

Univerzita Palackého v Olomouci  
Přírodovědecká fakulta  
Katedra geoinformatiky

Markéta SOLANSKÁ

# **SYNCHRONIZACE A REPLIKACE GEODAT V PROSTŘEDÍ ESRI PLATFORMY**

Diplomová práce

Vedoucí práce: doc. RNDr. Vilém Pechanec, Ph.D.

Olomouc 2014

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci magisterského studia oboru Geoinformatika vypracovala samostatně pod vedením RNDr. Viléma Pechance, Ph.D.

Všechny použité materiály a zdroje jsou citovány s ohledem na vědeckou etiku, autorská práva a zákony na ochranu duševního vlastnictví.

Všechna poskytnutá i vytvořená digitální data nebudu bez souhlasu školy poskytovat.

V Olomouci 14. dubna 2014

Markéta SOLANSKÁ

Ráda bych poděkovala doc. RNDr. Vilému Pechancovi, Ph.D. za ochotné vedení této práce, pečlivé korekce a věcné připomínky.

Děkuji také konzultantu Tomáši Vondrovi, za jeho cenné rady a odborný vhled, který vnesl do této práce, stejně tak jako i jeho kolegovi Pavlovi Stěhule.

Dále děkuji konzultantům Boudewijn van Leeuwen a Zalan Tobak působících na Universitě v Szegedu v Maďarsku za inspirativní podněty při vypracování této práce.

**zadání**

# Obsah

<b>ÚVOD</b>	<b>10</b>
<b>1 CÍLE PRÁCE</b>	<b>12</b>
<b>2 POUŽITÉ METODY A POSTUPY PRÁCE</b>	<b>13</b>
<b>3 TEORETICKÁ VÝCHODISKA</b>	<b>14</b>
3.1 Vymezení pojmů . . . . .	15
3.2 Replikace . . . . .	18
3.3 ArcGIS produkty . . . . .	22
3.4 Vybrané programové prostředky . . . . .	24
3.4.1 PostgreSQL 9.x (PostGIS) . . . . .	24
3.4.2 Microsoft SQL Server Express 2008 . . . . .	25
3.4.3 ArcSDE geodatabase . . . . .	26
3.5 Nástroje pro replikaci v PostgreSQL . . . . .	28
3.5.1 Slony-I . . . . .	28
3.5.2 Streaming replikace . . . . .	29
3.5.3 pgpool . . . . .	29
<b>4 NÁVRH A KONFIGURACE REPLIKACE</b>	<b>31</b>
4.1 Návrh replikačního řešení . . . . .	31
4.2 Příprava prostředí pro konfiguraci replikace . . . . .	33
4.3 Konfigurace replikace . . . . .	36
4.3.1 Streaming replikace . . . . .	36
4.3.2 Slony-I replikace . . . . .	38
<b>5 DISKUZE</b>	<b>40</b>
<b>6 ZÁVĚR</b>	<b>41</b>
<b>LITERATURA</b>	<b>42</b>
<b>SUMMARY</b>	<b>44</b>



## Seznam obrázků

1	Příklad obousměrné synchronizace dat mezi dvěmi datovými uložišti .	16
2	Příklad verzování souboru . . . . .	17
3	Příklad verzování souboru s použitím pracovní větve . . . . .	18
4	Srovnání Master-Master a Master-Slave replikace . . . . .	19
5	Rozdíl mezi synchronní a asynchronní replikací . . . . .	20
6	Ukázka kaskádové replikace . . . . .	21
7	Schéma pgpool . . . . .	30
8	Návrh replikačního řešení . . . . .	32

## Seznam tabulek

1	Varianty programu ArcGIS platné od verze 10.1. . . . .	22
2	Přehled rozdílů personální a souborové geodatabáze v ArcGIS . . . .	23
3	Přehled verzí ArcSDE, jejich parametrů a možností . . . . .	27
4	Přehled databázových serverů . . . . .	33



# ÚVOD

Dnešní trend je ukládat a ponechávat stále více dat pouze v digitální podobě. Mnoho dokumentů už se vůbec netiskne do papírové podoby, tím spíš pokud dnes existují elektronické podpisy, díky kterým je tištěná verze naprosto zbytečná. S přibývajícím počtem dat je však třeba řešit komplikace, které počítačová data přinášejí. Počítačové experti řeší například otázky, kam ukládat tak velké množství dat, jak data efektivně aktualizovat, jak zabránit poškození dat ať už způsobených lidským faktorem či fyzickým poškozením hardware. V případě, že se poškodí disk, můžeme často během okamžiku přijít o všechna data, někdy však pro ztrátu dat stačí pouze stisknout tlačítko na klávesnici. Určitě už se Vám nejednou stalo, že jste se nemohli přihlásit do svého účtu na internetu z důvodu přetížení serveru. I to je problém, který velké množství dat a velký počet uživatelů přináší. Jak tedy pracovat s těmito objemy, jak zabránit komplikacím, které mohou poškodit či zcela zničit celou dosavadní práci, a jak zrychlit celý proces práce s daty?

Řešením velkého počtu výše uvedených problémů může být ukládání dat do databáze a jejich následná replikace. Replikací je myšlena pokročilá funkce, která zajišťuje kopii dat na více serverů. Nabízí ji většina dnešních databázových serverů, zajišťuje větší robustnost databáze a vysokou dostupnost dat. Replikaci lze využít ve všech odvětvích, které pracují s daty. Výjimkou tedy není ani geoinformatika, která pracuje s velkými objemy dat, které navíc nesou informaci o geografické poloze. Právě reprezentace geografické polohy, skrze textový zápis souřadnice daných bodů, může způsobit razantní zvýšení velikosti dat. Například u webových dat se navíc musí řešit častý přístup k databázi, protože každé posunutí výřezu či přiblížení, resp. oddálení výřezu mapy, je samostatným dotazem, který musí kapacita serveru zvládat. Při představě, že si uživatel bude posouvat výřez mapy po 50m, může to způsobit velkou zátěž pro server. V tomto případě je potřeba řešit replikaci z důvodu rozložení zátěže.

Z mého pohledu data středně velkého až velkého projektu je vhodnější ukládat do databáze než jiných formátů typu shapefile, Microsoft Access nebo obyčejného tabulkového procesoru. Nabízí nám to sofistikované uložení dat, snadné propojení jednotlivých vrstev, snadnou přenositelnost dat, možnost relačního propojení dat nebo efektivní vyhledávání. Replikace samotná se poté využívá pro kopii dat a následnou aktualizaci změn, která v databázi nastanou.

Replikaci ocení uživatelé pracující na společném projektu, distribuovaná pracoviště i společnosti s velkým množstvím důležitých dat, jejichž kopie je rozhodující pro jejich fungování. Dobrým příkladem využitelnosti replikace je také nový trend využívání offline aplikací v mobilních telefonech. Databáze se vždy replikuje do mobilního telefonu, kde může fungovat offline a vždy, když se klient připojí na internetovou síť,

aplikace kontroluje zda není na serveru novější verze databáze a pokud je, zkopíruje pouze změny, které proběhly od posledního stahování. (Jako příklad z geoinformačního prostředí bych uvedla diplomovou práci Dalibora Janáka, který řeší replikaci databáze lezeckých cest do mobilní aplikace.)

Databázové systémy nabízí širokou škálu nastavitelnosti, která umožňuje přizpůsobit replikaci danému řešení.

# 1 CÍLE PRÁCE

Cílem diplomové práce je provést rešerši v oblasti dostupných replikačních řešení a na jejím základě prakticky otestovat proces synchronizace a replikace geodat, které je možnost v kombinaci s ArcGIS produkty.

V teoretické části práce budou podrobně definovány pojmy týkající se zálohování dat, především však synchronizace a replikace, dále detailně rozebrána replikace ve všech možných variantách nastavení, tedy jednosměrná, dvousměrná, synchronní, asynchronní, kaskádová, logická a fyzická. Dále rozbor zahrne celé portfolio produktů od desktop řešení, přes možnosti ArcGIS serveru až po cloudový ArcGIS online.

V rešerší části budou diskutovány dva databázové server, SQL Server a PostgreSQL, oba podporované ArcGIS produkty a jejím základě pak vybrát jeden, na kterém pak proces replikace bude prakticky testován.

Praktická část se bude zabývat návrhem replikačního řešení, které zahrne požadavky a možnosti katedry a bude brát v úvahu její způsoby využívání databáze. Na základě rešerše pak bude vybráno replikační řešení, připraveno testovací prostředí na základě všech výše zmíněných kritérií a na konec i praktickému testování výše zmíněných procesů.

Postupnými opakovanými procesy budou sledovány dílčí parametry procesu (rychlost procesu, úplnost, chybovost, podporované formáty).

## **2 POUŽITÉ METODY A POSTUPY PRÁCE**

### 3 TEORETICKÁ VÝCHODISKA

Databáze je soubor vzájemně propojených datových složek, který slouží pro efektivní ukládání dat (Oppel, 2009). Ta jsou ukládána ve formě tabulek, entit a atributů, a jsou vzájemně propojeny logickými vazbami, které se nazývají *relace* (Connolly, 2005). Toto logické uložení vazeb mezi tabulkami umožňuje efektivní manipulaci s daty, rychlé vyhledávání i komplexní analýzu (Momjian, 2001).

Základy *relační databáze* položil v roce 1970 matematik E. F. Codd, který relačnímu modelu přidal i srozumitelné příkazy vycházejících z běžné angličtiny, které jsou dnes známy jako jazyk *SQL* (Structured Query Language) (Žák, 2001). V dnešní době je možné setkat se také s pojmy objektová a objektově-relační databáze, které přebírají řadu vlastností z oblasti objektového programování.

Obvykle se rozlišují pojmy databáze, který odkazuje na obecný koncept, a pojem databázový systém nebo přesněji *systém řízení báze dat*<sup>1</sup>, což je konkrétním počítačovým program, který zajišťuje fyzické uložení dat. Moderní SŘBD jsou navrženy na principu klient/server, kdy databáze běží jako služba na pozadí a čeká na dotazy od klientů. Server umožňuje uživatelům přístup k databázi, vytváření a aktualizování dat, stejně jak jako vyhledávání či analyzování (Connolly, 2005). Uživatel s databází komunikuje skrze jazyk SQL většinou v kombinaci s vlastním jazykem daného databázového systému.

Pro uložení dat malého projektu je samozřejmě možno použít i jiného formátu určeného pro ukládání dat, například tabulkového procesoru, formátu XML, či moderního JSON. Pro komplexní správu dat velkého projektu je však databáze pro své relace více než vhodná.

