalší graf, ktorý predstavuje závislosť času odozvy alebo oneskorenia od mierky mapy. Tento graf má význam sledovať hlavne pri WMS službách, ktoré nevyužívajú medzipamäť (cache). Na základe tohto grafu je možné určiť mieru vyladenia mapovej kompozície, prípadne overiť výkonnosť v nepriaznivých mierkach.

V prípade, že je počas testovania zaznamenávaná aj poloha žiadostí (WMS parameter BBOX alebo jeho ťažisko) je možné určiť závislosť ukazovateľov charakterizujúcich výkonnosť od polohy žiadosti v rámci geografického ohraničenia služby. Na základe takýchto výsledkov testovania vieme rozhodnúť, či je služba dostatočne výkonná napríklad v intraviláne a v extraviláne, alebo v obdobných miestach s rôznou hustotou objektov. Pokiaľ je možné, služba by mala mať vyhovujúce ukazovatele vo všetkých polohách. Takéto výsledky testovania je možné interpretovať a získať tak dva typy modelov:

- Dvozmerný model výkonnosti - v prípade jednej mierky mapy môžeme hovoriť o dvozmernom modeli výkonnosti, ktorý môže byť interpolovaný z hodnôt X a Y žiadosti a z výkonnosti. Príklad dvozmerného modelu výkonnosti je znázornený na obrázku 4.4.



Obrázok 4.4 Dvozmerný model výkonnosti mapovej služby

- Trojrozmerný model výkonnosti - v prípade všetkých mierok by išlo o trojrozmerný model výkonnosti mapovej služby, ktorý môže byť interpolovaný z hodnôt X a Y žiadosti, mierka mapy a z výkonnosti.

Základné vyhodnotenie záťažového testovania by malo obsahovať počet žiadostí odoslaných v rámci testu, priemer časov odozvy alebo oneskorení, minimálna a maximálna hodnota času odozvy alebo oneskorenia, smerodajná odchýlka času odozvy alebo oneskorenia, počet chýb, počet vybavených žiadostí za sekundu, objem prenesených údajov za sekundu, priemerná veľkosť odpovede, graf závislosti času odozvy od času testovania a graf závislosti počtu vybavených žiadostí za sekundu od času testovania. Z týchto hodnôt je možné vyvodiť prvé závery o výkonnosti služby. Na základe vyhodnotenia výsledkov testov a v prípade nepriaznivých výsledkov testov je možné vykonať úpravu konfigurácie a ladenie služby na rôznych úrovniach:

- úpravu konfigurácie a ladenie údajového skladu (napríklad zmena alebo úprava formátu alebo priestorových indexov),
- úpravu konfigurácie a ladenie služby (napríklad úprava mapovej kompozície, zmena kartografie alebo dostupných mierok mapy),
- úpravu konfigurácie a ladenie serverov (webový server, aplikačný server, operačný systém).

V krajných prípadoch môže byť potrebné zmeniť typ služby, napríklad zo služby WMS na služby typu WMTS (OGC WMTS, 2010) alebo WMS-C (OSGeo WMS-C, 2010), ktoré dosahujú vyšší výkon pri hardvérovo rovnakých systémoch.

Vhodný spôsob realizácie testov je vykonanie testovania realizovaných služieb po vrstvách. Po otestovaní a vyladení všetkých vrstiev je možné pristúpiť k testovaniu celej služby a všetkých jej vrstiev. Po vyladení jednotlivých služieb je možné pristúpiť k testovaniu, počas ktorého sa budú testovať všetky služby daného systému. Takéto komplexné záťažové testovanie by malo simulovať predpokladané vyťaženie systému v praxi.

Veľká časť postupu záťažového testovania popísaného v tejto kapitole je implementovaná do nástroja WebTest vyvinutého v rámci dizertačnej práce.

4.6.2 Zátťažové testovanie realizovaných služieb

Služby realizované programom GeoServer boli umiestnené na dvoch serveroch (označených ako S1 a S2), ktoré mali diametrálne odlišné parametre:

- S1: 2 jadrový Pentium Dual-Core E5200 @ 2,50GHz, 3,18 GB RAM, operačný systém Windows XP + SP3, NVIDIA GeForce 9300, Oracle Java,
- S2: 16 jadrový AMD Opteron 6128, 24 GB RAM, operačný systém Ubuntu 10.04, Open JDK a Oracle Java.

Služba WMS Time pre údaje PWV realizovaná programom MapServer bola umiestnená na počítači (označenie S3) s parametrami:

- S3: AMD Athlon 64 3000+, 687 MB RAM, operačným systémom Fedora 12 – Kernel Linux 2.6.32.21, GNOME 2.28.2.

