

# **Distribuované datové struktury pro masivně paralelní zpracování dat**

**Distributed Data Structures for  
Parallel Data Management**



## Zadání diplomové práce

Student:

**Bc. Aleš Nedbálek**

Studijní program:

N2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor:

2612T025 Informatika a výpočetní technika

Téma:  
**Distribuované datové struktury pro masivně paralelní zpracování dat**  
**Distributed Data Structures for Parallel Data Management**

Zásady pro vypracování:

S růstem objemu dat a rozvojem Internetu se zvyšuje potřeba distribuce data a masivně paralelního vyhledávání v těchto datech. Úkolem diplomové práce je zejména:

1. Seznámit se s distribuovanými datovými strukturami pro indexování vícerozměrných prostorů.
2. Vybranou datovou strukturu implementovat.
3. Provést experimenty a získané výsledky porovnat s výsledky stromových datových struktur.

Seznam doporučené odborné literatury:

Podle pokynů vedoucího diplomové práce.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Michal Krátký, Ph.D.**

Datum zadání: 18.11.2011

Datum odevzdání: 07.05.2013

  
doc. Dr. Ing. Eduard Sojka  
vedoucí katedry



  
prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty





Souhlasím se zveřejněním této diplomové práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 *Studijního a zkušebního řádu pro studium v magisterských programech VŠB-TU Ostrava*.

V Ostravě 30. března 2013



Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě 30. března 2013



Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě 30. března 2013

.....



Rád bych na tomto místě poděkoval všem, kteří mi s prací pomohli. Zvláště pak panu doc. Ing. Michalu Krátkému, Ph.D. za ochotnou pomoc a vedení při vypracovávání mé diplomové práce.



## **Abstrakt**

Rostoucí trend zpracování velkého množství dat vede k distribuci zátěže na více výpočetních uzlů a vzniku škálovatelných distribuovaných datových struktur - SDDS. Rozložení dat umožňuje jejich paralelní zpracování, zvýšení propustnosti a duplicita dat mezi uzly může zajistit dostupnost při selhání. Těchto vlastností je třeba u aplikací s důrazem na dostupnost a s velkým počtem klientů.

V práci uvádíme shrnutí vlastností jednotlivých SDDS s popisem distribuce a rozložení dat mezi uzly. Uvedené struktury lze rozdělit podle použitého konceptu distribuce na lineárně hashované a stromové datové struktury.

V rámci vývoje navrhujeme podle pravidel dodržovaných SDDS vlastní koncept se způsobem distribuce a rozložení pohledu na data. Celý koncept je implementován v jazyce C++. Serializaci volání metod a komunikaci jsme zpočátku chtěli převzít z veřejně dostupných API knihoven. Následně jsme se však rozhodli pro vlastní implementaci. Navrhli a implementovali jsme metodu vzdáleného volání metod za pomocí dvou příkazů *Command* a *ResultSet*. Síťovou komunikaci testujeme na TCP a UDP protokolech. Datové struktury R-strom a B-strom k testům byly dodány z databázového systému QuickDB[24] implementovaného skupinou databázové systémy z katedry Informatiky. Implementace s sebou přinesla i mnoho problémů a různých řešení společně s testy (serializaci přístupu, síťové prostředí, vlákna).

Výsledkem implementace je aplikace vícevláknového serveru a klienta s možností využití pro různé datové struktury. Reálné použití našla aplikace v projektu SGS Detekce plagiovaných dokumentů. Přístup k aplikaci zajišťuje webový klient v ASP.NET. Testy síťové komunikace nám ukázaly omezení v propustnosti reálné sítě.

Na závěr jsme provedli testy vzniklé aplikace DDS a embedded řešení pro B-strom a R-strom. Bohužel se v testech projevil vliv virtualizace prostředí a nedostatek hardwarových prostředků. Nedosáhli jsme předpokládaných násobků propustnosti při replikaci dat. I přes tyto nesnáze jsou výsledky zajímavé. Při vkládání se projevilo snížení propustnosti s rostoucí replikací dat. Výsledky bodových dotazů poukázaly na úměrný růst propustnosti s počtem replikací a rozsahové dotazy se částečně přiblížily propustnosti embedded řešení.

**Klíčová slova:** lineární hash, stromové datové struktury, distribuované datové struktury, masivně paralelní zpracování dat, R-strom, B-strom

## **Abstract**

The growing trend of processing large amounts of data leads to the distribution load among multiple nodes and creation of scalable distributed data structures - SDDS. The distribution of data allows parallel processing, increase throughput and duplication data between nodes can ensure availability in the case of failure. These properties are necessary for applications with an emphasis on accessibility and a large number of clients.

In this work we present the summary of each SDDS with a description of the distribution and data decomposition between nodes. These structures can be divided according to the concept used for linear hash and tree data structures.

Development suggested the rules and we followed them to create own concepts SDDS. Decomposition and the distribution of view on the data, we propose own solution. The whole concept is implement in the C++ language. Serializing a call method and communication we want take from publicly available API libraries. Then we decided for their own implementation. We have designed and implemented a method for remote method calls using two commands *Command* and *ResultSet*. Testing communication on TCP and UDP protocols. Data structures like R-tree and B-tree for testing were supplied. Implementation has also brought many problems and different solutions together with tests (serializing access, network environment, threads).

The result of the implementation is a multi-threaded server application and client enable to use various data structures. The real utilization found the application in to the project SGS Detection plagiarism documents. Access to the application provides a web client in ASP.NET. Tests of the network communication have shown us bandwidth constraints in a real network.

Finally, we conducted tests of SDDS and embedded solutions for the B-tree and R-tree. Unfortunately, demonstrated in tests virtualization environment and lack of hardware resources. We did not achieve the expected throughput with scalable data replication. Despite these difficulties the results are interesting. When inserting data we decreases permeability with increase data replication. Results of the point queries referred to the proportional grow throughput with the numbers of data duplicity and the range querys are quite approximate to throughput embedded solutions.

**Keywords:** Linear hash, Tree data structures, Distributed data structures, Massive parallel data management, R-tree, B-tree

## **Seznam použitých zkrátek a symbolů**

|       |                                       |
|-------|---------------------------------------|
| BATON | – balanced tree overlay network       |
| CPU   | – central processing unit             |
| CRC   | – cyclic redundancy check             |
| DH    | – distributed hashing                 |
| DDH   | – distributed dynamic hashing         |
| DLH   | – dynamic linear hashing              |
| DFS   | – distributed file system             |
| DAC   | – disk access cost                    |
| ECC   | – erasure correcting codes            |
| GFS   | – Google file system                  |
| GF    | – Galois field                        |
| IAM   | – image adjustment message            |
| IP    | – internet protocol                   |
| LH    | – linear hash                         |
| MTU   | – maximum transmission unit           |
| MBR   | – minimum bounding rectangle          |
| OID   | – object identification               |
| RAM   | – random access memory                |
| RPC   | – remote procedure call               |
| RS    | – Reed-Solomon                        |
| SDDS  | – scalable distributed data structure |
| TCP   | – transmission control protocol       |
| UDP   | – user datagram protocol              |
| VPN   | – virtual private network             |
| VLAN  | – virtual local area network          |



## Obsah

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Úvod</b>  | <b>9</b>  |
| <b>2</b> | <b>Datové struktury</b>                            | <b>11</b> |
| 2.1      | LH* . . . . .                                      | 11        |
| 2.2      | B <sup>+</sup> -strom . . . . .                    | 12        |
| 2.3      | R-strom . . . . .                                  | 13        |
| <b>3</b> | <b>Škálovatelné distribuované datové struktury</b> | <b>15</b> |
| 3.1      | Teorie DDS . . . . .                               | 16        |
| 3.2      | DDS . . . . .                                      | 20        |
| <b>4</b> | <b>Návrh konceptu SDDS</b>                         | <b>27</b> |
| 4.1      | Omezení a požadavky . . . . .                      | 27        |
| 4.2      | QuickDB . . . . .                                  | 27        |
| 4.3      | Návrh vlastní DDS . . . . .                        | 29        |
| 4.4      | Sítové prostředí . . . . .                         | 29        |
| 4.5      | Chování SDDS . . . . .                             | 31        |
| 4.6      | Vyvážení zátěže . . . . .                          | 35        |
| 4.7      | Použité datové struktury . . . . .                 | 36        |
| <b>5</b> | <b>Návrh komunikace DDS</b>                        | <b>37</b> |
| 5.1      | První návrh . . . . .                              | 37        |
| 5.2      | Komunikace DDS v2.0 . . . . .                      | 37        |
| <b>6</b> | <b>Návrh a implementace serveru</b>                | <b>43</b> |
| 6.1      | Počátky implementace . . . . .                     | 43        |
| 6.2      | DDS v2.0 . . . . .                                 | 44        |
| 6.3      | Sítová komunikace . . . . .                        | 49        |
| 6.4      | Problémy implementace . . . . .                    | 53        |
| <b>7</b> | <b>Testování</b>                                   | <b>61</b> |
| 7.1      | Prostředí testů . . . . .                          | 61        |
| 7.2      | Distribuovaný SŘBD . . . . .                       | 62        |
| 7.3      | Klienti . . . . .                                  | 62        |
| 7.4      | Pravidla a záznam testů . . . . .                  | 64        |
| 7.5      | Testy embedded DS . . . . .                        | 64        |
| 7.6      | První testy implementace . . . . .                 | 65        |
| 7.7      | Testy DDS . . . . .                                | 66        |
| <b>8</b> | <b>Závěr</b>                                       | <b>75</b> |
| <b>9</b> | <b>Reference</b>                                   | <b>79</b> |

|                                     |            |
|-------------------------------------|------------|
| <b>Přílohy</b>                      | <b>80</b>  |
| <b>A Výsledky embedded a DDS</b>    | <b>81</b>  |
| <b>B Tabulky vkládání</b>           | <b>83</b>  |
| <b>C Tabulky bodových dotazů</b>    | <b>93</b>  |
| <b>D Tabulky rozsahových dotazů</b> | <b>107</b> |
| <b>E Testy síťové komunikace</b>    | <b>115</b> |
| <b>F Obsah přiloženého DVD</b>      | <b>125</b> |

## Seznam tabulek

|    |  |     |
|----|--|-----|
| 1  | Nastavení DS . . . . .   | 36  |
| 2  | Výsledky testu síťového prostředí . . . . .                                    | 53  |
| 3  | Příkazy pro zjištění stavu síťového prostředí . . . . .                        | 54  |
| 4  | DDS v2.0 - Statistika kolekce DOCWORD mezi skupinou uzlů . . . . .             | 62  |
| 5  | Popis dostupného hardwarového vybavení a rozmístění virtuálních uzlů . . . . . | 63  |
| 6  | Umístění klientů při testech . . . . .   | 64  |
| 7  | Nastavení hodnot pro vyvážení zátěže serverů . . . . .                         | 64  |
| 8  | Výsledky propustnosti embedded DS . . . . .                                    | 65  |
| 9  | DDS v1.0 vs. DDS v2.0 - Vkládání na 10 uzlů, B-strom . . . . .                 | 65  |
| 10 | Porovnání propustnosti vkládání . . . . .                                      | 66  |
| 11 | Porovnání propustnosti bodových dotazů . . . . .                               | 68  |
| 12 | DDS v2.0 - Bodové dotazy na 10 uzlů, B-strom, 32 klientů . . . . .             | 69  |
| 13 | Porovnání propustnosti rozsahových dotazů . . . . .                            | 69  |
| 14 | DDS v2.0 - Rozsahové dotazy na 5 uzlů, B-strom a R-strom, 32 . . . . .         | 70  |
| 15 | DDS v2.0 - Bodové dotazy na 10 uzlů s nedostupností, Bstrom, 4 x 32 . . . . .  | 73  |
| 16 | Výsledky testů embedded datové struktury . . . . .                             | 81  |
| 17 | Výsledky všech testů na DDS v2.0 . . . . .                                     | 82  |
| 18 | DDS v1.0 - Vkládání na 10 uzlů, B-strom . . . . .                              | 83  |
| 19 | DDS v1.0 - Bodové dotazy na 10 uzlů, B-strom, 4 x 32 . . . . .                 | 84  |
| 20 | DDS v2.0 - Vkládání na 2 uzly, B-strom . . . . .                               | 84  |
| 21 | DDS v2.0 - Vkládání na 5 uzlů, R-strom a B-strom . . . . .                     | 85  |
| 22 | DDS v2.0 - Vkládání na 5 uzlů, R-strom a B-strom, 4 x 32 . . . . .             | 86  |
| 23 | DDS v2.0 - Vkládání na 10 uzlů, B-strom a R-strom . . . . .                    | 87  |
| 24 | DDS v2.0 - Vkládání na 15 uzlů, B-strom . . . . .                              | 88  |
| 25 | DDS v2.0 - Vkládání na 15 uzlů, R-strom . . . . .                              | 89  |
| 26 | DDS v2.0 - Vkládání na 20 uzlů, B-strom . . . . .                              | 90  |
| 27 | DDS v2.0 - Vkládání na 20 uzlů, R-strom . . . . .                              | 91  |
| 28 | DDS v2.0 - Bodové dotazy na 2 uzly, B-strom, 4 x 32 . . . . .                  | 93  |
| 29 | DDS v2.0 - Bodové dotazy na 2 uzly s nedostupností, B-strom, 4 x 32 . . . . .  | 93  |
| 30 | DDS v2.0 - Bodové dotazy na 5 uzlů, B-strom a R-strom, 4 x 32 . . . . .        | 94  |
| 31 | DDS v2.0 - Bodové dotazy na 10 uzlů, Bstrom a R-strom, 4 x 32 . . . . .        | 95  |
| 32 | DDS v2.0 - Bodové dotazy na 15 uzlů, B-strom, 4 x 32 . . . . .                 | 96  |
| 33 | DDS v2.0 - Bodové dotazy na 15 uzlů, R-strom, 4 x 32 . . . . .                 | 97  |
| 34 | DDS v2.0 - Bodové dotazy na 20 uzlů, B-strom, 4 x 32 . . . . .                 | 98  |
| 35 | DDS v2.0 - Bodové dotazy na 20 uzlů, R-strom, 4 x 32 . . . . .                 | 99  |
| 36 | DDS v2.0 - Bodové dotazy na 5 uzlů, B-strom a R-strom, 4 x 32 . . . . .        | 100 |
| 37 | DDS v2.0 - Bodové dotazy na 10 uzlů, R-strom a B-strom, 8 x 32 . . . . .       | 101 |
| 38 | DDS v2.0 - Bodové dotazy na 10 uzlů, B-strom, 8 x 32 - chyba . . . . .         | 102 |
| 39 | DDS v2.0 - Bodové dotazy na 15 uzlů, B-strom, 8 x 32 . . . . .                 | 103 |
| 40 | DDS v2.0 - Bodové dotazy na 15 uzlů, R-strom, 8 x 32 . . . . .                 | 104 |
| 41 | DDS v2.0 - Bodové dotazy na 20 uzlů, B-strom, 8 x 32 . . . . .                 | 105 |
| 42 | DDS v2.0 - Bodové dotazy na 20 uzlů, R-strom, 8 x 32 . . . . .                 | 106 |

|    |   |     |
|----|---|-----|
| 43 | DDS v2.0 - Rozsahové dotazy na 5 uzelů, B-strom a R-strom, 32 . . . . . | 107 |
| 44 | DDS v2.0 - Rozsahové dotazy na 10 uzelů, B-strom, 32 . . . . .          | 108 |
| 45 | DDS v2.0 - Rozsahové dotazy na 10 uzelů, R-strom, 32 . . . . .          | 109 |
| 46 | DDS v2.0 - Rozsahové dotazy na 10 uzelů, B-strom, 2 x 32 . . . . .      | 110 |
| 47 | DDS v2.0 - Rozsahové dotazy na 15 uzelů, B-strom, 32 . . . . .          | 111 |
| 48 | DDS v2.0 - Rozsahové dotazy na 15 uzelů, R-strom, 32 . . . . .          | 112 |
| 49 | DDS v2.0 - Rozsahové dotazy na 15 uzelů, B-strom, 2 x 32 . . . . .      | 113 |
| 50 | DDS v2.0 - Rozsahové dotazy na 20 uzelů, B-strom, 2 x 32 . . . . .      | 114 |
| 51 | C1xS1 - Test LAN 100xConnect-SEND-RECV-FIN . . . . .                    | 116 |
| 52 | C1xS1 - Test LAN 100xConnect-SEND-RECV-FIN . . . . .                    | 117 |
| 53 | C16xS32 - Test LAN 16x1000xConnect-SEND-RECV-FIN . . . . .              | 118 |
| 54 | C16xS32 - Test LAN 16x20xConnect-SEND-RECV-FIN . . . . .                | 119 |
| 55 | C32xS8 - Test LAN 32x100xConnect-SEND-RECV-FIN . . . . .                | 120 |
| 56 | C32xS12 - Test LAN 32x100xConnect-SEND-RECV-FIN . . . . .               | 121 |
| 57 | C32xS16 - Test LAN 32x100xConnect-SEND-RECV-FIN . . . . .               | 122 |
| 58 | C32xS32 - Test LAN 32x100xConnect-SEND-RECV-FIN . . . . .               | 123 |
| 59 | C32xS32 - Test LAN 32x20xConnect-SEND-RECV-FIN . . . . .                | 123 |

