

Mendelova univerzita v Brně
Provozně ekonomická fakulta

Porovnání vlastností databázových systémů Oracle a PostgreSQL pro uložení geografických dat

Bakalářská práce

Vedoucí práce:
Ing. Jiří Fejfar, Ph.D.

Petr Sadovský

Brno 2015

Chtěl bych poděkovat vedoucímu bakalářské práce Ing. Jiřímu Fejfarovi, Ph.D. za jeho ochotu, cenné připomínky a pomoc při odborných konzultacích během vypracovávání práce. Dále bych rád poděkoval Mgr. Petru Stránskému za jeho rady při práci s Oracle Spatial and Graph a firmě Asseco Central Europe, a.s. za poskytnutí jak hardwaru, tak softwaru pro zpracování práce.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci: **Porovnání vlastností databázových systémů Oracle a PostgreSQL pro uložení geografických dat**

vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace jsou uvedeny v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů, a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 Autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity o tom, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

Brno, 20.5.2015

.....

Abstract

Sadovský, P. Comparing properties of database systems Oracle and PostgreSQL for storing geographical data. Bachelor thesis. Brno, 2015

My bachelor thesis researches differences between Oracle Spatial, Oracle Locator and PostGIS. The result of this research should be a summary of individual differences. The summary can provide assistance when deciding, which geographical database system should be used in the implementation of geographical information system. Part of the thesis is a practical example, describing migration between database systems Oracle Locator and PostGIS.

Key words: geodatabase, GIS, PostgreSQL, PostGIS, Oracle Spatial, Oracle Locator

Abstrakt

Sadovský, P. Porovnání vlastností databázových systémů Oracle a PostgreSQL pro uložení geografických dat. Bakalářská práce. Brno, 2015

V mé bakalářské práci se zkoumají rozdíly mezi geografickými databázovými systémy Oracle Locator, Oracle Spatial a PostGIS. Rozdíly se určují na základě předem stanovených aspektů. Výsledkem by měl být přehled jednotlivých rozdílů u všech zmíněných systémů, který by měl posloužit při rozhodování, jaký geodatabázový systém použít při implementaci geografického informačního systému. Součástí práce je i praktický příklad týkající se migrace mezi databázovými systémy Oracle Locator a PostGIS.

Klíčová slova: geodatabáze, GIS, PostgreSQL, PostGIS, Oracle Spatial, Oracle Locator

Obsah

1	Úvod a cíl práce	7
1.1	Úvod práce	7
1.2	Cíl práce	7
2	Rešeršní část	8
2.1	Data	8
2.1.1	Běžná data	8
2.2	Geografický informační systém	8
2.3	Geografický databázový systém	9
2.4	Vektorová reprezentace prostorových objektů	9
2.4.1	Vektorové datové modely a struktury	10
2.5	Rastrová reprezentace prostorových objektů	13
2.5.1	Pravidelné reprezentace rastrových datových modelů a jejich struktury	14
2.5.2	Kompresní techniky používané pro ukládání pravidelných rastrů	15
2.5.3	Nepřavidelné reprezentace rastrových datových modelů a jejich struktury	16
2.5.4	Převody mezi reprezentacemi	17
2.6	Organizace stanovující standardy prostorových databází	17
2.7	Standardy	17
2.7.1	Standardy datových formátů	17
2.7.2	Standardy pro komunikaci	18
2.8	Procedurální jazyky	18
2.9	Prostorové indexy	18
2.10	Webové rozhraní	20
2.11	REST (Representational State Transfer) rozhraní	21
2.11.1	Základní principy RESTu	21
2.11.2	Typy REST rozhraní	22
2.12	Import dat	24
3	Porovnávání vlastností databázových systémů Oracle a PostgreSQL	26
3.1	Odůvodnění výběru databázových systémů	26
3.1.1	Stupnice hodnocení aspektů	26
3.2	Aspekty porovnávání	28
3.3	Způsob uložení vektorových dat	28
3.4	Typy geometrií	31
3.5	Způsob uložení rastrových dat	35
3.6	Prostorové indexy	36
3.7	Standardy	36
3.8	Procedurální jazyky	37
3.9	Licence	37

3.10	Webové rozhraní	39
3.11	REST rozhraní	39
3.12	Import dat	40
3.13	Souhrnné vyhodnocení aspektů	42
4	Praktický příklad migrace dat z Oracle Locator do PostGIS	43
4.1	Postup práce	44
4.1.1	Export dat	45
4.1.2	SQL dotazy a ekvivalentní funkce	47
5	Diskuze	54
5.0.3	Porovnání databázových systémů	54
5.0.4	Rozšíření práce	54
6	Závěr	56
7	Reference	57

1 Úvod a cíl práce

1.1 Úvod práce

Nejdůležitější vlastností geografického informačního systému dle (Tuček, 1998) je schopnost ukládat a obhospodařovat prostorové údaje s použitím geografické databáze. Tato vlastnost určuje vysokou prioritu při výběru vhodného geodatabázového systému, který bude použit právě při tvorbě GIS nebo při implementaci aplikace pracující s geodaty. Z tohoto důvodu je nutné stanovit zásadní rozdíly v geodatabázích, aby se předešlo různým kolizím, které by mohly nastat z důvodu nedostatků některých požadovaných vlastností databázového systému. Existuje mnoho aspektů, jejichž věcný význam je nutné stanovit a na základě nich porovnat systémy.

1.2 Cíl práce

Základem celé práce je detailně nastudovat informace týkající se uložení geodat a práce s nimi v databázových systémech Oracle a PostgreSQL. Stanovit aspekty podle kterých budou systémy porovnány a vytvořit na základě těchto aspektů přehled, ve kterém budou podrobně popsány rozdíly pro nástavbové systémy určené k ukládání a práci s geodaty. Tyto systémy se nazývají Oracle Locator, Oracle Spatial and Graph a PostGIS. Výsledné rozdíly se podle předem stanovené stupnice vyhodnotí a určí se v čem spočívá nedostatek, případně čím je daný systém v daném aspektu vyspělejší. Práce by měla posloužit zejména vývojářům, kteří na začátku tvorby geografického informačního systému musí vybrat vhodný geografický databázový systém ke splnění veškerých požadavků GIS určitého rozsahu.

Součástí práce je popis migrace dat z Oracle Locator do PostGIS, během níž může docházet k různým kolizím způsobeným odlišnostmi těchto geodatabázových systémů. Migrace a celková analýza systémů má posloužit firmě Asseco CE (Central Europe) při odhalování změn, které budou muset být provedeny na aplikačním serveru, aby v konečném výsledku bylo proveditelné spuštění serveru s databázovým systémem PostGIS, což povede ke snížení ceny výsledných produktů a k rozšíření klientely.

2 Rešeršní část

2.1 Data

2.1.1 Běžná data

Na běžné data ukládané do databázových systémů můžeme pohlížet ze tří úrovní dle (Valenta, 2010):

- **Konceptuální**
 - zabývá se modelováním reality,
 - snaží nebyť ovlivněna budoucími prostředky řešení, používá grafické notace (ERD model, UML Class diagram).
- **Logická**
 - Vztahuje se ke konkrétnímu databázovému modelu a používá jeho konstrukční dotazovací a manipulační prostředky.
- **Fyzická**
 - fyzické uložení dat (sekvenční soubor, indexy, cluster, atd.).

Popis jednotlivých základních vlastností geografických dat, tedy jaké typy informací obsahují podle (Břehovský, Jedlička, 2010):

- prostorová informace - pozice, tvar a jejich vztah k ostatním objektům,
- popisná informace - další vlastnosti daného objektu např. teplota, typ asfaltu a tloušťka drátu,
- časová informace - je-li použita, přidává do systému dynamické vlastnosti, např. datum poslední opravy potrubí.

Pak také se dají dělit prostorová data na:

- analogové,
- digitální.

Digitální data mají dva základní modely reprezentace a to vektorové nebo rastrové, které jsou v práci následně podrobněji popsány.

2.2 Geografický informační systém

Pojem geografický informační systém je běžně používán pro označení počítačových systémů orientovaných na zpracování geografických dat, prezentovaných v podobě různých map (Rapant, 2002).

2.3 Geografický databázový systém

Systém je schopen pracovat s prostorovou databází navrženou pro ukládání, dotazování a manipulaci s geografickými informacemi a prostorovými daty (Schejbal, 2006). Geografické objekty jsou v počítačových GIS prezentovány jen na první pohled podobně jako v mapách, tedy jako body, čáry a plochy. Pro efektivní počítačové využití jsou tyto elementy reprezentující objekty organizovány úplně jinak, než jsou organizovány v klasické mapě. V zásadě existují dva základní způsoby reprezentace údajů v GIS vycházející z protikladných možností modelování prostoru podle (Tuček, 1998):

- Implicitní (vektorová) reprezentace, která vychází z objektového - relativního modelování prostoru.
- Explicitní (rastrová) reprezentace, označována i jako mozaiková (teselační), která vychází z modelování pomocí polí - absolutního modelování prostoru.

2.4 Vektorová reprezentace prostorových objektů

Ve vektorové skupině datových modelů základní logické jednotky modelu v geografickém kontextu korespondují s čarami na mapě, reprezentujícími objekty jako jsou např. řeky, ulice, hranice ploch nebo jejich segmenty. Obraz (model) objektu je vytvořen z čar. Tento způsob konceptuálního modelování dobře odpovídá využití entitně relačního modelování. Podobným způsobem je poměrně jasně implementován konceptuální model do logického modelu, nejčastěji relačního nebo v poslední době i objektově orientovaného.

Klíčovou úlohu ve vektorovém modelu sehrává prostorový referenční systém. V běžných aplikacích má funkci 2D nebo 3D karteziánského souřadnicového systému s Euklidiánskou metrikou. Popis prostorové situace ve vektorové struktuře se opírá o vyjádření geometrie prostorových objektů přes jejich lineární charakteristiky.

Základním geometrickým elementem je **bod** - point, který je jednoznačně definován svým vektorem souřadnic ve vektorovém prostoru. V **topologickém smyslu** se takový objekt nazývá **uzel** - node, jak je to zažité v teorii grafů. Přímá linie nebo ukotvená křivka mezi dvěma body definuje **linii** - line v geometrickém smyslu. V **topologickém smyslu** definuje propojení mezi dvěma uzly **hrana** - edge, nebo také **oblouk**. **Řetěz** - chain nebo cesta je sekvence sousedících hran, při daných určitých omezeních. Uzavřený řetězec se nazývá **polygon**.

Novější přístup je založen na principech objektového modelování údajů. Jeho základní znaky jsou podle (Tuček, 1998):

- Každý objekt má vlastní geometrii, topologii, tematiku a chování.
- Objekty je možné sdružovat do tříd. Třídou objektů můžeme chápat jako obrys vhodný pro všechny objekty třídy. Specifický objekt je případem - výskytem

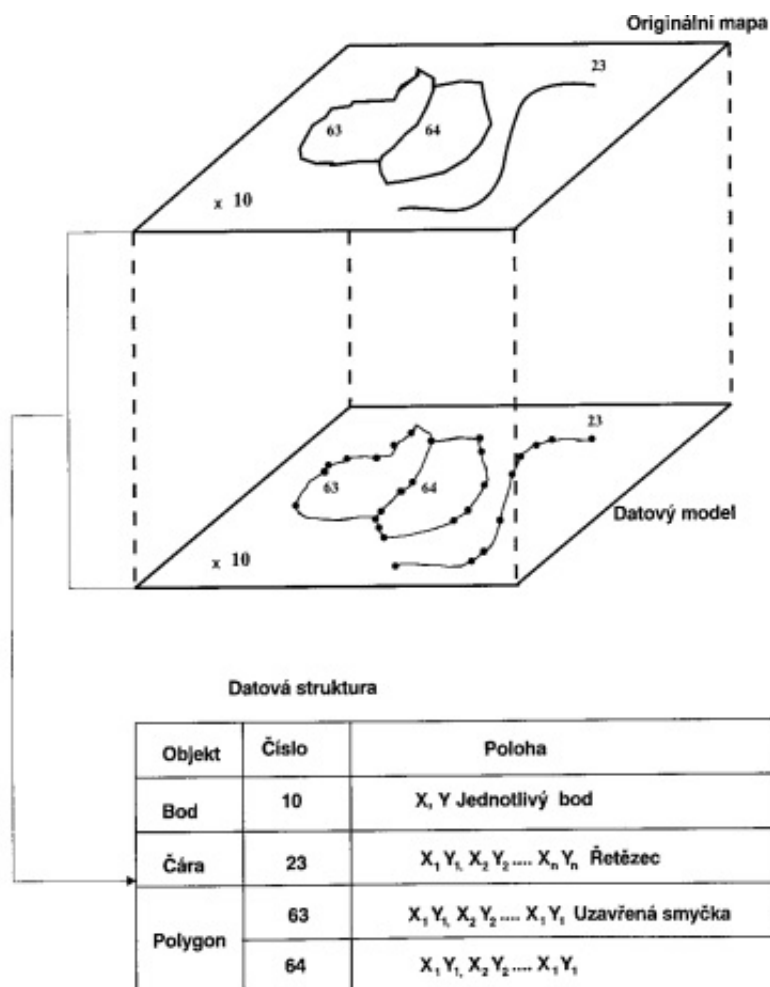
své třídy a vlastní všechny atributy a metody třídy. Má však vlastní atributové hodnoty.

- Je možné vytvářet hierarchické vztahy mezi objekty.
- Atributy a metody se dědí odvozováním pro podtřídu z existující třídy.

2.4.1 Vektorové datové modely a struktury

Špagetový model a struktura

Nejjednodušší vektorový datový model pro geografické údaje označovaný jako **špagetový model a struktura** nebo **model špagetových řetězců**, lze jej popsat způsobem, kdy přepíšeme klasickou mapu čáru po čáře do digitální podoby. Podstata spočívá v tom, že mapa zůstává konceptuálním modelem a soubor souřadnic X,Y je její datovou strukturou. Dvojměrný mapový model je převedený do seznamu, do jednorozměrného modelu. I přes to, že každá entita je prostorově definována, neponechaly se žádné prostorové vztahy. Digitální kartografický soubor je konstruován způsobem, kterému se tedy říká „špagetový model“, což určuje soubor řetězců souřadnic bez vnitřní struktury. Struktura vytvořená pomocí tohoto modelu je velmi neefektivní pro většinu prostorových analýz. Každý z prostorových vztahů např. vyhledání linií (ulic), které mají prostorovou interakci se zadaným polygonem (parkem), které jsou implicitní v originálním analogovém dokumentu se musí odvodit přes výpočet. Díky neexistenci uložených prostorových vztahů, jež nejsou potřebné pro kreslení, vytváří špagetový model a tuto strukturu efektivnější na reprodukci originálního grafického obrazu. Špagetový model se využívá pro aplikace, které jsou limitovány nižšími formami počítačového zobrazení (Tuček, 1998).