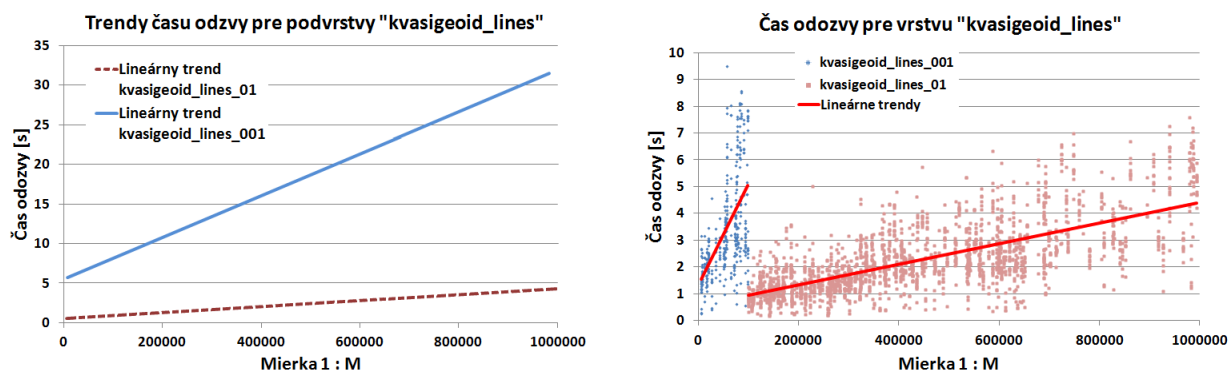
Realizované služby boli podrobené záťažovému testovaniu vykonanému pomocou nástroja WebTest. Testovanie prebehlo v rámci 1.0 Gbps lokálnej siete a bolo vykonané z počítača Intel Core i3 2,27 GHz, 6 GB RAM, OS Windows 7 64-bit. Formát obrázku testovania bol „image/png“. Šírka a výška všetkých žiadostí bola 800 a 600 pixelov. Testovanie bolo vykonávané v rámci celého geografického ohraničenia danej vrstvy. Parametre testovania boli nastavené konštantne, aby bolo možné porovnať rozdiely jednotlivých vrstiev, typov údajov a serverov. V tabuľke 4-3 sa nachádzajú výsledky testovania služieb nasadených na serveroch S1 a S3.

Tabuľka 4-3 Parametre a výsledky testovania realizovaných služieb

Služba / Server	Vrstva / podvrstva	CRS testovania	Dĺžka testu [s]	Počet klientov	Periódna nábehu [s]	Prestávka medzi žiadosťami [s]	Počet žiadostí v scenári	Mierka od	Mierka do	Počet odoslaných žiadostí	Priem. čas odozvy [s]	Št. odchýlka času odozvy [s]	Priemerné oneskorenie [s]	Max. čas odozvy [s]	Min. čas odozvy [s]	Počet chýb	Priemerné bajtov	Priechodnosť [žiadosť/s]
S1	srtm	900913	600	10	60	0	1000	100k	3M	1690	3,394	2,211	2,553	24,371	0,396	0	707826	2,815
S1	srtm_model	900913	600	10	60	0	1000	100k	3M	5100	1,124	1,249	1,115	45,632	0,131	0	1767	8,497
S1	srtm_visualization	900913	600	10	60	0	1000	100k	3M	2608	2,200	2,026	1,306	39,228	0,188	0	728619	4,336
S1	kvasigeoid	900913	600	10	60	0	1000	50k	1M	2052	2,797	1,832	2,686	14,603	0,156	0	96544	3,423
S1	kvasigeoid_model	900913	600	10	60	0	1000	50k	1M	4186	1,369	0,888	1,369	5,053	0,079	0	2803	6,968
S1	kvasigeoid_visualization	900913	600	10	60	0	1000	50k	1M	4338	1,321	1,124	1,222	8,223	0,105	0	94837	7,223
S1	kvasigeoid_lines	4258	600	10	60	0	1000	5k	1M	2357	2,436	1,496	2,178	10,010	0,175	0	73138	3,914
S1	kvasigeoid_lines_01	4258	600	10	60	0	1000	5k	1M	2899	1,978	1,310	1,815	9,952	0,135	0	63928	4,821
S1	kvasigeoid_lines_001	4258	600	10	60	0	1000	5k	1M	362	16,036	8,382	7,662	36,178	1,677	0	353938	0,596
S1	dov	4258	600	10	60	0	1000	5k	3M	1406	4,085	3,013	3,777	27,072	0,352	0	72448	2,335
S1	dov_points_02	4258	600	10	60	0	1000	5k	3M	5712	1,003	0,514	0,990	5,798	0,067	0	36139	9,516
S1	dov_points_005	4258	600	10	60	0	1000	5k	3M	1781	3,227	2,152	3,063	12,653	0,088	0	76840	2,957
S1	dov_points_001	4258	600	10	60	0	1000	5k	3M	212	27,726	16,144	25,190	62,627	4,841	0	215488	0,340
S1	dov_ksi_model	4258	600	10	60	0	1000	5k	3M	4337	1,322	0,902	1,321	7,585	0,113	0	1767	7,220
S1	dov_eta_model	4258	600	10	60	0	1000	5k	3M	4323	1,326	0,901	1,326	7,377	0,104	0	1767	7,194
S1	ceper_sites	4258	600	10	60	0	1000	500k	2M	15579	0,367	0,114	0,357	2,471	0,067	0	4110	25,953
S3	pwv	4326	600	10	60	0	1000	200k	1M	371	15,658	2,094	14,422	17,588	1,989	0	114385	0,61
S3	npwv	4326	600	10	60	0	1000	200k	1M	382	15,190	2,793	15,143	18,644	1,517	0	19848	0,628