## Seznam obrázků

|    |   |    |
|----|---|----|
| 1  | Ukázka lineárního hashování [1] . . . . .                                   | 12 |
| 2  | Ukázka B-stromu a $B^+$ -stromu . . . . .                                   | 13 |
| 3  | Dvourozměrný prostor indexovaný pomocí R-stromu . . . . .                   | 13 |
| 4  | Známé rozdělení DS systémů [1] . . . . .                                    | 16 |
| 5  | Koncept serverů (uzlů) a klientů v $LH^*$ [1] . . . . .                     | 18 |
| 6  | Architektura indexu binárního stromu v BATON [20] . . . . .                 | 19 |
| 7  | Ukázka dotazu v konceptu Map Reduce (1-6)[17] . . . . .                     | 20 |
| 8  | Ukázka struktury $LH^*g$ [2] . . . . .                                      | 21 |
| 9  | Základní schéma $LH^*$ se zrcadlením [3] . . . . .                          | 22 |
| 10 | Ukázka vkládání při režimu zrcadlení [3] . . . . .                          | 23 |
| 11 | Rozptylení záznamu do $k = 3$ segmentů [4] . . . . .                        | 24 |
| 12 | Architektura systému s distribuovaným $B^+$ -stromem . . . . .              | 25 |
| 13 | Vývoj SDR-stromu [8] . . . . .  | 26 |
| 14 | Rozdělení rozsahů klíčů . . . . .   | 29 |
| 15 | Vzhled virtuální sítě . . . . .   | 30 |
| 16 | Zapouzdření dat v TCP/IP [16] . . . . .                                     | 31 |
| 17 | Jednotlivé činnosti/procesy serveru . . . . .                               | 32 |
| 18 | Vyhledání s adresní chybou . . . . .  | 32 |
| 19 | Ukázka špatného konceptu pro vyhledání s adresní chybou . . . . .           | 33 |
| 20 | Průběh bodového dotazu s nedostupným serverem . . . . .                     | 33 |
| 21 | Průběh rozsahového dotazu . . . . .   | 34 |
| 22 | UDP komunikace mezi servery s přidáním serveru $S_2$ . . . . .              | 35 |
| 23 | Perzistentní datová struktura . . . . .                                     | 36 |
| 24 | Návrh komunikace klient/server . . . . .                                    | 38 |
| 25 | Struktura rámce Command s/bez servisní informace . . . . .                  | 40 |
| 26 | Struktura rámce ResultSet s/bez servisní informace . . . . .                | 40 |
| 27 | UML diagram tříd DDS v2.0 . . . . .   | 45 |
| 28 | Rozložení databáze DOCWORD na 5-20 virt. serverů . . . . .                  | 46 |
| 29 | Struktury uchovávající nastavení serverů a jejich pohled na okolí . . . . . | 47 |
| 30 | Navázání spojení mezi servery $S_1$ a $S_2$ . . . . .                       | 55 |
| 31 | Zablokování serverů a možné řešení situace . . . . .                        | 56 |
| 32 | Tabulka a graf počtu spojení/s . . . . .                                    | 59 |
| 33 | Tabulka a graf propustnosti přenosu/s . . . . .                             | 60 |
| 34 | Základní schéma testovaní . . . . .   | 61 |
| 35 | Srovnání propustnosti vkládání DDS v1.0 a v2.0 . . . . .                    | 65 |
| 36 | Graf srovnání propustnosti v závislosti na replikaci . . . . .              | 67 |
| 37 | Graf srovnání maximálních propustnosti bodových dotazů . . . . .            | 68 |
| 38 | Graf srovnání rozsahových dotazů R-stromu . . . . .                         | 70 |
| 39 | Graf srovnání rozsahových dotazů B-stromu . . . . .                         | 71 |
| 40 | Test dostupnosti . . . . .  | 71 |
| 41 | Test nedostupnosti 5-ti uzlů . . . . .                                      | 72 |



## Seznam výpisů zdrojového kódu

|   |  |    |
|---|--|----|
| 1 | Ukázka vytvoření objektu QuickDB a B-stromu . . . . .                | 28 |
| 2 | Struktura udržující de/serializované objekty a datové typy . . . . . | 38 |
| 3 | Staticky navržená struktura pro pohled na server . . . . .           | 43 |
| 4 | Navržená metoda vyvažující zátěž serveru . . . . .                   | 48 |
| 5 | Ukázka inicializace knihovny Winsock . . . . .                       | 49 |
| 6 | Ukázka nastavení parametru TCP_NODELAY socketu . . . . .             | 51 |
| 7 | Úprava parametru SO_LINGER socketu . . . . .                         | 56 |
| 8 | Ukázka uzamknutí objektu pro přístup ve vláknech . . . . .           | 57 |



## 1 Úvod

Tento text pojednává o distribuovaných datových strukturách (DDS), způsobu rozdělení dat a udržování pohledu na toto rozdělení jednotlivými koncepty. Následně se v textu věnuji návrhu, implementaci a testování distribuovaného B-stromu a R-stromu.

V kapitole 2 pojednáváme o základních datových strukturách a jejich principu. Na základě znalostí z této kapitoly se dále věnujeme komplexnějším strukturám, tzv. škálovatelným distribuovatelným datovým strukturám SDDS [1].

V kapitole 3 uvádíme definici a základní principy pro docílení či přiblížení vlastností SDDS. Důvodů vzniku distribuovaných datových systémů a jejich využití je mnoho, např. paralelizace dotazů, rozložení zátěže a zajištění neustálé dostupnosti záznamů.

V práci popisujeme několik konceptů SDDS s jejich vlastnostmi a zmiňuje vzájemné rozdíly. Následuje odlišení distribuce a udržování konzistence dat mezi jednotlivými uzly DDS. Popisujeme i proces, jak klient dosáhne na určitý záznam umístěný v DDS. Distribuce pohledu na indexaci dat mezi uzly v síti a klienty je základem efektivní DDS. Jedná se o koncepty, které využívají rozdělení dat pomocí distribuované hash tabulky nebo stromové datové struktury.

Ze získaných poznatků vzniká návrh konceptu vlastní DDS v kapitole 4. Shrnujeme jednotlivé vlastnosti a dostupné technologie k navržení vhodné komunikace pro rozložení dat v síťovém prostředí. Přitom se pokoušíme dodržet co možná nejvíce kritérií definujících SDDS struktury. Koncept vznikal s ohledem na dostupné technické možnosti a implementaci pro testování.

Kapitola 5 popisuje starší a nově vzniklou komunikaci na způsob vzdáleného volání procedur (RPC). Pro přenos bylo nutné vytvořit serializaci jednotlivých parametrů volané metody a navrácené výsledky. Myslíme serializaci do řetězců na aplikační vrstvě komunikace TCP a UDP. Průběh implementace dal postupně vzniknout několika třídám serializujícím komunikaci mezi aplikací klienta a serveru. Komunikace je postavena na dvou typech zpráv Command a ResultSet s možností přenést servisní informace pro potřeby správy DDS.

Kapitola 6 se zabývá vývojem aplikace s úspěchy a neúspěchy první implementace. Z prvních chyb a požadavků na různorodé využití aplikace serveru vznikl diagram návrhu tříd. Byl použit způsob vyvažování pomocí zasílání pohledu klientovi na uzel, který je méně zatížen. Pokud nehovoříme jinak, pak užlem nazýváme aplikaci serveru DDS umístěnou na fyzickém či virtuálním serveru. Navrhli jsme metodu pro výpočet a porovnání rozdílů v zátěži uzel a inicializaci vyvážení zátěže. Po celou dobu vývoje se snažíme dodržet námi definovaná pravidla konceptu z kapitoly 4.

Bez vlastního zpracování komunikačních socketů na nejnižší vrstvě bychom nebyli schopni dosáhnout maximálního využití síťových prostředků. Vzniklou třídu cSocket zajišťující síťovou komunikaci popisujeme s jejími možnostmi, nastavením a výsledky testování na reálné síti v kapitole 6.3.

Kapitola 6.4 se zabývá popisem a řešením problémů, které nastaly během implementace jednotlivých tříd a následných testů. Jedná se o problémy spojené s alokací paměti, synchronizací, chováním aplikace klient/server a testovacím prostředím.

Průběh, výsledky a zhodnocení jednotlivých testů je uveden v kapitole 7. V testech se věnujeme srovnání dvou režimů. V prvním režimu embedded je databáze součástí klienta a je znemožněn víceuživatelský přístup za cenu vysoké propustnosti záznamů. Přesným opakem je režim klient/server dovolující přístup více uživatelů z několika počítačů najednou. Nejčastěji dnes užívaným řešením není embedded databázový systém, ale client/server bez distribuce dat. Počet operací je zde značně ovlivněn propustností sítě a nedosahuje tak výkonnosti embedded řešení. Navíc je zde nulová tolerance výpadku ze strany serveru. Vytvořením client/server s DDS se snažíme zbavit nevýhod obou řešení. Rozdělení hardwarových prostředků na jednotlivé uzly dnes hraje roli i v rámci cenové dostupnosti. Nechceme prověřit pouze funkčnost aplikace, ale nastínit i počet uzlů potřebný k dosažení vlastností aplikace srovnatelné s řešením embedded. Závěrečné zhodnocení a doporučení vyplývající z výsledků testů je uvedeno v kapitole 8. Budoucnost a navržená vylepšení konceptu jsou uvedeny v závěru práce společně s vlastnostmi, které nebylo možné v rámci diplomové práce plně naimplementovat. Navrhujeme několik vylepšení aplikace pro dosažení vyšší škálovatelnosti, dynamičnosti a rychlosti. Zmiňujeme také vzniklé zdrojové kódy aplikace, které již našly využití i v jiných aplikacích a pracích.

## 2 Datové struktury

Tato kapitola popisuje tři datové struktury (DS), na nichž jsou postaveny distribuované datové struktury popsané v následující kapitole. Jako první popisujeme princip DS založených na lineárním hashování. Následují dvě struktury  $B^+$ -strom a R-strom zastupující stromové datové struktury.

### 2.1 LH\*

Základem všech LH\* datových struktur je hashovací metoda pro rozšiřitelné disky nebo RAM soubory, které rostou nebo se zmenšují dynamicky, bez zhoršení využití prostoru nebo přístupového času. Soubory jsou uspořádány do bucketů (stránek) na disku nebo v RAM. Bucket je úložiště pro skupinu záznamů. První distribuovanou datovou strukturou SDDS byla LH\* [1], po níž následovalo mnoho dalších zástupců.

LH\* se skládá ze segmentů (záznamů) adresovatelných přes menší počet bucketů pomocí páru hash funkcí  $h_i$  a  $h_{i+1}$  na  $N^*2^i$  adres. Kde  $N$  je počáteční počet záznamů v bucketu. Příkladem takovýchto funkcí je například modulo, viz níže.

$$h_i(C) \rightarrow C \bmod N^*2^i \quad (1)$$

Algoritmus pro adresování v LH\*, tedy hash klíče C na adresu a, kde  $a = 0,1,2,\dots$  je následující [1]:

---

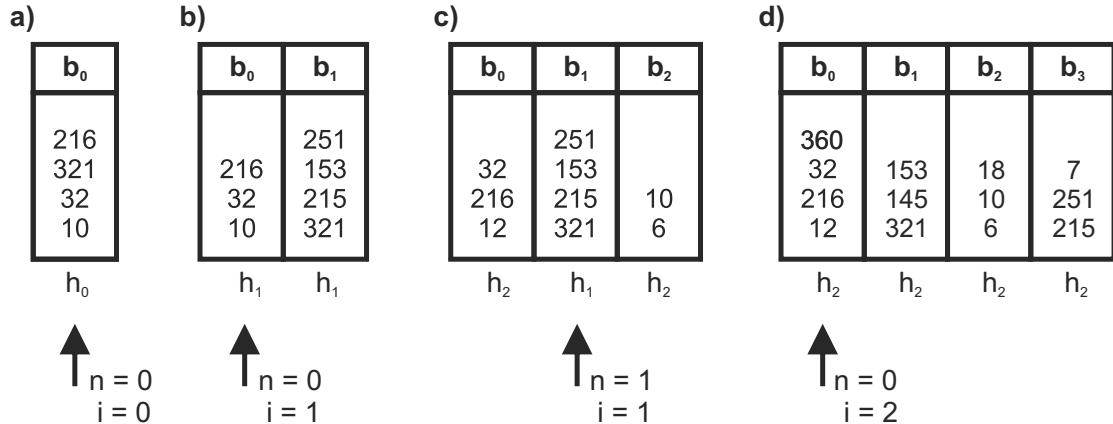
```

 $a \leftarrow h_i(C);$ 
If  $a < n$  then  $a \leftarrow h_{i+1}(C);$ 
```

---

Struktura všech LH\* konceptů se skládá ze základní jednotky - bucketu. Ten obsahuje jednotlivé záznamy, které se vkládají přes výpočet hash hodnot bucketu ( $i,n$ ). Jednotlivé buckety jsou rozprostřeny mezi uzly DDS. Při vkládání expandují buckety ve chvíli, kdy bucket přeteče a je rozdělen na dva. Obsažené záznamy jsou rovnoměrně přerozděleny. Tento proces využívá funkci hash  $h_i$  (1), pokud je však překročena kapacita bucketu, je provedena funkce  $h_{i+1}$  (1). Zvláštní hodnota  $n$ , tzv. ukazatel slouží k určení, která funkce  $h_i$  nebo  $h_{i+1}$  bude aplikována na klíč objektu  $OID$ . Hodnota  $n$  roste s každou expanzí bucketů. Každé rozdělení přiřadí polovině objektů v bucketu  $n$  novou adresu  $n + N^*2^i$ . Pokud je  $h_{i+1}$  přiřazeno všem bucketům, pak je  $i$  inkrementováno a celý proces začíná znova.

Obrázek 1 zobrazuje lineární hashování pro buckety o maximální kapacitě 4 záznamy. Část **a**) znázorňuje první bucket  $b_0$ , na němž nastane kolize díky vložení záznamu 153. Kolize neboli přetečení bucketu je řešeno rozdělením dat mezi  $b_0$  a  $b_1$  s inkrementací hodnoty  $i$  pro hashovací funkci. Část **b**) ukazuje stav po rozdělení s vloženými záznamy 251 a 215. Hodnota  $n$  indikuje stále nejlevější bucket  $b_0$  k rozdělení, k němuž dojde po vložení záznamů 6 a 12. Hodnota  $n$  je v části **c**) inkrementována a bucket  $b_0$  s  $b_2$  získají hashovací



Obrázek 1: Ukázka lineárního hashování [1]

fci  $h_2$ . Ukazatel  $n$  se přesunul na  $b_1$ , jež má hashovací funkci nižší. Vložení záznamu 145 do  $b_1$  vyvolá kolizi a způsobí vyrovnání hashovacích funkcí na  $h_2$ . Podle hodnoty  $n = 1$ , dojde k rozdelení  $b_1$ , přerozdělení záznamů a vzniku  $b_3$ . Dalším vkládáním záznamů 7, 360 a 18 zaplníme rovnoměrně buckety s vyhlídkou na budoucí přetečení  $b_0$  ( $n = 0$ ). Výsledný vzhled bucketů vidíme v části **d**.

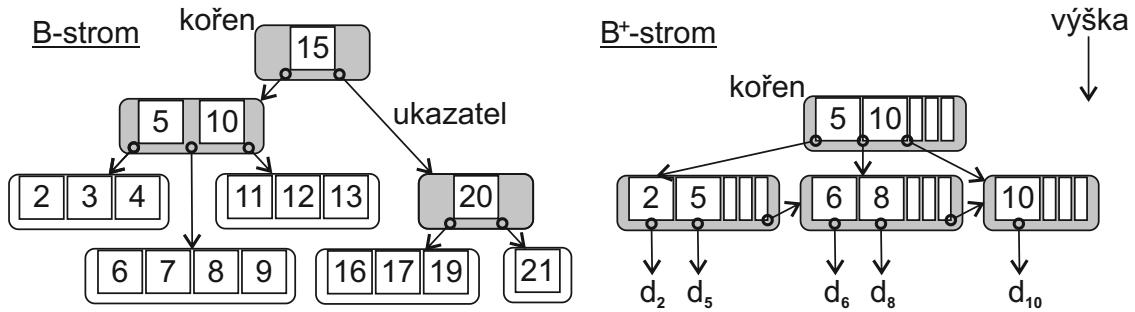
Výsledkem přerozdělení záznamů mezi buckety je konstantní přístup k záznamům a zatížení výkonu paměti, tato vlastnost je jedinečná pro LH\*. Výkon přístupu k záznamu je tak jeden diskový přístup na vyhledání.

Při odebírání záznamů, mazání v LH\*, dochází ke slučování bucketů, tato operace je inverzní k operaci rozdělení. Ukazatel  $n$  se dekrementuje a pokud je  $n < 0$ , bucket  $n$  splynne s posledním bucketem. Ke slučování by mělo docházet při malém vytížení bucketů. Regulace zátěže lze dosáhnout zavedením prahu  $T$ . Pokud není rozdelení řízeno, mělo by být  $T = 50 - 60\%$ , avšak při kontrolovaném řízení může být  $T$  vyšší. Kontrolované řízení vyžaduje na každém uzlu funkci koordinátora řízení, nejdřív se však o centrální prvek. LH\* pracuje s jednou datovou strukturou, kterou rozloží mezi uzly. Zde se data rozkládají mezi jednotlivé datové struktury umístěné v uzlech. Na každém uzlu je tedy samostatná datová struktura, chcete-li databáze.

## 2.2 B<sup>+</sup>-strom

B<sup>+</sup>-strom [14] je stromová datová struktura vycházející z B-stromu umožňující rychlé vkládání, vyhledání a mazání dat. Využívá se v mnoha databázových systémech pro tvorbu tabulek s indexací primárních klíčů nebo pro ukládání dat (souborové systémy NTFS, JFS2, XFS a další). Oproti B-stromu jsou data uložena pouze v listových uzlech přístupných přes klíče od kořene stromu (viz obrázek 2).