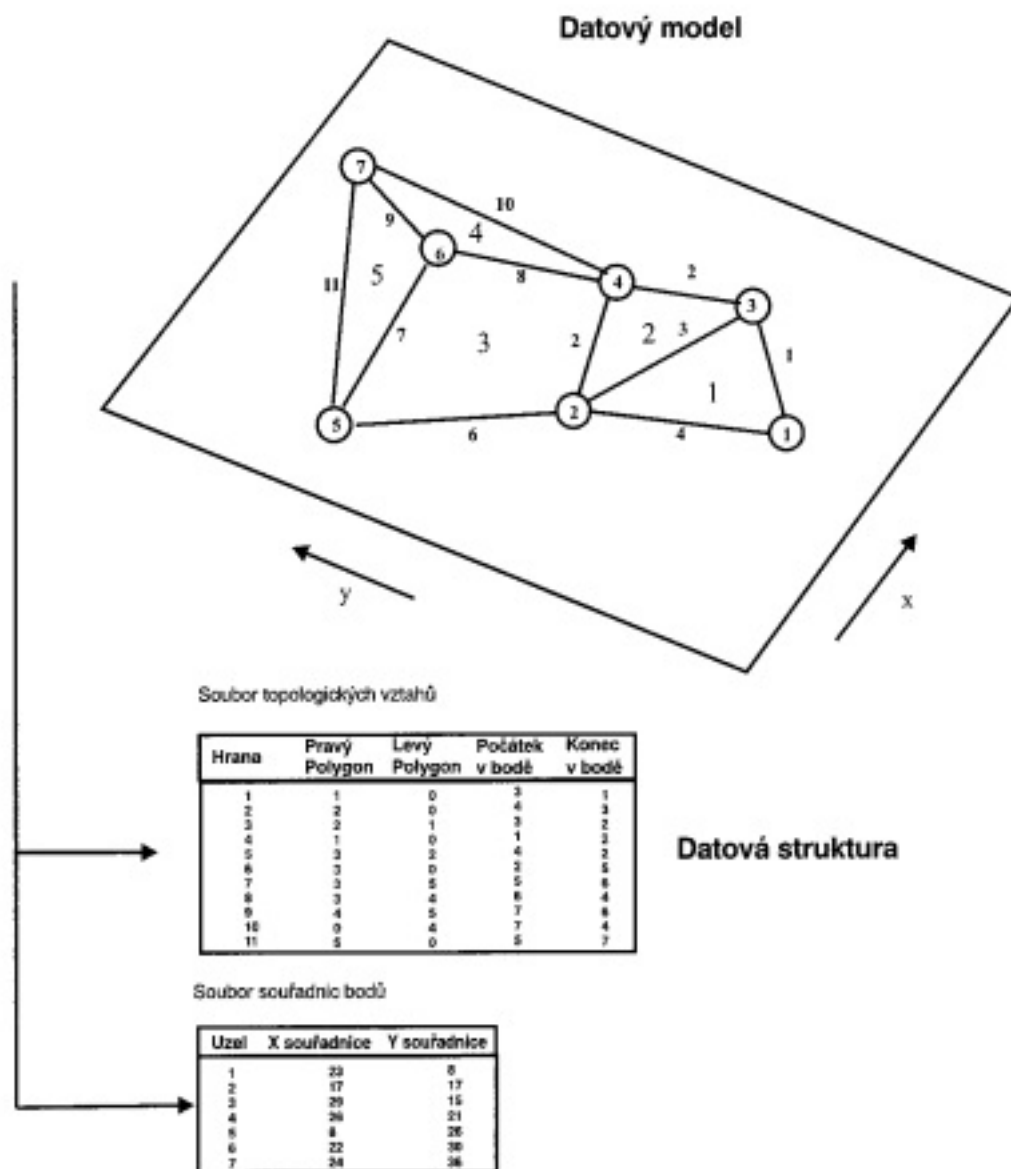


Obrázek 1: Špagetový model, (Tuček, 1998)

Topologický model a struktura

Mezi nejpobulárnější metodu, jak zachovat vztahy mezi entitami, je explicitně zaznamenat, zapsat „souvislostní“ informací do datových struktur, kterou nazýváme jako topologický datový model a struktura. V této struktuře je základním logickým prvkem, entitou linie, což je v topologickém smyslu hrana. Každá individuální hrana má zaznamenané označení a souřadnice svých dvou uzlových bodů. Pak také je zaznamenán identifikátor nebo název každého z polygonů napravo nebo nalevo od hrany. Díky tomuto způsobu se explicitně ponechaly elementární prostorové vztahy, které se užívají u analýz. Tato topologická informace dokáže definovat entity typu bodu, čáry a plochy pro uložení neredundantním způsobem. Známý problém v špagetovém a topologickém modelu a struktuře je, že individuální záznamy entit nejsou uspořádány. Podle (Tuček, 1998) se označuje takové uspořádání **reprezentace NAA**, tedy **uzel-hrana-plocha**. Primární složky modelu jsou oblouk-hrana, průsečík-uzel a plocha-polygon. Pro popis této struktury se dá velmi dobře použít entitně - re-

lační přístup. Vylepšení struktury dle tzv. DCEL - seznam dvojité propojených hran, který vylepšuje možnost prohledávání struktury uvedením předcházející a následující hrany pro každou popisovanou. Za poslední vylepšení je dle zmíněného autora reprezentace ve formě tzv. okřídlené hrany, v níž jsou zapsány všechny možné informace o souvislostech mezi uzly, hranami a plochami.

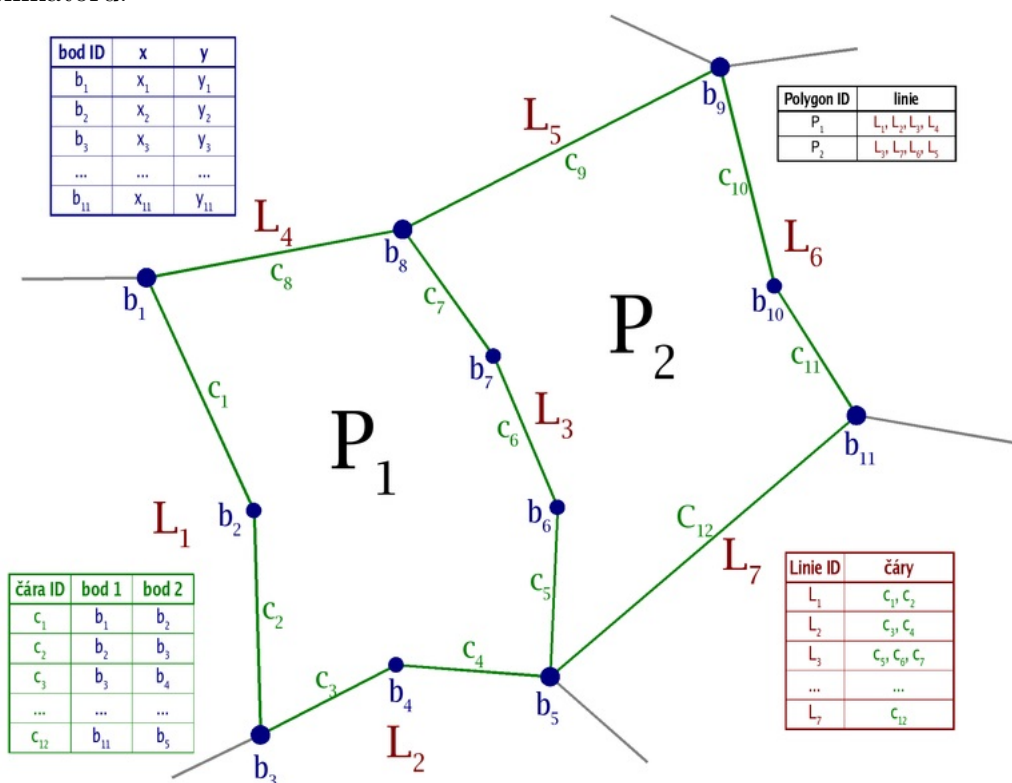


Obrázek 2: Topologický model, (Tuček, 1998)

Hierarchický model a struktura

Podle (Tuček, 1998) Model, který překonává velkou nevýhodu jednodušších vektorových modelů a struktur při vyhledávání entit tím, že zvláště ukládá informace o bodech - uzlech, liniích - hranách a plochách - polygonech v logické hierarchické

struktura se nazývá hierarchický vektorový model a struktura. Jelikož polygony jsou definovány prostřednictvím liniových objektů a liniové objekty jsou definovány řetězci poloh bodů, z tohoto důvodu je možné explicitním způsobem vybudovat model spojení, ve kterém závisí jeden typ objektu na druhém. Hierarchický vektorový model a struktura poskytují mnoho výhod oproti topologickému modelu a struktura při prohledávání a manipulaci. Oddělení tříd elementů dovoluje oddělené hledání jen ve specifické třídě. V počítačové implementaci tato fyzická separace umožňuje větší efektivnost v potřebném paměťovém prostoru stejně tak i v rychlosti pro většinu operací. Tím tento typ modelu má výrazné výhody při aplikaci na entity, jež mají velký počet společných úseků hranic. Fyzické oddělení vyžaduje však potřebu uložit složité struktury vyhledávačů, identifikátorů. Tyto nedatové elementy zvyšují požadavky na objem paměťového prostoru daného modelu. Další potenciální problém je při zabezpečování a udržení integrity údajů z důvodu špatné identifikace a opravy identifikátorů.



Obrázek 3: Hierarchický model, (Teni, 2007)

2.5 Rastrová reprezentace prostorových objektů

Definujeme hodnotu sledovaných fenoménů, jevů atd. v konkrétních polohách prostoru. Běžné objekty neexistují. V prostorovém elementu se zaznamenává podmínka, atribut, hodnota, která vyjadřuje stav v této poloze (Tuček, 1998). Takový přístup

můžeme uvažovat i pro trojrozměrný prostor, avšak aplikace jsou především rozvíjeny pro dvourozměrný.

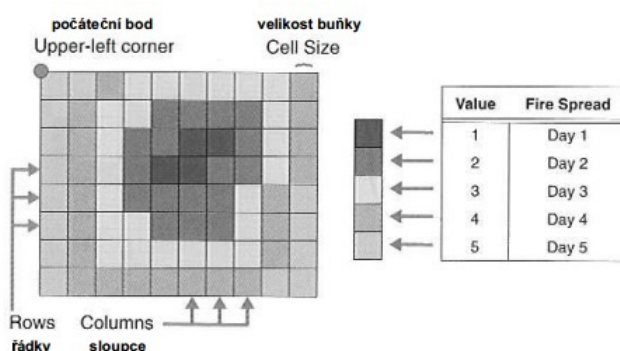
Základním stavebním prvkem je u rastrové struktury tzv. **buňka (cell)**. Buňky jsou organizovány do tzv. **mozaiky**. Jednotlivé buňky obsahují **hodnoty (values)** zastupující zkoumanou lokalitu.

Typy tvarů buněk podle (Břehovský, Jedlička, 2010):

- čtvercová buňka,
- trojúhelníková buňka,
- hexagonální buňka.

Nejčastěji se používá **čtvercová mřížka** - speciální typ mozaiky, protože dle (Břehovský, Jedlička, 2010):

- je kompatibilní s datovými strukturami programovacích jazyků používaných pro tvorbu GIS software,
- je kompatibilní s mnoha zařízeními pro vstup a výstup dat (monitory, scannery, plottery),
- je kompatibilní s kartézským souřadnicovým systémem.



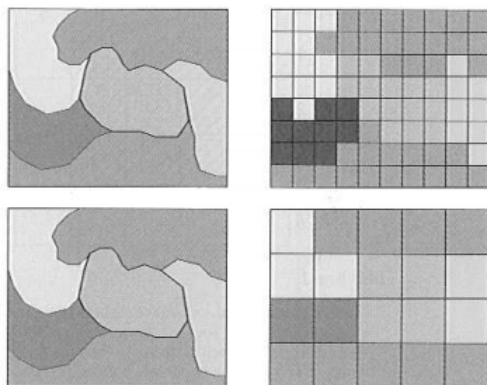
Obrázek 4: Čtvercová mřížka , (Břehovský, Jedlička, 2010)

Dalšími mozaikami jsou **Trojúhelníková** a **Hexagonální**.

2.5.1 Pravidelné reprezentace rastrových datových modelů a jejich struktury

Princip pravidelné čtvercové mřížky

V **2D prostoru** je čtvercová mozaika (mřížka) v souřadnicovém systému jednoznačně definována souřadnicemi počátečního bodu, velikostí buňky a počtem buněk ve směru X a Y (Břehovský, Jedlička, 2010).



Obrázek 5: Pravidelná čtvercová mřížka, (Břehovský, Jedlička, 2010)

2.5.2 Kompresní techniky používané pro ukládání pravidelných rastrů

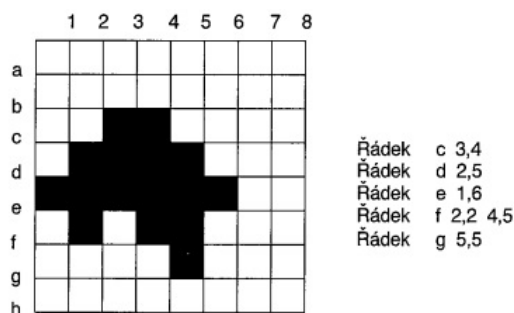
Velikost dat závisí na rozloze představované oblasti a na rozlišení bodů, avšak není závislá na obsahu. Ukládání rastrových dat je velmi náročné na prostor a má vysoké režijní náklady, proto se zde zavádějí kompresní techniky (Břehovský, Jedlička, 2010).

Metoda délkových kódů (Run Length Encoding - RLE)

Metoda odstraňující neefektivnost uložení rastrových dat pomocí matic. Využívá vlastnosti, že mnoho dat obsahuje rozsáhlé homogenní objekty, reprezentované velkým množstvím pixelů.

Kódování úseků řádků (Run Length Codes - RLC)

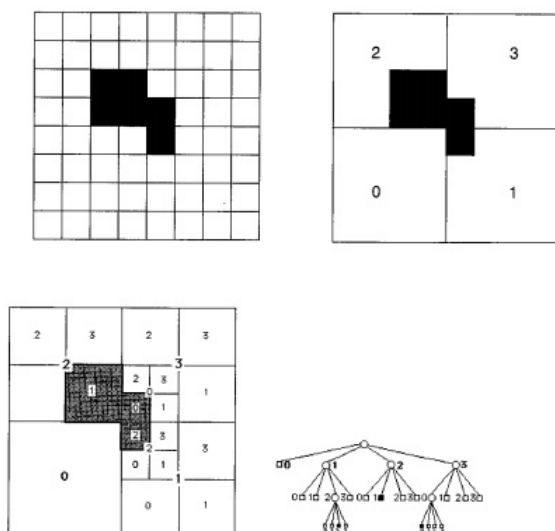
Kompresní metoda, která definuje příslušnost buněk rastru k objektu po řádcích nebo sloupcích, přičemž se udává jen začátek a konec úseku buněk v systému řádků a sloupců, které mají uloženou stejnou hodnotu (Břehovský, Jedlička, 2010).