Prostorová databáze, někdy také zvaná geodatabáze, není nic jiného než databáze přidaná o datový typ určený pro ukládání prostorové informace o prvku, prostorové indexy a sadu funkcí vhodných pro správu prostorových dat. Více informací o prostorových databázích v kapitole 3.4.1 PostgreSQL 9.x (PostGIS) a 3.4.2 MS SQL Server 2008.

Z toho vyvstává otázka, co jsou prostorová data, také zvaná geodata. Z pohledu společnosti Esri se jedná se prvky, které nesou informaci o geografické poloze, zakódovanou informaci o tvaru (bod, line, polygon) a popis geografického jevu. Tato geodata jsou uložena ve formátu, který je možno použít v geografickém informačním systému (Esri, 2006). Příkladem takového formátu může být vektorový Esri shapefile, Esri coverage, GML, KML, GeoJSON nebo rastrový Erdas Image a GeoTIFF. Dalším způsobem je již zmíněná databáze, do níž se vektorová data ukládají ve specifickém tvaru

---

<sup>1</sup>angl. Database Management System (DBMS)

daném standardem OGC<sup>2</sup> Simply Feature for SQL 1.2.1, který specifikuje způsob uložení dat v digitální podobě. Simple Features je založen na 2D geometrii s možností lineární interpolace mezi lomovými body. To umožňuje vložení následujících prvků:

- bod - POINT(0 0),
- linie - LINESTRING(0 0, 1 1, 1 2),
- polygon - POLYGON ((0 0,4 0,4 0,4 0 0),(1 1, 2 1, 2 2, 1 2,1 1)),
- série bodů - MULTIPOINT((0 0),(1 2)),
- série linií - MULTILINESTRING((0 0,1 1,1 2),(2 3,3 2,5 4)),
- geometrická kolekce, která může obsahovat různé geoprvky (body, linie i polygony) - GEOMETRYCOLLECTION(POINT(2 3),LINESTRING(2 3,3 4))<sup>3</sup>.

První slovo specifikace určuje druh prvku (point, linestring, polygon, multi-point, ...), následují v závorce vypsání souřadnice lomových bodů. Za tím ještě může následovat volitelný parametr kód souřadnicového systému.

Hodnoty lze dále vkládat přes Well-Known Binary (WKB) nebo Well-Known Text (WKT) reprezentaci. PostGIS funkce pro vkládání geometrie vypadá následovně:

- ST\_AsBinary(geometry) pro bitový zápis WKB
- ST\_AsText(geometry) pro WKT text

Příklad uložení linie do databáze s jedním lomovým bodem v souřadnicovém systému WGS84:

```
(LINESTRING(15.91 50.84, 17.20 49.64, 18.92 49.82), 4326)
```

### 3.1 Vymezení pojmů

Pro lepší porozumění textu této práce je potřeba definovat pojmy replikace, synchronizace a verzování, včetně popisu toho, jak jsou dané pojmy chápány v produktech ArcGIS. Je vhodné upozornit, že výše zmíněné procesy jsou v literatuře často užívány lehce odlišně. Některé zdroje pojmy replikace a synchronizace rozlišují, jiné je naopak považují za synonyma.

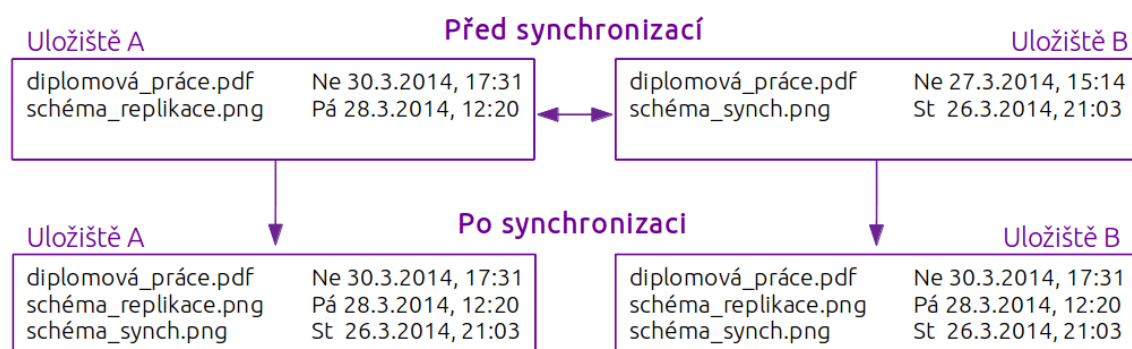
---

<sup>2</sup>OGC standardy jsou kontrolované konsorciem Open Geospatial Consortium, zdroj <http://www.opengeospatial.org/ogc>

<sup>3</sup>zdroj [http://postgis.net/docs/manual-2.1/using\\_postgis\\_dbmanagement.html#RefObject](http://postgis.net/docs/manual-2.1/using_postgis_dbmanagement.html#RefObject)

Všechny dotyčné pojmy úzce souvisí se zálohováním dat, tedy kopírováním dat mezi dvěma a více uložisti. To, co tyto pojmy spojuje, je totiž vždy, v nějaké míře, zabránění ztráty dat, ať už chybou či fyzickým poškozením disku. Dané pojmy se poté liší například konkrétním způsobem provedení zálohy, či konkrétním důvodem pro použití daného procesu.

Synchronizace je obecnější pojem, který může být považován za nadmnožinou replikace. V případě, že existují dva datové zdroje, které je potřeba v daný okamžik sjednotit, je možno mluvit o synchronizaci souborů či datových složek. U souborů se shodným názvem se porovnává čas posledního zápisu, velikost nebo obsah souboru, naopak soubory, které shodu nezaznamenají, jsou jednoduše zkopírovány. Synchronizací se tedy dá proces označit v okamžiku, kdy existují nejméně dva datové zdroje a smyslem synchronizace je porovnat tato uložistě a dostat je do stejného stavu. To může například přispět snazší spolupráci více uživatelů nad stejnými daty nebo uživateli, který pracuje na více počítačích.



Obrázek 1: Příklad obousměrné synchronizace dat mezi dvěma datovými uložisti

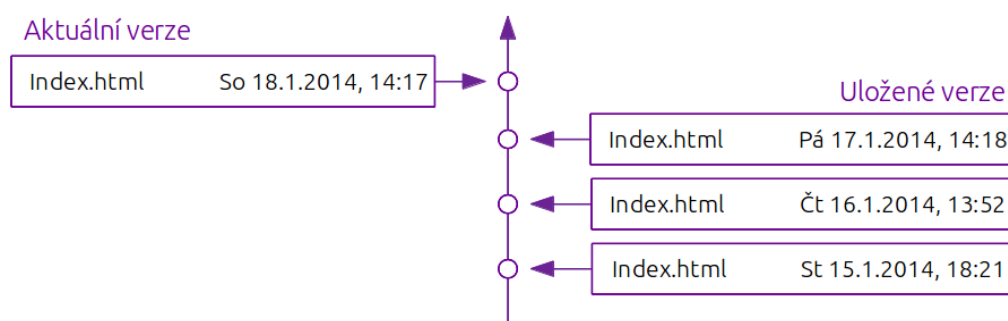
Replikace naopak začíná s daty existujícími pouze na jednom uložisti. Často je tento proces používán právě ve spojitosti s databázemi, kdy je kopie dat (také replika) tvořena z důvodu snížení zátěže serveru, či ochrany dat. Replikace je tedy často vyžadována z jiných důvodů než synchronizace a pro zajištění konzistence dat používá jiných technologií. V případě, že je již kopie vytvořena, je poté možno mluvit i o synchronizaci dat, protože replika průběžně kontroluje, zda na hlavním serveru nedošlo ke změně, a pokud ano, dané změny zkopíruje. Více se replikací zabývá kapitola 3.2 Replikace.

Oba procesy je možno použít jednostranně, tedy kopírovat data pouze z jednoho uložistě na druhé a nikoliv opačně, nebo oboustranně, kdy se datové zdroje kopírují navzájem mezi sebou.

Specifickým způsobem zálohy dat je verzování, kdy se data na záložním datovém

uložišti nepřepisují, ale systematicky ukládající v takzvaných verzích tak, aby se uživatel mohl snadno kdykoliv vrátit k předchozím stavům souborů. Smyslem verzování je zachovat všechny zvolené stavy práce, čímž se verzování liší od zálohování, kde stačí mít aktuální kopii daných dat. To, co je zde popsáno jako verzování, se v produktech ArcGIS nazývá archivování dat (Law, 2008).

Verzování může probíhat ručně, poloautomatizovaně či plně automatizovaně díky speciálním nástrojům pro správu verzí, kterých je na internetu dostupná celá řada. Oblíbeným verzovací systémem programátorů je Git<sup>4</sup>, open-source nástroj pro správu verzí, který pomáhá při práci s malými i velkými projekty a podporuje týmovou spolupráci. Umožňuje vrátit jednotlivé soubory nebo celý projekt do předchozího stavu, porovnávat změny provedené v průběhu času, zjistit, kdo naposledy upravil něco, co nyní možná způsobuje problémy, kdo vložil jakou verzi a mnoho dalšího (Chacon, c2009). Git je vhodný zejména pro textové soubory, protože dokáže analyzovat části textu, či programového kódu a zvýraznit místa, která se změnila.



Obrázek 2: Příklad verzování souboru

Samotná databáze verzování dat neumožňuje. Nejsnazší způsob, jak získat verzi dat, je skriptem **dump**, který exportuje databázi do souboru. V MS SQL Serveru je tento proces nazýván Snapshot, tedy snímek databáze nebo také snímková replikace. Takový soubor se poté může verzovat podobným způsobem jako jakýkoliv jiný binární soubor typu shapefile. A to samé platí i pokud v databázi ukládáme geodata.