Implementace stromu je založena na jednotlivých uzlech a jejich odkazech na potomky či data na disku. U B<sup>+</sup>-stromu je díky konceptu propojení jednotlivých bloků a odkazů

Obrázek 2: Ukázka B-stromu a B<sup>+</sup>-stromu

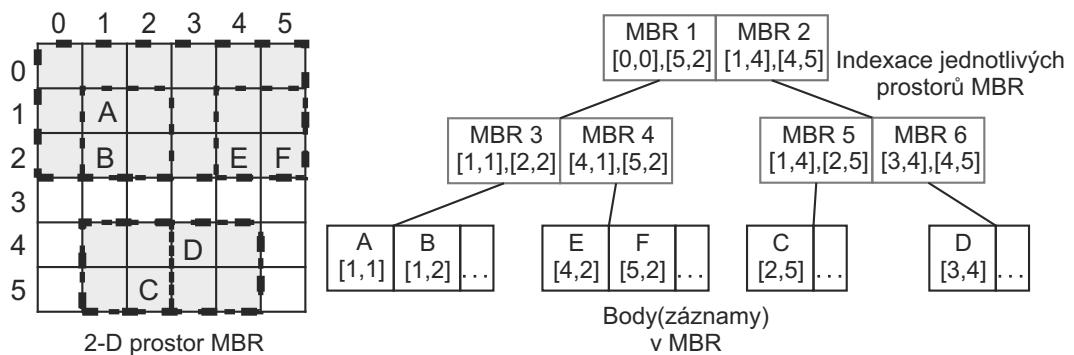
na blok disku s daty dosaženo efektivního přístupu na disk. Výhoda propojení bloků je značná při rozsahových dotazech, tedy přístupu k souvislému bloku dat.

Uvádíme několik základních vlastností B<sup>+</sup>-stromu, kde  $N$  je počet všech položek stromu,  $H$  je hloubka od kořene k listům a  $B$  je řád stromu:

- data jsou uložena pouze v listech
- všechny listy bez potomků jsou na stejném úrovni
- maximální možný počet záznamů je  $N = B^H$
- místo pro uložení stromu je  $O(N)$
- vyhledání potomka je v nejhorším případě  $O(\log_B N)$  I/O přístupů

### 2.3 R-strom

Stromová datová struktura R-strom [14] pohlíží na data jako na body ve vícerozměrném prostoru. Jednotlivé body jsou shlukovány podle jejich vzájemné blízkosti/vzdálenosti, hovoříme tedy o vektorové datové struktuře. Body jsou indexovány v MBR.



Obrázek 3: Dvourozměrný prostor indexovaný pomocí R-stromu

Na obrázku 3 můžeme vidět příklad dvourozměrného prostoru a jeho indexaci na jednotlivé MBR. Hierarchie na obrázku obsahuje dva prostory MBR 1 a MBR 2, jež obsahují další MBR (3-6). Každý MBR je definován jako dvojice bodů ve vícerozměrném prostoru. Samotné indexované body se nacházejí na konci této hierarchie. Tato datová struktura podporuje jak rozsahový, tak bodový dotaz. Rozsahový dotaz je definován dvojicí bodů v prostoru a vrací jako výsledek všechny body nacházející se v tomto prostoru nazývaném dotazovací obdélník. Algoritmy vkládání a rušení bodů jsou složité a je jich více. V zásadě se při vkládání hledá prostor, kterému bod náleží. Pokud není nalezen, hledám vhodný prostor pro zvětšení a přidání tohoto bodu. K rozštěpení MBR může dojít při překročení kapacity a inverzně při rušení bodů ke sloučení dvou prostorů.

**Definice 2.1** *MBR - minimální ohraničující obdélník, vyjadřuje oblast výskytu n-rozměrných objektů v rámci souřadnicového systému. Je vyjádřen dvojicí bodů  $Q_{low}$  a  $Q_{high}$  v prostoru.*

### 3 Škálovatelné distribuované datové struktury

Přirozeným vývojem v prostředí s rostoucím množstvím dat dalo vzniknout škálovatelným distribuovaným datovým strukturám (SDDS). V SDDS jsou data umístěna na různých uzlech. Jako první popisujeme základ konceptu struktur založených na lineárním hashování LH.

Kandidáty na využití SDDS s vysokou škálovatelností a propustností dotazů jsou dnes internetové aplikace, například vyhledávače a úložné prostory. Příkladem mezi vyhledávači je použití distribuovaného úložného systémů BigTable [15] pro správu rozsáhlých strukturovaných záznamů od společnosti Google. BigTable si udržuje tabulky v Google File System (GFS). Tento systém dokázal v roce 2005 dosáhnout 8 miliard indexovaných webových stránek. Strategii a techniku systému však Google úzkostlivě tají [18]. Stejně jako další firmy (Facebook, Amazon, YouTobe) s různými koncepty a technologiemi SDDS. Dnešní trend Grid computingu, cloudu a P2P aplikací vyžaduje vývoj směrem k distribuci a paralelismu. Hlavním faktorem bez ohledu na schopnosti jednoho procesoru nebo sítě mohou společné prostory (pool of sites) poskytnout více zdrojů a prostředků za mnohem nižší cenové náklady. Druhým faktorem je koexistence vysoké konektivity mezi klienty a servery. Vznikly pokusy o vytvoření škálovatelných distribuovaných datových struktur (SDDS) [1][6][12].

**Definice 3.1** *SDDS je struktura definovaná nad dynamickou množinou uzlů, kde prostředí (sít' serveru) splňuje:*

- *uzly sítě tvoří klienti se servery, ucelené stroje, nebo procesory s lokálními RAM v multi-procesorových strojích*
- *každý server poskytuje úložný prostor F pro objekty, charakter objektu je zde nedůležitý*
- *prostory rostou nebo se zmenšují dynamicky, bez zhoršení přístupového času*
- *velikost a počet úložných prostorů je neomezeně škálovatelný, možná redundance objektů zajišťuje obnovení a neustálou dostupnost všech objektů*
- *klienti vkládají a pracují s objekty pomocí OID (primární klíč), neví o ostatních klientech a klientem může být server*

Obecně hledáme strukturu splňující několik základních omezení, viz definice 3.2. Jedním z nich je postrádání centralizovaného adresáře uložených dat, a tedy i přímého výpočtu adres záznamů. V tomto důsledku je samostatná DS potencionálně účinnější. Nevyžaduje atomické aktualizace více klientů při vyhledávání, vkládání, rozdělení atd. [1].

**Definice 3.2** *Strukturu splňující následující omezení lze nazvat Škálovatelnou distribuovanou datovou strukturou (SDDS) [8]:*

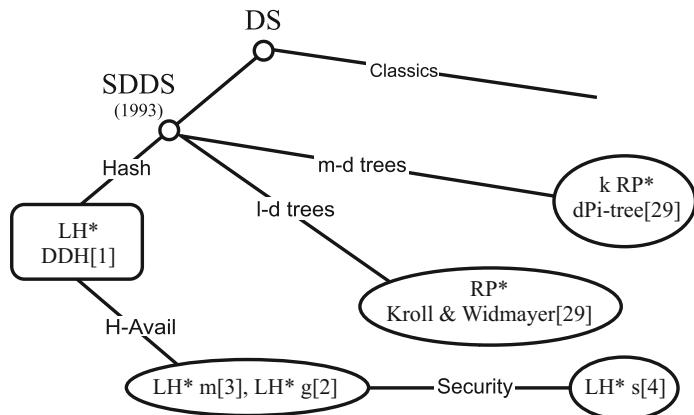
- *Data expandují na nové uzly pouze tehdy, když je již uzel efektivně zaplněn a využit.*

- Není zde žádný hlavní uzel s výpočty objektových adres, např. pro přístup k centralizovaným DS, adresářům, bucketům.
- Přístup k souborům a údržba primitiv, např. vyhledávání, vkládání, rozdělení atd. nikdy nevyžaduje atomické aktualizace více klientů.

Pokud chceme efektivní SDDS, musíme minimalizovat počty zpráv vyměňovaných prostřednictvím sítě, při současné maximalizaci výkonu. Tohoto cíle nelze dosáhnout v DDS založených na centralizaci.

### 3.1 Teorie DDS

Myšlenka rozdělení dat vedla na počátku vývoje DDS ke statickému režimu dělení. Jakmile se rozdělení ustálí, kritéria distribuce a počet míst zůstanou v životním cyklu systému statické. Ovšem aktualizacemi dat se tyto dva parametry mění. Změna a nárůst dat pak vyžaduje přerozdělení a vymazání staré kopie dat. Příkladem těchto systémů je *Round – robin* [27], kde záznamy rovnoměrně rotují přes uzly. Pokud se záznamy přiřazují k uzlům pomocí hashovací funkce, jedná se o systém *Hash – declustering* [26]. V *Range partitioning* [28] systému se naopak využívá rozdělení rozsahu hodnot klíčů mezi jednotlivé uzly. Výše jmenované systémy jsou staticky omezeny systémem rozdělení a adresace záznamů mezi uzly. Omezení statického režimu dalo vzniknout dynamickému režimu, který překonává například omezení rozšíření na více uzlů, než je zpočátku plánováno.



Obrázek 4: Známé rozdělení DS systémů [1]

Prvním takovýmto systémem byl DLH (dynamic linear hashing) [30], kde docházelo průběžně k atomickým aktualizacím parametrů všech uzlů. DLH využíval pevně spojené multiprocesory se sdílenou pamětí, data ukládal do paměti RAM a DS do lokální paměti. Toto schéma s pevně spojeným prostředím může být značně výkonné, avšak vylučuje distribuci dat pro škálování na větší množství uzlů. S cílem obejít toto omezení byly navrženy DDS založené na lineárním hashování LH\*. Jednou z nich je DDH (distributed

dynamic hashing) [10] [11]- distribuované dynamické hashování. DDH využívá v základě dynamické hashování (DH), to je založeno na stromové hashovací funkci. Hlavní výhodou DDH je možnost okamžitého rozdelení přetékajících bucketů. Na rozdíl od DH si DDH neudržuje skutečný obraz celého stromu, pouze klienti si vytváří pomocí hashe obraz stromu, neboli *pohled* (view).

V kapitole 3.1.2 popisujeme distribuci pohledu na umístění dat mezi uzly v síti a způsoby jak jí dosáhnout. Jedná se o postupy, které využívají rozdelení dat pomocí distribuované hash tabulky nebo stromové datové struktury. Zvláštním případem je koncept LH, který distribuuje pouze hodnoty parametrů pro výpočet umístění.

### 3.1.1 Zrcadlení a proužkování

*Mirroring*, neboli zrcadlení, je technika pro zvýšení dostupnosti záznamů. Cenou za dostupnost je samozřejmě dvojnásobný požadavek na úložný prostor, viz obrázek 9. Každý záznam je dostupný i přes selhání jednoho uzlu a mnohdy i při vícečetném selhání. Tento koncept se využívá v aplikacích, které si nemohou dovolit nedostupnost záznamů, například v bankovnictví či u mobilních operátorů. SDDS využívající zrcadlení je uvedena v kapitole 3.2.2.

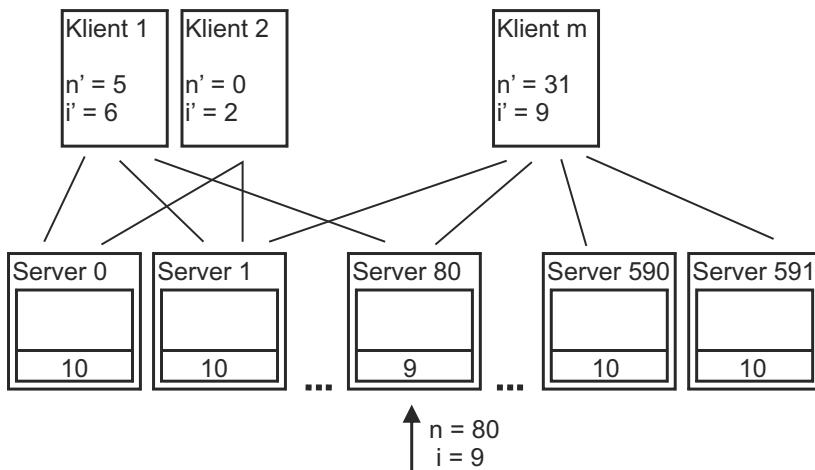
Segmentace záznamu (proužkování) je způsob, jak docílit zrcadlení záznamů společně s větší bezpečností. Záznam je rozdělen na  $N > 1$  segmentů. Jednotlivé segmenty jsou rozloženy mezi uzly. Segmenty obsahují i paritní byty k ostatním segmentům. V případě nedostupnosti jednoho uzlu složíme celý záznam z paritních bytů ostatních dostupných segmentů. Pokud by někdo zachytí komunikaci uzlu s klientem, získá pouze segment celého záznamu ( $1/N$ ). Oproti zrcadlení jsou nároky na uložiště menší. Blíže je průběh segmentace popsán v kapitole 3.2.3.

### 3.1.2 Pohled a jeho distribuce v DDS

V LH\* se pomocí hashovací funkce vypočítá umístění bucketu se záznamem a IP uzlu, kde je bucket umístěn. Abychom záznamy rozdělili a posléze našli na jednotlivých uzlech, udržuje si klient i uzel pohled nad rozložením záznamů. Tento pohled může být tvořen polem, stromem či jinou strukturou s informacemi o rozmístění záznamů. Například, SDR-strom si drží pohled nad rozdělenými záznamy pomocí B-stromu. Klienti LH\* využívají výpočet přes distribuované hodnoty hashovací funkce  $i$  a  $n$ . Pohled na rozložení záznamů nemusí být u klienta či uzlu úplný. Klienti se tak mohou dopouštět adresních chyb.

### 3.1.3 Distribuce pohledu v LH

S objekty na uzlech manipulují (hledají, vkládají) klienti pomocí klíče. Předpokládáme, že pro výpočet využijí správnou hodnotu  $i$  a  $n$ . Muselo by docházet k atomickým aktualizacím klientů, nebo k zřízení centrálním prvkem. Omezení SDDS režimu ani jednu z možností nedovoluje. Nevyžadujeme, aby pohled na  $i$  a  $n$  byl u klienta konzistentní. Klient postupuje v prvním kroku výpočtem adresy pomocí svých parametrů  $i'$  a  $n'$ . Ty



Obrázek 5: Koncept serverů (uzlů) a klientů v LH\* [1]

jsou aktualizovány pouze po manipulaci klienta se záznamy v předchozí komunikaci. Obrázek 5 ukazuje, že ani jeden klient nemá správnou představu o počtu bucketů SDDS. Pro výpočet adresy používáme hashovací funkci 1. Výpočet počtu udržovaných bucketů je tedy  $2^i + n$ . Například klient 1 vidí se svými hodnotami pouze 69 ( $2^6 + 5$ ) bucketů, i když skutečný počet je 592 ( $2^9 + 80$ ). Klienti se nevědomky dopustí při výpočtu *adresní chyby*. Druhý krok proběhne na straně uzlu, který přepočítá adresu vlastním výpočtem. Pokud hodnota bucketu nesedí, uzel přepočítá adresu a předá na ni klíč. Pokud druhý příjemce zjistí, že ani on není správným adresátem, přepočítá znova adresu a přepošle klíč již na správný uzel. V nejhorším případě nastanou pouze dvě přeposlání. Ke komplikaci dochází, pokud se soubor změnil a klient odkazuje na již neexistující bucket. Jedním z řešení je odeslání aktuálních hodnot  $i$  a  $n$  uzlem klientovi pro nový výpočet adresy. V neposlední řadě informujeme klienta, jenž vyvolal adresní chybu, o novém nastavení hodnot neboli obrazu *IAM* zprávou. *IAM* obsahuje první adresovanou úroveň souboru, tím se obraz klienta přiblíží skutečnému a předejdeme další adresní chybě klienta. Náklady na aktualizace přidané do odpovědí klientům jsou zanedbatelné.

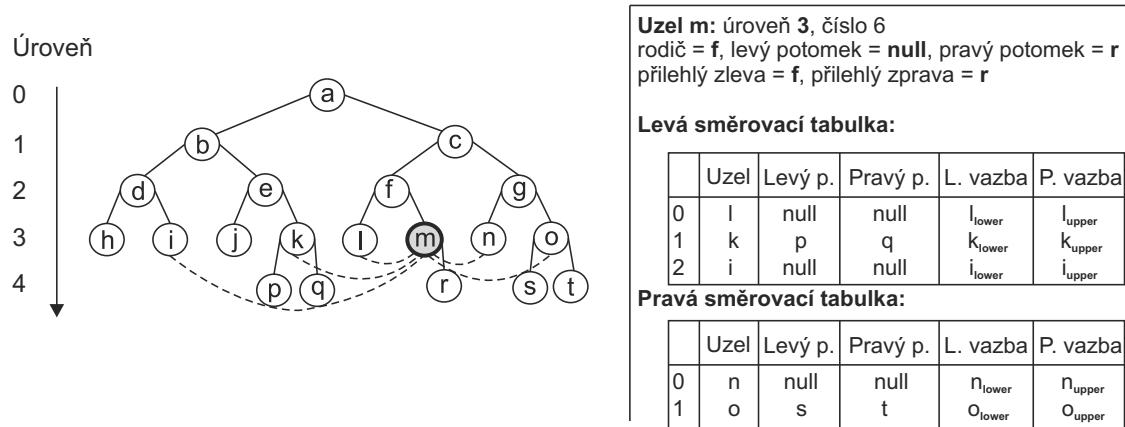
Podle základní hashovací funkce a námi známého obrazu vypočte klient adresu  $a'$ . Samozřejmě se můžeme dopustit adresní chyby při výpočtu, to však příliš nevadí, neboť uzel vždy ověřuje obdržený klíč. V důsledku adresní chyby získá pomocí *IAM* zprávy aktualizaci obrazu stavu souboru a maximalizuje počet správně adresovaných klíčů. K aktualizaci využije hodnoty z *IAM* zprávy, adresu (kam byl klíč C poslan) a úroveň bucketu  $j$  na uzel  $a$ .

Každý uzel kontroluje přijatý klíč od klienta přes hodnotu své vlastní úrovně  $j$ . Soubory LH\* neznají hodnotu  $n$ , a proto nemohou použít základní algoritmus výpočtu adresy. Místo toho přepočítají adresu klíče  $C'$ . Dokud nenastane sloučení bucketů a zmenšení adresního prostoru, nemůže nastat situace, při níž by klient vypočetl adresu mimo adresní prostor uzlů.

### 3.1.4 Pohled v BATON

Protokol BATON využívá distribuovanou stromovou datovou strukturu pro indexaci uzlů v síti. Narození od konceptů s distribuovanou hash tabulkou podporuje rozsahové dotazy. Koncept je založen na indexaci uzlů pomocí binárního stromu. V síti s  $N$  uzly lze garantovat pro bodový i rozsahový dotaz nalezení odpovídajícího uzlu v  $O(\log N)$  krocích [21].