Obrázek 6: RLC, (Břehovský, Jedlička, 2010)

Čtyřstrom (QuadTree)

Zastupuje hierarchické rastrové struktury. Využívá model „rozděl a panuj“ tak, že dělí prostor do kvadrantů, které jsou opět rozděleny do dalších čtyř kvadrantů, až do doby, kdy kvadrantu odpovídá homogenní oblast (Břehovský, Jedlička, 2010).



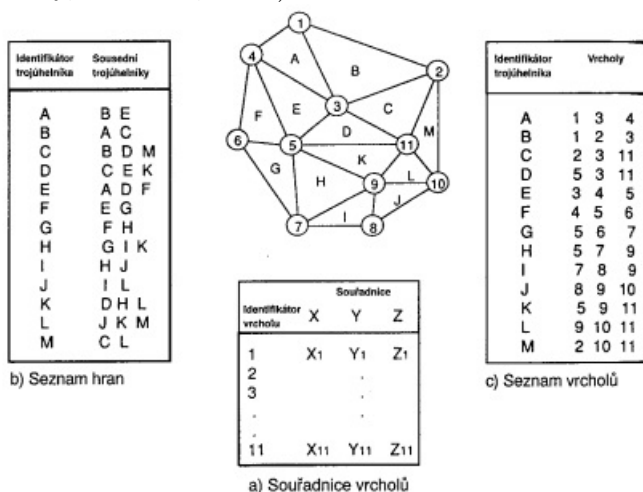
Obrázek 7: QuadTree, (Břehovský, Jedlička, 2010)

Adaptivní komprese

Využívá vlastnosti, že data je možné rozdělit do bloků a ty lze zakódovat pomocí metody s nejvyšší účinností, nedochází ke zbytečnému nárůstu režijních nákladů.

2.5.3 Nepravidelné reprezentace rastrových datových modelů a jejich struktury

Algoritmy (pro vytvoření, uložení i analýzy) jsou mnohonásobně složitější, než u pravidelných rastrů. Jedinou výjimkou je **Nepravidelná trojúhelníková síť (Triangulated Irregular Network - TIN)**, která je využívána pro reprezentaci povrchů (Břehovský, Jedlička, 2010).



Obrázek 8: TIN, (Břehovský, Jedlička, 2010)

2.5.4 Převody mezi reprezentacemi

Systémy umožňují provádět převody mezi trojúhelníkovou sítí a vektorovou, či rastrovou.

Částečný přehled funkcí podle (Břehovský, Jedlička, 2010):

- **Vektor -> TIN** - triangulace - využívá principy geometrické triangulace s určitými specifikacemi,
- **Vektor -> rastr** - interpolace (speciální případ interpolace, který respektuje specifika DMR),
- **TIN -> rastr** - speciální případ interpolace DMR.

Mezi konverzemi nebyla nalezena funkce k přechodu z TIN -> Vektor.

2.6 Organizace stanovující standardy prostorových databází

Zde jsou normalizační orgány definující standardy pro kontrolu/podporu designu a užití prostorových databází podle (Greener, 2009):

- Open Geospatial Consortium (OGC) Inc.,
- International Standards Organisation (ISO),
- W3C Consortium (XML),
- Sun (Java),
- Open Mobile Alliance-Location Working Group (lokace telefonů).

2.7 Standardy

2.7.1 Standardy datových formátů

CGM (Computer Graphics Metafile)

ANSI standard pro výměnu 2D rastrové a vektorové grafiky. Existují pluginy, které umí zobrazovat CGM na WWW stránce.

WMF/EMF (Windows MetaFile/Enhanced MetaFile)

Standard pro výměnu dat prostředí MS Windows, tím pádem není možnost používat v jakémkoli jiném prostředí, přípony *.wmf, *.emf.

VRML (Virtual Reality Modelling Language)

Standard pro popis 3D grafiky na internetu (Břehovský, Jedlička, 2010).

GML (Geography Markup Language)

Kódovací standard v XML pro vyjádření geografických funkcí. Slouží jako modelovací jazyk pro geografické systémy, taktéž i jako otevřený formát výměny pro geografické transakce na internetu.

KML (Keyhole Markup Language)

Podle OGC standardu, předloženo od společnosti Google. Jedná se o XML jazyk sloužící pro geografickou vizualizaci, anotaci a zobrazení map.

2.7.2 Standardy pro komunikaci

WFS (Web Feature Service)

Podle OGC standardu, jedná se o klient-server službu, která slouží k vytváření, modifikaci a výměnu geografické informace ve formátu vektorových dat na Internetu používáním HTTP protokolu.

WMS (Web Map Service)

Vytvořen na základě OpenGIS standardu, poskytuje prosté HTTP rozhraní pro dotazování se na geografické zobrazení map z jedné nebo více geodatabází. Ve WMS požadavku definujeme geografickou vrstvu a oblast zájmu, která má být zobrazována.

WCS (Web Coverage Service)

Reference reprezentují prostorově/časově různé typy snímačů, obrázky, simulace a statistická data. Reference jsou více prostorové a typicky reprezentují velké data o velikosti milion gigabit plnicí archivy. WCS slouží k přístupu do referencí.

WPS (Web Processing Service)

Poskytuje pravidla pro standardizaci jaké vstupy, nebo výstupy (požadavky nebo odpovědi) vytvářet pro geoprostorové procesní služby, jako třeba překrytí polygonu. Standard také definuje, jak klient může požadovat provedení procesu a jaký výstup z procesu se má vrátit.

WMTS (Web Map Tile Service)

Slouží jako rozhraní digitálních map používáním předdefinovaných obrázků dlaždic. Doplňuje existující standard WMS od OGC (Digitalglobe Inc, 2013).

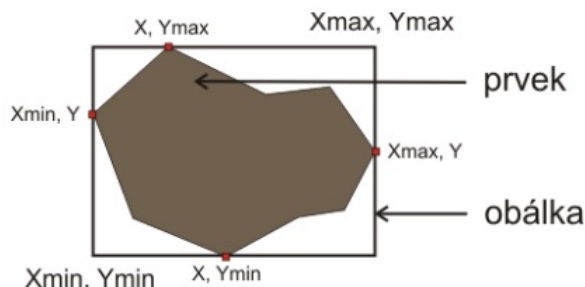
2.8 Procedurální jazyky

Vyvíjení programů v procedurálních programovacích jazycích je programové paradigma přejaté ze strukturálního programování a vyžaduje si, aby řešení problému bylo popsáno procedurou, to znamená přesným popisem, jak má daný problém být vyřešen. Typické jsou od Oracle PL/SQL a u PostgreSQL PL/pgSQL.

2.9 Prostorové indexy

Obecně v databázích slouží indexy pro urychlení práce s daty, odstraňují nutnost procházet tabulku sekvenčně při vyhledávání jakéhokoli řádku. Indexy v běžných databázích jsou určeny jen pro jednorozměrná data, pro prostorové databáze, kde se pracuje již s 2D prostorem se používají prostorové indexy. Velmi důležitý pojem v této souvislosti je obálka prvku (MBR - Minimum Bounding Rectangle), která odpovídá minimálním a maximálním souřadnicím obdélníku, který je nejmenším

opsaným obdélníkem daného prvku, jehož strany jsou rovnoběžné se souřadnicovými osami (Jedlinský, 2006).



Obrázek 9: Obálka prvku, (Jedlinský, 2006)

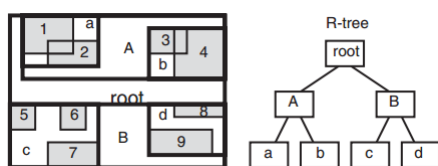
Typy prostorových indexů podle (Jedlinský, 2006):

Dlaždicový index - Jeho principem je rozdělení prostoru na pravidelnou čtvercovou síť (dlaždice). V databázi je pak ke každé neprázdné dlaždici zaznamenáno, které prvky do ní zasahují.

Quad-tree index - typ dlaždicového indexu, kde nestejně velké dlaždice vznikají rekurzivním dělením prostoru na kvadranty. Celá struktura je uložena ve stromu, kde každý uzel, který není listem, má čtyři potomky - podřízené uzly.

Voronoiův geodetický index - je obdobou dlaždicového indexu. Místo čtvercových dlaždic používá Voroného polygony (Voroného teselace) a místo pravouhlé obálky prvku obálku kruhovou (MBC - Minimum Bounding Circle).

R-tree index - R-tree index seskupuje prvky, aproximované svou obálkou, podle jejich polohy do hierarchické stromové struktury.



Obrázek 10: R-Tree index, (Oracle Corporation, 2015)

GiST index - není určitý druh indexu, spíše jednotná infrastruktura implementace různých druhů stromových indexů (různé B-stromy a R-stromy a další) v ORDMBS. GiST dovoluje uživateli vybrat ten index, který nejlépe odpovídá indexovaným datům.

2.10 Webové rozhraní

Výčet jednotlivých webových rozhraní schopných zobrazit geodata ve webových prohlížečích.

GeoServer - Open source software vytvořený v programovacím jazyce Java, který se využívá ke sdílení a úpravám geografických dat. Aplikuje standardy jako jsou WMS a WFS. Podporuje mnoho formátů, mezi které patří ArcSDE, Oracle Spatial, Microsoft SQL Server, ESRI Shapefile, GeoTIFF a další. Mezi výstupní soubory patří ESRI Shapefile, KML, GML, GeoJSON, PNG, JPEG, TIFF a mnoho dalších (Ruber, 2014).

Open layers - je Open Source knihovna pro zobrazování map psaná v javascriptu, podporuje GeoRSS, SHP, KML, GML, GeoJSON, OGC WMS a WFS. Dále implementuje OpenStreetMap, Bing Maps nebo Google Maps.

MapServer - populární Open Source projekt, funguje jako CGI program, jehož účelem je zobrazovat dynamické prostorové mapy na Internetu.

Hlavní funkce podle (Mckenna, Fawcett, Butler, 2014):

- podporuje zobrazování a dotazování stovky rastrových, vektorových a databázových formátů,
- podpora skriptovacích jazyků a vývojového prostředí např. PHP, Python, Perl, Ruby, Java, .NET.

QGIS server - tak jako předešlé aplikace, tak i QGIS je Open Source server, napsaný v jazyku C++, jehož grafické uživatelské rozhraní bylo postaveno na knihovně Qt. Umožňuje vytvářet další zásuvné moduly taktéž v C++ nebo v Pythonu. Slouží k prohlížení, tvorbu, editaci rastrových, vektorových dat, zpracovává GPS data a vytváří mapové výstupy.

MapGuide Open Source - webová platforma, která umožňuje uživatelům vyvíjet a sdílet webové mapovací aplikace a geoprostorové webové služby. MapGuide je interaktivní prohlížeč, který zahrnuje podporu výběrových funkcí, kontrolu vlastností a typy map. Implementuje XML databázi pro modifikaci obsahu a využívání nejvíce populárních geoprostorových souborových formátů, databází a standardů. Nabízí se rozšíření o PHP, .NET, Java a JavaScript API (Rbray, 2007).

Deegree - Open Source projekt vytvořený v Java programovacím jazyku, nabízí stavební bloky SDI (Spatial Data Infrastructure), kde implementuje OGC a ISO/TC211 standardy. Deegree zahrnuje pět různých produktů:

- deegree Web Services: užívá WMS, WFS, WCS, CSW, Gazetteer (zeměpisný slovník), WPS, WCTS, WTS/WPVS, atd.,

- deegree iGeoPortal: framework tohoto projektu má modulární strukturu a zahrnuje moduly map, zeměpisný slovník, katalogy, ochranu dat a podporu 3D,
- deegree iGeoSecurity: udržuje bezpečnost SDI,
- deegree iGeoSecurity: udržuje bezpečnost SDI,
- deegree iGeo3D: úložiště a vizualizace 3D geodat,
- deegree iGeoDesktop: SDI povrchový GIS.

Zpracovává data z ESRI Shapefile, PostgreSQL/PostGIS, Oracle Spatial/Locator, MIF, ArcSDE, všechny relační databáze podporující JDBC. Rastrové výstupy dat ve formátu PNG, GIF, JPEG, BMP, TIFF, ECW, Oracle GeoRaster.

ArcGIS - produkt od firmy ESRI, používá se ke snadné konfiguraci webových aplikací, podpora klient ArcGIS Desktop a ArcGIS Explorer. Sady služeb: mapové služby (2D a 3D), geodatové služby, služby geoprocesingu, SOAP služby, WMS a KML, pomocí nichž lze publikovat data do CAD systému typu MicroStation. Poskytuje vývojářské nástroje .NET a Javy. Kompletní ADF (Application Developer Framework) pro mobilní klienty (ArcGIS Mobile).

2.11 REST (Representational State Transfer) rozhraní

REST je koncept pro design distribuované architektury. Distribuovaná architektura tedy znamená, že části programu běží na různých strojích a ke komunikaci mezi sebou používají síť. Programem se myslí webová aplikace, kde internetový prohlížeč komunikuje s webovým serverem (Rodriguez, 2008). REST rozhraní se používá pro jednotný a snadný přístup ke zdrojům (resources). Jako zdroj se považují data nebo stavy aplikací. Každý zdroj je identifikován pomocí URI. Můžou se data načítat v XML formátu a také posílat data zpět na server ve stejném XML formátu za účelem provádění změn v systému.

Operace na zdrojích jsou implementovány se standardem primitiv HTTP: GET ke čtení a PUT, POST, DELETE k zapsání změn. Každý zdroj je reprezentován jako URL.

2.11.1 Základní principy RESTu

Výčet principů podle (Rodriguez, 2008):

- stav chování a aplikace je vyjádřen tzv. resourcem (klíčová abstrakce), každý resource musí mít unikátní identifikátor (URL, URN),
- HATEOAS (Hypermedia as the Engine of Application State), v překladu Hypermedia jako aplikační stav) - stav aplikace určen pomocí URL. Další možné stavy můžeme získat pomocí odkazů, které klient dostane v odpovědi od serveru,

- jednotný přístup pro získání a manipulaci s resourcem v podobě 4 operací CRUD (CREATE, READ, UPDATE, DELETE),
- resource může mít různé reprezentace (XML, HTML, JSON, SVG, PDF), kde klient pracuje již přímo s jeho reprezentací.

Formáty výměny dat (Rodriguez, 2008):

- ATOM/RSS - populární sada protokolů pro publikaci a aktualizaci informačních zdrojů,
- JSON (Javascript Object Notation) - speciální záznam popisu dat odvozený z Javascriptu s nízkou provozní režii, interpretovatelný v jakémkoliv prohlížeči,
- XML - univerzální formát, který funguje vždy a všude.

Cíle REST:

- obecné rozhraní,
- škálovatelnost komunikujících komponent,
- Nezávislé nahrávání (deploy) komponent,
- Použití zprostředkující komponenty ke snížení odezvy (latence), zvýšení bezpečnosti a zapouzdření systémů.