Z výsledkov je zrejmé, že výkonnosť je úmerná objemu poskytovaných údajov. Pri testovaní rastrových modelov, ktoré využívajú formát GeoTIFF s pyramídami sa prejavili závislosti času odozvy od mierky mapy, ktoré odpovedajú jednotlivým pyramídami v danom súbore. Výkonnosť skupín rastrových vrstiev „srtm“ a „kvasigeoid“ bola ovplyvňovaná aj podvrstvami, ktoré boli nastavené ako priehľadné. Táto vlastnosť mapového servera je z hľadiska výkonnosti negatívna.

Pri vektorových údajoch vrstiev „dov“ a „kvasigeoid_lines“ sa prejavila závislosť času odozvy od mierky mapy. Konkrétne na jednotlivých podvrstvách bol zrejмый lineárny trend, ktorý bolo možné pri tomto type vrstiev predpokladať. Tento trend pre podvrstvy „kvasigeoid_lines“ je zobrazený v grafe na obrázku 4.5 vľavo. Napravo je zobrazený čas odozvy v závislosti od mierky pre skupinu vrstiev „kvasigeoid_lines“.



Obrázok 4.5 Trendy času odozvy od mierky mapy pre vrstvy "kvasigeoid_lines"

Mierka pri ktorej sa prestáva zobrazovať podvrstva „kvasigeoid_lines_001“ je 1:100 000. Zlom času odozvy je na grafe jasne viditeľný. Trend zoskupených vrstiev ostáva obdobný, aj keď sa čas odozvy pri paralelne prístupujúcich používateľoch zmenil. To je zapríčinené testovaním kombinácie vrstiev, kde jedna má vyšší čas odozvy a druhá nižší. Následne sú časy odoziev týchto vrstiev ovplyvňované.

Obdobné trendy boli zaznamenané aj pre jednotlivé podvrstvy „dov“. Trend času odozvy je stále viditeľný, aj keď je ovplyvnený ďalšími dvoma modelmi tejto skupiny vrstiev. Na základe grafov závislosti času odozvy od mierky mapy je možné tieto mierky ladiť za účelom dosiahnutia vyššieho výkonu. Samozrejme je potrebné počas tohto ladenia brať do úvahy kartografiu mapovej služby vo všetkých jej mierkach.

4.6.3 Zhodnotenie infraštruktúry voči zadaným požiadavkám

Vzhľadom na základné požiadavky kladené na infraštruktúru môžeme konštatovať, že je zabezpečená možnosť zobrazovať vlastné údaje v mapovom klientovi, ktorý je prístupný cez webové rozhranie. Tiež existuje možnosť prepojiť cudzie údaje z iných infraštruktúr. Tu ostáva obmedzenie, ktoré súvisí s podporou súradnicových systémov v pridávaných službách. Prostredníctvom štandardov je tiež zabezpečená možnosť pracovať s údajmi a s funkcionalitou realizovanej infraštruktúry v iných infraštruktúrach založených na rovnakých princípoch. Klient infraštruktúry umožňuje editáciu načítaných vektorových údajov, alebo vektorových údajov dostupných prostredníctvom služieb. Ľubovoľné spracovanie údajov môže byť zabezpečené prostredníctvom webových služieb pre spracovanie údajov. Z takto realizovanej infraštruktúry pre priestorové informácie je zrejmé, že webové služby v nej hrajú veľmi silnú rolu.

Ak sa zameriame na všeobecné požiadavky na systém je možné konštatovať nasledovné:

Otvorenosť je zabezpečená v niekoľkých rovinách. K realizácii sú použité otvorené a popísané špecifikácie. Komunikácia medzi jednotlivými komponentmi je transparentná, vo väčšine prípadov založená na posielaní správ prostredníctvom webu. Ďalšia forma otvorenosti je

v použítom softvéri. Primárne bol využívaný otvorený softvér s dostupným zdrojovým kódom, čo umožňuje vidieť do celého riešenia oveľa viac, ako by to bolo v prípade použitia komerčných programov.

Rozšíriteľnosť je zaručená vďaka tomu, že systém podporuje štandardy a je postavený z komponentov, ktoré nie sú na sebe závislé. Je možné doplniť ďalšie služby poskytujúce rôzne geoúdaje alebo funkcionality. Tieto služby môžu byť implementované ľubovoľnými softvermi, podmienkou je opäť podpora špecifikácií napríklad od OGC, ISO alebo W3C.

Z vyššie uvedeného popisu je zrejmé, že interoperabilita by mala byť silnou stránkou celého systému. Schopnosť interakcie a komunikácie medzi časťami realizovanými rôznymi softvermi je k dispozícii už v rámci realizovaného systému. Rovnako by mala fungovať aj s komponentmi z iných systémov.