V každé úrovni stromu je uzel pojmenován svou pozicí ve stromě. Na obrázku 7 je uzel  $d$  na pozici  $[2 : 0]$ ,  $m$  na pozici  $[3 : 6]$ . Pro uzel na pozici  $d$  je směrovací tabulka vyplněna uzly s pozicí  $d - 2^x$  pro  $x \geq 0$ , levá směrovací tabulka je vyplněna uzly s pozicí  $d + 2^y$  pro  $y \geq 0$ . Každý uzel si udržuje rozsah klíčů. Ve chvíli, kdy se připojí nový uzel, získá jako potomek od svého rodiče půlku rozsahu klíče, a tedy i záznamů. Lze tedy hledat ucelený prostor klíčů ve vzestupném pořadí, to umožňuje rozsahové dotazy.



Obrázek 6: Architektura indexu binárního stromu v BATON [20]

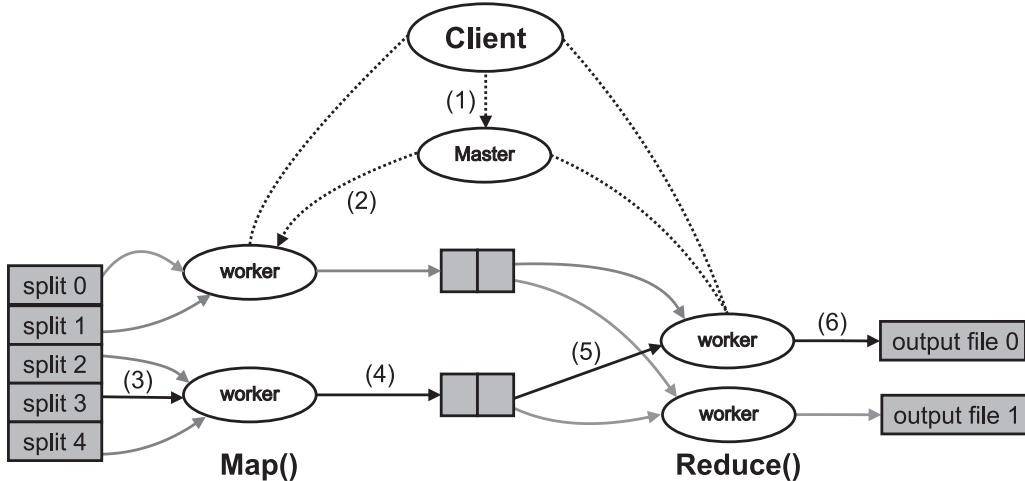
Baton obsahuje dvě strategie pro vyvážení stromu. První z nich je přesunutí části zátěže na sousední uzel (vazební), pokud je oproti danému uzlu málo zatížen, přesunutím některých dat. Druhá strategie navazuje na první, pokud uzel nemá málo zatížený sousední uzel, hledá ho na síti. Uzel vyvolá proces, který se snaží v síti najít málo zatížený uzel. Následně nalezený uzel opustí své původní místo a přemístí se pod zatížený uzel jako potomek. Převezme část dat od rodiče a s ní i zátěže [21].

Bodový dotaz na klíč je v BATON vykonán pomocí směrování dotazu na nejvzdálenější uzly, dokud nenarazí na klíč. Pokud žádné takové směrovací uzly neexistují, použije se odkaz na rodiče, potomka nebo sousední uzel. Pro rozsahový dotaz Q najdeme první levě vázaný uzel  $Q_{low}$ . Proces dotazu pak prochází strom ve vzestupném pořadí až do dosažení horní meze  $Q_{up}$ .

### 3.1.5 (Ne)pohled v Map Reduce

Jedná se o koncept zpracování paralelních dotazů nad uzly. Klient se dotazuje na jeden z uzlů o němž ví. Nezohledňuje, zda uzel daný záznam vlastní či ne a dopouští se vědomě

adresní chyby. V tomto modelu si klient ani uzel netvoří pohled na rozložení záznamů v DDS. Případný dotaz na uzel vyvolá proces **Map()**, uzel dostane označení *Master*



Obrázek 7: Ukázka dotazu v konceptu Map Reduce (1-6)[17]

a přepoše dotaz všem ostatním známým uzlům - *worker*. Navrácené záznamy jsou následně zpracovány procesem **Reduce()**. Zredukují se veškeré redundantní záznamy a výsledek je zaslán zpět klientovi. Z hlediska počtu zaslaných zpráv a zátěže uzel redundancí, zvláště při rozsahových dotazech, je tento koncept velmi náročný. Jedinou výhodou je přerozdělení zátěže na zpracování dotazu mezi uzly - *worker* a odpadnutí veškerých nákladů spojených s pohledem na rozložení dat mezi uzly.

### 3.1.6 Další koncepty pohledu

Pro distribuci dat mezi uzly lze použít několik návrhů. CHORD, CAN, Pastry, and Tapestry jsou čtyři nejznámější P2P systémy. Každý implementuje distribuovanou hashovací tabulkou, která je velmi efektivní při bodovém dotazu. Bohužel již nejsou vhodné pro rozsahové dotazy, neboť uspořádání do hash tabulky rozbíjí posloupnost mezi daty. Tuto nevýhodu řeší návrh překrývající se stromové datové struktury BATON [20].

## 3.2 DDS

Existuje mnoho konceptů DDS s různými výhodami a tomu odpovídajícímu využití. V následujících podkapitolách popisujeme dvě skupiny zástupců DDS. První skupina je založena na lineárním hashování a druhá na stromových datových strukturách.

*LH<sup>g</sup>* využívá paritní záznamy pro možnosti obnovení nedostupných záznamů [2]. *LH<sup>m</sup>* zrcadlí záznamy pro větší dostupnost při selhání jednoho či více uzelů [3]. *LH<sup>s</sup>* je navrženo pro větší bezpečnost s využitím *stripingu*, proužkování záznamů neboli segmentace [4]. Posledním ze zmíněné skupiny je *LH<sup>rs</sup>*, jež podporuje nedostupnost jednoho ze svých uzelů s využitím takřka minimálního úložného paritního prostoru za pomoci

Reed-Salomon kalkulu [5].

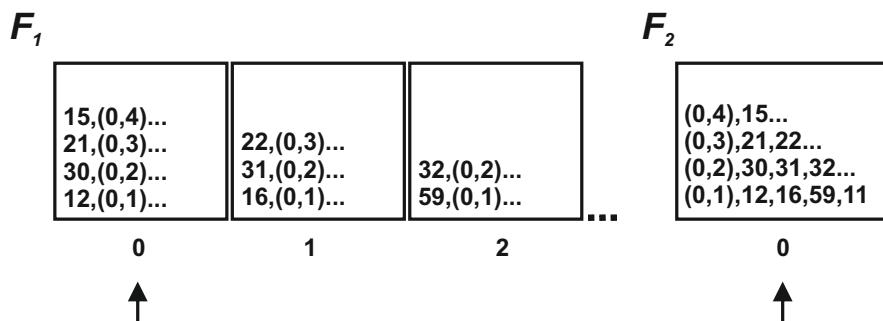
Následují dva zástupci stromových DS, z nichž prvním je *CG-index* [15]. Jedná se o indexaci dat v prostředí cloudu za pomoci  $B^+$ -stromu, využívá se v mnoha databázových systémech a pro ukládání dat na disk v souborových systémech. *SDR-strom* [20] využívá principy organizace R-stromu a splňuje základní principy SDDS. SDR-strom vytváří binární strom mapovaný z několika nebo všech uzlů na síti.

### 3.2.1 $LH^*g$

$LH^*g$  [2] je navržen pro vysokou dostupnost prostřednictvím nového principu uskupení záznamů. Dokáže rychle nahradit nedostupný záznam pomocí metody *hot spare*, neboli rychlé náhrady. Každý jednotlivý záznam může být obnoven za pomocí skupinového záznamu s paritou záznamu. Nepodporuje však možnost selhání více bucketů se záznamy najednou.

$LH^*g$  tvoří dvojice uzlů  $F_1$  a  $F_2$ , viz obrázek 8. Koordinátor řídí primární uzel  $F_1$  a paritní uzel  $F_2$ . Každý bucket  $m$  v  $F_1$  má počítadlo vkládání záznamů  $r$ . Nově vložený záznam získá hodnotu skupiny a pořadí jeho vložení do bucketu ve tvaru  $(g, r)$ . Unikátní označení skupiny je dáno výpočtem  $g = \text{Int}(m/k)$ . Vzniklé označení se nemění a zůstává od doby vložení do smazání stejně.

Pro každý klíč  $(g, r)$  existuje paritní záznam v  $F_2$  s dvojicí neklíčových údajů. První hodnota je pole klíčů ve skupině  $c_1 \dots c_l$ . Druhá hodnota obsahuje paritní bity z neklíčových částí záznamů v  $g$ . Paritní bit  $p_i$  je XOR všech  $i$ -tých bitů ze skupiny  $g$ . Obsah jednoho záznamu z  $g$ , lze obnovit za předpokladu, že jsou dostupné všechny ostatní záznamy ze skupiny  $g$  [2]. Pokud si představíme, jakým způsobem se postupně záznamy v bucketech



Obrázek 8: Ukázka struktury  $LH^*g$  [2]

přesouvají dělením, zjistíme, že se žádné dva záznamy ze stejné skupiny  $g$  neocitnou ve stejném bucketu. Pro  $k = 4$  by záznamy z bucketu 0 přešly postupně do bucketů 4,8,12,..., ale záznamy z bucketu 1 by šly do bucketu 5,9,13,... Tato vlastnost umožňuje obnovit záznam a popřípadě i všechny záznamy z nedostupného bucketu a uzlu.

Obě zotavení má na starosti koordinátor, jenž inicializuje vyhledání všech členů skupiny

bucketu a vypočítá zpětně neklíčové části záznamu.

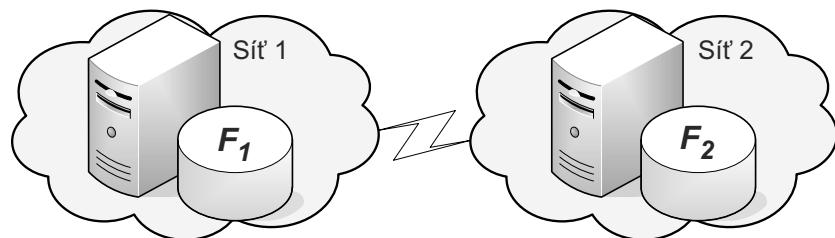
Nevýhodou tohoto režimu je zdvojnásobení zpráv při aktualizaci záznamu. Zasíláme zprávu i paritnímu bucketu pro přepočet paritních bitů. Dále vzniknou i velké náklady na zprávy při obnovení, kdy se vyhledávají a posílají všechny záznamy ze skupiny  $g$ .

### 3.2.2 LH\*m

LH\*m [3] splňuje definici zrcadlení 3.3. Výhodou tohoto řešení je transparentnost na úrovni LH\*, kde pro každý klíč existuje jedna adresa bucketu. Nevýhodou jsou náklady na hardwarové vybavení serveru a snížená ochrana proti katastrofické chybě selhání sítě s právě zrcadlenými servery.

**Definice 3.3** Koncepty založené na zrcadlení by měly splňovat některé následující vlastnosti:

- dostupnost všech záznamů i přes selhání jednoho uzlu
- dostupnost všech záznamů ve většině případů selhání více uzlů
- efektivní zotavení po selhání
- vyvážení zátěže (*load-balancing*) po selhání



Obrázek 9: Základní schéma LH\* se zrcadlením [3]

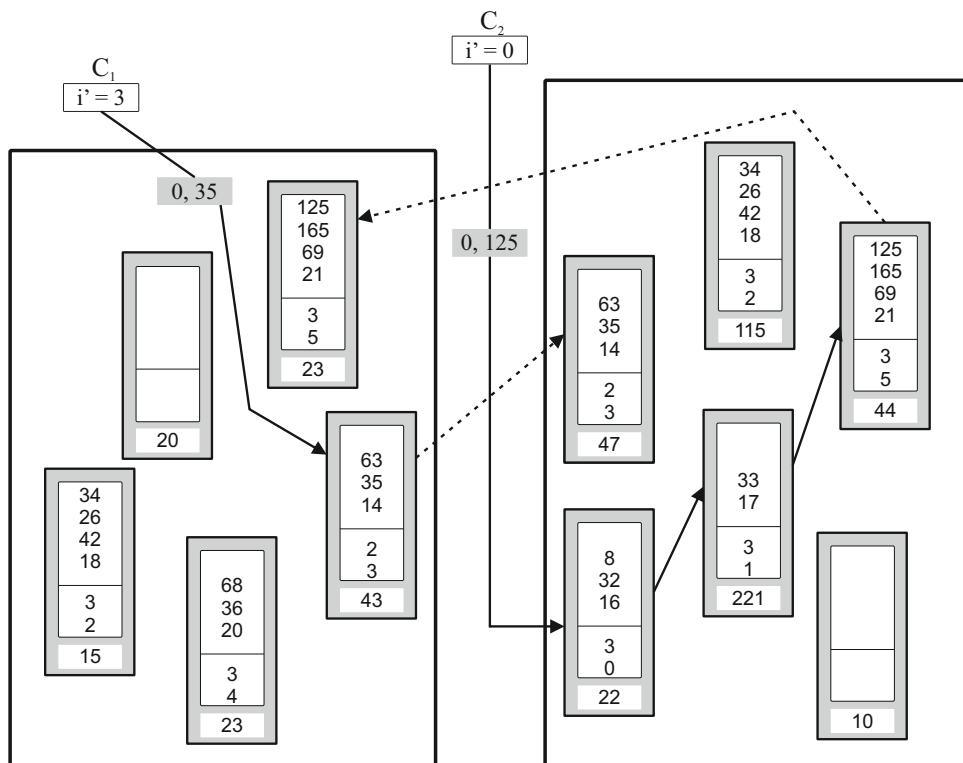
Kopie klíčů by měly být umístěny v různých bucketech při zachování dostupnosti přes hashovací funkci. Rozlišujeme dva typy zrcadlení na úrovni schématu LH\*.

- *SA* - zrcadlení (*structurally – alike*), zde jsou jednotlivé parametry uzlu a bucketu shodné, a tedy i adresní výpočet je shodný.
- *SD* - zrcadlení (*structurally – dissimilar*) obsahuje rozdíly v adresování, a tedy i propagace změn může být pomalejší. Toto řešení může být výhodné na heterogenní síti, kdy nelze zajistit shodné podmínky přístupu.

*SA*-zrcadlení je jednodušší oproti *SD*, díky shodným parametrym souboru. Každý bucket má hlavičku, obsahující jeho úroveň  $i$ , a adresu  $m = 0, 1, 2, \dots$ . Úroveň bucketu určuje naposledy použitá hashovací funkce při vkládání záznamů do bucketu.

Pokud by klient  $c_1$  s úrovní  $i' = 3$  vkládal klíč 35 do bucketu 3 souboru  $F_1$  s úrovní  $i = 2$  s uzlem 43. Podobně klient  $c_2$  s úrovní  $i' = 0$  posílá klíč 125 do bucketu 0 s úrovní  $i = 2$ . Projde toto vkládání souborem  $F_2$  do správného bucketu a provede vložení jako v běžném režimu  $LH^*$ . Koordinátor, který se na úpravě podílí, vyvolá na zrcadleném souboru  $F'$  vkládání, viz obrázek 10.

Veškeré úpravy jsou propagovány transparentně i pro klienty. Aby nedošlo k nekonzistence, lze provádět změny až po ověření, že na zrcadleném souboru byla změna úspěšně provedena. To si samozřejmě vyžádá zprávy navíc.



Obrázek 10: Ukázka vkládání při režimu zrcadlení [3]

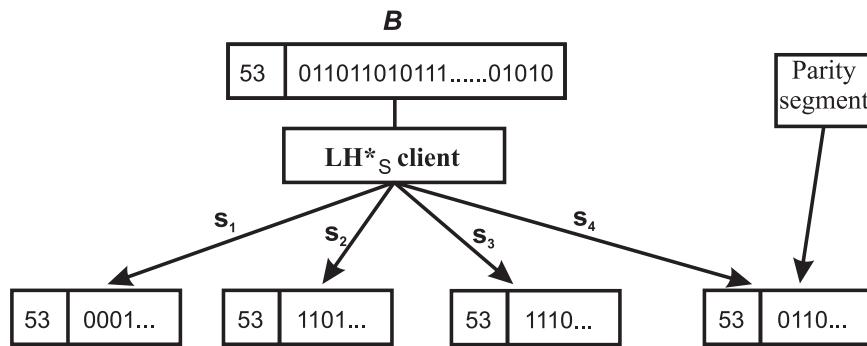
### 3.2.3 $LH^*$ s

Záznamy v  $LH^*$ s [4] jsou „proužkovány“ neboli segmentovány do  $k > 1$  segmentů, vkládaných do rozdílných bucketů a uzelů. Součástí každého segmentu jsou i paritními bity pro obnovení segmentu mimo daný uzel. Toto schéma podporuje nedostupnost jednoho ze segmentů záznamu. Oproti typickému  $LH^*$  režimu potřebuje na paritu  $LH^*$ s

o 15 - 25% více datového prostoru.

Segmentování je založeno na nejnižší úrovni, jednotlivých bitech záznamu, vkládáním po sobě jdoucích bitů záznamu do rozdílných segmentů. Vytváří se tím ochrana proti proniknutí k datům v jakémkoliv místě a prozrazení jejich obsahu. V nejlepším případě totiž útočník získá celý segment obsahující 1 bit z k záznamů segmentů.