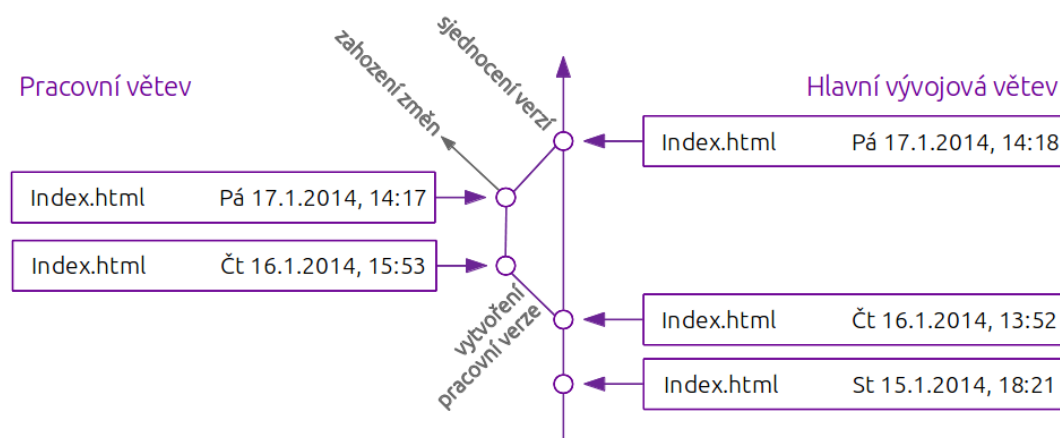
Proto byl vytvořen verzovací systém také pro prostorová data, který vychází ze systému Git a nese název GeoGIT. Umožňuje uživatelům uchovávat změny v souborech shapefile, SpatialLite a z databáze PostGIS (PostgreSQL), stejně tak jako vrátit se k jakékoliv z předchozích verzí.

Verzování může být chápáno také jako vytvoření pracovní verze. V případě, že programový kód či data jsou plně funkční či správná, ale je potřeba je aktualizovat, testovat či jinak měnit, pak je vhodné vytvořit tzn. pracovní verzi, aby nedošlo k poškození té aktuální. Jedná se o kopii aktuálního stavu, na které je možno pracovat

<sup>4</sup>více na <http://git-scm.com/>



a zkoušet. V případě, že práce nedopadne podle představ, je možno změny zahodit, pokud je tomu naopak, je možno pracovní verzi sjednotit s platnou verzí. Tento způsob verzování umožňuje Git i GeoGIT a takto chápe pojem verzování i společnost Esri.



Obrázek 3: Příklad verzování souboru s použitím pracovní větve

## 3.2 Replikace

Replikace je proces, u kterého jsou data a databázové objekty kopírované z jednoho databázového serveru na druhý a poté synchronizovány pro zachování souladu obou databází. Synchronizací v tomto případě myslíme kopírováním všech změn, které v databázi nastanou. Použitím databáze je možno data distribuovat na různě vzdálená místa nebo mezi mobilní uživatele v rámci počítačové sítě a internetu (Microsoft, 2013).

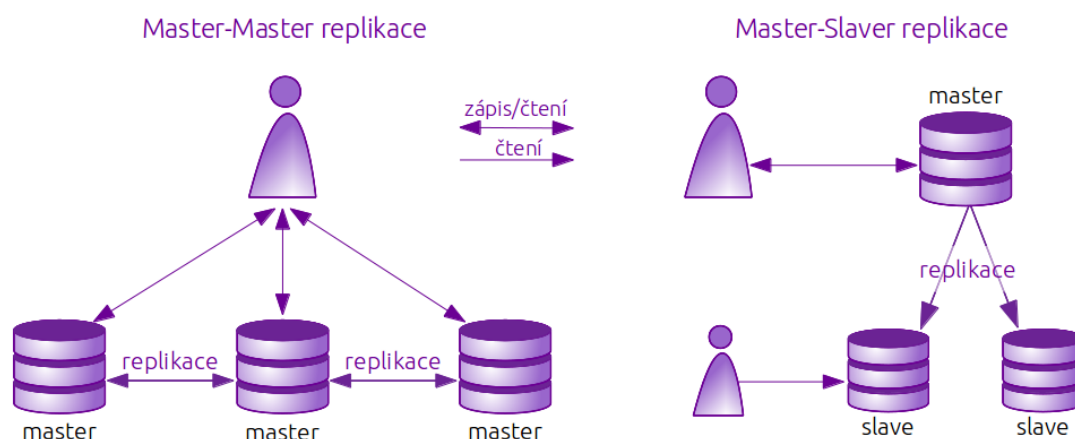
Mnohé moderní aplikace se musí zabývat velkým počtem přístupů do databáze, což může v některých případech způsobovat problémy. Buď je server přetížen počtem připojení a data tedy přicházejí k uživateli pomalu, nebo dokonce úplně vypadne.

Mezi časté důvody použití databázové replikace tedy patří zajištění dostupnosti dat<sup>5</sup>, resp. snížení pravděpodobnosti, že data nebudou dostupná, což může být způsobeno již zmíněným výpadkem serveru nebo například fyzickou ztrátou dat (Obe a Hsu, 2012). Další důvodem je rozložení zátěže přístupů do databáze mezi více serverů, takže nebude docházet ke zpomalení výkonu hlavního serveru ani k situaci, že data nebudou dostupná kvůli jeho výpadku (Bell et al., 2010). Databáze je často zálohovaná, například skriptem dump a i to může server zpomalit. Vhodným řešením je tedy nejdříve vytvořit kopii dat na jiný datový server a až poté proces zálohování spustit.

<sup>5</sup>angl. High Availability

Všechny databáze zapojené do procesu replikace jsou v odborné literatuře nazývané uzly, v angličtině node. Tyto uzly dohromady tvoří replikační cluster<sup>6</sup>. Při správně nastavené replikaci, by v clusteru nikdy neměly být méně než 3 uzly. Může se totiž stát, že vypadne jeden ze dvou uzlů, čímž dojde, ikdyž jen na krátkou chvíli, k situaci, že data nebudou v daný okamžik zálohovaná.

Uzly v replikačním clusteru mohou mít jednu ze dvou základních rolí, nejčastěji nazývaných Master a Slave. Master server nebo pouze Master je server, který poskytuje data k replikaci, má práva na čtení i zápis a probíhají tedy na něm veškeré aktualizace. Je možno se setkat také s pojmenováním Primary server, Provider, Sender, Parent nebo Source server. Naprosto jiný pojem zavádí MS SQL Server, který tento zdrojový server nazývá Publisher (česky Vydavatel). Druhý databázový server je nejčastěji nazýván Slave, Standby, Reciever, Child nebo Subscriber (česky Odběratel). Poslední pojem je také používán MS SQL Serverem. Na tento server, který je dostupný vždy jen pro čtení dat, se data a aktualizace kopírují, není však možné na něj změny zapisovat (Riggs a Krosing, 2010).



Obrázek 4: Srovnání Master-Master a Master-Slave replikace

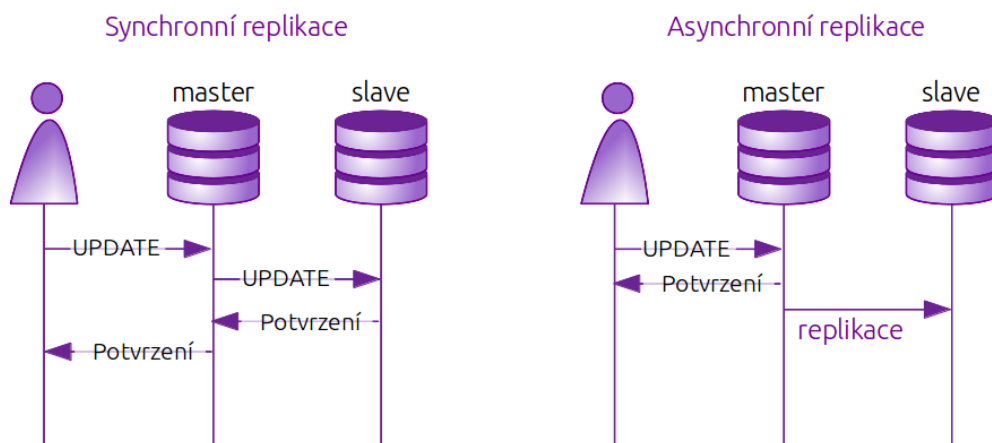
Podle počtu Master a Slave serverů v replikačním clusteru, se rozlišuje zda se jedná o jednosměrnou nebo obousměrnou replikaci. Tzv. Master-Master replikace umožňuje zapisovat do všech uzlů v replikačním clusteru, což může být praktické například při použití databáze offline (viz obr. 4). Změny se tedy synchronizují mezi všemi databázovými uzly. Tento způsob však nese značné komplikace, je potřeba řešit konflikty změn ve stejných datech a je relativně náročný na údržbu. Tato práce se zabývá použitím druhé způsobu, tzv Master-Slave replikace. Tato replikace používá vždy jen jeden Master server v clusteru a dva a více Slave servery. Kopie dat tedy probíhá jednosměrně, vždy z Master na Slave servery. Podle Bella (2010) mají moderní apli-

<sup>6</sup>Volně přeloženo skupina serveru zapojených do replikace

kace často více čtenářů než zapisovatelů, proto je zbytečné, aby se všichni čtenáři připojovali na stejnou databázi jako zapisovatelé a zpomalovali tím jejich práci (Bell et al., 2010). Z toho důvodu je tedy použití Master-Slave replikace více než vhodné.

Při návrhu replikace je potřeba zamyslet se také nad tím, zda bude synchronní či asynchronní. Synchronní replikace neumožní, aby na Master serveru proběhla nová transakce, dokud se poslední transakce úspěšně neprovede na Slave serveru (Böszörményi a Schönig, c2013). Tento přístup zajistí, že žádná data nebudou v průběhu transakce ztracena. V některých případech tento způsob může zbytečně zpomalit rychlost přístupu do databáze, protože je nutno čekat na každou nedokončenou transakci. Zároveň může způsobit snížení dostupnosti databáze, protože v případě, že se například přeruší spojení mezi servery, nemůže na masteru proběhnout žádný další dotaz. Ale jistě si najde své opodstatnění například při bankovních transakcích, kde je potřeba, aby všechny operace proběhly na obou stranách. V tomto případě je užití tohoto způsobu zcela nezbytné.

Druhým způsobem je asynchronní replikace, při které se nová data mohou zapisovat na Master server, přestože ještě nedošlo k replikaci stávajících dat na Slave server (Obe a Hsu, 2012). To je sice za běžného provozu rychlejší, v některých případech však může způsobit nekonzistenci dat, například když proběhne transakce na Master serveru, který však spadne dřív, než se změna zapíše na Slave. V takovém případě se Slave změní na Master server, ale zároveň se nikdy nedozví o transakci, o které má uživatel informace, že proběhla v pořádku.