Dostupnosť je zabezpečená vďaka webovým technológiám. Systém a jeho časti sú k dispozícii prostredníctvom internetu a cez internetový prehliadač.

Nezávislosť na jednom produkte alebo jednej platforme vyplýva z výhod SOA. Systémy postavené na tejto architektúre môžu pozostávať z rôznych produktov, naprogramovaných v rôznych jazykoch, prípadne spúšťaných z rôznych operačných systémov. Dôkazom sú programy GeoServer (naprogramovaný v jazyku Java, nasadený na operačných systémoch Linux a Windows) a MapServer (naprogramovaný v jazyku C, nasadený na operačnom systéme Linux), ktoré komunikujú s knižnicou OpenLayers (napísaná v jazyku JavaScript, nasaditeľná na ľubovoľnom webovom serveri).

Kompatibilita s platnou legislatívou (zákon č. 3/2010 Z. z., Smernica o INSPIRE - 2007/2/ES) by mala byť zabezpečená, realizované služby sú kombinovateľné s INSPIRE sieťovými službami. Používatelia služieb realizovanej infraštruktúry, služieb NIPI, INSPIRE sieťových služieb členských štátov alebo služieb iných organizácií majú možnosť kombinovať tieto zdroje a pracovať s nimi v ľubovoľných GIS nástrojoch.

5 Prínos pre vedu a prax

Bola spracovaná teória štandardizovaných webových priestorových služieb a boli naznačené možnosti uplatniteľnosti jednotlivých typov služieb pri sprístupňovaní a spracovaní geoúdajov a pri tvorbe priestorových aplikácií. Teória prihliada na najnovšie trendy z oblasti infraštruktúr pre priestorové informácie a berie ohľad na platnú legislatívu a špecifikácie.

V rámci praktickej časti bol vytvorený prototyp infraštruktúry pre priestorové informácie založený na popísaných štandardoch a otvorených špecifikáciách. Počas realizácie praktickej časti bolo naznačené ako používať vybrané technológie a prostriedky, ktoré umožňujú zabezpečiť interoperabilitu, otvorenosť, nezávislosť na platforme a dostupnosť.

Praktickým prínosom práce je vytvorenie nástroja WebTest, ktorý umožňuje testovanie kvality mapových služieb. Nástroj je realizovaný formou webovej aplikácie a umožňuje:

- vytvárať a konfigurovať scenáre na záťažové testovanie webových mapových služieb podľa zvolených kritérií,
- vytvárať, spúšťať a prezerať výsledky záťažových testov,
- vytvárať, editovať a spúšťať metaúdajové testy webových služieb.

Nástroj umožňuje plnohodnotné testovanie webových mapových služieb jednoduchým spôsobom a s minimálnou námahou pri konfigurácii testov. Je možné využiť ho na testovanie parametrov kvality a metaúdajov INSPIRE sieťových služieb (zákon 3/2010 Z.z.), pri ktorých si platná legislatíva takéto testovanie vyžaduje.

Nástroj WebTest je postavený na voľne dostupných softvérových riešeniach, je k dispozícii s prácou na priloženom digitálnom médiu spolu so zdrojovými kódmi. Používanie tohto produktu nie je ničím obmedzované.

V práci bola spracovaná metóda záťažového testovania webových mapových služieb, ktorá obsahuje definíciu postupov záťažového testovania, ktoré by mali byť dodržané pri testovaní parametrov kvality služieb výkonnosť, kapacita a dostupnosť. V rámci popisovaného testovania je možné určiť parametre kvality vo vzťahu k priestorovej polohe poskytovaných údajov. K popisu výsledkov takéhoto testovania boli zavedené pojmy ako závislosť výkonnosti od mierky mapy, alebo dvojrozmerný a trojrozmerný model výkonnosti mapovej služby.

Prínos pre prax je tiež v ukážke prístupu pri realizácii praktickej časti, kde boli použité primárne Open Source programy a knižnice. Pomocou takýchto nástrojov je možné plnohodnotne realizovať celý systém bez potreby financovania akejkoľvek licencie.

6 Záver

Predložená práca sa venuje pomerne novej oblasti a tou je používanie webových služieb k práci s priestorovými údajmi. Tento trend sa začína uplatňovať pri budovaní moderných GIS, pri realizácii veľkých infraštruktúr pre priestorové informácie, ale aj pri sprístupňovaní údajov pre uzavretý okruh používateľov. Webové služby dokážu zabezpečiť primárne funkcie GIS a zároveň priniesť výhody ako otvorenosť, interoperabilita, dostupnosť a iné, ktoré vyplývajú z uplatnenia princípov SOA.

Môžeme predpokladať, že vývoj v tejto oblasti bude prudko napredovať a s tým sa rozšíria možnosti využívania webových služieb z oblasti priestorových informácií. V súčasnosti existuje viacero špecifikácií, ktoré sú určené pre túto oblasť. Niektorým z týchto špecifikácií je v práci venovaný väčší priestor (WMS, WFS, WPS). Relatívna mladosť špecifikácií ako napríklad WFS, alebo WPS zapríčiňuje, že tieto služby zatiaľ nie sú dostatočne podporované GIS nástrojmi. Tiež nesúlad v implementácii týchto služieb a ich verzií môže zapríčiniť ich nesprávne fungovanie. Môžeme sa domnievať, že tento problém bude postupom času odstránený a využívanie všetkých služieb, ktoré boli v práci spomenuté bude tak samozrejmé ako sa v súčasnosti stáva samozrejmosťou používanie služieb WMS, ktoré sú spomedzi týchto služieb využívané pravdepodobne najviac.

