

Uložení a analýza bodového mračna bodů v Oracle Spatial

Michal Kára

Katedra matematiky, Fakulta aplikovaných věd,
Západočeská univerzita v Plzni, Univerzitní 8,
306 14, Plzeň, Česká republika,
m_kara@students.zcu.cz

Abstrakt. Současné metody sběru geodat jako jsou letecké či pozemní laserové skenování umožňují získat v poměrně krátkém čase velké množství podrobných dat. Tato data jsou laserovým skenováním získána ve formě mračen bodů (point clouds). Důležitým faktorem pro využití takto získaných dat je jejich další zpracování. Vzhledem k rozsahu dat je vhodné tato data uchovávat a analyzovat v systému řízení báze dat (SRBD). K tomu jsou ovšem zapotřebí speciální datové struktury, které budou umožňovat efektivní správu mračen bodů přímo v databázi. Příkladem SRBD, který poskytuje datové struktury a potřebné mechanismy pro mračna bodů je Oracle Spatial. Diplomová práce zkoumá konkrétní možnosti Oracle Spatial pro práci s reálnými naměřenými mračny bodů získanými metodou pozemního laserového skenování. Důraz je kladen na datové struktury, ve kterých jsou mračna bodů uchovávána a funkce, které umožňují s těmito strukturami pracovat. Samostatná kapitola je věnována důležité otázce zpracování naměřených dat (mračna bodů) a jejich načtení do Oracle Spatial. Práce se rovněž zabývá možnou generalizací mračen bodů za účelem zjednodušení geometrického popisu reálných objektů. Závěrem je v práci ukázáno, jakým způsobem lze vizualizovat mračna bodů uložená v Oracle Spatial v prostředí Google Earth.

Klíčová slova: Mračno bodů, databázové uložení, analýza mračna bodů, Oracle Spatial

Abstract. Current methods for collecting geographic data such as aerial and terrestrial laser scanning allow to receive a large amount of detailed data in a relatively short time. The laser scanning data are obtained in the form of point clouds. An important factor for the usage of the obtained data is their further processing. According to the scope of the data it is suitable to store and analyze data in a database management system (DBMS). That requires special data structures which enable effective point clouds management directly in the database. An example of DBMS providing data structures and mechanisms necessary for point clouds is Oracle Spatial. The aim of this diploma thesis is to explore concrete options of the Oracle Spatial for working with real measured point clouds data obtained by terrestrial laser scanning. An emphasis is placed on the data structures in which the point clouds are preserved, and functions that enable to work with these structures. A separate chapter is devoted to an important question of processing of measured data (point clouds) and their loading into Oracle Spatial. The thesis also deals with an opportunity to generalize point clouds data in order to simplify a geometric description of real objects. Finally, the thesis demonstrates how to visualize point clouds data stored in Oracle Spatial in the Google Earth environment.

Keywords: Point cloud data, database storage, point cloud analysis, Oracle Spatial

1 Úvod

Laserové skenování je možné v dnešní době použít jako jeden z efektivních způsobů získávání geo-prostorových dat, kdy během krátké doby měření lze pořídit s vysokou rychlostí komplexní a velice podrobná data ve formě mračen bodů. Při porovnání s běžnými geodetickými metodami je laserové skenování neselektivní metodou měření. Získaná data je možné použít pro vizualizaci nebo dokumentaci aktuálního stavu přímo ve formě tzv. 3D mračen bodů nebo po zpracování do komplexnějšího vektorového modelu 3D modelu. Laserové skenování se využívá k vytvoření digitálního tvaru libovolného tělesa, jímž může být malý předmět, avšak zároveň i rozsáhlejší území.

Diplomová práce zkoumá konkrétní možnosti Oracle Spatial pro práci s reálnými naměřenými mračny bodů získanými metodou pozemního laserového skenování. Důraz je kladen na datové struktury, ve kterých jsou mračna bodů uchovávána a funkce, které umožňují s těmito strukturami pracovat. Samostatná kapitola je věnována důležité otázce zpracování naměřených dat (mračna bodů) a jejich načtení do Oracle Spatial. Závěrem je v práci ukázáno, jakým způsobem lze vizualizovat mračna bodů uložená v Oracle Spatial v prostředí Google Earth.