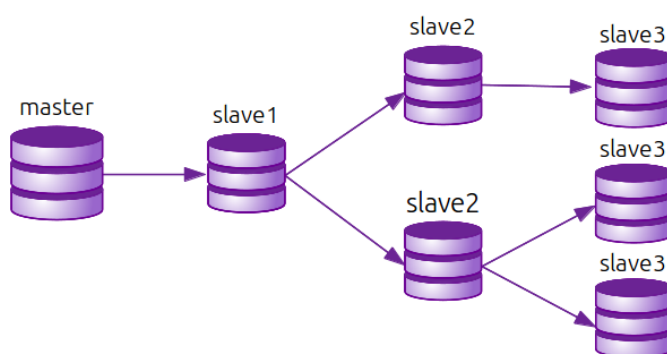


Obrázek 5: Rozdíl mezi synchronní a asynchronní replikací

Replikace v PostgreSQL umožňuje plnou kopii dat z databáze i pouze výběr některých tabulek. Více o možnostech a způsobech nastavení replikace v kapitole ?? a PRAKTICKÁ ČÁST :) Dále je možno rozlišovat replikaci pole toho, zda je logická nebo fyzická. Výsledek obou typů má naprosto identický výsledek, přesto se mírně liší.

Fyzická replikace kopíruje data na druhý server v binární podobě. Tím, že se kopírují celé složky dat, je na Slave serverech zajištěna identická replika. Protože se kopírují binární data, která mají jasně danou strukturu, je potřeba mít na obou serveru stejnou platformu a architekturu. Tento způsob je velice spolehlivý a často snazší na konfiguraci. Naopak logická přenáší SQL příkazy tak, jak byly použity na Master serveru a ty poté proběhnou na Slave serverech. Tím se nasimuluje průběh změn dat na hlavním serveru a zajistí se konzistence dat. Tento způsob je více flexibilní, umožňuje výběr jen několika databází nebo tabulek a není závislý na architektuře ani operačním systému (Böszörmenyi a Schönig, c2013).

Posledním diskutovaným pojmem je kaskádová replikace, která umožňuje připojit repliku k jinému Slave serveru místo k hlavnímu Master serveru. Tento způsob může být výhodnější především z těchto dvou důvodů. Řekněme, že se kaskádová replikace používá při existenci většího počtu Slave serverů v clusteru, třeba sta. V případě, že by se všechny repliky připojovaly k hlavnímu serveru, došlo by u něj k razantnímu zpomalení jeho výkonu. Kaskádová replikace může být praktická také v okamžiku, kdy se data přenáší na velkou vzdálenost, třeba do Číny. V případě, že mají v Číně dvě repliky, je zcela zbytečné, aby se obě kopie přenášely na tak velkou vzdálenost, když druhá replika se může připojit k první a mít data s mnohem menším zpožděním.



Obrázek 6: Ukázka kaskádové replikace

Každý databázový server (myšleno SRDB) si volí terminologii a konkrétní nastavení mírně odlišně. Tato kapitola se snaží popsat chápání replikace co v největší míře obecně s ohledem na použití tohoto pojmu v PostgreSQL. Zcela jinou terminologii, ikdyž založenou na stejných principech, zavádí MS SQL Server, který používá pojmy transakční replikace pro Master-Slave replikace a slučovací replikaci pro Master-Master replikaci.

### 3.3 ArcGIS produkty

V názvu práce se objevuje spojení Esri platforma, čímž jsou chápány produkty společnosti Esri. Esri je americká společnost zabývající se vývojem software zaměřeného na geografické informační systémy. Manželé Dangermondovi ji založili v roce 1969<sup>7</sup>.

Z hlediska chápání Esri má GIS tři roviny. První je to GIS jako prostorová databáze reprezentující geografické informace, dále sada map zobrazující prvky a vztahy mezi prvky na zemském povrchu a zároveň i software pro GIS jako sada nástrojů pro odvozování nových informací ze stávajících. Esri tyto tři pohledy na GIS propojuje v software ArcGIS jakožto kompletní GIS, který se skládá z katalogu (kolekce geografický datových sad), map a sad nástrojů pro geografické analýzy.

Esri vytváří integrovanou sadu softwarových produktů ArcGIS, které poskytují nástroje na kompletní správu GIS a přizpůsobují produkty různým úrovním nasazení. Výběr produktu záleží na tom, zda zákazník požaduje jedno nebo více uživatelských systémů, zda se má jednat o stolní systém nebo server, popř. zda má být dostupný prostřednictvím internetu. Nabízí také produkty vhodné pro práci v terénu (Esri, 2006).

Základními produkty<sup>8</sup> jsou stolní systémy ArcGIS for Desktop ve verzích Basic, Standard, Advanced<sup>9</sup>, dále serverové verze ArcGIS for Server (pro Linux a Windows) ve třech úrovních funkcionality (Basic, Standard, Advanced) a dvou úrovních kapacity serveru (Workgroup a Enterprise). Další produkt ArcGIS for Mobile, ve verzích ArcPad, ArcGIS for Windows Mobile a ArcGIS for Smartphone and Tablet, je určený především pro práci v terénu. A v neposlední řadě verze dostupná skrze internet ArcGIS Online. K tomu všemu Esri přidává velké množství extenzí a další verzí<sup>10</sup>.

Tabulka 1: Varianty programu ArcGIS platné od verze 10.1.

Produkt	Verze		
	Basic	Standard	Advanced
ArcGIS for Desktop	Basic	Standard	Advanced
ArcGIS for Server	Basic	Standard	Advanced
ArcGIS for Mobile	ArcGIS for Windows Mobile	ArcPAD	ArcGIS for Smartphone and Tablet
ArcGIS Online			

<sup>7</sup>Více info <http://www.esri.com/about-esri/history>

<sup>8</sup>Názvy jednotlivých produktů použitých v tomto odstavci jsou platné od verze ArcGIS 10.1. Starší verze ArcGIS používají jiné názvy, jejichž přehled je možný na stránkách firmy ARCDATA Praha <http://www.arcdata.cz/produkty-a-sluzby/software/arcgis/prejmenovani-arcgis/>.

<sup>9</sup>Zdroj <http://www.esri.com/software/arcgis/about/gis-for-me>

<sup>10</sup> Kompletní seznam na oficiálních webových stránkách Esri <http://www.esri.com/products> nebo <http://www.arcdata.cz/produkty-a-sluzby/software/arcgis/>

Dle Law (2008) je nativním formátem produktů ArcGIS geodatabáze a jsou rozlišovány tři druhy geodatabáze. Ani v jednom případě se však nejedná o databázi v pravém slova smyslu, tak jako ji chápame v kapitole 3.4.1 a 3.4.2. V každém případě však tyto způsoby umožňují uložení, přístup a správu dat. U prvních dvou typů, personální a souborové geodatabáze, se data ukládají do jednoho binárního souboru, kde jsou však ukládána ve stejné struktuře jako v plnohodnotném databázovém serveru. Do takového geodatabáze můžeme uložit více než jednu vrstvu, což je výrazný rozdíl oproti formátu shapefile. Výhodou je dále možnost použití relací, sofistikované dotazování a v neposlední řadě i snadná přenositelnost, protože takováto databáze bude vždy jen jeden soubor obsahující několik vrstev. Oproti tomu shapefile, který obsahuje jen jednu vrstvu, je tvořen minimálně 4 soubory. Oba tyto typy podporují pouze jednoho editujícího uživatele a mnoho uživatelů s právem čtení. Nepodporují dlouhé transakce ani verzování.

Tabulka 2: Přehled rozdílů personální a souborové geodatabáze v ArcGIS

<b>databáze</b>	<b>souborová .gdb<sup>1</sup></b>	<b>personální .mdb<sup>1</sup></b>
datové uložště/ databázový server	lokální souborový systém	MS Access
licence	ArcGIS for Desktop (všechny verze)	ArcGIS for Desktop (všechny verze)
operační systém	Windows (možná i jiné)	Windows
požaduje ArcSDE	ne	ne
vlastní datový typ	ne	ne
víceuživatelská editace	ano, ale s limity	ne
počet editorů	1 pro každý dataset nebo tabulku <sup>2</sup>	1 <sup>2</sup>
počet čtenářů	více než 1 <sup>2</sup>	více než 1 <sup>2</sup>
master server <sup>3</sup>	ne <sup>1</sup>	ne <sup>1</sup>
slave server <sup>3</sup>	ano	ano

<sup>1</sup><http://www.esri.com/software/arcgis/geodatabase/single-user-geodatabase>

<sup>2</sup><http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#//003n00000007000000>

<sup>3</sup>je možno použít jako master/slave server

Tato práce se více zaměřuje na třetí typ, technologii ArcSDE, kterou v některých materiálech nazývají “geodatabáze ArcSDE”. Nejedná se o geodatabázi, ale spíše o zprostředkovatele komunikace mezi programem ArcGIS a databázovým server. Umožňuje víceuživatelský přístup, verzování i replikaci (Esri, 2006). Tato technologie využívá jako datové uložště některý z již existujících databázových serverů, např. níže popsané PostgreSQL nebo MS SQL server. Touto technologií se více bude zabývat

## 3.4 Vybrané programové prostředky

### 3.4.1 PostgreSQL 9.x (PostGIS)

PostgreSQL je objektově-relační databázový systém s otevřeným zdrojovým kódem dostupný na většině platform. Je volně k dispozici pro použití, modifikaci a znovu rozšíření způsobem, který si sami zvolíme. Jedná se o robustní, výkonný, bezpečný, kompatibilní a interoperabilní software s podporou a dobře komentovaným zdrojovým kódem. Vyhovuje standardům SQL od verze SQL 2008 a nabízí velké množství pokročilých funkcí. PostgreSQL je založen na architektuře klient-server, to znamená, že server pořád běží a čeká na dotazy klienta (Momjian, 2001).

S vývojem databázového serveru PostgreSQL začala University of California v Berkley již více než před 20 lety. Nyní je vyvíjen a udržován velkou komunitou nezávislých vývojářů. Používá licenci TPL (The PostgreSQL Licence), která je mírně odlišná od open-source licence BSD (Berkeley Distribution Software), ze které vychází (Riggs a Krosing, 2010)

Řadí se mezi nejpokročilejší databáze díky schopnosti pracovat s velkými objemy dat, díky své rychlosti a funkcionalitě může soupeřit i s populárními komerčními systémy jako je Oracle, IBM DB2, Microsoft SQL Server 2008 a dalšími (PostgreSQL, 2012).

Samotné PostgreSQL neobsahuje datové typy a funkce vhodné pro správu prostorových dat. K tomu je nutné přidat nástavbu PostGIS, která rozšiřuje databázi PostgreSQL o podporu geografických dat. PostGIS implementuje specifikaci „Simple Features for SQL“ konsorcia OGC. PostGIS umožňuje ukládání geometrických objektů (bod, linie, polygon), použití prostorových funkcí pro určení vzdáleností, délky linií, výměr a obvodu ploch, výběr indexu při spojení prostorových a atributových dotazů a mnoho dalších.