V rámci teoretickej časti práce bola spracovaná problematika webových služieb a ich využívania pri práci s priestorovými údajmi. Boli popísané viaceré štandardizované webové služby a možnosti ich uplatniteľnosti pri sprístupňovaní a spracovaní údajov. Práca obsahuje súbor odporúčaní, ktoré by mali napomôcť pri publikácii priestorových služieb. Súčasťou testovania v praktickej časti je aj metodický postup na záťažové testovanie mapových služieb.

V rámci praktickej časti bol vytvorený funkčný prototyp riešenia, pri ktorom boli uplatnené v práci popísané princípy štandardizovaných webových služieb. Realizovaný systém predstavuje prípadovú štúdiu infraštruktúry pre priestorové informácie vybudovanú na vzorových údajoch Katedry geodetických základov. Realizácia tejto infraštruktúry pozostávala z prípravy podkladových údajov, z publikácie služieb, z implementácie klienta a z testovania infraštruktúry. Ako klient mohli byť použité existujúce desktopové, alebo webové GIS produkty, ale kvôli väčším možnostiam prispôbitel'nosti bol vytvorený geoportál postavený na existujúcich knižniciach. Do tohto klienta boli včlenené všetky požadované funkcie. Na testovanie webových služieb bola vytvorená aplikácia WebTest. Konkrétne umožňuje vykonať testovanie výkonnosti, kapacity, dostupnosti a presnosti a validáciu metaúdajov služieb. Testovanie funkčnosti a výkonnosti implementovaných služieb prebehlo práve týmto nástrojom a realizovaným geoportálom.

Praktickú časť dizertačnej práce (nasadené služby, realizovaný geoportál, nástroj WebTest) je možné v súčasnosti nájsť na adrese <http://geo.vm.stuba.sk> alebo na údajovom médiu dizertačnej práce.

Celá praktická časť bola realizovaná pomocou Open Source produktov. Takéto riešenie je nadmieru transparentné a otvorené ďalšiemu rozširovaniu prípadne modifikácii. Produkty tohto

typu z oblasti priestorových informácií sú plnohodnotnou alternatívou voči komerčným produktom a sú k dispozícii zadarmo. Výhodou týchto nástrojov je tiež fakt, že využívajú primárne štandardizované rozhrania.

7 Summary

The presented thesis deals with a relatively new area of the use of web services for work with spatial data. This trend starts to apply in the designing modern GIS, in the implementation of huge spatial data infrastructures and also in making data accessible for a closed circuit of users. Web services can provide primary functions of GIS as well as bring the benefits such as openness, interoperability, accessibility and others which are arising from the application of the SOA principles.

We can assume that developments in this field will progress rapidly and thus the possibility of using web services in the field of spatial information will expand. Currently there are several specifications assigned to this area. Some of these specifications (WMS, WFS, WPS) have more space in the thesis. The relative newness of specifications such as WFS or WPS causes that these services are not yet sufficiently supported by GIS tools. Also inconsistencies in the implementation of these services and their versions may cause them to malfunction. We can assume this problem will be eliminated over time and using all the services mentioned in the thesis will be as obvious as it is becoming commonplace application of WMS which are used most likely among the spatial services.

In the theoretical part an issue of web services and their use for work with spatial data has been discussed. There were described a number of standardized web services and their possible applicability in making data available and processing of data. The thesis contains a set of recommendations that should help in publishing spatial services. Part of the testing performed in practical part is also a methodology for load testing of map services.

In the practical part was developed functioning solution prototype where there were applied the principles of standardized web services described in the work. The realized system is the case study of the spatial data infrastructure created upon the sample data of the Department of Theoretical Geodesy. The implementation of this infrastructure consisted of data preparation, the publication of services, implementation of the client and testing the infrastructure. As a client could be used an existing desktop or web-based GIS products however due to better opportunities of adaptability the geoportal based on existing libraries was created. All desired functions were integrated into this client. Application WebTest was created to test the web services. Specifically allows testing of performance, capacity, availability and accuracy and validation of services metadata. Testing of functionality and performance of implemented services was realized by this tool and by created geoportal.

The whole practical part of thesis (deployed services, implemented geoportal, WebTest tool) can now be found at <http://geo.vm.stuba.sk> or on data medium of thesis.

All practical part was implemented using Open Source products. This solution is extremely transparent and open to further expansion or modification. Products of this type from area of spatial information are a great alternative to commercial products and are available free of charge. The advantage of these tools is also a fact that they use standardized interfaces.