Vzniká zde určité zhoršení při vkládání záznamu, z důvodu zaslání parity segmentu. Vyhledání klíče k záznamu se může stát oproti LH\* pomalejší, neboť klient obesílá k bucketů. Je zde potřeba více času CPU na zpracování dotazů a odpovědí, neboť je každý záznam poslan v nejméně 2 zprávách. Některé aplikace toto zhoršení akceptují pro jeho vysokou bezpečnost.



Obrázek 11: Rozptýlení záznamu do  $k = 3$  segmentů [4]

Záznam  $R$  má klíč  $c$  a sekvenci bitů  $B$  o velikosti  $mk$ , poslední bity mohou být doplněny nulou. Průběh vložení dat klientem je v LH\*'s následující (viz obrázek 11). Bit  $b'_j$  je paritní bit pro řetězec  $j$ -tého bitu každého segmentu  $1 \leq j \leq k$ . Pokud bude některý ze segmentů  $s$  z  $R$  nedostupný, paritní segment umožní rekonstrukci  $s$ .

### 3.2.4 LH\*rs

LH\*rs [5] se vyznačuje strukturováním škálovatelného souboru do skupin o  $m$  bucketech a využitím paritního kalkulu založeného na Reed-Solomon (RS) [5], mazacím opravném (de)kódováním. Soubor obsahuje data záznamů a paritní záznamy.

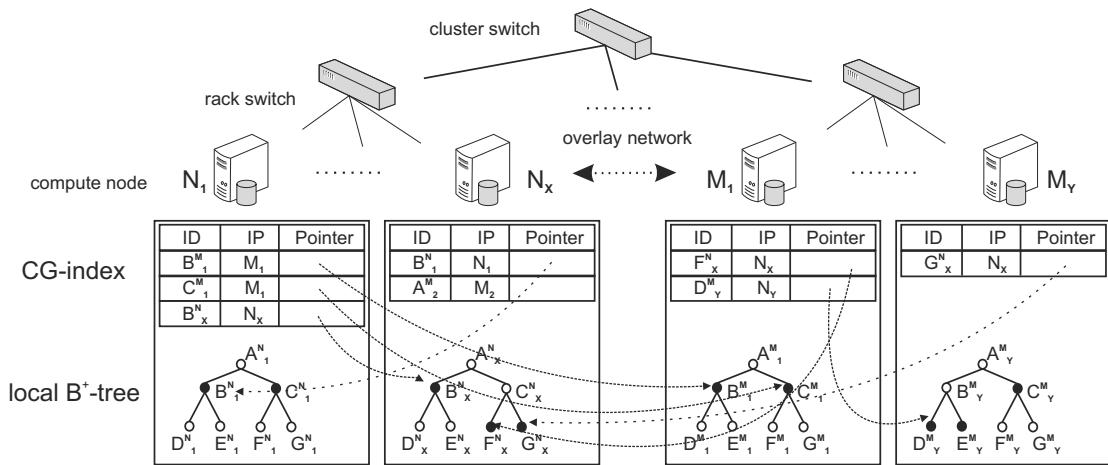
Data jsou jako u LH\* na začátku ukládána do bucketu  $b_0$  na uzel  $A_0$ . Přetečení vyvolá rozdelení bucketu. Naopak mazáním a vyprázdněním bucketu vyvoláme sloučení bucketů. Sloučení vždy ovlivňuje naposledy rozdělený bucket v řadě. Oba procesy se stará koordinátor. Datová struktura záznamu a paritního záznamu je stejná jako u LH\*g. Nejzajímavější je však způsob práce s paritními záznamy.

Dekódování paritního záznamu je v základu založeno na Erasure Correcting Codes (ECC), avšak je možné použít upravené Reed-Solomon (RS) kódování s použitím Galoisova pole (GF) [5]. Výpočet následně využívá existenci primitivních prvků v každém z GF a obsahuje několik robustních matic pro jednotlivé operace.

### 3.2.5 CG-index

CG-index [15] vytváří efektivní indexaci dat v prostředí cloutu za pomocí B<sup>+</sup>-stromu. Hlavní myšlenkou je rozdělení záznamů na několik malých částí nazývaných střepy. Každý střep je distribuovaná jednotka uložená v unikátně vypočítaném uzlu. Místo budování celkového indexu uložených záznamů buduje CG-index pouze lokální indexaci zvanou index střepu. Tento index střepu je distribuční jednotkou CG-Indexu, která je uložena a spravována v unikátním indexu uzlu. Tím CG-Index dosahuje dané škálovatelnosti. Dotazy jsou provedeny výpočtem všech kompetentních střepů.

Na počátku vybudujeme lokální indexaci u každého uzlu, který si indexuje data v sobě uložená. Dále uzly organizujeme do překrývající se struktury a lokálně publikujeme části uzlů pro efektivní dotazování. CG-index podporuje běžné operace (insert, delete), ale hlavně vyhledání pomocí klíče a rozsahové dotazy (range query).



Obrázek 12: Architektura systému s distribuovaným B<sup>+</sup>-stromem

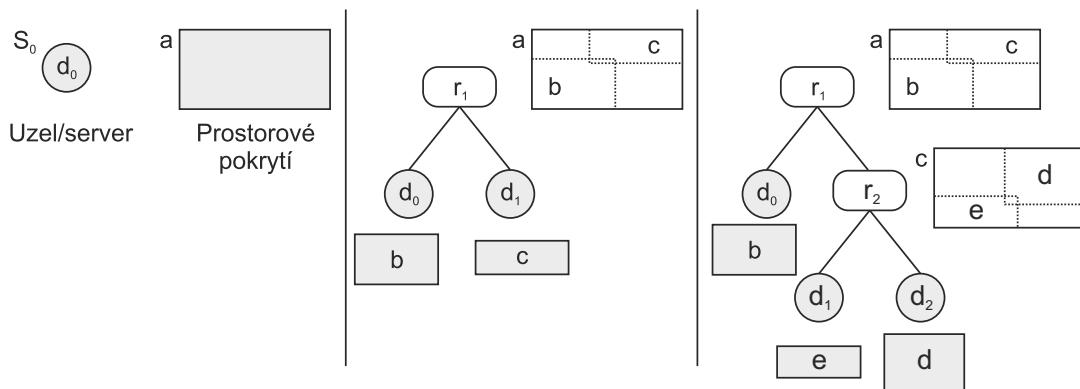
Architektura komunikace je postavena na protokolu BATON [20] pro dynamické peer-to-peer spojení. Obrázek 12 ukazuje strukturu stanic v systému. Překrývající se směrovací protokol nám umožňuje vyhledávání od jakéhokoliv uzlu, nemusíme jej vždy započít u kořene. Varianta dotazování za pomoci broadcast zpráv by zde byla jednoduchá, avšak málo škálovatelná.

Budování globálního indexu (CG) na lokálních  $B^+$ -stromech je na obrázku 12 značeno černými uzly. Uzly si udržují *pointer* na CG-index, ten je tvořen klíčem  $B^+$ -stromu. Z komunikace si ukládáme jen data o publikovaných uzlech: *blk*, *range*, *keys*, *ip*. *Blk* je číslo datového bloku uzlu, *range* je rozsah daného uzlu, *keys* jsou vyhledávací klíče v uzlu a *ip* je IP adresa příslušného uzlu.

### 3.2.6 SDR-strom

Jedná se o SDDS strukturu využívající principy organizace R-stromu a splňující základní principy SDDS z definice 3.2. SDR-strom [8] je binární strom mapovaný z několika uzlů. Každý vnitřní uzel ukazuje právě na dva listy (směrovací uzel), hloubka stromu je rovna logaritmu počtu stromů.

Ukazatel na levý a pravý list obsahuje adresář obdélníků MBR, tedy levé a pravé podstromy. Každý listový nebo datový uzel obsahuje část indexovaných objektů. Server je jedinečně identifikovatelný podle ID ( $ID = i$ ) a uložené dvojice  $(r_i, d_i)$  směrovacího a datového uzlu. Obrázek 13 ukazuje postupné vytváření SDR-stromu z uzlu  $S_0$  na uzly  $S_1$  a  $S_2$ . Při překročení kapacity uzlu nebo některých zvolených kritérií prostorového porytí



Obrázek 13: Vývoj SDR-stromu [8]

MBR dojde k rozdělení dat na  $d_0$  a  $d_1$ . Vzniknou podprostory  $a = mbr(b \cup c)$  MBR na uzlech a směrovací uzel  $r_1$  mezi nimi. Směrovací uzel obsahuje své ID a odkazy na potomky. Odkaz na potomka obsahuje informaci ve formě čtverce parametrů (ID potomka, seznam MBR, hloubku podstromu, typ uzlu). Typ uzlu může být datový, na něm se data z adresáře MBR přímo nacházejí, nebo směrovací na další uzly / listy.

Pohled klientů na strukturu distribuovaného stromu je řešen IAM (image adjustment message) [1] zprávami. Klienti se mohou dopustit adresní chyby při dotazu na uzel DDS (server). IAM zajišťuje správnou adresaci dotazu klientem. V každé odpovědi uzlu je obsažena čtverice odkazů tvořená z datového a směrovacího uzlu a odkazů na levého a pravého potomka.

## 4 Návrh konceptu SDDS

Pokoušíme se zde shrnout a využít jednotlivé vlastnosti a poznatky z předešlých kapitol k navržení vhodné komunikace, rozložení dat a pokusit se dodržet co možná nejvíce kritérií definujících SDDS struktury.

### 4.1 Omezení a požadavky

Vlastní implementace některého konceptu LH\* nepřipadá v úvahu s ohledem na složitost a časovou náročnost implementace. Zmíněné koncepty LH\* struktur jsou spojené i s několikaletou výzkumnou prací podobně jako stromové DS. V práci byl použit rámec QuickDB [24] implementovaný výzkumnou skupinou Database Research Group<sup>1</sup> na Katedře informatiky<sup>2</sup>. Poskytnutím již implementovaných datových struktur - databází, viz kapitola 4.2, se lze věnovat konceptu komunikace a způsobu rozložení dat mezi uzly.

Pro udržování pohledu nad rozdelením vyjdeme ze systému *Range partitioning* [28] založeného na rozdelení rozsahu hodnot klíčů mezi jednotlivé uzly. Zde se i přes statický režim dělení klíčů pokusíme přiblížit dynamičnosti za pomocí rozšíření klíčů na více uzlů. Podobně jako u SDR-stromu použijeme tvorbu lokálního (až globálního) pohledu na uzly klienty.

Návrh konceptu komunikace mezi jednotlivými aplikacemi, klienty a servery je zásadní. Komunikace využije stávající protokoly sítě TCP/IP. Vlastní tvorba transportní vrstvy k nahrazení TCP/IP a UDP protokolů by byla značně složitá a časově nezvládnutelná. Pro implementaci byl zvolen *výhradně jazyk C++* [13]. V implementaci se snažíme omezit počet přístupů na disk, jelikož je to časově velmi náročná operace. Alokujeme si proto předem větší prostor v operační paměti. Využitím ukazatelů na objekty a jejich předáváním mezi metodami se vyhneme zbytečné duplikaci proměnných. Za chodu aplikace není příhodné dynamicky alokovat paměť, jelikož alokace a uvolňování paměti jsou operace srovnatelné s diskovým přístupem. Je nutná alokace paměti před operacemi s datovou strukturou, proto je použit jako programovací jazyk právě C++ s operátory new a delete. Alokace a uvolňování paměti neprobíhá soustavně podle potřeb z důvodu časové náročnosti.

### 4.2 QuickDB

Poskytnuté datové struktury R-stromu a B-stromu jsou zprostředkovány za pomoci třídy cQuickDB. Třída vytváří pro datové struktury perzistentní datové prostředí, viz kapitola 4.7.

Každý záznam je tvořen klíčem a daty záznamu. Klíč může být tvořen různými datovými typy. Je definován dynamicky za pomocí tříd dědících z cDTDDescriptor. Dědičnost zajišťuje různorodost klíčů podle potřeby DS. V našem případě byla použita třída cSpaceDescriptor definující n-tici klíčů tvořící klíč typu cTuple.

V ukázce 1 je vytvořen popis pro n-tici klíče o délce = KEY\_DIMENSION. Na popisu klíče

<sup>1</sup><http://db.cs.vsb.cz>

<sup>2</sup><http://www.cs.vsb.cz>

lze vytvořit objekt klíče, v ukázce 1 je reprezentován proměnnou `tp`. Objekt `cQuickDB` potřebuje při své inicializaci nastavení velikosti perzistentní datové struktury. Po vytvoření souborů na disku a alokaci paměti RAM vytváří DS B-stromu. Vstupní parametry konstruktorů jsou popsány v ukázce 1, níže.

---

```

1    sd_BTREE = new cSpaceDescriptor(KEY_DIMENSION, new cUInt());
2    // uzel
3    cTuple *tp = cTuple tp(sd_BTREE);
4    // cQuickDB
5    quickDB = new cQuickDB();
6
7    if (!quickDB->Create(DB_Name, //název souborů DS
8                          CACHE_SIZE, //počet uzelů v paměti RAM
9                          MAX_NODE_INMEM_SIZE, //počet uzelů
10                         BLOCK_SIZE) //velikot diskového bloku
11    ) {return false;}
12 // B-tree hlavička
13 cBpTreeHeader<tKey> *mHeader = new cBpTreeHeader<tKey>(
14     "Btree1", // název DS
15     BLOCK_SIZE, //velikot diskového bloku
16     sd_BTREE, // cQuickDB
17     tp.GetSize(sd_BTREE), //velikost klíče zaznamů
18     DB_DATA_LENGTH*sizeof(char), //délka záznamu
19     false); //variabilní délka
20 // B-tree
21 cBpTree<tKey> *mIndexBtree = new cBpTree<tKey>();
22 // B-tree tvorba
23 if (!mIndexBtree->Create(mHeader, quickDB)) {return false;}
24 cout<<"NEW Database BTREE was created!"<<endl;

```

---

Výpis 1: Ukázka vytvoření objektu QuickDB a B-stromu

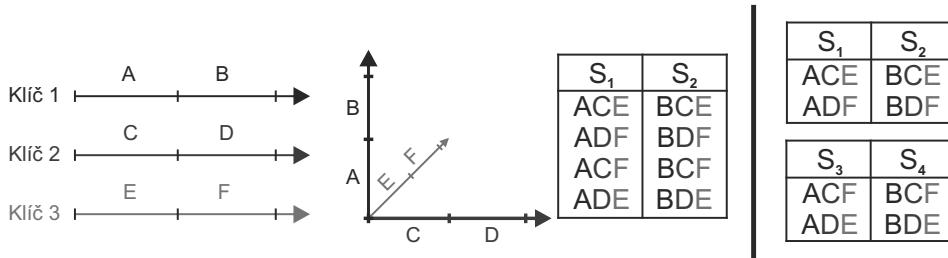
Na třídy popisující klíč a DS jsme museli navázat. Použít je jako základ pro definici pohledu a vlastnosti DS. Tím jsme zachovali dynamičnost implementace - *nezávislost na typu klíče či použité DS*.

Třída `cMBRrectangle` je využita pro popis pohledu na udržované záznamy DS. Neudržujeme pomocí něj pouze seznam rozsahu klíčů, ale využíváme i některé metody pro zjištění:

- `IsInRectangle()` - je tento klíč nebo MBR obsažen v MBR.
- `IsIntersected()` - je tento MBR protnut nebo obsažen v MBR.

Pomocí těchto metod jsme schopni rozhodovat na uzlu, zda daný příkaz s klíčem patří uzlu nebo má dojít k jeho přeposlání na jiný uzel.

MBR je u R-stromu definován dvěma body  $Q_{low}$  a  $Q_{high}$  ve vícerozměrném prostoru. B-strom není vícerozměrná DS, přesto zde využijeme k popisu intervalu klíčů třídu `cMBRrectangle`, viz obrázek 14.



Obrázek 14: Rozdělení rozsahů klíčů

### 4.3 Návrh vlastní DDS

Koncept se musí vyhnout jakémukoliv centrálnímu zařízení a řízení v síti. Pokud navrhneme hvězdicovou strukturu serverů, pak se klient na počátku dotáže přes středový server, který by informace neustále přeposílal. Tento server by vlastnil tabulkou adres serverů s jejich obsahem. Obsahem zde míníme například interval uloženého B-stromu, nebo jiná klíčová data. Nejenže by se stal přetíženým, ale při výpadku tohoto serveru by došlo k nedostupnosti všech serverů.

Řešením je vytvoření tabulky serverů na všech serverech. Poté by se stal každý server nezávislý. Klienti by se při první komunikaci mohli ve zpětné odpovědi dozvědět záznam, či dokonce záznamy o ostatních serverech. Musíme však zajistit řešení několika problémů.

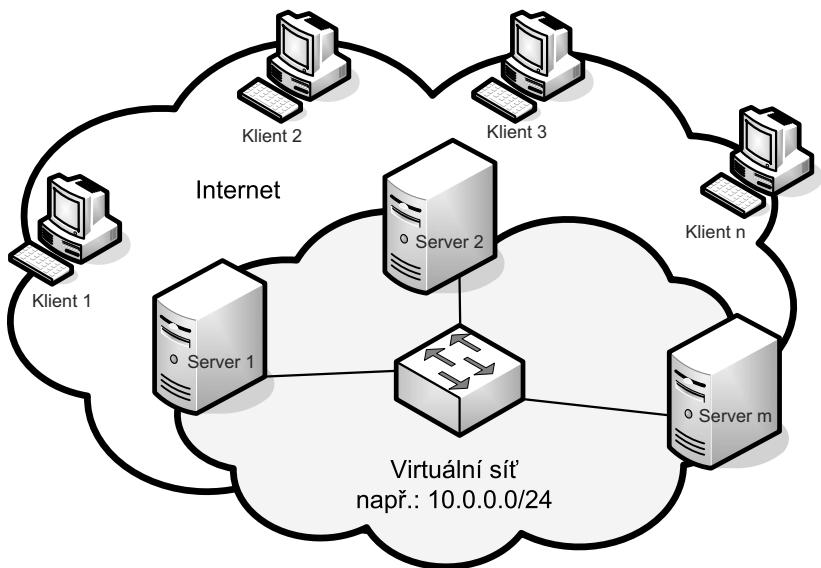
Udržovat jednotlivé záznamy serverů aktuální pomocí rozeslání zprávy všem serverům není při velkém počtu serverů nejšťastnější, avšak nezavrhuje jej pro náš koncept. Navíc pokud chceme být schopni rychle reagovat na případný výpadek, *nevyhnezme se periodickému zasílání zpráv typu "HELLO" servery*. Navržený koncept komunikace se pokouší řešit veškeré výše uvedené problémy.