PostGIS používá dva základní prostorové datové typy geography a geometry. Typ geography ukládá souřadnice v kartézských rovinných souřadnicích, kterým odpovídá souřadnicový systém WGS84. Je zejména vhodný pro malá území. Při výpočtu vzdálenosti dvou bodů tento datový typ vrátí jako výsledek nejkratší vzdálenost v kilometrech v rovině. Typ geometry data ukládá v polárním rovinném systému a umožňuje nastavit souřadnicový systém podle potřeb. Výsledkem dotazu na vzdálenost dvou bodů tedy bude úhel ve stupních. Po převodu do metrické soustavy dostaneme nejkratší vzdálenost na kouli. Při výběru datového typu může být rozhodující například počet funkcí, kterých typ geometry poskytuje mnohem více než geography, nebo ve-

likosti daného území (OpenGeo, 2012b).

Existuje také další nastavba PostGIS Raster, která rozšiřuje ukládání a manipulaci s rastrovými daty, nastavba PostGIS Topology pro topologickou správu vektorových dat a pgRouting pro síťové analýzy. PostGIS je podporován velkou řadou software zabývajících se správou geografických dat, což také umožňuje snadnou přenositelnost a použitelnost jednotlivých nástaveb (příklad software podporujících PostGIS: QGIS, GvSIG, GRASS, ArcGIS).

PostGIS používá mnoho běžně používaných knihoven jako GEOS (Geometry Engine Open Source) pro implementaci jednoduchých prostorových prvků a metod pro topologii, PROJ4 pro převod mezi kartografickými projekcemi nebo GDAL/OGR (Geospatial Data Abstraction Library) pro převod mezi různými vektorovými i rastrovými formáty (Obe a Hsu, 2011). PostGIS 1.5. obsahovala přes 800 funkcí, typů a prostorových indexů (Obe a Hsu, 2012). Aktuální verze PostGIS<sup>11</sup> je 2.1.

PostgreSQL podporuje replikaci i synchronizaci bez nutnosti další instalace.

Od verze ArcGIS 9.3. je PostgreSQL oficiálně podporovanou databází pro ukládání geodat v produktech ArcGIS. Při instalaci je pouze potřeba zajistit kompatibilitu verzí. Pro verzi ArcGIS 10.1 jsou podporované verze PostgreSQL 9.0 a PostGIS 1.5., pro ArcGIS 10.1 SP1<sup>12</sup> je to PostgreSQL 9.1.3 a PostGIS 2.0 (OSGeo, 2013)<sup>13</sup>. Databáze PostgreSQL se dá v ArcGIS produktech použít dvojím způsobem. Buď jen jako úložiště dat bez přidání geografického datového typu, nebo včetně datového typu, tedy včetně PostGIS knihovny. ArcSDE podporuje pouze datový typ PostGIS Geometry a přidává vlastní datový typ Esri St\_Geometry. Výhodou používání Esri St\_Geometry je nezávislost na zvoleném databázovém systému, tedy snazší přenositelnost celého řešení.

Práce byla testována na verzích PostgreSQL<sup>14</sup> 9.1.4 a PostGIS 2.0.

### 3.4.2 Microsoft SQL Server Express 2008

Microsoft SQL Server (dále MS SQL Server) je relační databázový systém vyvíjený společností Microsoft dostupný pro různé verze operačního systému Windows. Dodává se v mnoha verzích, které lze nainstalovat na různé hardwarové platformy na základě odlišných licenčních modelů (Whalen, 2008). Podle Leitera (2009) SQL Server nabízí 8 základních verzí: Enterprise, Standard, Workgroup, Web, Express, Express Advanced Edition, Developer Edition a Compact Edition. Enterprise edition podporuje naprosto

<sup>11</sup>Aktuálně na <http://postgis.refractory.net/>

<sup>12</sup>Service Pack 1

<sup>13</sup>Zdroj a další informace na stránkách PostgreSQL <http://trac.osgeo.org/postgis/wiki/UsersWikiPostgisarcgis> nebo ArcGIS <http://resources.arcgis.com/en/help/system-requirements/10.1/index.html#/015100000075000000>

<sup>14</sup>Více na <http://www.postgresql.org/>



vše, co SQL Server nabízí, naopak verze Express, která je dostupná zdarma, obsahuje omezení některých funkcí a proto je vhodná spíše pro malé nebo začínající projekty (Leiter, 2009).

Prostorová data jsou implementována jako CLR rozšíření a přidávají databázovému serveru dva prostorové datové typy geometry a geography. Rozdíl mezi datovými typy je podobný jako u PostgreSQL. První jmenovaný slouží k reprezentaci dat (bodů, linií, polygonů) v rovině, naproti tomu datový typ geography slouží ukládání stejných dat na povrchu zeměkoule. Oba typy pracují ve dvou dimenzích (nebere se v potaz výška). Podporuje také indexování dat, index je tvořen standardním B stromem (Činčura, 2009).

SQL Server je podporován a používán ArcGIS produkty od začátku jeho vývoje. Verze ArcGIS Enterprise může být propojena s jakoukoliv uživatelem zvolenou a zakoupenou licencí databázového systému. Verze ArcSDE Desktop a Workgroup používají verzi Express, která je dostupná zdarma a podporuje většinu základních funkcí. Replikaci plně podporuje verze Enterprise, ostatní verze ji podporují pouze s omezenými funkcemi. Avšak již zmiňovaná verze Express, která je podporována ArcSDE Desktop a Workgroup, může být použita pouze slave server, tedy odběratelem replikovaných dat, není tedy možné do takovéto databáze připojené do replikačního clusteru zapisovat. Nemůže být tím, kdo poskytuje data k replikaci (Whalen, 2008). Stejně jako u PostgreSQL platí, že si uživatel může zvolit, zda použije datový typ, který je součástí ArcSDE, nebo ten, který je implementován do SQL Serveru.

### 3.4.3 ArcSDE geodatabase

ArcSDE je technologie firmy Esri pro správu geoprostorových dat uložených v relačních databázových systémech. Jedná se o otevřenou a interoperabilní technologii, která podporuje čtení a zápis mnoha standardů. Využívá jako své nativní datové struktury standard konsorcia OGC Simple Feature a prostorový typ ISO pro databázové systémy Oracle, IBM DB2 a Informix. Poskytuje vysoký výkon a je přizpůsobena velkému počtu uživatelů (Esri, 2006).

ArcSDE je prostředník pro komunikaci mezi klientem (př. ArcView) a SQL databází (př. PostgreSQL). Umožňuje přístup a správu dat v databázi, současnou editaci jedné databáze více uživateli, zajišťuje prostorový datový typ (St\_Geometry), dále integritu dat, dlouhé transakce a práci s verzemi (Law, 2008).

Technologie ArcSDE vyžaduje dvě úrovně: databázovou a aplikační, která se skládá z ArcObjects a ArcSDE. Databázová úroveň zajišťuje jednoduchý, formální model pro uložení a správu dat ve formě tabulek, definici typů atributů (datových typů), zpracování dotazů či víceuživatelské transakce (Law, 2008). ArcSDE podporuje

databázové systémy IBM DB2, IBM Informix, Oracle, Microsoft SQL, PostgreSQL (Esri, 2013a).

Existují tři úrovně ArcSDE databáze: desktop (ArcSDE Desktop), skupinová (ArcSDE Workgroup) a podniková (ArcSDE Enterprise). Každá verze má jiné parametry a umožňuje různou úroveň editace (viz tab. 3).

Tabulka 3: Přehled verzí ArcSDE, jejich parametrů a možností

databáze	ArcSDE		
	Desktop <sup>1</sup>	Workgroup <sup>1</sup>	Enterprise <sup>1</sup>
databázový server	SQL Server Express	SQL Server Express	PostgreSQL, Oracle, SQL Server a další
licence	ArcGIS for Desktop	ArcGIS for Server Workgroup	ArcGIS for Server Enterprise
operační systém	Windows	Windows	multiplatformní
požaduje ArcSDE	ano	ano	ano
vlastní datový typ	ne	ne	ano
víceuživatelská editace	ne	ano	ano
počet editorů	1	10	bez limitu
počet čtenářů	3	10	bez limitu
master server <sup>2</sup>	ne	ne	ano
slave server <sup>2</sup>	ano	ano	ano
verzování	ano	ano	ano
závislost na sítích	lokální síť	lokální síť, internet	lokální síť, internet
velikostní limity	10GB	10GB	záleží na velikosti serveru

<sup>1</sup> <http://www.esri.com/software/arcgis/geodatabase/multi-user-geodatabase>

<sup>2</sup> je možno použít jako master/slave server

ArcGIS 9.2 je ArcSDE Desktop spolu s databázovým systémem MS SQL Server Express součástí licence produktů ArcGIS for Desktop Standard a Advanced. Takovou databázi mohou současně používat 4 uživatelé, z toho jen jeden může databázi editovat, jsou však omezeni velikostí databáze.

Součástí licence ArcGIS for Server Workgroup je ArcSDE Workgroup, která se liší od verze Desktop především tím, že počet uživatelů, kteří mohou současně editovat nebo prohlížet databázi, je zvýšen na deset.

Nejvyšší úroveň, ArcSDE Enterprise, je možno získat s licencí ArcGIS for Server Enterprise, která uživatelům přináší nejméně omezení. Mohou si vybrat z několika komerčních i nekomerčních databázových systémů, počet uživatelů není omezen, stejně jako velikost databáze.

K ArcSDE a vybrané databázi je možno přistupovat přes ArcCatalog, není tedy potřeba instalace dalšího software nebo zkušenost s administrací databáze (Esri, 2006).

Replikaci a synchronizaci dat umožňují pouze ArcSDE Enterprise a Workgroup (Esri, 2013b). Jak už bylo zmíněno v předchozí kapitole 3.4.2 Microsoft SQL Server Express 2008, SQL Server Express je možný použít v replikačním clusteru pouze jako slave server. Vzhledem k tomu, že proces replikace je implementován při do ArcObjects a ArcSDE, nezáleží na konkrétním databázovém systému (Law, 2008).

### 3.5 Nástroje pro replikaci v PostgreSQL

PostgreSQL nabízí hned několik nástrojů pro řešení replikace. Je možno použít zabudovanou streaming replikaci, která je dostupná od verze PostgreSQL 9.0 nebo některou z extenzí, například Slony-I, Skytools nebo Postgres-XC. Tato kapitola se dále bude zabývat a porovnávat nativní streaming replikace s extenzí Slony-I.