8 Zoznam publikovaných prác

BARTÁK, L. - CIBULKA, D. - FENCÍK, R.: *Informačný portál protipovodňovej ochrany*. In: 18. Kartografická konferencia. Quo vadis, kartografie? : Olomouc, ČR, 30. 9. - 2. 10. 2009. - Ostrava: Kartografická spoločnosť ČR, 2009.

- CIBULKA, D.:** *Využitie webových služieb na publikovanie geodát.* In: Juniorstav 2009. 11. Odborná konferencia doktorského studia. Brno, 4. 2. 2009. - Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2009. - ISBN 978-80-214-3810-1. - s. 330.
- CIBULKA, D.:** *Časová webová mapová služba – klient a server.* In: Juniorstav 2010. 12. Odborná konferencia doktorského studia. Brno, 24. 2. 2010. - Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2010. - ISBN 978-80-214-4042-5. - s. 351.
- CIBULKA, D.:** *Webové služby a geografické informačné systémy.* In: Juniorstav 2010. 12. Odborná konferencia doktorského studia. Brno, 24. 2. 2010. - Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2010. - ISBN 978-80-214-4042-5. - s. 334.
- CIBULKA, D.:** *Open source softvér pre oblasť sieťových služieb INSPIRE.* [CD-ROM]. In Zborník prezentácií 6. ročníka konferencie Enviro-i-Fórum. s. 50-53. ISBN 978-80-88850-96-0.
- CIBULKA, D.:** *Open source softvér v infraštruktúre pre priestorové informácie.* In Zborník príspevkov medzinárodnej konferencie OSSConf 2010. Bratislava: Spoločnosť pre otvorené informačné technológie - SOIT, Bratislava, 2010, s. 226-227. ISBN 978-80-970457-0-8.
- CIBULKA, D.:** *Testovanie zobrazovacích služieb.* In: Juniorstav 2011. 13. Odborná konferencia doktorského studia. Brno, 4. 2. 2011. - Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2011. - ISBN 978-80-214-4232-0. - s. 382.
- CIBULKA, D.:** *Vektorové geodaje vo webovom prostredí.* In: Otvorený softvér vo vzdelávaní, výskume a v IT riešeniach – Zborník príspevkov medzinárodnej konferencie OSSConf 2011. Spoločnosť pre otvorené informačné technológie, Bratislava. ISBN 978-80-970457-1-5.
- CIBULKA, D.:** *Publikácia vybraných geodajov vo webovom prostredí.* In: Juniorstav 2012. 14. odborná konferencia doktorského studia s mezinárodní účasťou. Brno, 26.1.2012. - Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2012. - ISBN 978-80-214-4393-8. s. 455.
- KLIMENT, T. - CIBULKA, D.:** *Testovanie vyhľadávacích a zobrazovacích služieb podľa INSPIRE požiadaviek.* Zborník. In: GIS Ostrava 2011: Sborník symposia. Ostrava, ČR, 23. - 26. 1. 2011. - Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2011. - ISBN 978-80-248-2366-9. - S. 1-9.
- KLIMENT, T. - ĎURAČIOVÁ, R. - GÁLOVÁ, L. - CIBULKA, D. - TUCHYŇA, M.:** *Theoretical aspects and open issues in SDI establishment within geodetic and cadastral domain at the Slovak University of Technology.* In: GIS Ostrava 2011: Sborník symposia. Ostrava, ČR, 23. - 26. 1. 2011. - Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2011. - ISBN 978-80-248-2366-9.
- KLIMENT, T. - CIBULKA, D. - TUCHYŇA, M. - KOŠKA, M. - MOZOLÍK, P. - TÓBIK, J.:** *Príklad spolupráce akademického a verejného sektora pri testovaní komponentov infraštruktúr priestorových informácií.* In ENVIRO I FÓRUM 2011 : Odborné fórum o environmentálnej informatike. 7.ročník podujatia. Zvolen, SR, 7.-8.6.2011. Bratislava: Slovenská agentúra životného prostredia, 2011, s. 34--35. ISBN 978-80-89503-17-9.
- IGONDOVÁ, M. - CIBULKA, D.:** *Publication of Precipitable Water Vapour and Zenith Total Delay time series and models over Slovakia and vicinity.* In: Contributions to Geophysics and Geodesy. - ISSN 1335-2806. - Vol. 40, No. 4 (2010), s. 299-312.