### 4.4 Síťové prostředí

Dnešní technologie TCP/IP dovolují přes internet vytvářet virtuální síť, tunely, zapouzdřit komunikaci do různých protokolů a mnoho dalších možností. Vyhnezme se složitému směrování a možným heterogenním částem sítí v Intranetu či Internetu.

S využitím různých technologií lze vytvořit virtuální síť přes Internet, na níž by byly umístěny naše servery. Topologie jakékoli sítě by tak vypadala jako na obrázku 15. Virtuální středový přepínač by ve skutečnosti mohl být tvořen i několika směrovači s ústími tunelů od serverů. Tím by výpadek směrovače neohrozil celou virtuální síť. Za pomoci nakonfigurovaných pravidel ve směrovacích tabulkách směrovačů a s jejich dnešní rychlostí konvergence by se výpadek pokusili okamžitě nahradit zbylé směrovače mezi sebou. Konfiguraci a použité technologie zde neuvádíme, neboť jsou závislé na samotných zařízeních a kritériích přenosové sítě.

Za pomoci Ethernet protokolu podporujícího zasílání zpráv broadcast a multicast po segmentu sítě, lze obeslat jednotlivé prvky-servery. Čas průchodu zprávy sítí je stejný, jako u Point-to-point zpráv, avšak musíme zabránit „záplavě“ příliš mnoha míst. Odběr



Obrázek 15: Vzhled virtuální sítě

multicastu by se u serverů mohl využít v budoucnu pro oznamování uzamknutí určitého záznamu či skupiny záznamů. Pro přenos (replikaci) záznamů, však není vhodným řešením, viz kapitola 4.4.1.

#### 4.4.1 Komunikace na síti

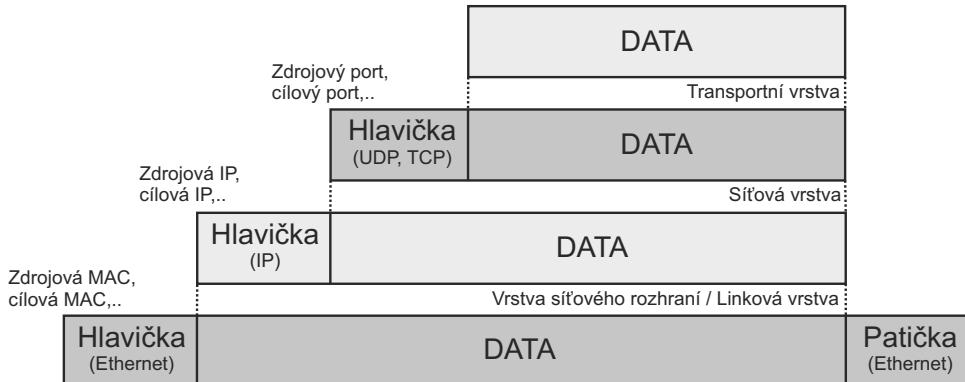
Pro komunikaci a přenos dat lze použít dva protokoly z rodiny TCP/IP na transportní vrstvě. Prvním je spojový protokol TCP. Hlavní výhodou je spolehlivý přenos dat. Využije se při zasílání příkazů k operacím nad databází a samotnými záznamy. Jsme schopni okamžitě informovat o nedostupnosti cíle či výpadku spojení a reagovat na ně. Nevýhodou zůstává delší časová náročnost, vyplývající z nutnosti navázání a ukončení spojení oběma stranami.

Druhý protokol UDP obsahuje hned v prvním rámci aplikační data, je tedy méně náročný. Ušetříme šířku pásma a čas strávený nad sestavením spojení. Vše bohužel za cenu neschopnosti zaručit doručení do cíle. Využití nachází tento protokol v periodickém oznamování přítomnosti serveru na médiu/síti a šíření méně prioritních informací.

Kde jaký protokol využijeme, si musíme dobře promyslet. Nelze dopustit, aby se pohled na data stal neintegritní, či dokonce nekonzistentní. Některé prvky sítě (směrovače, přepínače) si mohou při kritickém zaplnění své cache paměti odlehčit zahodením některých rámců a to jak u UDP, tak TCP komunikace. Jak je vidět na obrázku 16, naše zaslalaná data jsou zapouzdřena postupně do rámců. Velikost pro naše data určuje použitá transportní vrstva TCP nebo UDP a následně hodnota MTU rámce. Hodnotu MTU neměníme z důvodu složitosti nastavení klienta a serveru, ale možnosti nepřijetí dohodnuté velikosti kterýmkoliv síťovým prvkem na trase komunikace.

U TCP se v SYN zprávě při navázání spojení uvádí velikost celé zprávy a navržena ve-

likost MTU rámce TCP. Celý TCP rámec má standardně maximální velikost 1 500 bytů (nepoužíváme-li Jumbo Ethernet 8 kB), samotná hlavička má standardně 40 bytů (u RFC 1 323 přidáváme 12 extra bytů k hlavičkce). Na data nám v jedné zprávě TCP maximálně zbývá pouze 1 460 bytů. Při testech, viz kapitola 6.3.6, měl jeden aplikační datový rámec pro data 1 260 B. Menší velikost než 1 460 bytů je způsobena zapouzdřením hlaviček dalších vrstev (aplikační, prezenční a relační).



Obrázek 16: Zapouzdření dat v TCP/IP [16]

Pro rozlišení jaká data/typ jsou vlastně obsažena, je nutné v hlavičce rámce uvést hodnotu určující typ, a tedy obsah zprávy. Podle něj se zbývající byty zapíší do jednotlivých proměnných. Problém může nastat, pokud chceme zaslat více objemných záznamů, například z rozsahového dotazu. Data se zpracují na serveru a pošlou klientovi odpověď po více rámcích. Otázkou zůstává, jak velký dotazový rozsah povolit a ošetřit tak maximální velikost zasílaných dat na síti.

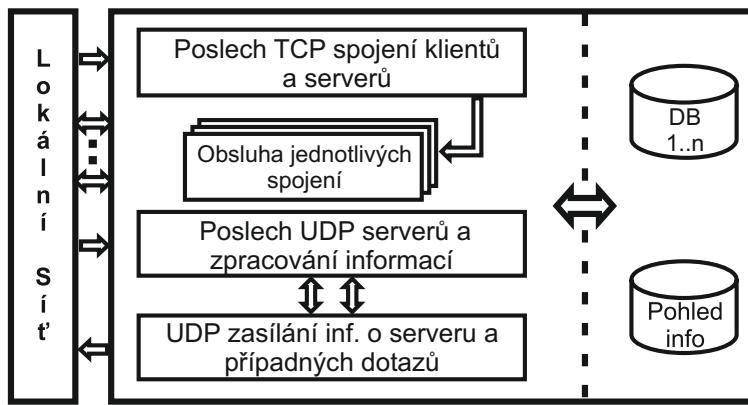
#### 4.4.2 Server

Jednotlivé činnosti/procesy aplikace serveru jsou nastíněny na obrázku 17. Implementovaný server musí zvládat vícevláknovou obsluhu přijatých spojení jak na TCP, tak UDP socketu, viz kapitola 6.4.4. Vlákna na serveru se dají rozdělit do dvou skupin podle použitého komunikačního protokolu.

Vlákno pro poslech socketu TCP na IP adresu a portu. Při zachycení komunikace následuje okamžité předání spojení (socket navázaného spojení) vláknu k vyřízení. Jedno či více vláken pro vyřízení navázaných spojení TCP. Druhou skupinu tvoří vlákno pro poslech socketu UDP na IP adresu a portu. Poslech broadcast zpráv a jejich následné vyřízení (zpracování zpráv typu "HELLO" apod.). Vlákno pro cyklické zasílání informací o serveru, popřípadě reakcí na přijatou zprávu broadcast.

### 4.5 Chování SDDS

Popisujeme jednotlivé případy chování aplikace klienta a serveru (uzlu DDS) při komunikaci a případné chování v rozporu s definicí SDDS.

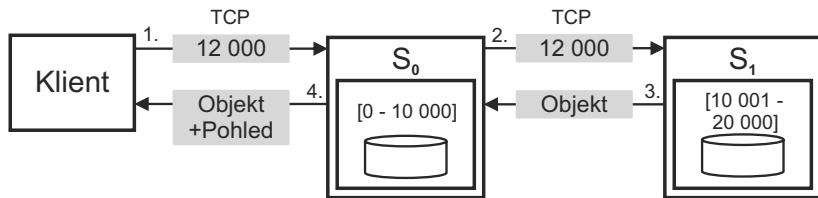


Obrázek 17: Jednotlivé činnosti/procesy serveru

#### 4.5.1 Bodový dotaz

Klient se chce dotázat na záznam s klíčem  $a = 12\ 000$ . Pohled klienta může, ale nemusí obsahovat adresu serveru uchovávající daný záznam. Pokud klient zná tento server, pak proběhne dotaz a daný záznam je navrácen.

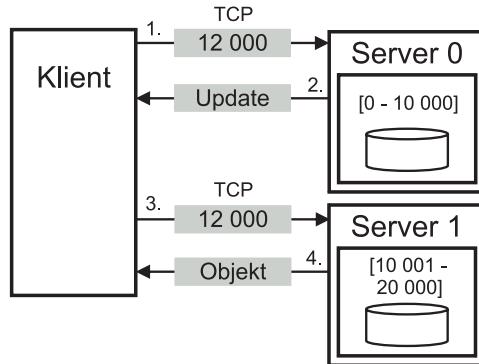
Zajímavější situace nastane v případě, kdy server s klíčem  $a$  neznáme, viz obrázek 18. Klient se vědomě dopustí adresní chyby a dotáže se na  $S_0$ . Server zjistí adresní chybu klienta a dotaz přepošle na správný server s příznakem přeposlání ve zprávě. Server  $S_1$  dotaz zpracuje a přidá o sobě informace (IAM) pro klienta.  $S_0$  jako prostředník pouze zprávu přepoše a dále nezpracovává. Klient získá se záznamem i rozšíření pohledu o další server a při dalším dotazu na klíče z  $S_1$  se adresní chyby nedopustí.



Obrázek 18: Vyhledání s adresní chybou

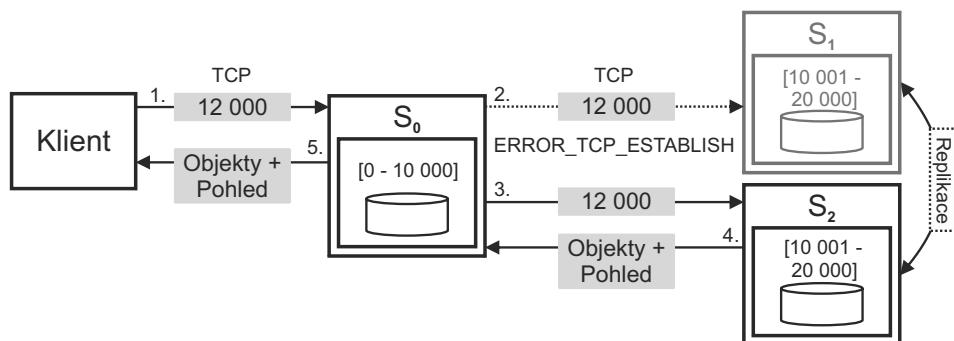
Nevhodné provedení bodového dotazu je zobrazeno na obrázku 19.  $S_0$  musí sestavit *Update* pohledu pro klienta na  $S_1$ . Pokud  $S_0$  drží v paměti dotaz i informaci pro přeposlání je nevhodné tuto situaci nevyužít. Zašleme *Update* pohledu, který si klient zpracuje a následně znova naváže spojení se serverem. Nejen, že jsou všechny procesy (2x navázání spojení, práce s pohledem) časově náročné, ale jsou i proti definici SDDS. Server se může stát nedostupným z důvodu výpadku sítě nebo z důvodu údržby. Pak je vhodné aplikovat replikaci záznamů na jiný server. Předešlý průběh dotazu obohacený o nedostupný server je zachycen na obrázku 20.

Pro zajištění integrity záznamů a celé databáze by se po zprovoznění serveru  $S_1$  měl



Obrázek 19: Ukázka špatného konceptu pro vyhledání s adresní chybou

synchronizovat s  $S_2$ . Vhodným řešením by byl log soubor na  $S_2$  do něhož by byly zaznamenány úpravy, které na  $S_1$  nebylo možno replikovat v době nedostupnosti. Naše řešení v případě opakování nedostupnosti serveru příkaz neprovede.



Obrázek 20: Průběh bodového dotazu s nedostupným serverem

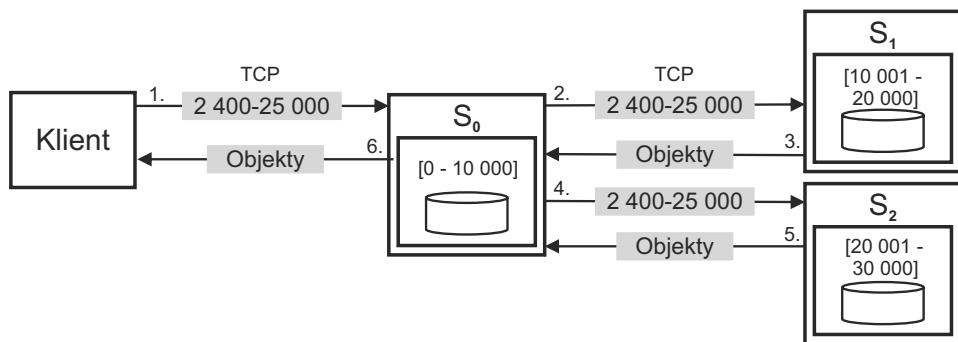
**Poznámka 4.1** Aplikace schopnost synchronizace serverů pomocí log souboru při replikaci dat neimplementuje. Nelze tudíž zaručit konzistenci DB při výpadku jednoho ze serverů.

**Poznámka 4.2** Reakce na nedostupnost jednoho ze serverů je dána časovou náročností zjištění nedostupnosti. Je vhodné uvažovat o cyklické aktualizaci pohledu na serveru podle časových razítek posledních zpráv „HELLOU“, viz kapitola 4.5.3.

#### 4.5.2 Rozsahový dotaz

Vyhledání záznamů pomocí rozsahového dotazu s klíči  $Q_{low} = 2400$  a  $Q_{high} = 25\,000$  je zachyceno na obrázku 21. Klient se i zde může dopustit adresní chyby a dotázat se na server, který daný rozsah klíčů neuchovává. Stane se z něj podobně jako v případě

bodového dotazu pouhý prostředník celé transakce. Server  $S_0$  drží dolní rozsah, a tak provede první dotaz na své DB. Následně server  $S_0$  vyhledá seznamy serverů držících zbylé klíče. Vyhledání ostatních serverů provede jen v případě, že sám neuchovává rozsah klíčů  $a_{low}$  až  $a_{high}$ . Pro získání ostatních výsledků přidá  $S_0$  k dotazu klienta příznak přeposlání. Díky příznaku přeposlání server  $S_1$  a  $S_2$  přijatý dotaz okamžitě provedou nad databází a výsledné záznamy vrátí serveru  $S_0$ . Získané výsledky dotazu se na  $S_0$  spojí do jedné zprávy pro klienta.



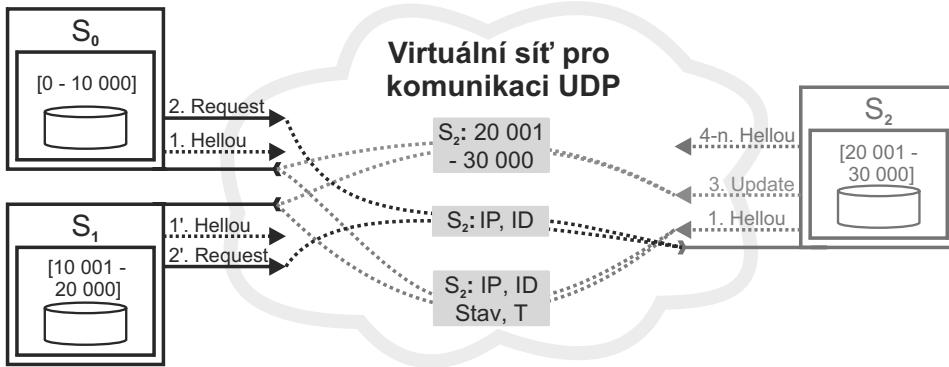
Obrázek 21: Průběh rozsahového dotazu

**Poznámka 4.3** Všimněme si, že se  $S_0$  stane pro dotaz centrálním prvkem koordinujícím celý dotaz podobně jako v prostředí MapReduce, avšak bez nutnosti kontroly redundance vrácených hodnot.

#### 4.5.3 UDP zprávy

UDP komunikaci zajišťují dvě vlákna sdílející informace o přijatých zprávách a pohledu serveru na okolí. Mechanismus "*Hellou*" zpráv zajišťuje škálovatelnost počtu serverů za běhu společně s vyvažováním zátěže. Vyvážení serverů zajišťuje parametr zátěže  $T$  a zasílání zpráv periodicky v určeném časovém intervalu. Ukázka průběhu UDP komunikace je na obrázku 22. Server zpracuje zachycenou UDP komunikaci a následně na ni reaguje ve druhém vlákně zasláním jedné z následujících zpráv:

- **Hellou** - průběžná zpráva oznamující pouze ID, IP adresu, stav a zátěž  $T$  serveru, který ji zaslal.
- **Request** - reakce na zachycení zprávy *Hellou* od dosud neznámého serveru (není uveden v pohledu serveru).
- **Update** - reakce na zachycení zprávy *Request* se shodnou ID a IP adresou naslouchajícího serveru. Zpráva obsahuje celé nastavení serveru - *ServerConfig*. Jedná se o IAM zprávu.
- **Close** - zpráva oznamující ID a IP adresu serveru, který byl vypnut.