#### 3.5.1 Slony-I

Podle Böszörményi a Schönig (c2013) je Slony-I jeden z nejrozšířenějších externích nástrojů pro replikaci pro PostgreSQL. Zároveň se také řadí mezi nejstarší, plně používán je v PostgreSQL již od verze 7.3. a má velice dobrou podporu dalších i externích řešeních pro PostgreSQL například programu PgAdmin3, který nabízí správu dat pomocí grafického rozhraní (Böszörményi a Schönig, c2013).

Jedná se o trigger-based replikaci, což znamená, že je ke každé existující tabulce přidán trigger, který zajistí, že je každá změna dat replikovaná. Z toho také vyplývá, že se jedná o logickou replikaci, kdy se možné replikovat pouze změny v datech, tedy SQL příkazy INSERT a UPDATE, nikoli strukturu databáze, příkazy typu CREATE/DROP TABLE, ALTER TABLE. Slony-I tedy nikdy nereplikuje celou databázi včetně struktury, ale pouze data. Zato umožňuje replikovat pouze námi vybrané tabulky, což může být v některých případech žádoucí. Vytváří se tzv. replikační set, kde se zapisí pouze ty tabulky, které je potřeba replikovat.

Velkou výhodou oproti streaming replikaci je, že umožňuje replikovat data mezi různými verzemi PostgreSQL bez ohledu na platformu a architekturu. Naopak spíše nevýhodou je, že při instalaci si ke každé databázi vytváří vlastní schéma, což způsobuje redundanci dat.

Replikace je z principu asynchronní, zpoždění je v řádu vteřin nebo v desítkách. Umožňuje Hot Standby mode, kdy je možno použít repliku na dotazy, i kaskádovou replikaci. Slony-I má vlastní konfigurační nástroj, pomocí kterého se nastavuje repli-

kace. Samotná replikace běží díky vlastnímu replikačnímu démonu, který běží stále, registruje změny a kopíruje je na Slave servery.

### 3.5.2 Streaming replikace

Streaming replikace je nativní řešení, který je do PostgreSQL implementováno od verze 9.0. Jedná se o log-shipping replikaci, což znamená, že jsou změny zapsány nejdříve vždy do transakčního logu v PostgreSQL nazvaného WAL (Write Ahead Log) přímým zápisem na disk a až poté potvrzeny jako úspěšné. Tento způsob zajišťuje datům naprosté bezpečí, protože kdyby došlo k chybě a změny se nezapisovaly na disk, ale byly pouze cachované, mohlo by dojít k jejich ztrátě. Zároveň to zajišťuje jak kopii dat, tak struktury databází. Existuje pouze jeden transakční log pro jednu instalaci PostgreSQL, proto se replikují vždy všechny databáze a není možné výběru jen několika tabulek, tak jak je to možné v Slony-. Protože replikace probíhá pomocí transakčního logu, je nutné použití stejné verze PostgreSQL, stejné platformy i architektury na všech uzlech replikačního clusteru.

Streaming replikace umožňuje jak synchronní, tak asynchronní replikaci, dále Hot standby mode i kaskádovou replikaci.

### 3.5.3 pgpool

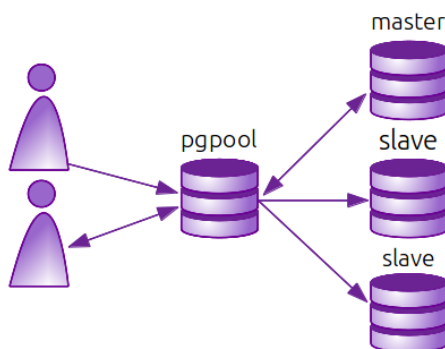
Nástroj pgpool, který je stejně jako Slony-I extenzí pro PostgreSQL, je dalším z nástrojů, které je možno v použít pro replikaci dat, umožňuje však i mnohé další funkce. Je prostředníkem pro komunikaci mezi klientem a PostgreSQL serverem a jeho hlavní úlohou zvýšit efektivitu a rychlost práce s databází.

Jednou ze základních výhod použití pgpool je možnost sdílení spojení klienta s databází, což v praxi znamená, že se vytvoří několik spojení, která i po skončení dotazu zůstanou otevřená a připravená pro další použití. Nemusí se tedy navazovat spojení při každém požadavku, ze strany klienta, což velice zrychlí provoz a zajistí plynulost užívání databáze.

Umožňuje také paralerní dotazování, tedy složitý dotaz rozdělí mezi více uzlů, což velice sníží čas vykonání daného dotazu. Zároveň je nástrojem pro optimalizaci nastavení replikace, což je velice praktické hned z několika důvodů (pgpool Global Development Group, 2013). V případě, že je v repliačním clusteru třeba deset různých serverů, je potřeba dát každému uživateli přístup k jinému serveru, nebo přístupy do databáze manuálně rozkládat skrze složité programové řešení. pgpool tohle vše zajišťuje. Sám rozděljuje dotazy mezi uzly v replikačním clusteru dle aktuální zátěže.

Zároveň, pokud má uživatel přístup k zápisu i čtení, umí na základě jeho aktuálního SQL příkazu, rozhodnout, zda jej připojí k master nebo slave databázi.

pgpool se navenek jeví jako jakákoliv jiná databáze, do kterého se připojí všichni uživatelé bez ohledu na jejich práva či požadavek, a on poté rozhodne, ke kterému z uzlů bude daný uživatel připojen. (Böszörményi a Schönig, c2013). Tento způsob zjednoduší administraci databáze i nastavení pro běžného uživatele, který se připojí do jedné databáze a víc se nestará, zda z databáze pouze čte, nebo do ní i zapisuje.



Obrázek 7: Schéma pgpool

## 4 NÁVRH A KONFIGURACE REPLIKACE

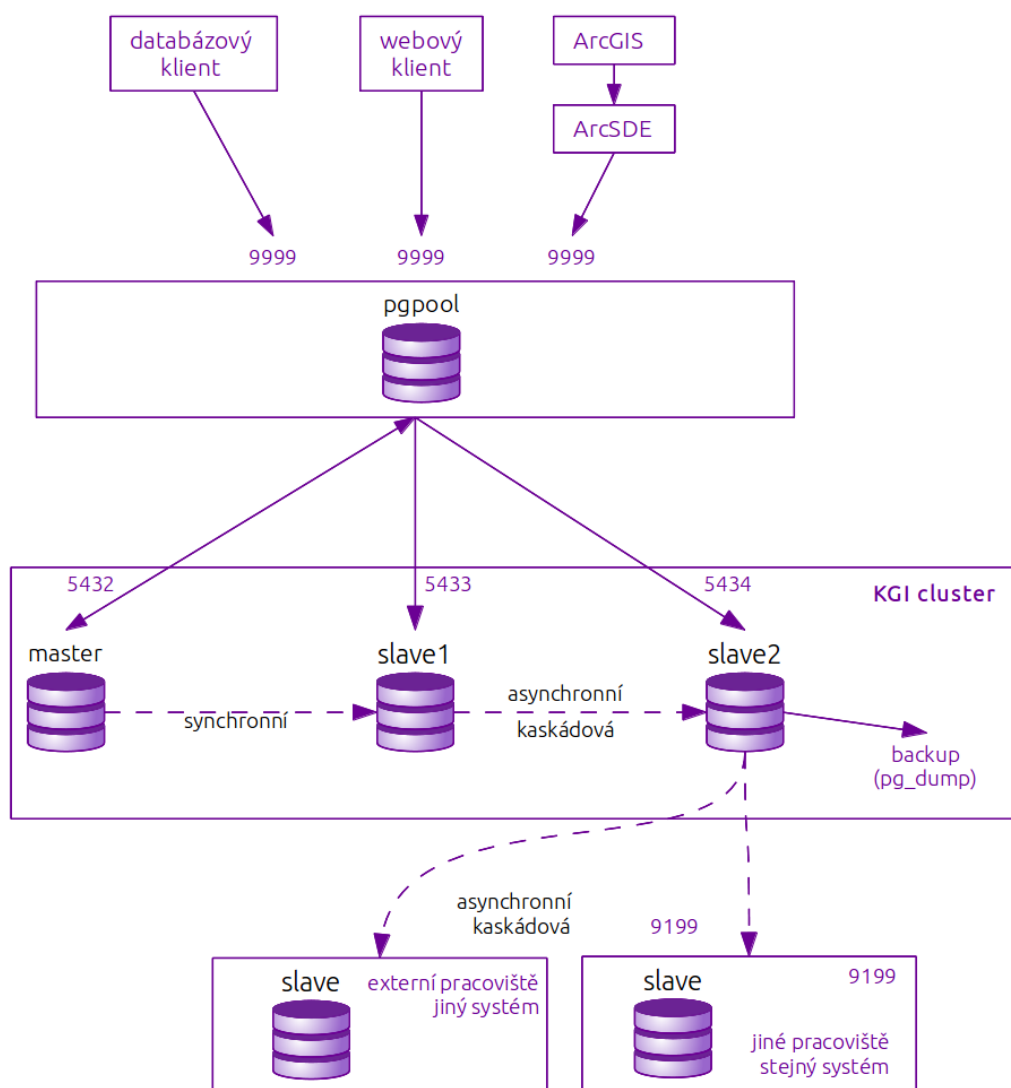
### 4.1 Návrh replikačního řešení

Po provedení rešeršní části a zohlednění všech podmínek, požadavků a možností katedry, byl sestaven následující návrh pro kompletní databázové řešení založené na procesu replikaci. Z databázových serverů, diskutovaných v kapitole 3.4, byl vybrán server PostgreSQL hned z několika důvodů. Jedná se o plnohodnotný databázový systém dostupný zdarma se všemi nástroji, je multiplatformní a od verze ArcGIS 9.3 je plně podporován produkty ArcGIS.

Byl navržen replikační cluster s nejméně třemi servery z důvodů, které již byly diskutovány v kapitole 3.2. Celý cluster poběží na stejné platformě a proto bude možno použít streaming replikaci, která jakožto nativní řešení PostgreSQL, nabízí větší stabilitu a bezpečnost, díky přenosu transakčních logů, než jiná diskutovaná řešení. Byla zvolena jednosměrná master-slave replikace, cluster tedy bude obsahovat jeden master a dva (popř. více) slave serverů. Aby nedošlo ke ztrátě dat v případě, že by master server spadl dřív, než se data zkopírují na slave server, pro první slave (slave1) byla zvolena varianta synchronní replikace. Je vhodné, aby servery běžely v lokální síti, protože se tím snižuje pravděpodobnost, že by došlo k výpadku spojení mezi master a slave1 server a nebylo by tak možno zapisovat na master.