9 Literatúra

- ABRAN, A., MOORE, J., (2004):** *Guide to the Software Engineering*, Body of Knowledge. Los Alamitos: IEEE Computer Society, 2004. 200 s. ISBN 0-7695-2330-7.
- ANDERSON, B., DEOLIVEIRA, J., (2007):** *WMS Performance Tests*, Mapserver & Geoserver [online]. [cit. 2012-02-09]. Dostupné na internete: <<http://www.slideshare.net/DonnyV/wms-performance-tests-map-server-vs-geo-server>>.
- CEGRN, (2012):** *Central European GPS Geodynamic Reference Network Consortium*. [online]. Penc. [cit. 2012-07-15]. Dostupné na internete: <<http://www.fomi.hu/CEGRN/>>.
- CIBULKA, D., (2010):** *Časová webová mapová služba – klient a server*. In: Juniorstav 2010 : 12. Odborná konferencia doktorského studia. Brno, 24. 2. 2010. - Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2010. - ISBN 978-80-214-4042-5. - s. 351.
- CIBULKA, D., (2011):** *Testovanie zobrazovacích služieb*. In: Juniorstav 2011: 13. Odborná konferencia doktorského studia. Brno, 4. 2. 2011. - Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2011. - ISBN 978-80-214-4232-0. - s. 382.
- CODEMIRROR, (2012):** *CodeMirror*. [online]. 2012. [cit. 2012-07-23]. Dostupné na internete: <<http://codemirror.net/>>.
- DOJO, (2012):** Dojo Toolkit, [online]. [cit. 2012-02-02] Dostupné na internete: <<http://www.dojotoolkit.org/>>.
- EGM, (2010):** *Earth Gravitational Model 2008*. National Geospatial-Intelligence Agency. [online]. Posl. úpravy 20. 9. 2010. [cit. 2012-07-15]. Dostupné na internete: <<http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/index.html>>.
- ERL, T., (2005):** *Service-Oriented Architecture: Concepts, Technology, and Design*. New Jersey: Pearson Education, 2005. 792 s. ISBN 0-13-185858-0.
- GEOSERVER WPS, (2010):** *GeoServer WPS extension*, [online]. 2012. [cit. 2012-07-23]. Dostupné na internete: <<http://docs.geoserver.org/stable/en/user/extensions/wps/index.html>>.
- HORÁK, J., ARDIELLI, J., HORÁKOVÁ, B., (2009):** *Testing of Web Map Services*. [online]. [cit. 2012-02-08]. Dostupné na internete: <<http://www.gsdi.org/gsdiconf/gsd11/papers/pdf/330.pdf>>.
- IGONDOVÁ, M., CIBULKA, D., (2010):** *Publication of Precipitable Water Vapour and Zenith Total Delay time series and models over Slovakia and vicinity*. In: Contributions to Geophysics and Geodesy. - ISSN 1335-2806. - Vol. 40, No. 4 (2010), s. 299-312.
- INSPIRE, (2007):** European Commission. *Infrastructure for Spatial Information in Europe*. [online]. [cit. 2012-01-21]. Dostupné na internete: <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:108:0001:0014:SK:PDF>>.
- INSPIRE VS TG 3.1, (2011):** *Technical Guidance for the implementation of INSPIRE View Services - Version 3.1*. IOC Task Force for Network Services. [online]. 7. 11. 2011. [cit. 2012-07-23]. Dostupné na internete: <http://inspire.jrc.ec.europa.eu/documents/Network_Services/TechnicalGuidance_ViewServices_v3.1.pdf>.
- ISO/IEC 19757-3:2006, (2006):** Information technology -- Document Schema Definition Language (DSDL) -- Part 3: Rule-based validation – *Schematron*. 2006. International Organization for Standardization.

- JFREECHART, (2011):** *JFreeChart*. [online]. 2011. [cit. 2012-07-23]. Dostupné na internete: <<http://www.jfree.org/jfreechart/>>.
- JMETER, (2012):** Apache Software Foundation, [online]. 2012, [cit. 2012-02-02] Dostupné na internete: <<http://jmeter.apache.org/>>.
- KLIMENT, T., CIBULKA, D., (2011):** *Testovanie vyhľadávacích a zobrazovacích služieb podľa INSPIRE požiadaviek*, In: GIS.Ostrava 2011: Sborník symposia. Ostrava, ČR, 23.-26.1.2011. - Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2011. - ISBN 978-80-248-2366-9.
- KLIMENT, T., TUCHYŇA, M., KLIMENT, M., (2012):** Slovak Journal of Civil Engineering. *Methodology for conformance testing of spatial data infrastructure components including an example of its implementation in Slovakia*. Volume XX, Number 1 / March 2012, ISSN 1338-3973.
- MAPSERVER WMS TIME, (2006):** MapServer WMS Time, [online]. 2006, [cit. 2012-06-15]. Dostupné na internete: <http://mapserver.org/ogc/wms_time.html>.
- MELICHER, J., HUSÁR, L., (1999):** Geodetická astronómia a kozmická geodézia, Bratislava : Slovenská technická univerzita v Bratislave, 1999, ISBN 80-227-1195-0
- OGC, (2012):** OPEN GEOSPATIAL CONSORTIUM. [online]. 2012 [cit. 2012-05-31]. Dostupné na internete: <<http://www.opengeospatial.org/>>.
- OGC Service Architecture, (2002):** OPEN GEOSPATIAL CONSORTIUM. *The OpenGIS Service Architecture*. [online]. 2002 [cit. 2009-11-25] Dostupné na: <http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=1221>.
- OGC WCS, (2012):** OPEN GEOSPATIAL CONSORTIUM. *Web Coverage Service*. [online]. 2012, [cit. 2012-07-23] Dostupné na: <<http://www.opengeospatial.org/standards/wcs>>.
- OGC WFS, (2010):** OPEN GEOSPATIAL CONSORTIUM. *Web Feature Service*. [online]. 2010 [cit. 2011-01-15] Dostupné na: <<http://www.opengeospatial.org/standards/wfs>>.
- OGC WMS, (2006):** OPEN GEOSPATIAL CONSORTIUM. *Web Map Service*. [online]. 2006 [cit. 2008-03-19] Dostupné na: <<http://www.opengeospatial.org/standards/wms>>.
- OGC WMTS, (2010):** OPEN GEOSPATIAL CONSORTIUM. *Web Map Tile Service*. [online]. 2010 [cit. 2010-07-23] Dostupné na: <<http://www.opengeospatial.org/standards/wmts>>.
- OGC WPS, (2007):** OPEN GEOSPATIAL CONSORTIUM. *Web Processing Service*. [online]. 2007 [cit. 2011-06-14] Dostupné na: <<http://www.opengeospatial.org/standards/wps>>.
- OSGeo WMS-C, (2010):** *WMS Tile Caching*. [online]. 2010 [cit. 2010-07-23] Dostupné na: <http://wiki.osgeo.org/wiki/WMS_Tile_Caching>.
- OPENLAYERS, (2012):** [online]. 2012, [cit. 2012-02-02] Dostupné na internete: <<http://www.openlayers.org/>>.
- POSTGRESQL, (2012):** [online]. 2012. [cit. 2012-02-02] Dostupné na internete: <<http://www.postgresql.org/>>.
- SAXON-HE, (2011):** *Saxon – home edition*. [online]. 2011. [cit. 2012-07-23]. Dostupné na internete: <<http://saxon.sourceforge.net/>>.
- SDI Cookbook, (2009):** [online]. [cit. 2010-03-22] Dostupné na internete: <<http://www.gsdi.org/gsdicookbookindex>>.