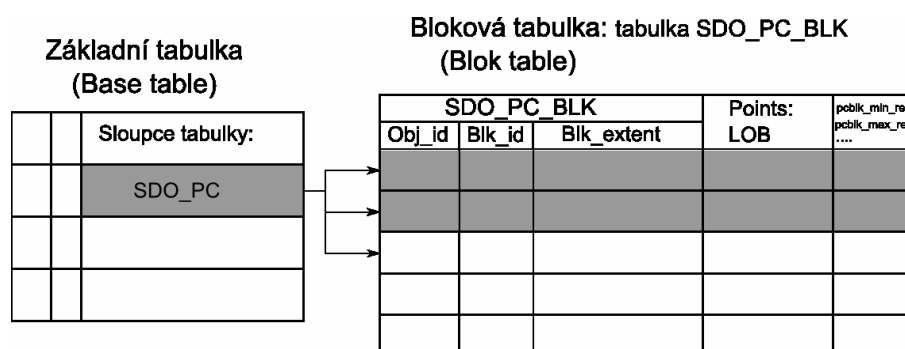
2 Databázové uložení mračna bodů

Oracle je relační databázový systém, s velmi pokročilými možnostmi zpracování dat, vysokým výkonem a snadnou škálovatelností. Aktuální verzí je Oracle Database 11gR2. Tento systém podporuje nejen standardní relační dotazovací jazyk SQL, ale také programovací jazyk PL/SQL rozšiřující možnosti vlastního SQL (lze vytvářet uložené procedury, funkce a triggery) a podporuje také objektové databáze. [12]

2.1 SDO_PC

Objem dat uložených v mračnu bodů dosahuje velkých rozměrů. Běžně obsahuje jeden soubor dat stovky až tisíce bodů. Pro ukládání takového velkého množství dat není ideální běžně užívaný datový typ SDO_GEOMETRY. Důvodem je omezení kapacity maximálního možného počtu bodů. V databázi Oracle verze 11gR1 je limit pro maximální velikost pole SDO_ORDINATE_ARRAY 1 048 576 hodnot. Maximální počet bodů v datovém typu SDO_GEOMETRY záleží proto na počtu dimenzí jednotlivých bodů: 524 288 pro dvě dimenze, 349 525 pro tři dimenze a 262 144 pro čtyři dimenze [6]. Od verze databáze Oracle 11gR2 došlo k navýšení limitu maximálního možného počtu hodnot, které lze do uložit SDO_GEOMETRY na 10 000 000: 5 000 000 bodů pro 2D data, 3 333 333 bodů pro 3D data nebo 2 500 000 bodů pro 3D data. [2]

Mračno bodů je možné uložit do libovolné uživatelem definované tabulky, která bude definována jako base table (základní tabulka). V této základní tabulce musí existovat sloupec, který bude typu SDO_PC. V této jedné buňce jsou uloženy informace o mračnu bodů. Pomocí datového typu SDO_PC jsou mračna bodů přiřazeny základní atributy. V Oracle platí, že mračno bodů je rozděleno do menších bloků, které jsou uloženy ve vlastní tabulce bloku. V blokové tabulce jsou uloženy údaje o jednotlivých bodech, které mračno bodů obsahuje. Data jsou pro svoji možnou velikost uložena jako datový typ BLOB. Maximální počet bodů v jednom mračnu bodů je 4×10^{18} bodů. Na obrázku 1 je vidět struktura uložení mračna bodů, kdy základní tabulka obsahuje sloupec typu SDO_PC, ze kterého existuje vazba s tabulkou s uloženými jednotlivými bloky a výpisem některých parametrů.