2.11.2 Typy REST rozhraní

Zde jsou popsány REST rozhraní, které mohou pracovat s více databázovými systémy, v kapitole „Porovnávání vlastností databázových systémů“ již budou popsány i rozhraní, které jsou vytvořené přímo pro daný systém.

GeoREST

Jedná se o framework pro distribuci geoprostorových dat. Umožňuje RESTful přístup k prostorovým zdrojům dat, zahrnující úplnou editaci schopností, skrz MapGuide server nebo přímo přes FDO (Feature Data Objects) - API pro manipulaci, definování a analyzování informací bez ohledu na to, kde jsou uloženy. Více na oficiálních stránkách GeoREST¹.

Příklady datových zdrojů:

- PostGIS,
- Oracle Spatial,
- Microsoft SQL Server Spatial,
- MySQL,

¹<https://code.google.com/p/georest/>

- SHP,
- SDF,
- SQLite (FDO),
- SpatiaLite.

Příklady výstupních formátů:

- GeoJSON,
- XML,
- OData,
- PNG (pouze MapGuide vrstvy),
- HTML (šablona),
- KML (šablona),
- GeoRSS (šablona),
- CSV (šablona).

Geoserver API

Dokumentace z oficiální stránky Geoserver API¹.

Příklady datových zdrojů:

- PostGIS,
- H2,
- ArcSDE,
- DB2,
- MySQL,
- Oracle,
- Microsoft SQL Server a SQL Azure.

Výčet vektorových dat:

- Shapefile,
- Java properties,
- GML,
- VPF.

¹<http://docs.geoserver.org/2.6.x/en/user/rest/api/index.html>

Výčet rastrových dat:

- GeoTIFF,
- GTOPO30,
- WorldImage,
- ArcGrid,
- GDAL Image Formats,
- Oracle Georaster,
- Postgis Raster.

2.12 Import dat

V této sekci jde zejména o GIS souborové formáty, které jsou schopny jednotlivé GIS databáze importovat/exportovat, především tedy se jedná o standardy zakódování geografické informace do souboru. Byly vytvořeny hlavně díky vládním mapovacím agenturám nebo GIS vývojářům.

Typy vektorových formátů:

- **AutoCAD DXF** - obrysy nadmořských výšek pozemků,
- **DLG** - USGS formát pro vektorové data,
- **GeoJSON** - jednoduchý formát založený na JSON,
- **GeoMedia** - Intergraph's Microsoft Access základní formát pro prostorové vektorové data,
- **NTF** - National Transfer Format,
- **Spatialite** - prostorové rozšíření pro SQLite, poskytující vektorovou geodatabázovou funkcionalitu,
- **Shapefile** - populární vektorový datový GIS formát, vytvořen firmou Esri,
- **Simple Features** - bylo již zmíněno a jde o formáty WKB, WKT, EWKB, EKWT apod. od OGC pro vektorové data,
- **Spatial Data File** - Autodesk vysoko výkonné geodatabázové formáty, přísluší MapGuide.

Typy rastrových formátů:

- **ADRG** - od agentury NGA ARC Digitalizovaná Rastrová Grafika,
- **RPF** - armádní souborový formát specifikovaný v MIL-STD-2411,

- **DRG** - digitální scan papíru USGS topografické mapy,
- **Esri grid** - proprietární binární a metadatový ASCII rastrový formát užívaný firmou Esri,
- **Geo TIFF** - TIFF varianta obohacená o metadata,
- **JPEG2000** - open-source rastrový formát, kompresní, umožňuje ztrátovou kompresi,
- **ECW** - kompresní vlnový formát, většinou ztrátový,
- **MrSID** - kompresní vlnový formát, umožňuje ztrátovou kompresi,
- **netCDF** - souborový formát s CF metadatovou konvencí pro zemské vědecké data.

3 Porovnávání vlastností databázových systémů Oracle a PostgreSQL

3.1 Odůvodnění výběru databázových systémů

Hlavní příčinou výběru databázových systémů Oracle 11g a PostgreSQL 9.2 je porovnat v prvním případě komerční a v druhém nejpoužívanější open source systém, taktéž dle mého názoru se jedná o velmi často užívané databáze velkých firem, které je užívají při implementaci svých projektů. Především v případě této práce se řeší jejich nádstavby pro ukládání geoprostorových dat a to Oracle Locator 11g a PostGIS 2.1.3.

3.1.1 Stupnice hodnocení aspektů

Zohledňují se jednotlivé aspekty způsobem, jakým tento aspekt a jeho možnosti ovlivňují celkovou úroveň daného systému.

Stupně hodnocení:

- 5 body - systém poskytuje nadstandartní schopnosti,
- 4 body - systém splňuje veškeré požadované schopnosti, některými vyniká nad ostatními,
- 3 body - systém splňuje veškeré požadavky,
- 2 body - systém nelze použít při určité situaci,
- 1 bod - systém nespĺňuje požadavky.

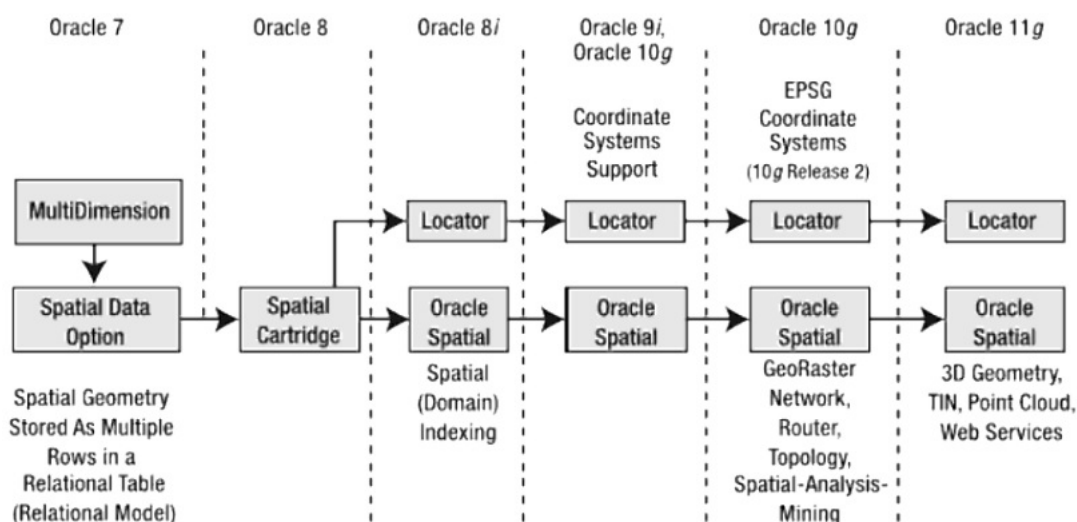
Oracle Spatial and Graph - často označován pouze jako Spatial nebo Oracle Spatial, poskytuje SQL schéma a funkce, které umožní ukládání, obnovu, aktualizaci a dotazování skupinou prostorových funkcí v Oracle databázi (Murray, 2009). První verze Oracle Spatial byla vydána zároveň s verzí Oracle 8iR1 v roce 1999 (Greener, 2009).

Oracle Locator je komerční geografický databázový systém, podmnožina Oracle Spatial, který patří do licence Oracle Database Enterprise Edition. Při pořizování licence pro Oracle Locator je nutné koupit licenci Oracle Spatial, v podmínkách použití je však definováno omezení, které funkce je možné zahrnovat ve vývoji vlastních projektů. Oracle Locator je právě podmnožinou Oracle Spatial.

Tabulka 1: Vývoj u Oracle Spatial and Graph

verze	funkce
8i	Základní SDO_GEOMETRY, Quad Tree Indexace
9iR1	Geodézie, Lineární Referenční Systém, RTree prostorový index, Prostorové Agregační funkce, Rozdělovací Indexy
9iR2	Dodatky k změny funkcí např. SDO_AGGR_UNION, SDO_AGGR_MBR
10gR1	Anotační bod, GeoRastr, Síťový datový model, Geokódování, Topologie, Prostorové analýzy a dolování dat(Prostorová korelace, kolokace, shlukování, průzkum), dodatky a změny funkcí
10gR2	EPSG SRS, WKB in/out, Různé dodatky a změny funkcí
11gR1	TIN, SOLIDS, POINTCLOUDS, 3D RTree indexy a 3D dotazovací operátory
11gR2	SDO_AGGR_SET_UNION(cf STRM ST_UNION), Různé dodatky a změny funkcí, KML in/out; GML in

Oracle je hlavní člen Open Geospatial Consortium (OGC) a má aktivní účast v technickém výboru (Ihm, 2007).



Obrázek 11: Rozšíření Oracle Spatial/Locator, (Rychlý, 2014)

PostGIS je open source geodatabáze, která je nádstavbou objektově–relační databáze PostgreSQL. Hlavním přínosem PostGIS je rozšíření funkcionality databázového systému o možnost ukládání geografických prostorových dat a provádění prostorových dotazů v jazyku SQL. PostGIS implementuje Simple Features for SQL Specification organizace Open Geospatial Consortium (OGC) (Linhartová, 2013).

Simple Features for SQL Specification OGC definuje dva standartní způsoby vyjádření prostorových objektů WKT (Well-Known Text) a WKB (Well-Known Binary). Oba tyto způsoby obsahují informace o typu a souřadnicích, kterými je geometrický typ určen. OGC vyžaduje, aby formát uložení zahrnoval informaci o souřadnicovém systému ve formě identifikátoru SRID (Linhartová, 2013). SRID je číselná hodnota sloužící jako identifikátor prostorového referenčního systému, s čímž je asociována geometrie. PostGIS implementuje rozšířené formáty EWKT (Extended Well-Known Text) a EWKB (Extended Well-Known Binary), které umožňují ukládat 3D a 4D prostorové data s informací o SRID.

Příklad hodnot SRID:

- 2001 - dvoudimenzionální bod,
- 3001 - třídimeznionální bod,
- 2004 - geometrická kolekce.

3.2 Aspekty porovnávání

- Způsob uložení vektorových dat,
- Způsob uložení rastrových dat,
- Typy geometrií,
- Prostorové indexy,
- Standardy,
- Procedurální jazyky,
- Licence,
- Webové rozhraní,
- REST rozhraní,
- Import dat.

3.3 Způsob uložení vektorových dat

PostGIS

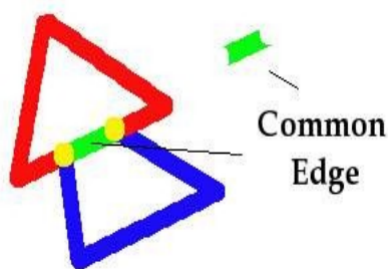
Může ukládat vektorová data do topologického modelu nebo pouze do špagetového,

v případě že uživatel chce do databáze vložit i vztahy jednotlivých geometrických objektů, tak je nutné užití topologického modelu. Existuje tzv. „PostGIS Topology“, které implementuje různé typy a funkce používané pro řízení topologických objektů. Skládá se z následujících částí, které obsahují spoustu předprogramovaných funkcí podle (PostGIS, 2014):

- CreateTopology - vytváří nové topologické schéma,
- CreateTopoGeom - vytváří novou topologickou geometrii z topo element pole,
- GetTopoGeomElementArray - vrací topoelementarray obsahující topologické elementy a typ daný TopoGeometrii,
- toTopoGeom - konvertuje geometrii k existující topo geometrii,
- TopologySummary - vrací jméno topologie a poskytuje souhrn typů objektů v topologii,
- ST_InitTopoGeo - vytváří nové topologické schéma a registruje toto schéma do topologické tabulky a vydá souhrn procesu.

Topogeometrie

Jedná se o kompozitní typ reprezentující topologicky definovanou geometrii ve specifické topologické vrstvě, mající specifický typ a identifikátor. Elementy Topogeometrie jsou topology_id, layer_id, id integer, type integer. První identifikátor udává identifikátor geometrie, druhý vrstvy, třetí udává geometrii vzhledem k topologii a čtvrtý typ geometrie.



Obrázek 12: Topologie v PostGIS, (Santilli, 2011)

Příklad topologie v PostGIS podle (Santilli, 2011):

- u každé hrany je definováno levé a pravé průčelí,
- u každého izolovaného uzlu je definováno průčelí uvnitř,
- v průsečíku je uzel,
- uzly jsou sdílené.

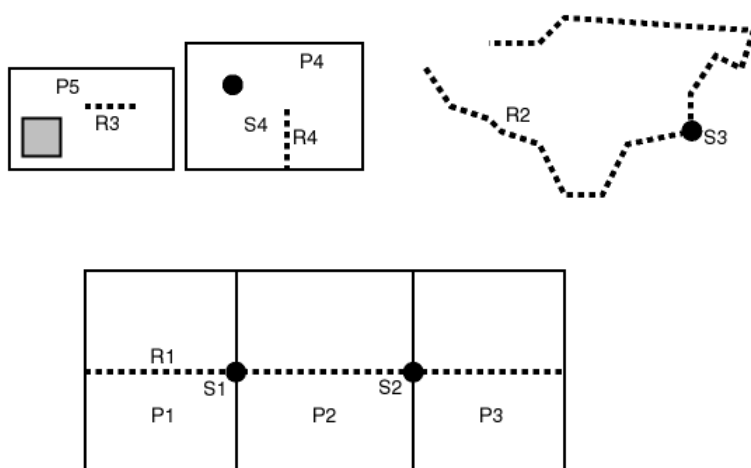
Oracle Spatial

Stejně jako PostGIS využívá k ukládání vektorových dat topologický model a zároveň i špagetový, který umožňuje pracovat s vektorovými daty jako uzly, hranami a plochami v topologii. Je možné ukládat informace o topologických elementech a geometrických vrstvách v Oracle Spatial tabulce a v metadatech. Základními elementy jsou uzly, hrany, plochy.

Oproti PostGIS nemá Oracle Spatial dokumentaci rozdělenou na jednotlivé kapitoly, proto výčet důležitých metod:

- SDO_TOPO.CREATE_TOPOLOGY - slouží k vytváření topologií,
- SDO_TOPO.ADD_TOPO_GEOMETRY_LAYER - asociuje tabulku předlohy s topologií,
- SDO_TOPO.INITIALIZE_METADATA - inicializuje topologické metadata,
- SDO_TOPO_GEOMETRY - konstruktor pro vytvoření topologické geometrie, jedná se o objektový typ, který má 4 atributy čísla: typ geometrie, identifikátor geometrie, identifikátor vrstvy a topologie,
- GET_TOPO_ELEMENTS - vrací SDO_TOPO_OBJECT_ARRAY, což je objekt topologické geometrie asociovaný s plochou parcely,
- xxx_SDO_TOPO_INFO - USER_SDO_TOPO_INFO nebo ALL_SDO_TOPO_INFO, podle prefixu se může specifikovat o čem jsou požadována data,
- SDO_TOPO_MAP.CREATE_FEATURE - načte zdrojovou tabulku, vloží data z prostorové tabulky.

Je možné použít PL/SQL API a Java API pro úpravu topologie.