- SRTM, (2009):** *Shuttle Radar Topography Mission*. National Geospatial-Intelligence Agency/National Aeronautics and Space Administration. [online]. Posl. úpravy 17. 6. 2009. [cit. 2012-07-15]. Dostupné na internete: <<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>>.
- TSOU, M., PENG, Z., (2003):**. *Internet GIS: Distributed geographic information services for the internet and wireless networks*. Hoboken: Wiley&Sons. 2003. 679 s. ISBN 0-471-35923-8.
- WAPT, (2011):** *Web Application Load, Stress and Performance Testing*. [online]. 2011. [cit. 2012-07-23]. Dostupné na internete: <<http://www.loadtestingtool.com/>>.
- WMS Benchmarking, (2011):** [online]. [cit. 2012-02-09]. Dostupné na internete: <<http://www.slideshare.net/gatewaygeomatics.com/wms-performance-shootout-2011>>.
- W3C, (2003):** WORLD WIDE WEB CONSORTIUM, *QoS for Web Services: Requirements and Possible Approaches*, [online]. [cit. 2012-03-22]. Dostupné na internete: <<http://www.w3c.or.kr/kr-office/TR/2003/ws-qos/>>.
- W3C, (2004):** WORLD WIDE WEB CONSORTIUM. *Web Services Architecture*. [online]. 2004 [cit. 2009-11-20] Dostupné na: <<http://www.w3.org/TR/2004/NOTE-ws-arch-20040211/>>.
- W3C HTTP, (2012):** WORLD WIDE WEB CONSORTIUM. *Hypertext Transfer Protocol*. [online]. Posl. úpravy 11. 4. 2012. [cit. 2012-07-23] Dostupné na: <<http://www.w3.org/Protocols/>>.
- W3C SOAP, (2007):** WORLD WIDE WEB CONSORTIUM. *Simple Object Access Protocol*. [online]. 2007. [cit. 2012-07-23] Dostupné na: <<http://www.w3.org/TR/soap12-part1/>>.
- W3C WSDL, (2001):** WORLD WIDE WEB CONSORTIUM. *Web Services Description Language*. [online]. 2001. [cit. 2012-07-23] Dostupné na: <<http://www.w3.org/TR/wsdl/>>.
- W3C XML, (2012):** WORLD WIDE WEB CONSORTIUM. *Extensible Markup Language*. [online]. Posl. úpravy 24. 1. 2012. [cit. 2012-07-23] Dostupné na: <<http://www.w3.org/XML/>>.
- W3C XML Schema, (2012):** WORLD WIDE WEB CONSORTIUM. *XML Schema*, 2012. [cit. 2012-07-23]. Dostupné na: <www.w3.org/XML/Schema>.
- W3C XSLT, (1999):** WORLD WIDE WEB CONSORTIUM. *Extensible Stylesheet Language Transformations*. [online]. 1999. [cit. 2012-07-23] Dostupné na: <<http://www.w3.org/TR/xslt/>>.
- Yang, C., Wong, D., Yang, R., Kafatos, M., Li, Q., (2005):** *Performance-improving techniques in web-based GIS*. International Journal of Geographical Information Science, (2005) 319-342.
- 52° North, (2012):** Initiative for Geospatial Open Source Software GmbH [online]. 2012, [cit. 2012-02-02] Dostupné na internete: <<http://www.52north.org/>>.