Obrázek 1: Struktura uložení mračna bodů

Objektový datový typ SDO_PC nejčastěji využijeme při tvorbě mračen bodů při využití procedur z SDO_PC_PKG, což je soubor procedur pro práci s mračnem bodů, jako je operace oříznutí, tvorby nebo převodu do SDO_GEOMETRY. Popis pro mračno bodů je uložen v jednom sloupci typu SDO_PC, který je definován následovně:

```
SDO_PC AS OBJECT(
  BASE_TABLE          VARCHAR2(70)
  BASE_TABLE_COL      VARCHAR2(1024)
  PC_ID               NUMBER
  BLK_TABLE           VARCHAR2(70)
  PTN_PARAMS          VARCHAR2(1024)
  PC_EXTENT           MDSYS.SDO_GEOMETRY
  PC_TOL              NUMBER
  PC_TOT_DIMENSIONS   NUMBER
  PC_DOMAIN           MDSYS.SDO_ORGSCL_TYPE
  PC_VAL_ATTR_TABLES MDSYS.SDO_STRING_ARRAY
  PC_OTHER_ATTRS      SYS.XMLTYPE);
```

Dle výše uvedené struktury je zřejmé, že datový typ SDO_PC definuje parametry použité v mračnu bodů, jimiž jsou například rozměr, počet dimenzí, přesnost, kapacita

bloku, identifikátor pro mračno bodů, jméno tabulky bloku. Samotný SDO_PC neobsahuje informace o bodech a jejich souřadnicích. Tyto informace jsou uloženy v tabulce bloku, jejíž struktura je totožná se strukturou objektového datového typu SDO_PC_BLK.

Každé mračno bodů obsahuje odkaz na vlastní tabulku s bloky, který může být teoreticky libovolný počet. Defaultní nastavení je 5000 bodů v jednom bloku. Zároveň se v každé tabulce bloku může nalézat více bloků, viz obrázek 11. Každé mračno bodů je spojeno s tabulkou bloku.

Datový typ SDO_PC_BLK má stejné atributy, jaké jsou sloupce v PC_BLK_TABLE (tabulce bloku). Z této tabulky existuje relace přes OBJ_ID s SDO_PC. Datové typy SDO_PC_BLK a SDO_PC_BLK_TYPE mají následující atributy:

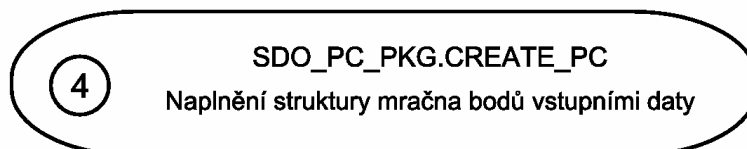
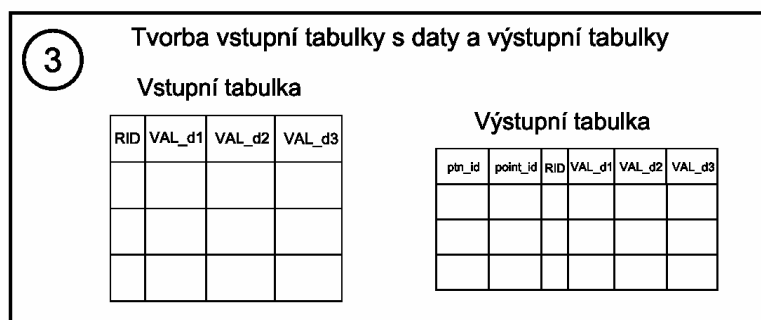
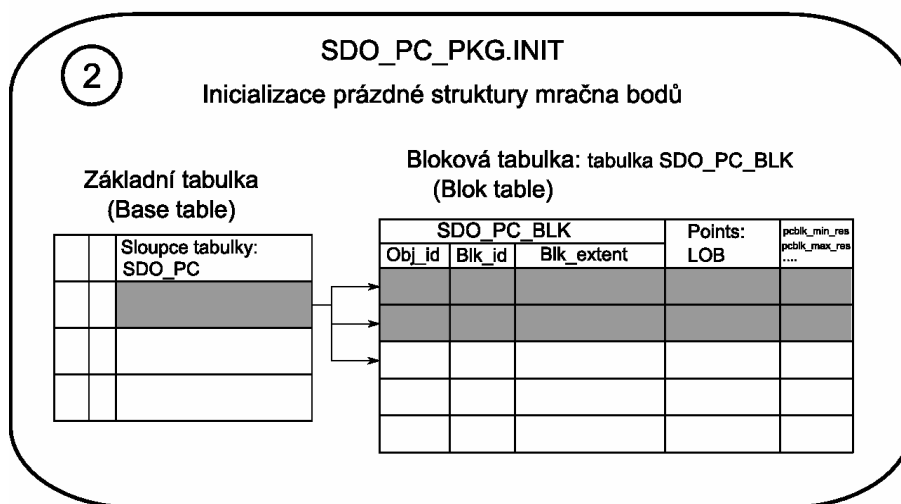
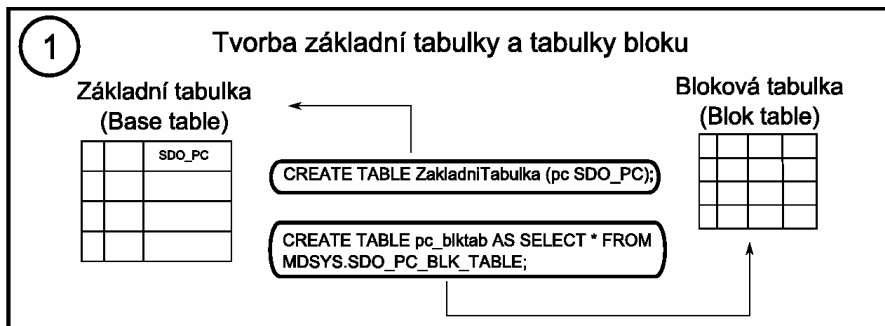
```
SDO_PC_BLK(  
    OBJ_ID                NUMBER ,  
    BLK_ID                NUMBER ,  
    BLK_EXTENT            MDSYS.SDO_GEOMETRY ,  
    BLK_DOMAIN            MDSYS.SDO_ORGSCL_TYPE ,  
    PCBLK_MIN_RES        NUMBER ,  
    PCBLK_MAX_RES        NUMBER ,  
    NUM_POINTS            NUMBER ,  
    NUM_UNSORTED_POINTS  NUMBER ,  
    PT_SORT_DIM           NUMBER ,  
    POINTS                BLOB ) ;
```