Druhý server (slave2) bude replikovat asynchronně a zároveň, aby nedocházelo k přetížení master serveru, bude replikace probíhat ze slave1 na slave2, tedy kaskádově. Ze slave2 lze dále tvořit pravidelnou, například denní nebo týdenní, zálohu pomocí utility `pg_dump`, která je více popsána v kapitole 4.2. Záloha přes `pg_dump` tak nebude zatěžovat master server a sama o sobě bude probíhat rychleji, než by tomu bylo na master serveru, který je již tak velmi vytížen dalšími procesy.

Vzhledem k tomu, že existují klienti, kteří mají právo číst i zapisovat, budou přístupy do databáze řešeny nástrojem `pgpool`. Uživatelům tedy nebude potřeba dávat přihlašovací údaje dvakrát, jednou pro zápis na master a druhý pro čtení na slave. To jim usnadní práci i z toho pohledu, že si nebudou muset hlídat, ke kterému ze serverů se připojit na základě jejich aktuálního dotazu. `pgpool` se bude tvářit jako jakákoli jiná databáze, ke které se klienti přihlásí bez ohledu na typ jejich dotazu a `pgpool` pak sám rozhodne, ke kterému ze serverů klienta přihlásí. Tím bude mít možnost také rozložit zátěž na dostupné uzly v clusteru dle počtu konkrétních dotazů. `pgpool` bude zároveň uchovávat databázová spojení a při novém dotazu využije stávajícího spojení, místo aby vytvářel spojení nové. Tímto se zajistí plynulost a zvýší rychlost provozu databáze.



Obrázek 8: Návrh replikačního řešení

Vzhledem k tomu, že se k databázi bude přistupovat skrze pgpool, není potřeba aby jednotlivé uzly v clusteru měly veřejnou IP adresu. Plně dostačuje, že servery poběží na lokální síti a pouze pgpool na serveru s veřejnou IP, čímž se zajistí, že data budou přístupná i skrze internet.

Návrh počítá také s externími pracovišti, která budou často přistupovat do databáze s právem čtení, a budou mít zájem o zrychlení přístupu k datům tím, že se slave server přesune na jejich pracoviště, tedy na hardware, který bude připojen do jejich lokální sítě. Typ replikace se zvolí podle jejich operačního systému a jeho architektury. Pokud se bude jednat o shodný systém, jaký bude použit ve výše popsaném clusteru, pak bude možno použít asynchronní streaming replikaci, naopak pokud se bude jednat o systém jiný, bude použita Slony-I replikace.

## 4.2 Příprava prostředí pro konfiguraci replikace

Na začátku je potřeba připravit prostředí hned s několika závislostmi. Hlavním používaným software je PostgreSQL s extenzemi PostGIS, Slony-I a pgpool. Informace o instalacích jednotlivých komponent jsou dostupné na jejich webových stránkách, ve Windows si stačí stáhnout pouze instalační balík pro PostgreSQL, který umožňuje instalaci databázového systému včetně všech výše zmíněných extenzí.

Všechny technologie byly testovány na operačním systému Debian-based Linux, z toho vyplývá, že některé příklady zmíněné v této kapitole, především pak ukázky absolutních cest k souborům, odpovídají adresářové struktuře tomuto systému. Slony-I bylo navíc vyzkoušeno také na Windows XP. Bylo používáno PostgreSQL ve verzích PostgreSQL 9.1 a 9.3, Postgis verze 1.5 a 2.1, Slony-I verze 2.1 a pgpool verze 3.1 a 3.3.

Pro grafickou administraci databáze je doporučený, ale nepovinný, program PgAdminIII<sup>15</sup>, který je taktéž multiplatformní. Většina konfigurace je zde popisována skrze příkazový řádek, neznamena to však, že nemá ekvivalentní použití skrze grafické rozhraní.

Pro databázové servery byla zvolena tři datová uložistě, pro jejichž přehled (viz tab. ??). IP adresy byly pro větší názornost a jednoduchost upraveny na rozsah běžné lokální sítě. Vzhledem k tomu, že se do databáze bude přistupovat skrze pgpool, není potřeba, aby kterýkoli z níže vypsáných serverů, měl veřejnou IP adresu. Všechny servery běží na defaultním portu 5432, který je standardem pro PostgreSQL.

Tabulka 4: Přehled databázových serverů

název serveru		IP adresa		port
-----	+	-----	+	-----
master		192.168.0.100		5432
slave1		192.168.0.101		5432
slave2		192.168.0.102		5432

Aby bylo možné pracovat s databází, je nejdříve nutné chápat význam jednotlivých konfiguračních souborů a mít přehled o souborové struktuře PostgreSQL. Vzhledem k tomu, že si ji každý systém uzpůsobuje podle sebe, nezbyvá než po instalaci PostgreSQL nastudovat, kde se jaký soubor nachází. Existuje tabulka `pg_settings`, která uchovává veškeré informace o nastavení databáze. SQL příkazem volajícím tuto

---

<sup>15</sup><http://www.pgadmin.org/>



tabulku je možno vypsát absolutní cestu k datům (`data_directory`) a cesta k souboru, který uchovává PID (process-ID) běžícího procesu (`external_pid_file`). Také popisuje tři hlavní konfigurační soubory:

- `postgres.conf`, který definuje obecné nastavení databáze,
- `pg_hba.conf`, který povoluje konkrétním uživatelům přístup z určitých IP adres,
- `pg_ident.conf`, který slouží k mapování uživatel operačního systému na uživatele PostgreSQL (Obe a Hsu, 2012).

Příklad SQL příkazu, spuštěného na serveru master serveru, který vypíše umístění jednotlivých souborů a složek:

```
SELECT name, setting FROM pg_settings WHERE category =
       'File Locations';
```

name		settings
-----	+	-----
data_directory		/var/lib/postgresql/9.1/main
external_pid_file		/var/run/postgresql/9.1-main.pid
hba_file		/etc/postgresql/9.1/main/pg_hba.conf
config_file		/etc/postgresql/9.1/main/postgresql.conf
ident_file		/etc/postgresql/9.1/main/pg_ident.conf

U všech typů replikace je potřeba mít vytvořeného databázového uživatele s právy pro replikaci, pod kterým bude daný proces probíhat. Je možné vytvořit nového uživatele a nastavit mu tato práva nebo použít již existující účet `postgres`, který jako `SUPERUSER` obsahuje také práva pro replikaci. Je však potřeba mu hned na začátku změnit heslo.

Příklad změny hesla uživatele `postgres` na master serveru:

```
ALTER ROLE postgres PASSWORD 'kgigis';
```

Příklad vytvoření nového uživatele `replikator` s přidáním práv pro replikaci na master serveru:

```
CREATE ROLE replikator REPLICATION ENCRYPTED PASSWORD '
kgigis';
```

— nedokončená část

```
CREATE DATABASE student;
student=# CREATE TABLE student (id int, jmeno varchar,
      rodne_mesto geometry, primary key(id));
```

```
NOTICE: CREATE TABLE / PRIMARY KEY will create
      implicit index "student_pkey" for table "student"
CREATE TABLE
```

Příklady možných způsobu zkopírování dat na repliku:

```
SELECT pg_start_backup('backup', true)
```

```
scp -r root@158.194.94.93:/var/lib/postgresql/9.1/main
      /var/lib/postgresql/9.1/main
```

nebo

```
rsync -ave ssh root@158.194.94.93:/var/lib/postgresql
      /9.1/main /var/lib/postgresql/9.1/main
```

```
SELECT pg_stop_backup()
```

Nabízí se ještě možnost použití skriptu přímo určeného pro zálohování dat v PostgreSQL `pg_basebackup`. Tento příkaz mimo jiné umožňuje kopírování dat za běhu replikace bez nutnosti použití `pg_start/stop_backup`.

Použití `pg_basebackup` pro vytvoření repliky:

```
pg_basebackup -D /var/lib/postgresql/9.1/main/ -U
      replikator -h 158.194.94.93
```

Při kopírování celé datové struktury je vhodné zajistit jednotlivým souborům a složkám správa. Vzhledem k tomu, že databázový systém zapisuje do složky s daty (`data_directory`), musí mít postgres, i po zkopírování celé datové struktury na jiný server, práva pro zápis.

Kopie souborové struktury dat je potřeba především pro streaming replikaci. Tento krok je velice důležitý pro správný chod replikace. V případě, že se data nespávně zkopírují, není možné replikaci zprovoznit.

Obecně platí, že kopírování databázového systému bez dat rychlejší než z daty. Pokud se tedy začíná s prázdným databázovým systémem, je vhodné nastavit replikaci dříve, než se data začnou do databáze přidávat. V případě, že už databáze naplněná daty je, není problém replikaci nastavit, jen je třeba počítat s delším časem kopírování dat a větší opatrností při konfiguraci.

A v neposlední řadě je potřeba zajistit konektivitu obou, resp. všech serverů v replikačním clusteru. S tím souvisí i nutnost nastavení povolení přístupů z IP adres slave serverů, kterou je možno zajistit skrze konfigurační soubor `pg_hba.conf`. Následující příklad ukazuje možné nastavení souboru `pg_hba.conf` na master serveru. Povoluje uživatelům market a replication, přihlášených z dané IP adresy, přistupovat na master server a číst, resp. replikovat data.

#host	DATABASE	USER	ADDRESS	METHOD
host	all	market	80.188.74.1/32	md5
host	replication	replication	80.188.74.1/32	md5

## 4.3 Konfigurace replikace

### 4.3.1 Streaming replikace

Jak bylo nastíněno v kapitole 4.1, databázové řešení staví na streaming replikaci a skládá se ze tří uzlů v clusteru, jednoho master serveru a dvou slave serverů. Pokud je správně provedena příprava dle kapitoly 4.2, samotné nastavení replikace není nijak náročné. V první fázi je potřeba konfigurace souboru `postgresql.conf` na master serveru. Pro asynchronní replikaci stačí editace parametrů:

- `wal_level`, který určuje, kolik informací má být zapsáno do transakčního logu (WAL) a
- `max_wal_senders`, který odpovídá maximálnímu počtu připojených slave serverů.

Hodnota `wal_level`, stanovená na `hot_standby`, zajistí, že na slave serveru bude umožněno dotazování. Vzhledem k tomu, že se bude na master server připojovat pouze `slave1` a všechny další slave servery se poté budou připojovat k němu, pak hodnota 1 zcela dostačuje. Je však možné hodnotu zvýšit, aby se soubor v budoucnu nemusel znovu editovat z důvodu připojení dalšího serveru.