Obrázek 22: UDP komunikace mezi servery s přidáním serveru  $S_2$

Nedostatkem implementace a předloženého konceptu je hromadná reakce všech serverů na nový server  $S_2$  zprávami *Request*. Po dobu jedné periody nedojde k zaslání zprávy *Hellou* všemi servery, a tedy k možnosti vyvažování zátěže. Otázkou je, jak často přidáváme nový server.

**Poznámka 4.4** Periodu zasílání UDP zpráv serverem lze nastavit v `cServerDefinition.h` parametrem `TIME_SEND_HELLOUS`, použitá hodnota u serverů byla vždy 1s.

## 4.6 Vyvážení zátěže

Vyvážení zátěže - „Load balancing“ [4] mezi servery. Kapitola 4.5.3 nastínila průběh UDP komunikace zajišťující zprávy *Hellou* potřebné pro následující dva druhy vyvážení:

- Vyvážení rozdělení dat mezi servery
- Vyvážení dotazů mezi servery (nutná replikace dat)

Dynamická tvorba, dělení a mazání pohledu na uložení dat mezi servery byla nahrazena statickou definicí rozsahů/intervalů na jednotlivých serverech. V rámci masivně paralelního zpracování dat je pro nás zajímavější se věnovat spíše vyvážení dotazů mezi servery, než dynamickému rozdělení rozsahu/intervalu klíčů mezi uzly DDS. Vyvážení dotazů bez centrálního koordinátora je dosti složité. Nelze odhadnout nenadálé zatížení klienty některého ze serverů. Řešení, kdy server začne zamítat spojení od klientů je nepřípustné. Nelze vědět, zda klient vůbec zná jiný server pro dotaz. Opakování dotazu na server je proti definici chování SDDS. Nabízí se nám následující scénář pro řízení zátěže:

1. Z UDP komunikace získávat periodicky přehled o zátěži okolních serverů.
2. Při dotazu detektovat přetížení serveru oproti ostatním se stejným obsahem.
3. Upozornit klienty při přetížení na využití jiných serverů pro příští dotazování.

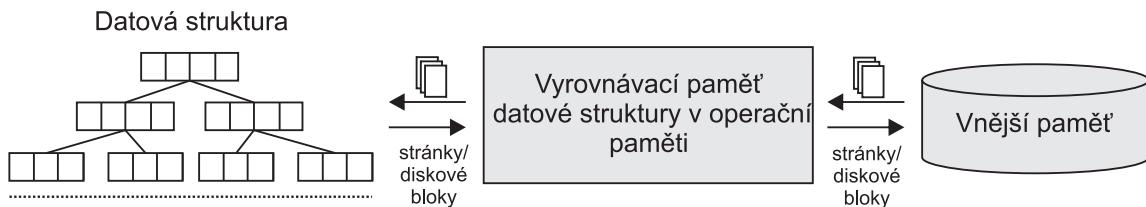
- Nastavit u klienta vhodné chování při výběru serveru pro vykonání dotazu a zpracování odpovědi.

Za určitou dobu předpokládáme částečné ustálení zátěže rozdělením serverů mezi klienty. Za možný problém pro adekvátní testy a nastavení se jeví simulace klientů. Zda simulovat skupinu klientů, která se časem naučí pohled na servery a zůstane tak po zbytek testu. Nebo po určené době resetovat pohledy klientů a simulovat nové klienty s adresními chybami.

**Poznámka 4.5** Vyvážení zátěže dotazů mezi servery se musí vyhnout hromadnému „přelévání“ klientů z jednoho serveru na druhý a musí být pokud možno postupné [4].

## 4.7 Použité datové struktury

Implementace datové struktury R-stromu a B-stromu byly k testování poskytnuty, viz 4.2. Inicializační nastavení obou struktur požaduje zadání počtu dimenzí/prostorů a velikost indexovaných dat. Tyto hodnoty se mění podle indexované databáze. Obě struktury



Obrázek 23: Perzistentní datová struktura

jsou perzistentní, viz obrázek 23, tedy využívají vyrovnávací paměť v hlavní operační paměti k dosažení větší rychlosti získání záznamu. V průběhu testování byly parametry nastaveny následovně:

| Parametry  | B-strom     | R-strom     |
|--|-------------|-------------|
| <i>BLOCK_SIZE</i> (velikost diskového bloku) [B] | 2 048 B     | 2 048 B     |
| <i>CACHE_SIZE</i> (počet uzlů v op. paměti)      | 195 000 - N | 195 000 - N |
| <i>MAX_NODE_INMEM_SIZE</i>                       | 2 400       | 2 400       |

Tabulka 1: Nastavení DS

*BLOCK\_SIZE* parametr je dán velikostí diskového bloku a nabývá násobků hodnot: 2 048. Další parametr *MAX\_NODE\_INMEM\_SIZE* je na předešlém závislý. Měl by být nastaven přibližně na *BLOCK\_SIZE* \* 1.1, tedy o 10% větší hodnotu. Parametrem *CACHE\_SIZE* ovlivníme počet uzlů udržovaných v operační paměti. Jsme pouze závislí na dostupné paměti stroje, proto uvádíme v tabulce - N.

**Poznámka 4.6** DS si při nastavení podle tabulky 1 alokuje v operační paměti virtuálních strojů cca 500 - 550 MB.

## 5 Návrh komunikace DDS

V předešlé kapitole jsme si uvedli, že budeme využívat protokoly TCP a UDP pro komunikaci na transportní vrstvě. Nyní popíšeme vlastní rámec a způsob serializace dat na aplikační vrstvě. Průběh implementace dal postupně vzniknout několika třídám serializujícím komunikaci mezi klientem a serverem.

### 5.1 První návrh

První komunikace počítala s několika druhy zpráv s rozdílným obsahem. Vznikla třída `myPacket`, v níž se podle první hodnoty `PType` v záhlaví zprávy načítal další obsah. Postupně vzniklo 15 druhů rámců pro jednotlivé operace. Přijatý řetězec znaků zprávy se předal metodě `Read()`. První bajt řetězce signalizoval druh použitého rámce, následně se pomocí příkazu `switch (PType)` aplikovalo čtení hodnot ve zbytku zprávy do parametrů objektu `myPacket`. Přes proměnné objektu `myPacket` se dále interpretoval obsah zprávy.

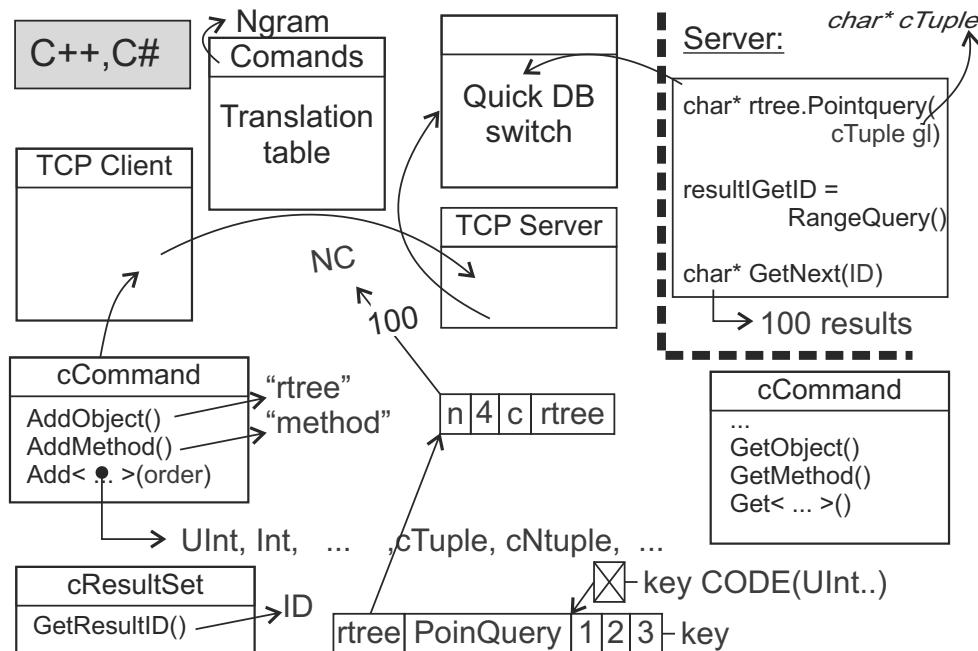
Statická definice celého obsahu s datovými typy však není vhodná pro heterogenní nároky databází. Neustálé přepisování a úpravy obsahu rámců by byly neúnosné. Z tohoto důvodu se od této komunikace upustilo. Nelze však přehlédnout programovou jednoduchost a malou náročnost na serializaci zprávy při příjetí/zaslání.

### 5.2 Komunikace DDS v2.0

Zhodnocení nedostatků první implementace a jazyka C++ [13] dalo vzniknout vlastnímu návrhu vzdálené komunikace za pomocí dvou rámců pro přenos dat. Na počátku stál náčrt konceptu komunikace, viz obrázek 24. První typ rámce tzv. *Command* zajišťuje volání určité metody a přenos vstupních parametrů. Zpětnou vazbu zajišťuje druhý rámec pro přenos výsledku volané metody, tzv. *ResultSet*. Oba rámce dědí z abstraktní třídy `cFrame`, to zajišťuje kompatibilitu při (de)serializaci přenosu metodami třídy `cSocket` a možnost tvorby dalších rámců.

**Definice 5.1** *RPC - vzdálené volání metod, umožňuje aplikaci jednoduché volání metod objektů druhé aplikace obvykle běžící na jiném počítači.*

Před návrhem a implementací byly zkoumány možnosti jazyka C++ volat vzdáleně metody objektů. Předpokládali jsme integraci nástrojů pro model RPC v nové platformě nástrojů pro Visual Studio 2011. Hledání a pokusy v novém vývojovém prostředí bohužel nenaznačily implementaci potřebných metod, a tedy ani integraci modelu RPC. Hledání následně pokračovalo v dostupných knihovnách API pro C++ (např. *ICE* [23]). Po prozkoumání zdrojových kódů se ukázalo, že se žádné dynamické volání ve smyslu definice RPC neprovádí. Třídy využívaly předpřipravený interface s třídou jako prostředníkem definujícím datové typy a popis metod pro *READ/WRITE* jednotlivých parametrů.



Obrázek 24: Návrh komunikace klient/server

### 5.2.1 Serializace

Pro přenos hodnot datových typů a objektů vznikla třída **cCode** serializující data do struktury **Parametr**, viz výpis 2. Definujeme (de)serializaci základních datových typů na **Parametr**. U objektů potřebujeme, aby třída implementovala (de)serializaci v metodách **Read()** a **Write()** do řetězce typu **char**. Dále jen stačí definovat v **cCode** hodnotu, o jaký datový typ či třídu se jedná. Nevýhodou je nutnost definice a dopsání požadovaného volání metod **Read()** a **Write()** pro daný objekt v **cCode**. Jednodušší či elegantnější řešení jsme nenalezli.

```

1 //struct for representation parametrs/objects
2 typedef struct Parametr{
3     unsigned char code;
4     unsigned int size;
5     void *ptr;
6 }P;
```

Výpis 2: Struktura udržující de/serializované objekty a datové typy

Serializace byla testována na všech základních datových typech v C++ a objektech poskytnutých s DS, viz kapitola 4.2. Při tvorbě klienta v jazyce C# byl otestován přenos částí textu bakalářských a diplomových prací na server bez ztráty či nekonzistence diakritiky. Řetězec textu byl serializován přes datový typ **wchar\_t**.

### 5.2.2 Command

Volání metod (příkazů) se serializuje za pomocí třídy `cCommand` obsahující definici rámce pro přenos parametrů, viz obrázek 25. Pro správné použití příkazu na obou stranách musí být definované hodnoty pro jednotlivé objekty a metody shodné, v našem případě pro objekty představující DS na serveru. Hlavička rámce obsahuje hodnoty definující:

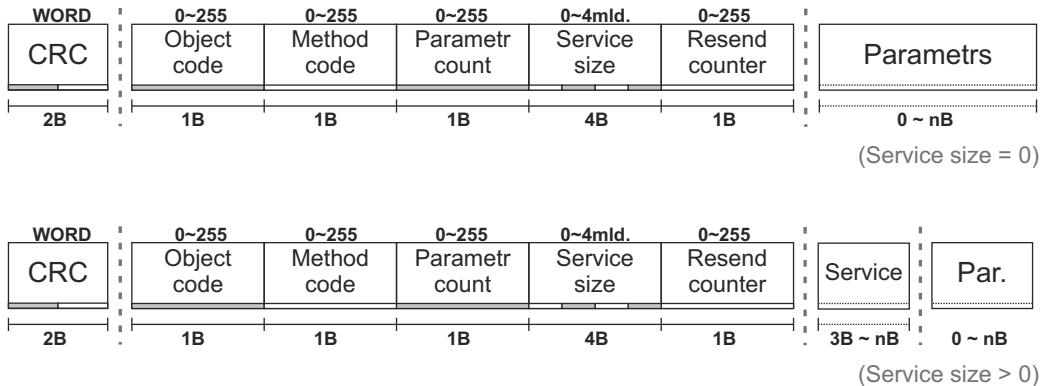
- **CRC** - hodnota kontrolního redundantního součtu rámce počítaná a kontrolovaná při zasílání a příjmu rámce. Pokud CRC nesouhlasí, pak byla data porušena při přenosu nebo nebyla přijata celá zpráva.
- **Object code** - identifikátor volaného objektu. Slouží k odlišení typu volaného objektu. Například pro rozeznání objektu B-stromu, R-stromu apod.
- **Method code** - identifikátor volané metody objektu. Na serveru slouží k odlišení metod objektů, například: `Insert`, `PointQuery`, `Close` atd.
- **Parametr count** - počet přenášených parametrů, které jsou uloženy ve zprávě, v poli `Parametrs`. Napomáhá blíže určit volanou metodu v případě přetížené metody.
- **Service size** - velikost přenášené servisní informace uložené v části `Service`.
- **Resend counter** - počítadlo přeposlání příkazu mezi servery, slouží k zabránění zacyklení příkazu a rozeznání, zda příkaz přišel od klienta nebo jiného serveru.
- **Service** - pokud je hodnota `Service size > 0`, pak je zde obsažena servisní informace ve formě serializovaného objektu `cService`.
- **Parametrs** - pokud je hodnota `Parametr count > 0`, pak jsou zde obsaženy parametry metody.

Samotný objekt lze zapsat jako parametr a vložit do jiného objektu `cCommand` jako parametr.

### 5.2.3 Result Set

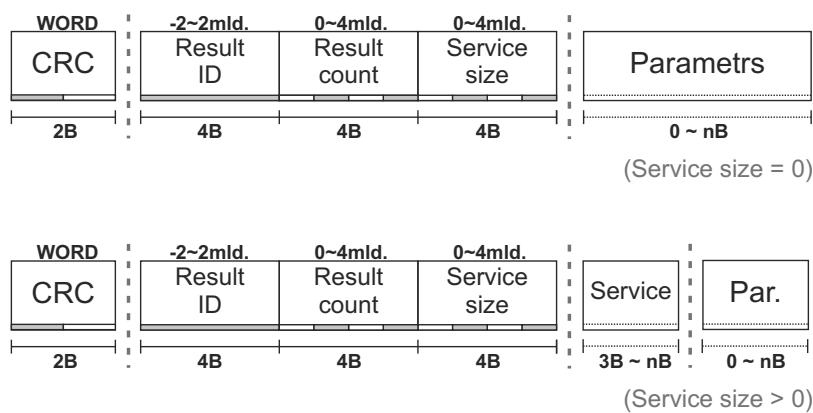
Navrácení výsledku metody obstarává třída `cResultSet`. Obsahuje definici rámce pro přenos návratových hodnot, viz obrázek 26. Jednotlivé hodnoty jsou stejně jako u příkazu serializovány do struktury `Parametr`. Hlavička rámce obsahuje tyto hodnoty:

- **CRC** - hodnota kontrolního redundantního součtu rámce počítaná a kontrolovaná při zasílání a příjmu.
- **Result ID** -  $> 0$ , jednoznačný identifikátor výsledku na serveru použitelný pro volání vrácení zbytku výsledků.
  - $= 0$ , volání metody proběhlo úspěšně a všechny výsledky jsou obsaženy v poli parametrů.



Obrázek 25: Struktura rámce Command s/bez servisní informace

- < 0, nastala chyba při volání metody a je zde navrácena hodnota chyby.
- **Result count** - počet přenášených položek uložených v části *Parametr*.
- **Service size** - velikost přenášené servisní informace.
- **Service** - pokud je hodnota *Service size* > 0, pak je zde obsažena servisní informace ve formě serializovaného objektu *cService*.
- **Parametrs** - pokud je hodnota *Parametr count* > 0, pak jsou zde obsaženy položky výsledku.



Obrázek 26: Struktura rámce ResultSet s/bez servisní informace

**Poznámka 5.1** Objekty *cCommand* i *cResultSet* lze zapsat jako parametry rámců a dočílit tak zabalení hromadných příkazů a výsledků do jednoho rámce.

#### 5.2.4 Servisní informace

Třída `cService` zajišťuje serializaci struktury `ServerConfig` do zpráv `Command` a `ResultSet` v komunikaci TCP. V UDP komunikaci zajišťuje přenos informací mezi servery. Service lze považovat za nástroj pro přenos zpráv distribuuujících pohled mezi servery a klienty.