2.2 Uložení dat v Oracle Spatial

Vstupní data mohou mít různý formát. Jednou z možností je importovat data přímo ze struktury, která je využívána pro data pořízená při leteckém laserovém skenování. Vstupní data mohou pocházet z tabulek uložených mimo strukturu databáze Oracle Spatial. Jednou z možností je načítat data z externích tabulek. Tabulka může být uložena v jednoduchém textovém souboru. Musí být dodržena jednotná struktura v celém souboru, aby bylo možno data jednoduše identifikovat.

Vstupní data pro diplomovou práci byla převzata z diplomové práce [9] ve formátu shapefile. Nová verze Georaptoru 2.1.4 umožňuje provádět načtení shapefile do databáze Oracle. Spuštění funkce Load Shapefile provádíme z menu Georaptor, které je dostupné přes horní menu View v programu SQL Developer, viz. obrázek 13. Před spuštěním funkce pro načtení shapefile je potřeba mít aktivní připojení k existující databázi, do které budeme data nahrávat.

Obrázek 2 zobrazuje postup tvorby mračna bodů. V první části je potřeba vytvořit potřebné prázdné tabulky a následně provést inicializaci pomocí SDO_PC_PKG.INIT. Po provedené inicializaci struktury následuje její naplnění s využitím procedury SDO_PC_PKG.CREATE. Při vyžití této procedury lze definovat výstupní tabulku, která bude obsahovat kromě informací ze vstupní tabulky údaje o identifikátorech bodu a bloku, ve kterém se jednotlivé body nacházejí.



Obrázek 2: Schéma tvorby mračna bodů

3 Balíky SDO_PC

Procedury a funkce Oracle Spatial jsou nabízeny jako podprogramy v balících PL/SQL. Oracle Spatial má implicitně k dispozici několik balíčků procedur a funkcí. Procedury a funkce, které spolu souvisí, je možno pro další použití vkládat do tzv. balíčků (packages). Zde jsou obsaženy všechny typy, konstanty, proměnné, výjimky, kurzory, procedury a funkce, ke kterým je možno přistupovat z ostatních aplikací.