Pro nastavení synchronní replikace stačí přidat jeden další parametr a to `synchronous_standby_names`, jehož hodnota může být libovolné slovo.

Konfigurace `postgres.conf` na master serveru:

```
wal_level = hot_standby
max_wal_senders = 1
synchronous_standby_names = 'gis'
```

Stejně tak je potřeba konfigurovat `postgresql.conf` na slave serverech. Hodnoty `wal_level` a `max_level_sender` můžou a nemusí zůstat stejné jako na masteru. Pokud však má být slave připraven zastoupit master server v případě jeho výpadku, pak je vhodné, aby hodnoty byly nastaveny shodně. Na slave serveru je dále potřeba editovat:

- `hot_standby`, který určuje, zda je možno dotazovat v průběhu replikace a
- `hot_standby_feedback`, který udává, zda bude replika informovat master server o příkazech na ní provedených.

```
wal_level = hot_standby
max_wal_senders = 5
hot_standby = on
hot_standby_feedback = on
```

Posledním krokem je vytvoření souboru `recovery.conf` na slave serveru ve složce `s daty`, který definuje parametry:

- `standby_mode`, který povoluje či zakazuje použití serveru jako slave a
- `primary_conninfo`, který nastavuje informace o serveru, ze kterého budou data replikována. Parametr nastavuje IP adresu serveru, ze kterého se data budou replikovat, název replikačního uživatele a jeho heslo a v případě synchronní replikace ještě klíčové slovo, které musí být shodné s hodnotou, která byla nastavená na master serveru v souboru `postgresql.conf` v parametru `synchronous_standby_name`.

Konfigurace `recovery.conf` uloženého ve složce `s daty` na `slave1`, který je připojován na master server a běží jako synchronní:

```
standby_mode='on'
primary_conninfo='host=192.168.1.100 user=replikator
password=kgigis application_name=gis'
```

V návrhu je počítáno s kaskádovou replikací, tedy s tím, že se `slave1` bude připojovat na `slave2` místo na master server. To lze nastavit úpravou souboru `recovery.conf`, kde IP adresa parametru `host` bude odpovídat IP adrese serveru `slave1`.

Konfigurace `recovery.conf` uloženého ve složce `s daty` na `slave2`, který běží jako asynchronní a je kaskádově připojován ke `slave1`:

```
standby_mode='on'
primary_conninfo='host=192.168.1.101 user=replikator
password=kgigis'
```

To, že replikace běží lze zkontrolovat několika způsoby. Na slave server nesmí být možné zapsat žádná data:

```
INSERT INTO student (jmeno) VALUES('Jan Vlasovec');
```

```
ERROR:  cannot execute INSERT in a read-only
transaction
```

Připojené repliky lze vypsat pomocí SQL příkazu `pg_stat_replication`, kde poslední parametr udává, zda se jedná o synchronní nebo asynchronní replikaci:

```
SELECT username, application_name, client_addr, state,
       sync_state FROM pg_stat_replication ;
```

username		application_name		client_addr		state		sync_state
-----	+	-----	+	-----	+	-----	+	-----
replikator		gis		192.168.1.101		streaming		sync
(1 row)								

Stejně tak lze na slave serveru zjistit, zda běží jako replika či nikoli pomocí SQL příkazu `pg_is_in_recovery()`:

```
postgres=# select pg_is_in_recovery();

pg_is_in_recovery
-----
t
(1 row)
```

V případě, že master server spadne, je možné během pár minut vyměnit role, určit jako master jeden ze slave serverů. Lze to udělat několika způsoby, jedním z nich je sledování existence souboru, který je definován v souboru `recovery.conf` na kterémkoli slave serveru:

```
trigger_file = '/tmp/trigger.txt'
```

Název souboru může být zvolen libovolně a může být zcela prázdný. Slave server pouze hlídá jeho existenci a jen to, že se soubor objeví v dané složce, způsobí, že se ze slave serveru stane master. Obsah souboru můžou tvořit další instrukce, které se můžou ovlivnit další chod databáze.

#### 4.3.2 Slony-I replikace

Ukázka konfiguračního souboru na master serveru pro inicializaci clusteru (`init cluster`) s názvem `init_master.txt` uloženého ve složce `z daty`:

```

cluster name = second_cluster;
# definice uzlu
node 1 admin conninfo='dbname= host=192.168.1.1 user=replikator
    password=kgigis';
node 2 admin conninfo='dbname= host=192.168.1.2 user=replikator
    password=kgigis';

# inicializace clusteru
init cluster (id=1, comment = 'master');
store node (id=2, comment = 'slave1', event node=1);

# vytvoreni replikacniho setu a pridani tabulek do setu
create set (id=1, origin=1, comment='Tabulky k replikaci');

set add table (set id=1, origin=1, id=1, fully qualified name =
    'public.student', comment='prehled studentu');
set add table (set id=2, origin=1, id=1, fully qualified name =
    'public.student2', comment='prehled studentu');

store path (server=1, client=2, conninfo='dbname= host=localhost
    user=postgres password=tfgt');
store path (server=2, client=1, conninfo='dbname=repl2 host=
    localhost user=postgres password=tfgt');

```

## 5 DISKUZE

## 6 ZÁVĚR



# LITERATURA

- BELL, C., KINDAHL, M., THALMANN, L. *MySQL High Availability*. Vyd. 1. Sebastopol, CA: O'Reilly Media, Inc, 2010. ISBN 978-059-6807-306.
- BöSZÖRMENYI, Z., SCHÖNIG, H.-J. *PostgreSQL Replication: Understand basic replication concepts and efficiently replicate PostgreSQL using high-end techniques to protect your data and run your server without interruptions*. Birmingham: Packt Publishing, c2013. ISBN 978-1-84951-672-3.
- CHACON, S. *Pro Git*. Edice CZ.NIC. Praha: CZ.NIC, c2009. ISBN 978-80-904248-1-4.
- CONNOLLY, T. *Database Systems: A Practical Approach to Design, Implementation, and Management*. Vyd. 4. Harlow: Addison-Wesley, 2005. ISBN 03-212-1025-5.
- ESRI. *ArcGIS 9: Co je ArcGIS 9.2?* United States: ESRI Press, US, 2006. ISBN 15-894-8166-6.
- ESRI. A quick tour of working with databases in arcgis. *ArcGIS Help 10.1 [online]*, 2013a. Dostupné z: [http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/A\\_quick\\_tour\\_of\\_working\\_with\\_databases\\_in\\_ArcGIS/019v00000008000000/](http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/A_quick_tour_of_working_with_databases_in_ArcGIS/019v00000008000000/).
- ESRI. Preparing data for replication. *ArcGIS Help 10.1 [online]*, 2013b. Dostupné z: [http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/Preparing\\_data\\_for\\_replication/003n000000z5000000/](http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/Preparing_data_for_replication/003n000000z5000000/).
- LAW, D. Enterprise geodatabase 101: A review of design and key features for gis managers and database administrators. *Esri: Understanding our world. [online]*, 2008. Dostupné z: [http://www.esri.com/news/arcuser/0408/entergdb\\_101.html](http://www.esri.com/news/arcuser/0408/entergdb_101.html).
- LEITER, C. *Beginning Microsoft SQL Server 2008 Administration*. Indianapolis, IN: Wiley Pub., 2009. ISBN 978-047-0440-919.
- MICROSOFT. SQL server - replication. *Microsoft [online]*, 2013. Dostupné z: [http://technet.microsoft.com/en-us/library/ms151198\(v=sql.100\).aspx](http://technet.microsoft.com/en-us/library/ms151198(v=sql.100).aspx).
- MOMJIAN, B. *PostgreSQL: Introduction and Concepts*. Boston, MA: Addison-Wesley, 2001. ISBN 02-017-0331-9.
- OBE, R., HSU, L. *PostGIS in Action*. London: Pearson Education [distributor], 2011. ISBN 19-351-8226-9.

- OBE, R., HSU, L. *Postgresql: Up and Running*. Sebastopol, CA: O'Reilly, 2012. ISBN 978-144-9326-333.
- OPENGEO. Introduction to postgis [online]. *Section 17: Geography*, 2012b. Dostupné z: <http://workshops.opengeo.org/stack-intro/openlayers.html>.
- OPPEL, A. J. *Databases: A Beginner's Guide*. New York: McGraw-Hill, 2009. ISBN 00-716-0846-X.
- OSGEO. Postgis and arcsde/arcgis articles. *PostGIS Tracker and Wiki [online]*, 2013. Dostupné z: <http://trac.osgeo.org/postgis/wiki/UsersWikiPostgisarcgis>.
- GLOBAL DEVELOPMENT GROUP. What is pgpool-ii? *Pgpool Wiki*, 2013. Dostupné z: <http://www.pgpool.net/docs/latest/pgpool-en.html>.
- POSTGRESQL. Faq. *PostgreSQL wiki [online]*, 2012. Dostupné z: <http://wiki.postgresql.org/wiki/FAQ>.
- RIGGS, S., KROSING, H. *PostgreSQL 9 Administration Cookbook: Solve real-world PostgreSQL problems with over 100 simple, yet incredibly effective recipes*. Birmingham: Packt Publishing, 2010. ISBN 978-1-849510-28-8.
- WHALEN, E. a. k. *Microsoft SQL Server 2005: velký průvodce administrátora*. Vyd. 1. / *Edice Administrace (Computer Press)*. Brno: Computer Press, 2008. ISBN 978-80-251-1949-5.
- ČINČURA, J. MS SQL 2008 – prostorová data poprvé. *Databázový svět [online]*, 2009. Dostupné z: <http://www.dbsvet.cz/view.php?cisloclanku=2009101201>.
- ŽÁK, K. Historie relačních databází. *Root.cz*, 2001. Dostupné z: <http://www.root.cz/clanky/historie-relacnich-databazi/>.

# SUMMARY

There is summary of all aims, methods and results in this chapter. Summary is not only translation of chapter Závěr. There is more information from chapters Cíle, Výsledky and Diskuze. Number of pages of Summary chapter is two at least. The style is Normalni Summary. Language is set to Angličina(Velká Británie) for automatic spell check. Do not use language Angličtina(USA).

## PŘÍLOHY

# SEZNAM PŘÍLOH

## Volné přílohy

Příloha 1 CD

## Popis sktruktury CD

Adresáře a soubory:

- skripty/ - složka se skripty
- web/ - webové stránky jako doplněk k diplomové práci
- Solanska\_DP.pdf - text diplomové práce