Obrázek 13: Topologie, (Oracle Corporation, 2015)

Topologické geometrie a vrstvy

Popis obrázku dle (Oracle Corporation, 2015):

- Bodová charakteristika (dopravní značky) prezentovány jako tmavé body: S1, S2, S3 a S4,
- Liniová charakteristika (ulice nebo cesty) prezentovány jako přerušované čáry: R1, R2, R3 a R4,
- Plošná charakteristika (pozemky) prezentovány jako obdélníky: P1, P2, P3, P4 a P5.

Topologická geometrie je prostorová reprezentace skutečných objektů světa. Geometrie jsou ukládány jako množina topologických elementů (uzly, hrany a plochy), kterým se někdy říká primitiva. Každá topologická geometrie má unikátní identifikátor.

Topologicky geometrická vrstva obsahuje topologické geometrie určitého typu, nebo to může být kolekce více typů. Taktéž každá vrstva má unikátní identifikátor.

Oracle Locator - nezahrnuje pro ukládání topologický model, využívá pouze špagetový model, který umožní běžné ukládání souřadnic u geometrií.

Odůvodnění hodnocení PostGIS, tak jako Oracle Spatial umožňuje používat topologický model s velkým spektrem předprogramovaných funkcí, proto tedy 4 body. Oracle Locator tuto schopnost nemá, avšak i přesto se dají stavět na tomto geodatabázovém systému rozsáhlé aplikace, proto 2 body.

3.4 Typy geometrií

PostGIS - Od verze 0.9 PostGIS podporuje všechny prvky a objekty definované v OGC Simple Features for SQL (Landa, 2010). Geometrické objekty nulté (bod), první (linie) a druhé (polygon) dimenze v 2D/3D/4D souřadnicovém systému.

- 2D (x,y),
- 3D (x,y,z),
- 3D (x,y,m),
- 4D (x,y,z,m).

Příklad **WKT** prezentace a zároveň ukázka typ geometrií, které jsou v PostGIS implementovány podle (PostGIS, 2014):

- POINT(0 0),
- LINESTRING(0 0,1 1,1 2),



Obrázek 14: LINESTRING, (PostGIS, 2014)

POLYGON(((0 0,4 0,4 4,0 4,0 0),(1 1, 2 1, 2 2, 1 2,1 1))),



Obrázek 15: POLYGON, (PostGIS, 2014)

MULTIPOINT(0 0,1 2),

MULTILINESTRING((0 0,1 1,1 2),(2 3,3 2,5 4)),



Obrázek 16: MULTILINESTRING, (PostGIS, 2014)

MULTIPOLYGON(((0 0,4 0,4 4,0 4,0 0),(1 1,2 1,2 2,1 2,1 1)), ((-1 -1,-1 -2,-2,-2,-2 -1,-1 -1))),



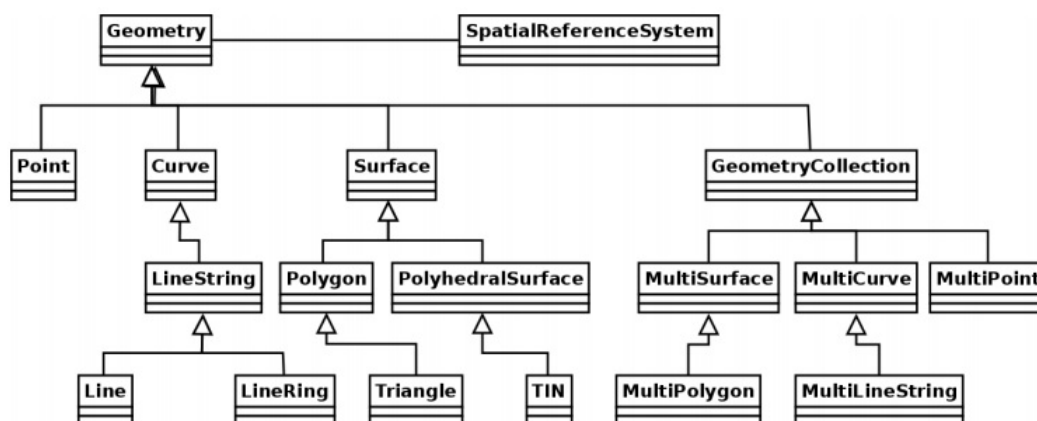
Obrázek 17: MULTIPOLYGON, (PostGIS, 2014)

GEOMETRYCOLLECTION(POINT(2 3),LINESTRING(2 3,3 4)).

SQL/MM rozšíření:

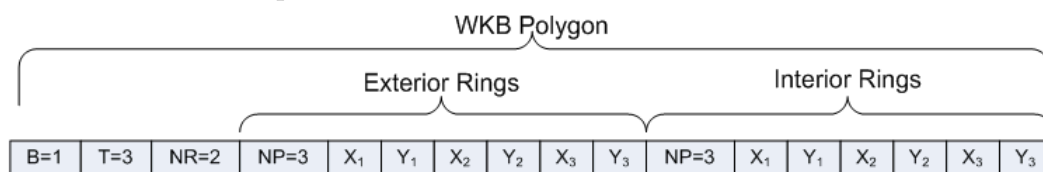
- CIRCULARSTRING(0 0, 1 1, 1 0),

- COMPOUNDCURVE(CIRCULARSTRING(0 0, 1 1, 1 0),(1 0, 0 1)),
- CURVEPOLYGON(CIRCULARSTRING(0 0, 4 0, 4 4, 0 4, 0 0),(1 1, 3 3, 3 1, 1 1)),
- MULTICURVE((0 0, 5 5),CIRCULARSTRING(4 0, 4 4, 8 4)),
- MULTISURFACE(CURVEPOLYGON(CIRCULARSTRING(0 0, 4 0, 4 4, 0 4, 0 0),(1 1, 3 3, 3 1, 1 1)),((10 10, 14 12, 11 10,10 10),(11 11, 11.5 11, 11 11.5, 11 11))).



Obrázek 18: Geometrický model v PostGIS, (Landa, 2010)

Příklad **WKB** prezentace:



Byte Order NDR (B=1), Polygon Type (T=3) with 2 Linear Rings (NR=2) having 3 Points (NP=3)

Obrázek 19: Struktura WKB formátu , (Altibase, 2013)

Oracle Spatial

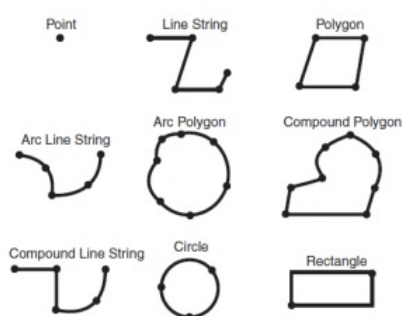
Oracle Spatial podporuje objektově–relační model pro reprezentaci geometrie. Tento model používá tabulky s jedním sloupcem SDO_GEOMETRY a jedním řádkem pro každý geometrický záznam. Koresponduje s „SQL with Geometry Types“ implementací prostorových tabulek podle OGC specifikace (Murray, 2009). Ve výčtu atributů objektového typu SDO_GEOMETRY se nachází SDO_GTYPE, který implementuje určité typy 3D geometrií pro Spatial. Výčet SDO_GTYPE podle (Oracle Corporation, 2015) dokumentace :

- UNKNOWN GEOMETRY,
- POINT,

- LINE or CURVE,
- POLYGON or SURFACE,
- COLLECTION,
- MULTIPOINT,
- MULTILINE or MULTICURVE,
- MULTIPOLYGON or MULTISURFACE,
- SOLID,
- MULTISOLID,

Výčet 2D geometrií:

- POINTS a POINT CLUSTERS,
- LINESTRINGS,
- N-POINT POLYGONS,
- ARC LINE STRINGS,
- ARC POLYGONS,
- COMPOUND POLYGONS,
- COMPOUND LINESTRINGS,
- CIRCLES,
- OPTIMIZED RECTANGLES,



Obrázek 20: Podporované geometrické typy v Oracle Spatial, (Murray, 2009)

Oracle Locator - nepodporuje TIN (Triangulated irregular network) a PC (Point Cloud) datové typy a podprogramy s nimi spojené, taktéž neumožňuje ukládání 3D prostorových dat

Odůvodnění hodnocení PostGIS i Oracle Spatial mají schopnost ukládat až 4D

geometrie, ale z praktického příkladu migrace dále v dokumentu je možné zjistit, že jsou funkce s nimiž PostGIS není schopen pracovat při aplikování například na geometrickou kolekci ukládající CIRCULARSTRING, proto tedy 4 body z důvodu ne tak velkého vlivu na fungování aplikací pracujících s PostGISem. Oracle Spatial získává 5 bodů. Oracle Locator není schopen ani 3D data ukládat, avšak taktéž není z praktické zkušenosti tento nedostatek příliš ovlivňující stavbu aplikace, a proto 3 body.

3.5 Způsob uložení rastrových dat

PostGIS

Využívá se `raster2pgsql`, který načítá pomocí GDAL knihovny různé podporované rastrové formáty do vhodného SQL pro vložení do rastrové tabulky v PostGIS. Je schopný načítat složky rastrových souborů a stejně tak i vytvářet pohledy rastrů (PostGIS, 2014). Na rozdíl od Oracle je implementován pouze jeden datový typ pro rastry.

Oracle Spatial

V GeoRaster objektově-relačním modelu, kde rastrové tabulky jsou užívány k ukládání všech buněk do rastrového obrázku. Data buněk GeoRaster objektu jsou blokována a každý blok je uložen v rastrové datové tabulce jako jeden řádek. Rastrová tabulka je jako objekt definovaný `SDO_RASTER` objektovým typem. Tak jako je `raster2pgsql`, lze zde užít `ogr2ogr`, což vlastně užívá knihovnu GDAL a dělá různé transformace mezi datovými formáty, je možné tuto utilitu využít i pro PostGIS.

- *SDO_GEORASTER* - ukládá například satelitní snímky nebo dálkové průzkumy (moderní metoda při níž se získávají informace o objektech a jevech na povrchu planety Země bez nutnosti fyzického kontaktu), XML schéma k ukládání metadat (zdrojové kódy nebo informace o vrstvách). Georeferenční systém - přiděluje pixely obrazu k zeměpisné šířce/délce na zemském povrchu.
- *SDO_RASTER* - sloupec tohoto typu ukládá binární data a metadata se souřadnicemi, přiblížením a oblastí platnosti.

Oracle Locator - nepodporuje `SDO_GEORASTER`.

Odůvodnění hodnocení PostGIS využívá knihovnu GDAL, což je velmi rozsáhlá knihovna implementující spoustu rastrových formátů, jak bylo zmíněno i Oracle má tu možnost využití, proto lze říci, že zde nejsou příliš rozdíly, PostGIS i Oracle Spatial získává 4 body. Oracle Locator je do jisté míry omezen, když není možné použít `SDO_GEORASTER`, ale pouze `SDO_RASTER` a tedy uděleny 2 body.

3.6 Prostorové indexy

PostGIS

V PostgreSQL jsou implementovány následující typy indexů:

- Btree: Umožňuje práci s daty, která jsou uložena dle jedné osy, což u geografických dat není možné dodržet a tak pro prostorové vyhledávání nelze používat,
- Rtree: Rozkládá hierarchicky data na co nejmenší obdélníky. Tento index je v některých prostorových databázích používán, avšak není tak robustní jako GiST,
- GiST: Rozbívá data na „things to one side“, „things which overlap“, „things which are inside“. Může být použit na široké spektrum typů dat včetně GIS dat.

PostGIS používá pro GIS data Rtree index implementovaný jako GiST (Linhartová, 2013). Na rozdíl od Oracle Locator umožňuje indexování 3D prostorových dat.

Oracle Spatial

- QuadTree: jedná se o dlaždicový typ indexu a není doporučován v Oracle Spatial,
- RTree: Aproximuje každé geometrii jediný nejmenší ohraničující obdélník MBR (tj. minimum bounding rectangle) (Linhartová, 2013).

Oracle Locator - nepodporuje indexaci 3D prostorových objektů, což vyplývá z toho, že nepodporuje ani ukládání 3D prostorových dat.

Odůvodnění hodnocení

Jak je možné vidět PostgreSQL implementuje tři indexy, avšak dle kapitoly *Řešební část* je GiST index ne jako samotný index s odlišným způsobem procházení dat, ale skládá se z BTree a RTree. Tato konstrukce je praktická pro možnost výběru vhodného indexu podle dat již při běhu systému, proto u PostGIS 4 body. Oracle implementuje RTree index, který je běžný a obvyklý v prostorových databázích, proto 4 body. Oracle Locator není možné použít na indexaci 3D prostorových dat a tedy jen 2 body.

3.7 Standardy

PostGIS - U PostGISu je možné využívat následující standardy pro komunikaci WMS, WFS, WCS, WPS a WMTS.

Oracle Spatial - podporuje WMS, WFS, WCS a lokační služby.

Oracle Locator - oproti Spatialu nepodporuje WFS.

Odůvodnění hodnocení PostgreSQL i Oracle splňují standardy podle OGC, čili je pravděpodobné, že podpora standardů pro komunikaci bude podobná, proto uděleny 3 body oběma. Oracle Locator pouze jeden standard nepodporuje, což není žádný velký nedostatek a proto 2 body.

3.8 Procedurální jazyky

PostGIS

Podle (PostGIS, 2014):

- **PL/pgSQL**
 - používán k tvorbě funkcí a trigger procedur,
 - přidává kontrolní struktury do SQL jazyka,
 - umí provádět komplexní výpočty,
 - dědí všechny uživatelem definované datové typy, funkce a operátory,
 - může být stanoven jako důvěryhodný na serveru,
 - jednoduchý na použití.
- **PL/Tcl** - nabízí spoustu možností psaní v programovacím jazyku Tcl s pár omezeními, umožňuje psaní trigger procedur a funkcí.
- **PL/Perl** - umožňuje psaní PostgreSQL funkcí v jazyce Perl.
- **PL/Python** - umožňuje psaní PostgreSQL funkcí v jazyce Python.

Oracle Spatial

PL/SQL - je imperativní 3GL, který byl navržen specificky pro bezproblémové zpracování SQL dotazů. Poskytuje specifickou syntaxi za tímto účelem a stejné datové typy jako SQL.

Oracle Locator - stejné jako u Spatialu.

Odůvodnění hodnocení U PostGIS je možné vidět procedurální jazyky pro různé programovací jazyky, což vzhledem k Oracle není, avšak důležité je mít alespoň jeden procedurální jazyk, Pro PostGIS 5 bodů a Oracle 3 body.

3.9 Licence

PostGIS - je vydán pod licencí GNU, přesněji GPL(General Public License) verze 2, tato licence slouží pro většinu softwarů k tomu, aby vzala případně udělila svobodu při sdílení a provádění změn. Je aplikována na většinu „Free Software Foundations“ softwarů.