Obecně pro podprogramy z těchto balíčků platí několik společných zásad. Nevyžadují například definování prostorového indexu a ani prostorový index nepoužívají, pokud je definován. Pokud jsou vstupními parametry procedury nebo funkce Oracle Spatial geometrické popisy dvou prvků, musí být oba vztaheny ke shodnému souřadnicovému systému a podobně. [5]

Pro práci s datovým typem SDO_PC je k dispozici pět balíčků. Prvním z nich balík SDO_PC_PKG.CLIP_PC. Tento soubor funkcí umožňuje provedení oříznutí bodů mračna bodů. Výstupem při provedení operace oříznutí jsou body mračna bodů, které splňují podmínku průniku s dotazovacím oknem a případné další specifikované parametry.

Pro tvorbu mračna bodů z vybraných bodů ve vstupní tabulce použijeme SDO_PC_PKG.CREATE_PC. Procedura načte body ze vstupní tabulky, rozdělí je do podmnožin, a každou podmnožinu bodů vloží do samostatného řádku (bloku) v blokové tabulce spojené s mračnem bodů [10].

Balík SDO_PC_PKG.DROP_DEPENDENCIES slouží pro zrušení vazby mezi tabulkou bloku mračna bodů a základní tabulkou. Tato procedura odstraní spojení mezi tabulkou bloku (block table) a základní tabulkou (base table). Po provedení procedury pro zrušení vazby lze odstranit blokovou tabulku mračna bodů nebo tabulku bloku připojit k jiné základní tabulce.

Balík SDO_PC_PKG.GET_PT_IDS slouží k získání informace o ID bloku a ID bodu uloženého v mračnu bodů. Výstupem této funkce je objekt typu SDO_NUMBER_ARRAY. V poli jsou uloženy dvojice čísel, určujících bod pomocí jeho identifikátoru a identifikátoru bloku, ve kterém se bod nachází. Všechny body uložené ve výstupním poli budou mít při konkrétním dotazu shodnou hodnotu ID bloku.

Balík SDO_PC_PKG.INIT slouží k provedení inicializace mračna bodů, po provedené inicializaci dojde k vytvoření objektu SDO_PC, který lze následně naplnit vstupními daty mračna bodů použitím procedury SDO_PC_PKG.CREATE_PC. Inicializační proces vytváří vazbu mezi základní tabulkou a tabulkou bloku mračna bodů, které je uloženo v základní tabulce. Vazba způsobuje, že při smazání mračna bodů ze základní tabulky dojde k výmazu odpovídajících dat v blokové tabulce. Odstraněním základní tabulky při použití funkce truncate, dojde zároveň k odstranění blokové tabulky. Smazání blokové tabulky při aktivní vazbě není možné. Vazbu je nejprve třeba zrušit za použití funkce SDO_PC_PKG.DROP_DEPENDENCIES. Následně je možné blokovou tabulku odstranit nebo připojit k jinému mračnu bodů.

4 Analýzy mračna bodů

V současné chvíli neexistuje v Oracle Spatial přímá podpora analýz objektového typu SDO_PC v takovém rozsahu, jako je tomu například u datového typu SDO_GEOMETRY. Jediný prostorový dotaz implementovaný pomocí předem definované funkce je balík SDO_PC_PKG.CLIP_PC, který slouží pro oříznutí mračna bodů zadanou geometrií. V databázi Oracle Spatial verze 11gR2 není implementována podpora funkcionality pro aktualizaci mračna bodů novými body. V případě požadavku modifikace již existujícího mračna bodů, uloženého jako datový typ SDO_PC, je potřeba provést vytvoření celého mračna kompletně znovu s novými přidávanými body. K vytvoření je potřeba použít příslušné balíky pro tvorbu datového typu SDO_PC. Existuje možnost provádět prostorové analýzy přímo nad mračnem bodů, bez nutnosti konverze dat mezi různými objektovými datovými typy, k čemuž lze využít function based index.

Oracle Spatial používá k řešení prostorových dotazů a prostorových spojení dvouvrstvý dotazovací model. Během něj jsou vykonány k vyhodnocení dotazů dvě odlišné operace. Výstupem kombinace těchto dvou operací je hledaná množina geometrických popisů prvků. Vykonané operace jsou označovány jako primární a sekundární operace filtrování (primární a sekundární filtr) [5]

Většina prostorových dotazů a analýz prováděných v databázi Oracle Spatial vyžaduje, aby data byla uložena v tabulce. Daná tabulka musí obsahovat sloupec, který je datového typu SDO_GEOMETRY. Nad tímto sloupcem musí být vytvořen prostorový index. Tento index je vytvořen na základě hierarchie dat uložených ve struktuře R-stromu. Bez prostorového indexu není možné provádět prostorové dotazy.

4.1 Function-based index

Oracle Spatial umožňuje vytvářet prostorový index nad sloupcem, který je typu SDO_GEOMETRY. Oracle zároveň umožňuje vytvářet prostorový index nad deterministickou funkcí, jejíž výstupem je objekt typu SDO_GEOMETRY. Deterministická funkce vrací vždy stejný výstup i při změně vstupních dat. Function based index lze například nepřímo použít nad funkcí SDO_PC_PKG.TO_GEOMETRY, jejíž výstupem je mračno bodů převedené z datové struktury SDO_PC do SDO_GEOMETRY. V případě použití function based indexu nad funkcí není nutné explicitně vytvářet tabulku, nad kterou by bylo potřeba následně prostorový index vytvářet. [10]

4.2 Prostorové operátory

Oracle Spatial umožňuje využívat velkého množství prostorových operátorů pro práci s prostorovými daty. Pro určení prostorové závislosti se využívá sekundární filtr, který je aplikován pouze na data splňující podmínky primárního filtru. Stejně jako operátory <, > nebo = mohou být i prostorové operátory použity v běžném SQL dotaze. Všechny operátory jsou založeny na jednotném syntaxu:

```

<spatial_operator>
(
table_geometry IN SDO_GEOMETRY (or ST_GEOMETRY),
query_geometry IN SDO_GEOMETRY (or ST_GEOMETRY)
[, parameter_string IN VARCHAR2
[, tag IN NUMBER ]]
)
='TRUE'

```

Nejběžněji je prostorový vztah objektů založen na topologii a vzdálenosti. Například hranice oblasti sestává ze souboru křivek oddělujících oblast od zbytku prostoru. Vnitřní oblast se skládá ze všech bodů v oblasti, které netvoří hranici. Vzhledem k tomu budou dvě oblasti sousedící, pokud sdílejí část hranice, ale nesdílejí žádné vnitřní body. Prostorová vzdálenost dvou objektů je rovna minimální vzdálenosti mezi jejich libovolnými body. Dva objekty budou v dané vzdálenosti od sebe, pokud je jejich vzájemná vzdálenost menší než zadaná hodnota vzdálenosti. [6]

Všechny prostorové operátory lze využít pro dotazování nad 2D daty, kdy jsou použity první dvě dimenze. Pouze několik z nich umožňuje zahrnout do dotazu třetí dimenzi. Aby bylo možné využít při dotazu i třetí dimenze, musí být vytvořen prostorový index nad všemi třemi dimenzemi, ukázka viz. kapitola 4.2.2. Použití 2D dotazovacího okna nad 3D daty lze pouze pro prostorový operátor SDO_FILTER. Následující operátory mohou použít tři dimenze při dotazu:

- SDO_WITHIN_DISTANCE
- SDO_FILTER
- SDO_INSIDE (pouze pro tělesa)
- SDO_NN
- SDO_RELATE s maskou SDO_ANYINTERACT

5 Vizualizace mračna bodů

Oracle v současné chvíli nedisponuje žádnými nástroji pro přímou vizualizaci 3D dat uložených v datových formátech sloužících pro uchování prostorových dat. Pro vizualizaci 2D dat lze využít nástroj Georaptor [3], který slouží jako nadstavba nástroje SQL Developer [8]. Při absenci nástroje pro přímou vizualizaci dat, je potřeba najít alternativní způsob řešení.

Jednou z možností kterou nabízí Oracle, je export dat ve formátu GML (Geography Markup Language). GML je značkovací jazyk, založený na jazyku XML (eXtensible Markup Language), sloužící pro ukládání a distribuci geografických dat. Oracle podporuje aktuálně export dat do GML ve verzích 2.0, která slouží pro zobrazení 2D dat, a 3.1.1 pro 3D data. GML nepopisuje způsob vizualizace dat, ale pouze jejich strukturu. Možnost exportu dat z databáze Oracle v textovém formátu GML by bylo vhodné využít pro přístup k datům přes WFS službu, kterou Oracle podporuje.