Stručný přehled podmínek a stanov pro kopírování, distribuci a modifikaci podle GNU dle (Free Software Foundation, 1991):

- Licence se dá uplatnit na program, nebo jinou činnost vývoje, v případě že obsahuje zmínku o autorských právech autora tedy „copyright“.
- Kopírovat a šířit doslovné kopie zdrojového kódu programu, jak je vývojář obdržel a na libovolném médiu, za předpokladu že viditelně a náležitě zveřejní na každé kopii příslušné oznámení o autorských právech a absenci záruky.
- Možnost modifikovat vlastní kopii nebo kopie programu a část z něj, tedy formování práce založené na programu a kopírování, distribuovat jako modifikaci, nebo práci pod podmínkami předešlého bodu, za předpokladu seznámení s určitými podmínkami.
- Můžete kopírovat a distribuovat program jako objekt kódu nebo spustitelnou formou pod podmínkami bodu 1 a 2 výše za určitých předpokladů.

Více informací o šíření open source softwaru dle GNU licence je možné získat v odkazu citace (Free Software Foundation, 1991).

Oracle Spatial - V následující tabulce jsou náklady nutné k uhrazení při nákupu Oracle Spatialu, je nutné první zakoupit Enterprise edici a poté přikoupit Spatial and Graph. Oracle Locator je možné mít jen za předpokladu zakoupení Spatialu, avšak jakmile zákazník použije něco z jeho množiny funkcí, tak je musí poté zaplatit. Tabulka dle (Oracle Corporation, 2015) (dolar/koruna):

Tabulka 2: Náklady na nákup licencí u Oracle

Database Products	Named User Plus	Software Update License and Support	Processor License Software Update	License Support
Oracle Enterprise Edition	950/24 225	209/5 330	47 500/1 211 250	10 450/266 475
Oracle Spatial and Graph	350/8 925	77/1 964	17 500/446 250	3 850/ 98 175

Oracle Locator - vychází z tabulky a textu výše.

Odůvodnění hodnocení U Oracle jde uvažovat garanci vůči jakýmkoliv poruchovým stavům, v případě nějakého problému lze kontaktovat společnost Oracle a oni mají povinnost problém odstranit. Faktorem ovlivňujícím vyspělost jsou finance, které určitě mají vliv na posouvání technologií kupředu. V rámci komerce není možné

zasahovat jakkoliv do zdrojového kódu systémů od Oracle. Zdrojový kód systému PostGIS je možné modifikovat kýmkoliv a přispívat tak k vývoji, což má určité výhody i nevýhody. Oracle uděleny 4 body a PostGIS 3 body.

3.10 Webové rozhraní

PostGIS - OpenLayers, GeoServer, Mapserver, QGIS server, Deegree, MapGuide OS.

Oracle Spatial - OpenLayers, QGIS server, GeoServer, Deegree, MapServer, MapGuide OS.

Oracle Locator - nepodporuje OpenLayers.

Odůvodnění hodnocení PostGIS i Oracle podporují mnoho externích webových rozhraní, avšak každé má i své webové rozhraní jakožto běžná databáze. U PostGIS je možné využít PhpPgAdmin, který však nezobrazuje geodata v prohlížeči. Oracle implementuje své webové rozhraní Spatial Web Services zobrazující data pomocí OpenLayers. PostGIS 3 body, Oracle Spatial 4 body a Oracle Locator nepodporuje OpenLayers, takže ani stejné webové rozhraní jako Oracle Spatial, proto 3 body.

3.11 REST rozhraní

PostGIS Nemá přímo implementováno REST rozhraní už v jádru systému, avšak je možné použít výše zmiňované REST API a to Geoserver API nebo GeoREST API.

Oracle Spatial

Oracle implementoval REST rozhraní a to *Oracle Application Listener RESTful Application Programming Interfaces (APIs)*. RESTful APIs je vytvořeno konfigurační zdrojových šablon. Zdrojová šablona je konfigurační soubor, který se váže na množinu URI identifikátorů do SQL dotazu nebo PL/SQL bloku. Množina URI je identifikována URI šablonou.

Výčet strategií, které jsou podporovány pro generování reprezentací podle (Oracle, 2015):

1. Čárkou oddělené dotazy - provádí SQL a transformuje množinu výsledků do CSV reprezentace.
2. Dotazy - provádí SQL dotazy a transformuje je do JSON reprezentace.
3. PL/SQL Blok - provádí PL/SQL blok a transformuje OUT nebo INOUT parametry do JSON reprezentace.
4. Media zdroj - provádí SQL dotazy vyhovující specifickému formátu a překládá množinu výsledků do binární reprezentace doprovázející HTTP Content-type hlavičku identifikující internet media typ reprezentace.

Další REST API je *Beehive REST API*, které je založeno na standardních principech REST, což je popsáno v teoretické části práce. V těle POST metody vrací buď JSON nebo XML reprezentaci.

Oracle WebCenter REST API

Klasické REST API, které podporuje JSON, XML, javascript, HTML a AJAX. **Oracle Locator** vychází z textu výše, tedy stejné REST API jako u Spatialu.

Odůvodnění hodnocení PostGIS nemá implementováno REST rozhraní, avšak je možné použít nějaké z externích, které jsou vyjmenované v „Rešeršní části“. Oracle má několik vlastních REST rozhraní, proto je v tomto ohledu napřed. PostGIS 3 body a Oracle 5 bodů.

3.12 Import dat

PostGIS

Existují dva způsoby vložení dat do PostGIS/PostgreSQL databáze:

1. použití formátovaných SQL dotazů,
2. použití Shape file loader/dumper.

V případě že konvertujeme data do textové reprezentace, je možné snadněji data vložit do databáze pomocí SQL dotazů. Tento způsob je prováděn pomocí funkcí, které jsou prezentovány v kapitole níže. Účel funkcí je převést data z WKB formátu do WKT a naopak. Druhá možnost je použití „loaderu“ *shp2pgsql*, který konvertuje ESRI Shape files do SQL vhodného pro vkládání v geometrickém nebo geografickém formátu. Opakem k „loaderu“ je „dumper“ *pgsql2shp*, který se připojuje k databázi a konvertuje tabulky do ESRI Shape files.

Podpora vektorových formátů dat:

- KML,
- GML,
- GeoJSON,
- GeoHash,
- ESRI Shape files,
- CSV,
- CSW,
- PDF,
- HTF,

- Oracle Spatial (OCI).
Podpora rastrových formátů dat:
- GeoTiff,
- NetCDF,
- PNG,
- JPEG,
- GRASS ASCII Grid,
- ELAS,
- CEOS Image,
- ECRG TOC,
- Oracle Spatial GeoRaster.

V (PostGIS, 2014) jsou vypsány ostatní rastrové formáty, vektorové je možné najít zde na uživatelských stránkách knihovny GDAL¹.

Oracle Spatial

Tak jako u PostGIS je možné data importovat do databáze dvěma způsoby a to:

- pomocí utility SQL loaderu/dumperu pro import/export velkého objemu dat,
- pomocí příkazu INSERT, což slouží pro menší rozsah dat.

Podle (Oracle Corporation, 2014) objektový datový typ SDO_GEOASTER používá taktéž jako PostGIS knihovnu GDAL, takže má podporu rastrových datových formátů velmi podobnou. V této knihovně jsou i vektorové formáty, jak je psáno výše, mezi nimi se nachází i ovladač ke konverzi souborových datových formátů z Oracle Spatial, proto lze vyvodit, že Spatial podporuje stejnou škálu vektorových formátů jako PostGIS.

Oracle Locator - neumožňuje používat SDO_GEOASTER, což znamená neužívání ani GDAL knihovny u rastrových formátů.

Odůvodnění hodnocení PostGIS i Oracle Spatial podporuje GDAL, proto lze vyvodit velmi podobný ně-li stejný rozsah podpory souborových datových formátů. Oracle Locator nepodporuje SDO_GEOASTER a tím je ochuzen o mnoho rastrových formátů dat. PostGIS i Oracle Spatial 4 body, Oracle Locator 3 body z důvodu zkušenosti, že tento nedostatek neovlivňuje příliš vývoj aplikací.

¹http://www.gdal.org/ogr_formats.html

3.13 Souhrnné vyhodnocení aspektů

V tabulce budou vyhodnoceny jednotlivé aspekty, které byly detailněji rozebrány v předešlých sekcích a to stupnicí popsanou na začátku kapitoly.

Tabulka 3: Bodové hodnocení aspektů

aspekt	Oracle Spatial	Oracle Locator	PostGIS
Způsob uložení vektorových dat	4	2	4
Způsob uložení rastrových dat	4	2	4
Typy geometrií	5	3	4
Prostorové indexy	4	2	4
Standardy	3	2	3
Procedurální jazyky	3	3	5
Licence	4	4	3
Webové rozhraní	4	3	3
REST rozhraní	5	5	3
Import dat	4	3	4
Součet bodů	40	34	37

4 Praktický příklad migrace dat z Oracle Locator do PostGIS

Tuto část práce bylo z velké většiny možné provést díky poskytnutým datům a také přístupu k Oracle Locatoru 11g firmou Asseco Central Europe. Použitá databáze se jmenovala DemoDB, je to databáze sloužící jako demo verze pro aplikační server LIDS. LIDS je implementovaný v programovacím jazyce Java EE (Enterprise Edition), jeho vývoj trval asi 12 let a stále se zdokonaluje. Právě tento server je velkým impulsem ke zkoumání těchto databázových systém, protože již běží nad Oracle databází a je v plánu do budoucna spustit tento server nad PostGIS. Níže je možné vidět zjednodušené schéma této databáze, jsou znázorněny jen tabulky, které byly používány k demonstrování zásadních faktů při zjišťování odlišností v systémech a tedy i k provedení migrace.

poté přes webový prohlížeč je možné využívat phpPgAdmin, avšak z důvodu rychlého přechodu mezi oběma databázemi se nejlépe osvědčil nástroj Oracle Sql developer, proto tedy budou všechny výsledky prezentovány z tohoto nástroje. Došlo k provedení analýzy obou zmiňovaných databázových systémů, což znamenalo seznámení se s prvními odlišnostmi, aby se předešlo časovým prodlevám z důvodu odladování problémů při průběhu migrace. Tyto poznatky jsou z velké části prezentovány v rešeršní části práce.

- Došlo k provedení exportu dat z výše zmíněných tabulek na Oracle Locatoru z databáze DemoDB do PostGIS databáze. Tabulky obsahují velké množství dat, čili některé exporty byly časově náročnější. Data bylo nutné upravovat, což bylo předpokládáno na základě předem získaných znalostí. Taktéž bylo možné sledovat jisté nedostatky v databázovém systému PostGIS zejména u sloupce s geometriemi např. nebylo možné uložit CIRCULARSTRING do GEOMETRY COLLECTION.
- Po uložení dat do databáze v PostGIS byly prováděny SQL dotazy obsahující prostorové funkce, nešlo o srovnání rychlostí prováděných dotazů, ale o to zda budou výsledky ekvivalentní v obou systémech. Vybraly se určité prostorové funkce z Oracle Locatoru a k nim nalezeny ekvivalenty v PostGIS databázovém systému. Šlo o zkoumání nesrovnalostí z hlediska neproveditelnosti některých prostorových funkcí nad specifickými typy geometrií, kde také figuroval problém, v případě že geometrie nebyly validní. Byla zde také demonstrována schopnost GIS aplikací zobrazit data znázorňující určité oblasti.

V následující části práce budou vybrány ukázkové příklady problémů při migraci dat, které slouží pro demonstraci některých základních rozdílů s nimiž se může potenciální uživatel těchto systémů setkat.

4.1.1 Export dat

Bylo zmíněno, že v tabulce *w__group_gr* se nachází právě sloupec s geometriemi. Datový typ GEOMETRY je klíčová složka prostorových databází a má vysokou prioritu ve zkoumání vlastností systémů. V této oblasti došlo k důslednějším prozkoumání. Geometrií, které se v databázi mohou vyskytnout je velká spousta, jak je možné vidět v aspektech porovnávání databází z hlediska typů geometrií, taktéž je důležité aby tyto geometrie byly validní a jde i o jejich podporu v systému.

Níže je možné vidět tvar exportu z databáze DemoDB, z tabulky *w__group_gr* v podobě příkazu INSERT:

```
INSERT INTO LIDSDEMO733.W__GROUP_GR (GID,FID,SOURCE,GEOMTYPE,
SDO_GEOM,GEOMEXT,COMPLEX_GEOMEXT,COMPLEX_INFO,EXTENSION_INFO)
values('875962089305172374729736','1538864284337998821602312',
'0',LIDSDEMO733.LIDS_GEO NULL,MDSYS.SDO_POINT_TYPE(0,0,0),
MDSYS.SDOELEM_INFO_ARRAY (1, 2, 1),null,null,null);
```

Takový dotaz by bylo nutné složitě upravovat, proto se použilo speciálního SELECT příkazu pro získání dat v potřebném formátu, kde se některé nepotřebné sloupce vyřadily. Dotaz vypadal takto:

```
SELECT 'INSERT INTO w_group_gr VALUES ('||g.GID|| ',' ||g.FID|| ',
'||g.SOURCE|| ', ' ST_AsText(|| SDO_UTIL.TO_WKTGEOMETRY(g.SDO_GEOM)||'),
'|| g.EXTENSION_INFO ||')' FROM W_GROUP_GR g WHERE
g.sdo_geom.SDO_GTYPE in (2001,2002,2003) AND
SDO_GEOM.VALIDATE_GEOMETRY(sdo_geom,0.00001) = 'TRUE';
```

Příklad dotazu pro vkládání do tabulky w_group_f v databázi:

```
INSERT INTO W_GROUP_F VALUES ('989464905590707245822984',
'118317416709773670757384','ft_5012100',to_date('23.06.06','DD.MM.RR'),
'0',to_date('01.11.10','DD.MM.RR'),'4',null,'ta_30(zone_unknown,mat_20),
ta_30|ft_5012100_gtbp_0001/gtbp_0001_1(pc_53),ta_30|
ft_5012100_gtda_5012101/gtda_5012101_1(9.0),ta_31000(r_41),
ta_32000(r_44)', '-99', '1', '-8');
```

Pro vložení do databáze PostGIS bylo nutné provést následující úpravy dat. V dotazu na místě „LIDSDEMO733“.<název_tabulky> se musí název schématu databáze odmazat, jelikož v PostGIS nebylo schéma pojmenováno stejně.