V poslední době vzrůstá obliba produktů společnosti Google, jako jsou například aplikace Google Earth nebo Google Maps. Oracle Spatial umožňuje od nejnovější verze databáze 11gR2 export dat do datového formátu KML (Keyhole Markup

Language), který je využíván pro vizualizaci prostorových dat ve výše zmíněných aplikacích.

Jazyk KML je založený na struktuře jazyka XML. Slouží pro vytváření a ukládání geografických dat, jako jsou například body, čáry, obrázky, mnohoúhelníky a modely, které jsou následně zobrazovány v aplikacích Google Earth, Google Maps a další. Pomocí jazyka KML můžeme sdílet informace o různých místech na Zemi v reálném čase. Keyhole Markup Language (KML) je jazykové schéma používající strukturu založenou na značkách s vnořenými prvky a atributy, které jsou založené na jazyce XML. [13] Obrázek 3 zobrazuje ukázkou vizualizace mračna bodů exportovaných z databáze Oracle Spatial do KML:



Obrázek 3: Vizualizace bloku mračna bodů

6 Závěr

V diplomové práci jsem se zabýval detailním popis datových struktur Oracle Spatial pro uložení mračna bodů, včetně importu dat. Byly zkoumány analytické možnosti Oracle Spatial pro mračna bodů. Došlo k praktickému ověření nad reálnými daty, ned mračny bodů obsahující řádově 10^5 až 10^6 bodů. Pro využití širší funkcionality Oracle Spatial pro mračno bodů (např. vzdálenostní analýzy) je nutné vytvoření function-based indexu nebo převod do tabulky, která bude obsahovat sloupec typu SDO_GEOMETRY. Při vizualizaci pomocí formátu KML je nutné rozdělení mračna bodů do bloků s maximální velikostí přibližně 5000 bodů. Velká výhoda v ukládání bodů mračna bodů do databáze Oracle Spatial je v možnosti provádět analýzy pouze na straně database, kdy Oracle disponuje velkým množstvím různých nástrojů pro prostorové analýzy.

Reference

- [1] ALBERT GODFRIND, Oracle's Point Cloud datatype. Dostupné [online]: http://www.ncg.knaw.nl/Studiedagen/09PointClouds/presentations/PointCloud_14_AlbertGodfrind.pdf
- [2] Fórum Oracle Spatial. Dostupné [online]: <http://forums.oracle.com/forums/forum.jspa?forumID=76>
- [3] Georaptor / Spatial viewer for Oracle SQL Developer. Dostupné [online]: <http://sourceforge.net/projects/georaptor/>
- [4] HŮLOVÁ, H.: Aplikace vybraných metod prostorového dolování dat v databázových systémech. Diplomová práce. Plzeň, 2010.
- [5] JANECKA, K.: Modelování konzistentní báze geodat na úrovni datového modelu katastru nemovitostí. Disertační práce. Plzeň, 2009.
- [6] MURRAY, Ch.: Oracle Spatial Developer's Guide, 11g Release 2. Oracle. 2009.
- [7] Oracle Fusion Middleware MapViewer. Dostupné [online]: <http://www.oracle.com/technetwork/middleware/mapviewer/overview/index.html>
- [8] Oracle SQL Developer. Dostupné [online]: <http://www.oracle.com/technetwork/developer-tools/sql-developer/overview/index.html>
- [9] RAUCH, S.: Velkoměřítková prostorová databáze pro účely památkové péče. Diplomová práce. Plzeň, 2006.
- [10] RAVIKANTH, V.; KOTHURI, A., G.; EURO B.: Pro Oracle Spatial for Oracle Database 11g. Apress, 2007. 824 pp. ISBN13:978-1-59059-899-3.
- [11] SIVA RAVADA, MIKE HORHAMMER, BARIS M. KAZAR, Point Cloud: Storage, Loading, and Visualization. Dostupné [online]: http://www.cigi.illinois.edu/cybergis/docs/Kazar_Position_Paper.pdf
- [12] Wikipedie otevřená encyklopedie. Dostupné [online]: <http://www.wikipedia.org>
- [13] KML - Google Code. Dostupné [online]: <http://code.google.com/intl/cs/apis/kml/>