U „LIDS_SYMBOLOGY_TOKEN_ARRAY“, což je námi vytvořený datový typ se upravuje syntaxe polí a přidává se konstruktor ROW(). PostgreSQL implementuje pole následujícím způsobem, buď lze použít tento zápis '25000,25000,27000,27000' nebo zavolat konstruktor ARRAY[25000,25000,27000,27000]. Zde byl dotaz upraven pomocí syntaxe se složenými závorkami. ROW() vytváří řádkovou hodnotu a slouží k ukládání jednotlivých hodnot do pole. LIDS_SYMBOLOGY_TOKEN_ARRAY v obrázku níže je možné vidět strukturu tohoto datového typu, v níž je použit datový typ Varchar2, který není implementován v PostgreSQL. Varchar2(n) nebo Varchar(n), u nichž se udává velikost n buď ve znacích, nebo v bytech, maximum n je 4000 bytů. V PostgreSQL je implementován Character varying(n), jehož alias je Varchar(n) a n má maximální velikost 1GB. Nelze mít stejnou strukturu typu jako u Oracle, protože PostGIS nemá implementovány objektové typy. Objektové typy jsou jakoby třídy v OOP (Objektově orientovaném programování), které mají své atributy s určenými datovými typy. Ekvivalentem k objektovým typům jsou v PostGIS kompozitní typy.

```
desc lids_symbology_token_array
user type definition
-----
TYPE                "LIDS_SYMBOLOGY_TOKEN_ARRAY" AS VARRAY (500) OF VARCHAR2(1000)
```

Obrázek 22: Struktura datového typu LIDS_SYMBOLOGY_TOKEN_ARRAY

4.1.2 SQL dotazy a ekvivalentní funkce

Tučně zvýrazněné názvy jsou funkce nacházející se v Oracle Locator, k nimž jsou vyhledány a aplikovány tytéž funkce z PostGIS.

ST_AsText

Použije se za účelem vypsaní geometrií ve WKT formátu.

```
SELECT ST_AsText(sdo_geom) FROM w_group_gr WHERE ST_GeometryType(  
ST_GeomFromText(POLYGON(3456893.113 5481883.431, 3456892.921 5481883.268,  
3456892.833 5481883.032)')) = ST_GeometryType(sdo_geom);
```

ST_GeomFromText

V případě, že chceme vložit geometrii do tabulky, tak musíme použít tuto funkci, která konvertuje geometrii do hexadecimálního kódu.

```
INSERT INTO zkusebni VALUES (1741151279850297764623368,  
2491011426446591037813768,1,ST_GeomFromText(POLYGON(3458283.553  
5482204.988, 3458283.129 5482205.0, 3458282.78 5482204.76)'),null);
```

V případě, že v geometrické kolekci se nachází CurvePolygon, nebo CircularString, tak nefungují prostorové funkce. Další problém nastává, jestliže byla vložena do databáze nevalidní geometrie, pak prostorové funkce taktéž buď nefungují nebo nejsou výsledky správné.

SDO_GEOM.SDO_LENGTH

Oracle - vrací délku nebo perimetr geometrického objektu.

Použití v Oracle:

```
SELECT c.name, SDO_GEOM.SDO_LENGTH(c.shape, m.diminfo) FROM cola_markets  
c, user_sdo_geom_metadata m;
```

PostGIS - vrací 2D délku geometrie, pokud se jedná o LINESTRING, nebo MULTILINESTRING. Geometrie jsou v jednotkách prostorové reference a geografie v metrech (PostGIS, 2014).

Použití v PostGIS:

```
SELECT ST_LENGTH(ST_GeomFromText('LINESTRING(8 6,9 10)'));
```

SDO_GEOM.SDO_AREA

Oracle - vrací povrch 2D polygonu, v případě že není specifikována jednotka, tak to jsou implicitně čtvereční metry.

Použití v Oracle:

```
SELECT name, SDO_GEOM.SDO_AREA(shape, 0.005) FROM cola_markets;
```

PostGIS - funkce vrací povrch, pokud se jedná o polygon nebo multi-polygon. Pro geometrie typ povrchu v SRID jednotkách. Pro geografie oblast v čtverečních metrech.

Použití v PostGIS:

```
SELECT ST_AREA(ST_GeomFromText('POLYGON((5 5, 20 5, 20 20, 5 20,5 5))'));
```

SDO_UTIL.GETVERTICES

Oracle - vrací souřadnice z vrcholů vložené geometrie.

Použití v Oracle:

```
SELECT c.mkt_id, c.name, t.X, t.Y, t.id FROM cola_markets c, TABLE//
(SDO_UTIL.GETVERTICES(c.shape)) t ORDER BY c.mkt_id, t.id;
```

PostGIS - funkce není pod jedním standardem, je rozložena do více funkcí pod odlišnými názvy.

Použití v PostGIS:

```
SELECT ST_DumpPoints(ST_GeomFromText('LINESTRING(5 5, 20 5)'));
souřadnice bodů na linii
SELECT g_id, ST_Dump(vse.geom) FROM vse WHERE g_id = '1';
SELECT ST_AsText(ST_EndPoint(ST_GeomFromText('LINESTRING(8 6,9 10)')));
koncový bod
SELECT ST_AsText(ST_StartPoint(ST_GeomFromText('LINESTRING(8 6,9 10)')));
počáteční bod
```

SDO_UTILS.GETNUMVERTICES

Oracle - vrací počet vrcholů vložené geometrie.

Použití v Oracle:

```
SELECT c.name, SDO_UTIL.GETNUMVERTICES(c.shape) FROM cola_markets c;
```

PostGIS - vrací v textu shrnutí obsahu geometrie z hlediska bodů.

Použití v PostGIS:

```
SELECT ST_Summary(ST_GeomFromText('LINESTRING(8 6,9 10)')); SELECT  
ST_NumPoints(ST_GeomFromText('LINESTRING(8 6,9 10)'));  
SDO_GEOM.SDO_CENTROID
```

Oracle - vrací centroid polygonu, multipolygonu, bodu nebo bodu klastru.

Použití v Oracle:

```
SELECT c.name, SDO_GEOM.SDO_CENTROID(c.shape, m.diminfo) FROM cola_markets
```

PostGIS - vrací střed geometrie.

Použití v PostGIS:

```
SELECT ST_AsText(ST_Centroid(ST_GeomFromText('LINESTRING(8 6,9 10)')));
```

SDO_GEOM.SDO_MIN_MBR_ORDINATE

Oracle - vrací minimální hodnotu specifikované souřadnice (dimenzi) pro minimální ohraničení geometrie.

Použití v Oracle:

```
SELECT SDO_GEOM.SDO_MIN_MBR_ORDINATE(c.shape, m.diminfo, 1)  
FROM cola_markets c, user_sdo_geom_metadata m;
```

PostGIS - vrací nejmenší okruh polygonu, který plně obsahuje geometrii, defaultně používá 48 segmentů na čtvrtinu kruhu.

Použití v PostGIS:

```
SELECT ST_AsText(ST_MinimumBoundingCircle(LINESTRING(6,9 10')));
```

SDO_GEOM.WITHIN_DISTANCE

Oracle - určuje, jestliže dvě geometrie jsou v uvnitř specifikované vzdálenosti od sebe.

Použití v Oracle:

```
SELECT SDO_GEOM.WITHIN_DISTANCE(c_b.shape, m.diminfo, 1,c_d.shape,  
m.diminfo) FROM cola_markets c_b, cola_markets c_d, user_sdo_geom_metadata  
m;
```

PostGIS - vrací TRUE v případě, že geometrie A a geometrie B jsou v rámci udané vzdálenosti od sebe.

Použití v PostGIS:

```
SELECT ST_Dwithin(ST_GeomFromText('LINESTRING(8 6,9 10)'),
ST_GeomFromText('POLYGON((5 5, 20 5, 20 20, 5 20,5 5))'),1);
SELECT ST_DFullyWithin(ST_GeomFromText('LINESTRING(8 6,9 10)'),
ST_GeomFromText('POLYGON(10 5, 20 5, 20 20, 5 20,5 5))'),5);
```

SDO_UTIL.RECTIFY_GEOMETRY

Oracle - ošetřuje problémy s vstupní geometrií, v případě že není validní.

Použití v Oracle:

```
SELECT SDO_UTIL.RECTIFY_GEOMETRY(shape, 0.005) FROM COLA_MARKETS c;
```

PostGIS - vrací TRUE pokud je geometrie validní.

Použití v PostGIS:

```
SELECT ST_IsValid(ST_GeomFromText('LINESTRING(8 6,8 6)')); SELECT
ST_IsValid(ST_MakeValid(ST_GeomFromText('LINESTRING(8 6,8 6)')));
```

SDO_ANYINTERACT

Oracle - kontroluje, zda v tabulce nejsou geometrie, které mají topologický vztah se specifikovanou geometrií.

Použití v Oracle:

```
SELECT c.mkt_id, c.name FROM cola_markets c WHERE SDO_ANYINTERACT(c.shape,
SDO_GEOMETRY(2003, NULL, NULL, SDO_ELEM_INFO_ARRAY(1,1003,3),
SDO_ORDINATE_ARRAY(4,6, 8,8))) = 'TRUE';
```

PostGIS - vrací TRUE, v případě že Geometrie/Geografie sdílí nějakou část prostoru - pro geografie tolerance 0.00001 metrů.

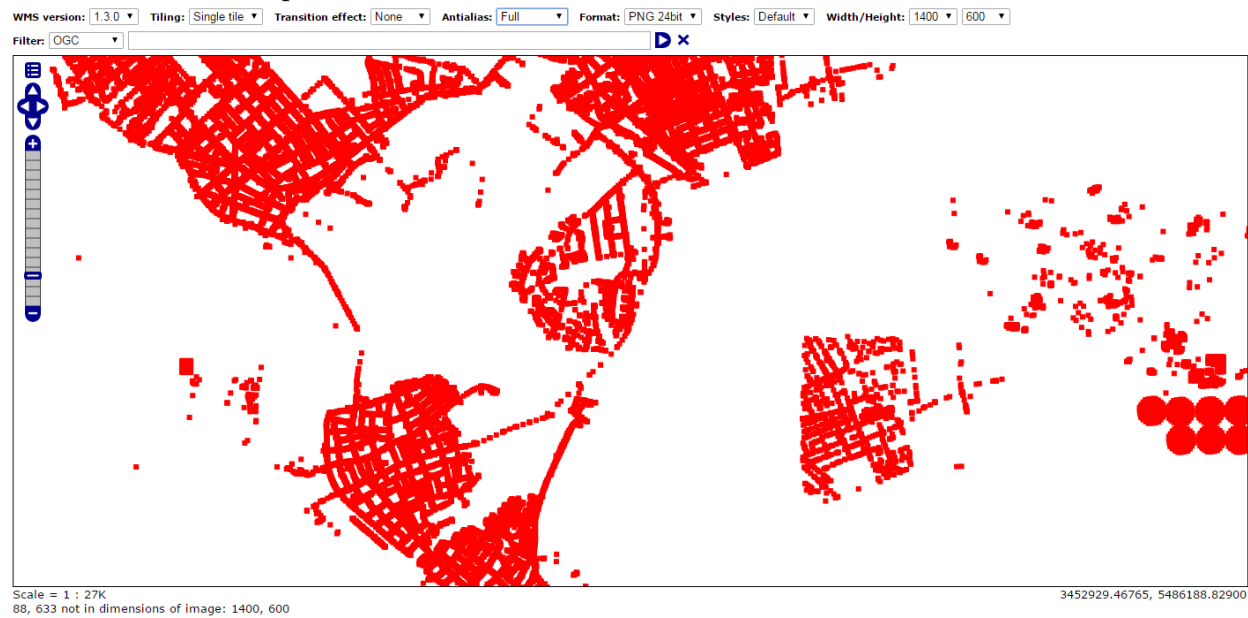
Použití v PostGIS:

```
SELECT vs.g_id, ST_AsText(vs.geom) AS prvnit, ST_AsText(vs2.geom) AS
druhat FROM public.vse
AS vs,public.vse2 AS vs2 WHERE ST_Intersects(vs.geom::geography,
vs2::geom);
```

Prezentace zmiňované databáze DemoDB v následujících typech aplikací určených pro zobrazení geodat:

Geoserver

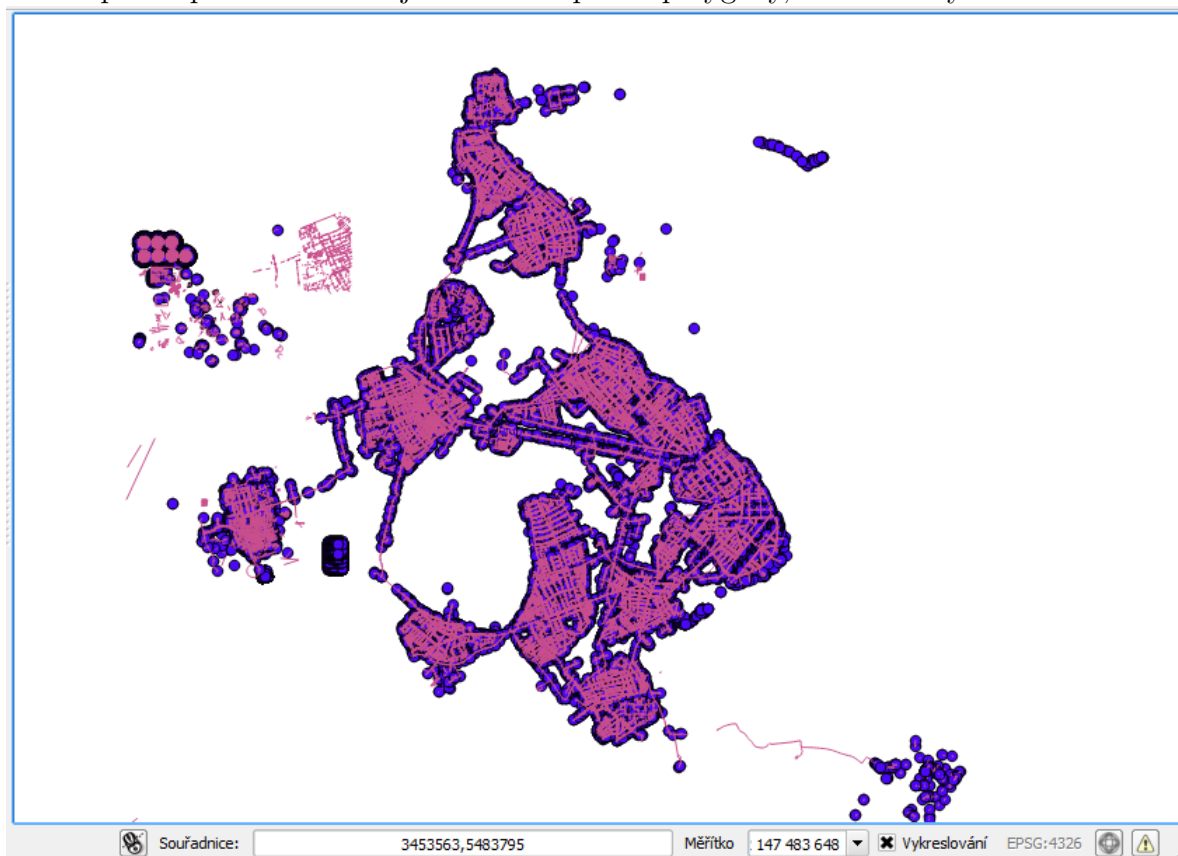
Webové rozhraní, jak již bylo zmíněno, které je schopné zobrazit jakýkoliv typ geometrie ve webovém prohlížeči.



Obrázek 23: Geoserver prezentace

QGIS

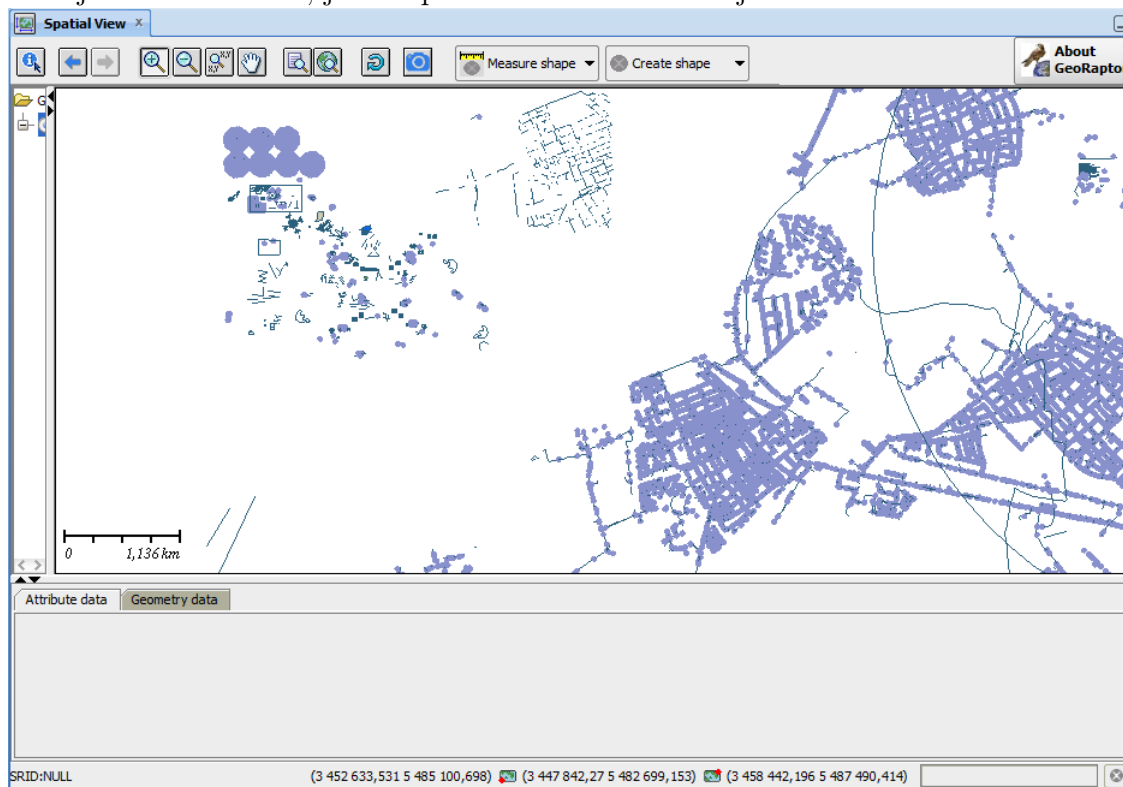
Desktopová aplikace umožňující zobrazit pouze polygony, linie a body.



Obrázek 24: QGIS prezentace

Oracle Georaptor

Rozšíření pro SQL developer, kde je možné zobrazit geodata pouze z Oracle databáze, avšak toto zobrazení slouží k porovnání, zda data importovaná z Oracle databáze jsou ekvivalentní, jelikož předešlá dvě zobrazení jsou z PostGIS databáze.



Obrázek 25: Georaptor prezentace

5 Diskuze

5.0.3 Porovnání databázových systémů

Jednotlivé databázové systémy byly porovnány na základě předem zvolených aspektů, určily se nedostatky, případně zda je v daném aspektu systém vyspělejší oproti konkurenci. Tyto výsledky byly podle stanovené stupnice ohodnoceny.

Nejlépe v tomto hodnocení dopadl Oracle Spatial and Graph, za ním se umístil open source PostGIS a poslední byl Oracle Locator. Ve výsledném bodovém hodnocení nebyly příliš velké rozdíly, nelze však jednoznačně brát v potaz nějakou vypovídající schopnost tohoto hodnocení. Každý z porovnávaných databázových systémů má své uplatnění v určitých projektech ať už rozsáhlejších jako jsou tvorby celých GIS či menších uživatelských aplikací. Nabízí se možnost, kdy vyjdeme z jednotlivých aspektů porovnání a sestavíme z tří porovnávaných systémů dvojice.

V první řadě je třeba dát do rozporu Oracle Spatial a PostGIS. V tomto případě z hlediska podpory a garance je Oracle Spatial lépe postaven, avšak zase náklady na pořízení jsou vcelku vysoké a v porovnání s PostGIS, jenž nic nestojí, mu mírně nahrávají. Technická podpora PostGIS je taktéž vysoká, ale do jisté míry zaostává a když přidáme k Oracle Spatial ještě zmiňovanou garanci pro různé reklamace, bude tento systém při rozhodování zda aplikovat v potenciálním projektu na prvním místě.

Srovnání Oracle Spatial a Oracle Locator není příliš složité, když vezmeme ve zmínku, že Oracle Locator je podmnožina Oracle Spatial. Garance reklamací je zde úplně stejná na základě původu od stejné společnosti, avšak technologická podpora Oracle Locator je méně vyspělá. Nutné uvážit rozsah projektu a pokud vynakládat nějaké náklady na pořízení systému, tak pravděpodobně mít plnou podporu Oracle Spatial.

Jako poslední je třeba srovnat Oracle Locator a PostGIS, zde je stejně jako v prvním případě komerční a open source systém v rozporu. Podle získaných výsledků porovnávání z předešlých kapitol je technologická podpora Oracle Locatoru slabší než u PostGIS, toto se dá řešit financemi a přikoupit z Oracle Spatial nějaké sady funkcí. V případě uvážení samotného Oracle Locator lze vzít jako pozitivní ještě garance, ale i přes to se pravděpodobně vyplatí použít na vlastní projekt open source PostGIS.

5.0.4 Rozšíření práce

Možnost rozšíření práce, což by zahrnovalo provoz geodatabáze v Cloudovém úložišti, kde se může použít například Amazon¹, CartoDB² nebo Heroku³. Tento provoz funguje způsobem, kdy si uživatel zaplatí určitou kapacitu úložiště podle toho kolik místa potřebuje a s tím může disponovat.

¹<http://aws.amazon.com/rds/postgresql/>

²<http://cartodb.com/>

³<https://devcenter.heroku.com/articles/postgis>

Další rozšíření se nabízí načítání geometrií z databáze a ukládání do tříd programovacího jazyku Java, kde je možné pak s nimi v aplikaci pracovat. Pro geometrie z PostGIS se používá třída PGgeometry⁴ a pro Oracle Spatial JGeometry⁵.

Do porovnání by bylo možné přidat další druhy prostorových databází jak jsou SpatiaLite (rozšíření Sqlite), MySQL (prostorové rozšíření), SpatialDB a mnoho dalších.

Do aspektů porovnání by se daly přidat další a to například užití jednotlivých porovnávaných databázových systémů ve známých projektech nebo rychlost provádění ekvivalentních prostorových funkcí, což by se muselo provádět za určitých podmínek jako např. stejný výkon hardwaru.

⁴<http://postgis.refrations.net/documentation/javadoc/org/postgis/PGgeometry.html>

⁵http://docs.oracle.com/cd/B19306_01/appdev.102/b14373/oracle/spatial/geometry/JGeometry.html

6 Závěr

Po prostudování dostupných elektronických i literárních zdrojů byly sestaveny aspekty dle kterých se jednotlivé databázové systémy porovnaly. Výpis jednotlivých aspektů a výsledek porovnání je možné vidět v kapitole *Porovnávání vlastností databázových systémů Oracle a PostgreSQL*. Na základě tabulky porovnání v této kapitole lze po sečtení bodového ohodnocení u každého databázového systému určit výsledné pořadí. Tento vývoj bylo možné předvídat a to z důvodu určitých předpokladů každého systému. Oracle Spatial je komerční databázový systém stejně jako Oracle Locator, čili jejich vývoj značnou mírou ovlivňují finance, garance a podpora. I přes to u open source systému PostGIS hodnocení vzhledem k Oracle Locatoru vyšlo lépe, protože Oracle Locator je omezen v použití některých technologií, které má Oracle Spatial. Z mého zkoumání bych si dovolil říci, že si pokud vývojáři aplikací mohou dovolit platit licenci Oracle Spatialu, tak je tento krok pro vyspělost celé aplikace pravděpodobně optimální. Pokud však chtějí minimalizovat náklady a vybrat nějakou alternativu tak PostGIS.

V práci je taktéž možné vidět praktický příklad migrace mezi Oracle Locator a PostGIS, v němž byly prezentovány základní problémy a úpravy týkající se přenosu dat z jedné databáze do druhé. Po uložení geodat do databáze se pro demonstraci správné migrace provedlo zobrazení v různých aplikacích jako QGIS, Geoserver a Georaptor.

7 Reference

- ORACLE, CORPORATION. *Oracle Spatial and Graph: Advanced Data Management*. In: [online]. 2014 [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://www.oracle.com/technetwork/database/options/spatialandgraph/overview/spatial-and-graph-wp-12c-1896143.pdf>.
- IHM, JEAN. *Oracle Locator: Location Features in Oracle Database 11g*. Oracle.com: www.oracle.com/database/spatial.html [online]. 2007, č. 1 [cit. 2014-12-05]. Dostupné z: <http://www.oracle.com/us/products/database/options/spatial/>.
- ORACLE. *Oracle Application Express Listener Documentation*. In: [online]. 2015 [cit. 2015-04-27]. Dostupné z: https://docs.oracle.com/cd/E21611_01/doc.11/e21058/rest.dots.
- BŘEHOVSKÝ, MARTIN, JEDLIČKA, KAREL. *Úvod do geografických informačních systémů: Přednáškový text*. [online]. s. 116 [cit. 2015-02-22]. Dostupné z: <http://gis.zcu.cz/studium/ugi/e-skripta/ugi.pdf>.
- LINHARTOVÁ, EVA. *Topologické operace ve vybraných software a geodatabázích* [online]. Praha, 2013 [cit. 2014-12-05]. Dostupné z: <http://geo.fsv.cvut.cz/proj/dp/2013/eva-linhartova-dp-2013.pdf>. Diplomová práce. ČVUT, Fakulta stavební..
- MURRAY, CHUCK. *ORACLE. Oracle Spatial Developer's Guide, 11g Release 1 (11.1)* [online]. 2009 [cit. 2014-11-01]. Dostupné z: http://docs.oracle.com/cd/B28359_01/appdev.111/b28400.pdf.
- PostGIS 2.1.5dev Manual* [online]. [cit. 2014-11-01]. Dostupné z: <http://postgis.net/stuff/postgis-2.1.pdf>.
- RAPANT, PETR. *Úvod do geografických informačních systémů* [online]. VŠB-TU Ostrava, 2002 [cit. 2014-12-04]. Dostupné z: http://home1.vsb.cz/~jan42/gis/Rapant_GIS.pdf.
- SCHEJBAL, CTIRAD, VLADIMÍR HOMOLA, FRANTIŠEK STANĚK A VLASTIMIL KAJZAR. *Geo-informatika, 6.kapitola* [online]. VŠB-TU Ostrava, 2006, 10. ledna 2006 [cit. 2014-12-04]. Dostupné z: <http://geologie.vsb.cz/geoinformatika/kap06.htm>.
- TUČEK, JÁN. *Geografické informační systémy*. Computer press, 1998. ISBN 80-7226-091-X.
- GREENER, SIMON. *Oracle Spatial for PostGIS Understand, Isolate and Migrate*. In: [online]. 2009 [cit. 2015-03-03]. Dostupné z: <http://download.osgeo.org/...>

- TENI, TENI. *Ukázka uložení vektorových dat v hierarchickém vektorovém modelu GISu*. In: [online]. 2007-05-17 [cit. 2015-03-05]. Dostupné z: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:GIShierarchicmodel.png>.
- JAN, JEDLINSKÝ. *Způsoby uložení prostorových dat v databázi pro účely pozemkového datového modelu*[online]. Plzeň, 2006 [cit. 2015-03-10]. Dostupné z:<http://gis.zcu.cz/studium/dp/2006/JedlinskyZpusobyulozeniprostorovychdat>.
- LANDA, MARTIN. *Geoprostorové databáze, PostGIS*. [online]. 2010 [cit. 2015-03-10]. Dostupné z:<http://josef.fsv.cvut.cz/gin/yfsg/Free-Software-GIS-07-postgis.pdf>.
- PROPRIETARY CONFIDENTIAL, DIGITALGLOBE INC. *Web Map Tile Service Developer Guide: Cloud Services | August 2013*. In: [online]. 2013 [cit. 2015-03-16]. Dostupné z:<https://www.digitalglobe.com/sites/default/files/...>
- RUBER, DAVID. *Geodatabáze pro GIS arboreta MENDELU* Brno, 2014. Bakalářská. Mendelova univerzita....
- MCKENNA, JEFF, FAWCETT, DAVID, BUTLER, HOWARD. *An Introduction to MapServer*. In: [online]. 2014 [cit. 2015-03-16]. Dostupné z:<http://mapserver.org/introduction.html>..
- RBAY. *MapGuide Open Source*. In: [online]. 2007 [cit. 2015-03-16]. Dostupné z:<http://mapguide.osgeo.org/>.
- RYCHLÝ, MAREK. *Prostorové a XML databáze* In: [online]. 2014 [cit. 2015-03-20]. Dostupné z:http://www.fit.vutbr.cz/rychly/public/docs/slides-demo2-spatial_and_xml/sli.
- CORPORATION, ORACLE. *Oracle Technology Global Price List*. In: [online]. 2015 [cit. 2015-04-02]. Dostupné z: <http://www.oracle.com/us/corporate/pricing/technology-price-list-070617.pdf>.
- RODRIGUEZ, ALEX. *RESTful Web services: The basics*. In: [online]. 2008, 9.2.2015 [cit. 2015-04-14]. Dostupné z: <https://www.ibm.com/developerworks/webservices/library/ws-restful/>.
- FREE SOFTWARE FOUNDATION, INCORPORATION. *The GNU General Public License (GPL-2.0)*. [online]. 1989, 1991 [cit. 2015-04-17]. Dostupné z:<http://opensource.org/licenses/gpl-2.0.php>.
- SANTILLI, SANDRO. *Topology with PostGIS*. In: [online]. Paris, 2011 [cit. 2015-04-26]. Dostupné z: http://strk.keybit.net/projects/postgis/Paris2011_TopologyWithPostGIS_2_0.pdf.

VALENTA, MICHAL. *Databázové modely*. 2010. [online]. [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: https://users.fit.cvut.cz/valenta/doku/lib/exe/fetch.php/bivs/dbs_02_databazove_modely.pdf.

ALTIBASE, APPLICATION DEVELOPMENT. *Spatial SQL Reference*. 2013 [online]. In: . [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: <http://support.altibase.com/manual/kr/551b/html/SpatialSQL/ch02s02.html>.