U UDP komunikace je použita samostatně pro jednoduchou a rychlou de/serializaci. Třída zajišťuje rozšíření a aktualizaci pohledu klienta a serveru na ostatní servery. Podle hodnoty čísla `TypeNumber` v hlavičce `cService` lze určit obsažené servisní informace a obsah deserializovat. Hodnoty `TypeNumber` jsou definovány pro UDP a TCP komunikaci následovně:

- **S\_TCP\_UPDATE\_VIEW, S\_UDP\_UPDATE\_VIEW**
  - `ServerConfig` struktura obsahující všechny informace o serveru.
- **S\_TCP\_HELLOUS**
  - **T** - hodnota aktuální zátěže serveru.
  - **State** - stav, v jakém se právě server nachází.
  - **IP** - IP adresa určující server.
- **S\_UDP\_REQUEST, S\_UDP\_CLOSE**
  - **IP** - IP adresa určující server, který byl ukončen, nebo je žádán zprávou o zaslání pohledu na broadcast.

Pro složitější operace mezi servary (synchronizace apod.) přes TCP předpokládáme přepsání třídy `cService` na samostatný rámec, nebo případný vznik další třídy pro servisní účely mezi servary dědící z `cFrame`.



## 6 Návrh a implementace serveru

V této kapitole popisujeme návrh a postup implementace aplikace serveru DDS s klientem. Distribuci pohledu na DS mezi uzly a klientem. Dodržujeme námi stanovená pravidla konceptu, viz kapitola 4.3.

### 6.1 Počátky implementace

Při vývoji složité aplikace jakou je SDDS došlo na počátku implementace hned k několika chybám. Většina chyb pramení z důvodu nepředstavitelnosti celkové kooperativy mezi servery a klienty, statických definic a malé flexibility metod a objektů k použitým DS.

- **Chyby implementace:**

- Klíč byl tvořen statickým polem hodnot UInt s pevně definovanou délkou.
- (De)Serializace obsahu zpráv probíhala za pomoci staticky definovaných se-znamů datových typů a objektů, a to pro jednotlivé typy zpráv.
- Třída obstarávající přenos zpráv mySocket byla navržena bez kontroly pře-nesených dat a využívala pomalejší blokované spojení TCP.
- Struktura pro udržování pohledu na servery využívala staticky definovaný klíč, viz výpis 3.
- Při práci se záznamy a pohledem nebyly použity vždy ukazatele na objekty a struktury.

---

```

1 typedef struct ServerSettings{
2     char Name[25];
3     unsigned int Id;
4     in_addr Ip;
5     in_addr BroadCast;
6     unsigned short NumRec;
7     float t;//server load or traffic
8     Dimension D[20];
9 } SERVER_SETTINGS;
10
11 typedef struct Dimension{
12     unsigned int DFrom[KEY_DIMENSION];
13     unsigned int DTo[KEY_DIMENSION];
14 } DIMENSION;

```

---

Výpis 3: Staticky navržená struktura pro pohled na server

- **Úspěchy implementace:**

- Pro zachycení chování aplikace byl implementován nástroj pro záznam událostí do souboru.

- Implementace a testy mechanizmu pro synchronizaci přístupu k objektům a strukturám.
- Tvorba a řízení vláken pomocí sdílené datové struktury, možnost více vláknového přístupu k serveru.

## 6.2 DDS v2.0

Aplikace si z předchozích neúspěchů implementace ponechala pouze statické řízení vláken, viz kapitola 6.2.2. Některé nově vzniklé třídy a metody se inspirovaly z původního kódu, avšak vývoj se řídil k větší dynamičnosti a vizí komunikace, viz obrázek 24.

### 6.2.1 Návrh

Vznikl dynamický návrh oddělující server s vlákny od zpracování a databáze, viz obrázek 27. S popisem návrhu začneme od třídy `cCode`. Zajišťuje definici (de)serializace tříd a datových typů v rámci komunikace. Abstraktní třída `cFrame` tvoří základ pro třídy určené k definici komunikačních rámců `cCommand` a `cResultSet`.

Síťovou komunikaci zajišťuje třída `cSocket` implementující metody pro zaslání a získání třídy `cFrame`. Díky dědičnosti lze vytvořit vlastní třídu definující nový komunikační rámec bez zásahu do okolních tříd.

Abychom byli schopni serveru podstrčit jakoukoliv požadovanou DS, vznikla další abstraktní třída `cDB`. Zpracování a udržování pohledu na okolní servery s jejich klíči zajišťuje třída `cViewServerClient`. Definuje metody rozhodující o vyvážení zátěže, možnému přeposlání příkazů a adresních chybách klienta.

Různé chování serverů, chcete-li „roli“, při zpracování příkazu zajistí třída dědící z `cMap`. Potomek této třídy definuje, jak má server zpracovat jednotlivé zprávy v metodě `Map()`. Konstruktor serveru tuto třídu vyžaduje jako vstupní parametr.

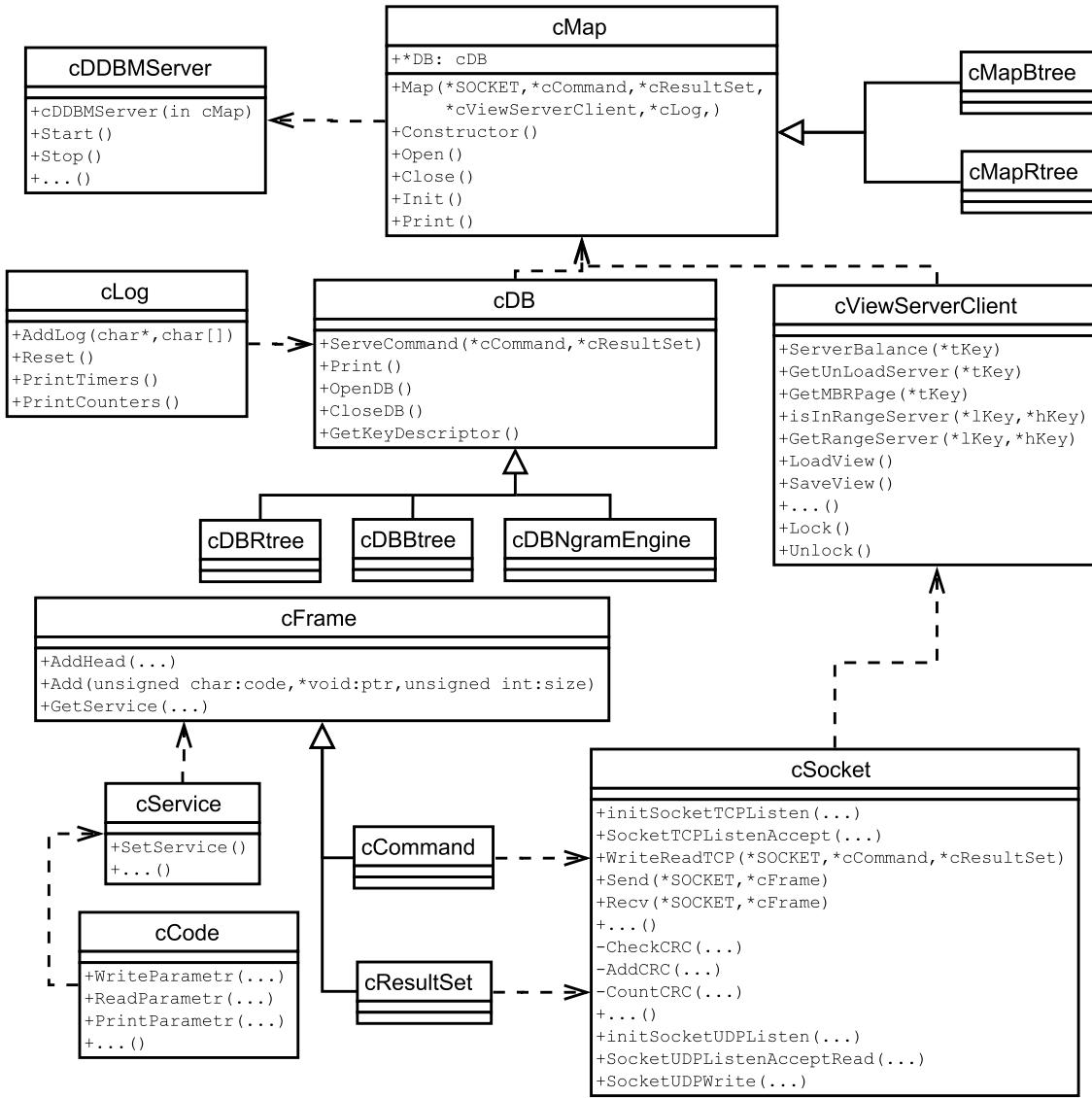
**Poznámka 6.1** Možnost definice chování serverů umožnilo v rámci BP jinému studentovi implementovat a otestovat koncept MapReduce, viz kapitola 3.1.5.

### 6.2.2 Vlákna

Vlákna jsou v naší aplikaci nepostradatelná. Bohužel mají velký vliv i na náročnost implementace a nutnost zavedení synchronizace přístupu. Aplikace má podle konceptu několik vláken pro jednotlivé funkce serveru.

Zpracování požadavku na server může být realizováno:

- a) **Dynamicky** - nové spojení znamená vytvoření nového vlákna pro jeho zpracování. Řešení vyžaduje zavedení sdílené struktury mezi vlákny s informacemi pro jejich řízení. Řízením máme na mysli předání parametrů potřebných pro komunikaci s klientem, zaznamenání spuštěných vláken a vláken připravených k ukončení. Dynamická vlákna si opakovaně vyžádala při testu vkládání na server 0,242 s, oproti tomuto si statická vlákna vystačila s 0,154 s. V obou případech byl použit objekt Mutex [7] pro



Obrázek 27: UML diagram tříd DDS v2.0

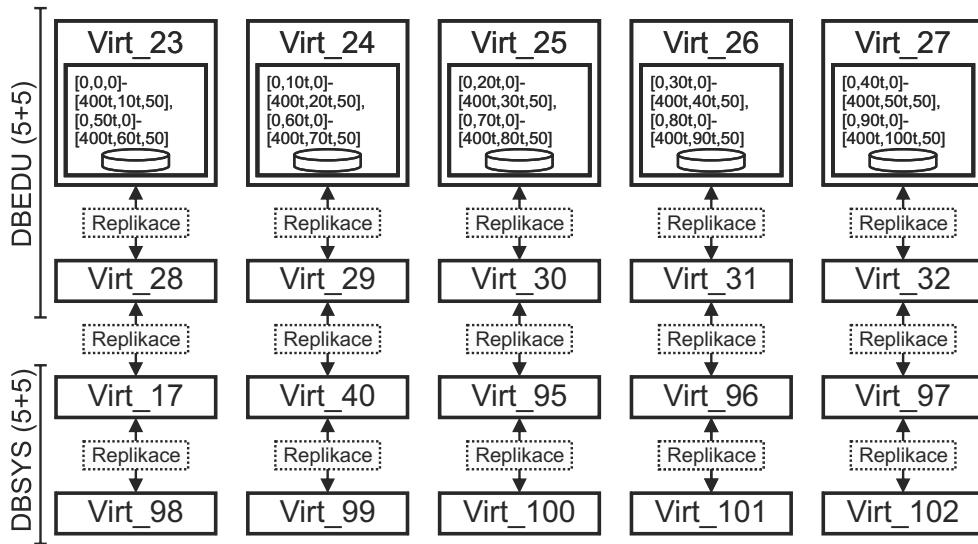
synchronizaci přístupu. Dynamickým vláknům byly potřebné prostředky předem zajištěny - alokovány.

- b) **Staticky** - statická vlákna lze naimplementovat snadněji a nemusíme přistupovat ke sdílené struktuře řízení, abychom zaznamenali ukončení vlákna a inicializovali uvolnění prostředků. Vlákna však neustále zatěžují procesor a alokují si neustále i potřebné zdroje. Nemalou výhodou u hromadného zpracování je okamžité zahájení zpracování ve vlákně bez čekání.

### Výhody a nevýhody obou přístupů:

- Dynamicky tvořená vlákna
  - Pokud není zapotřebí, nezatěžují procesor ani jiné zdroje.
  - Vhodné pro občasné funkce serveru požadující jedno vlákno.
  - Řízení více vláken vyžaduje více přístupů ke sdílené struktuře.
  - Tvorba a ukončení vlákna s alokací objektů a zdrojů vyžaduje čas.
- Staticky tvořená vlákna
  - Zpracování kódu ve vláknu není zpožděno vytvořením vlákna a potřebných prostředků.
  - Jednoduché a přehledné vytvoření i ukončení vláken.
  - Vhodné při mohutném a častém využití funkce serveru požadující více vláken i současně s důrazem na čas zpracování.
  - Vlákna od okamžiku vytvoření zatěžují procesor.

**Poznámka 6.2** Vytvoření vlákna zahrnuje alokaci prostředků pro vlákno, proto je vhodné pro dynamickou tvorbu vláken předem alokovat potřebné prostředky a následně je vzniklým vláknům poskytnout.



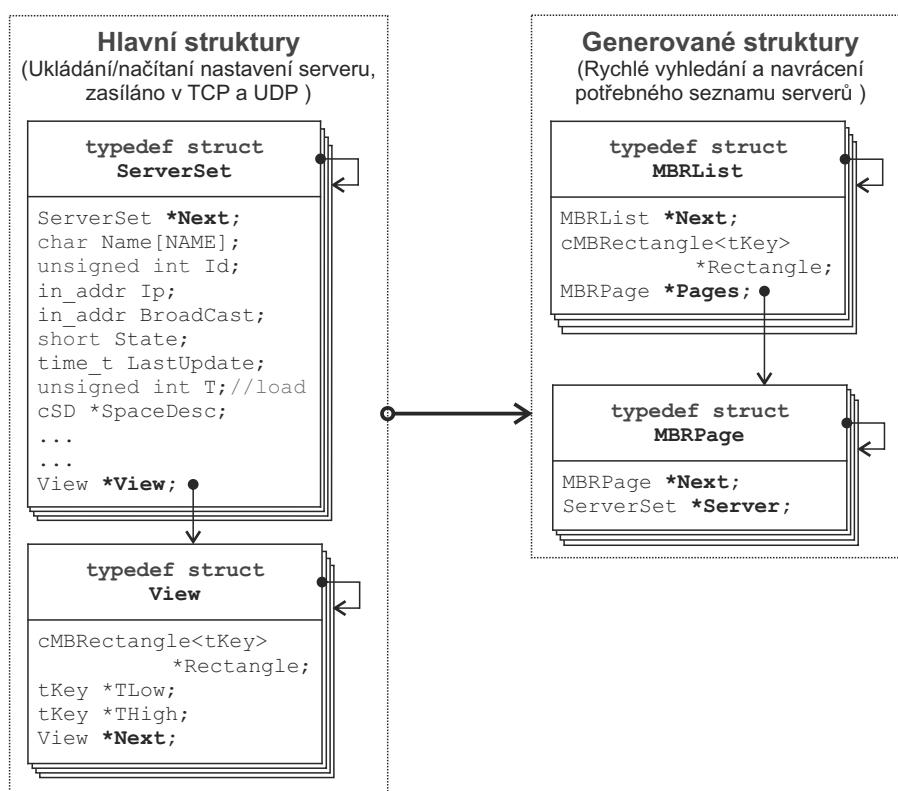
Obrázek 28: Rozložení databáze DOCWORD na 5-20 virt. serverů

### 6.2.3 Struktura pohledu

Byl převzat dynamický návrh klíče z implementace DS, viz kapitola 4.2. Využíváme serializovatelnou třídu `cSpaceDescriptor` pro popis datového typu a délky klíče. Následně je použita třída reprezentující v DS objekt *MBR*, viz definice 2.1, udržující dva klíče vzniklé na základě popisu objektem `cSpaceDescriptor`. Tím je zajištěna možnost použití různých klíčů, při zachování tříd s nimi pracujících beze změn.

Pohled na servery tvoří zřetězená struktura `ServerSet` se základními údaji o serveru (IP, jméno, zátěž...) s odkazem na další zřetězený seznam struktur `View` uchovávající informace o rozsahu klíčů na daném serveru.

Často se příkaz potřebuje přeposlat na určitou skupinu serverů. Pro efektivní hledání vznikly dvě další struktury. Tyto struktury vytváří jinak organizovaný přístup ke strukturám `ServerSet` a `View`.



Obrázek 29: Struktury uchovávající nastavení serverů a jejich pohled na okolí

Struktura `cMBRList` slouží jako seznam všech MBR, které jsou mezi servery uchovávány. Má odkaz na zřetězený seznam struktur `cMBRPage` obsahující odkaz na jednotlivé servery. Obě struktury jsou tvořeny pouze ukazateli na již existující informace. Propojení struktur a jejich částečný popis je na obrázku 29. Všechny čtyři struktury jsou společně

s příslušnými metodami k jejich obsluze implementovány ve třídě `cViewServerClient`. Ukázka rozložení rozsahu klíčů na jednotlivé servery je vidět na obrázku 28.

#### 6.2.4 Vyvažení zátěže

Použili jsme metodu vyvažující zátěž serveru zasláním podnětu klientovi o využití jiného serveru se stejnými záznamy [9]. Metodu lze samozřejmě použít jen v případě replikace dat dalším serverem.

Server  $S$  se zabývá vyvažováním až ve chvíli překročení hranice zátěže. Hranice je definována konstantou v kódu - `CONST_MIN_TRAFFIC` a zabraňuje započetí vyvažování zátěže při velmi nízkých hodnotách. Hranice byla nastavena na hodnotu 300. Podle testů maximálních spojení se serverem za 1s, viz kapitola 6.3.

Při překročení začne server kontrolovat ostatní servery  $S_{1+n}$  držící stejný klíč (stejný MBR). V případě nižší zátěže  $T_{S1+n}$  vypočítáme aktuální zatížení obou serverů:

$$\text{If } (T_{S1+n} > \text{CONST\_MIN\_TRAFFIC}) \text{ then } \frac{T_S + T_{S1+n}}{T_{S1+n}} > \text{BALANCE}$$

Prahová hodnota  $\text{BALANCE} = 2,3$  zajišťuje započetí vyvažování ve chvíli, kdy server  $T_{S1+n}$  má o 30% nižší zátěž než  $S$ . Například:  $T_S = 600$ ;  $T_{S1+n} = \{1\ 200; 720\}$

$$\text{If } (600 > 300) \text{ then } \frac{600 + 1\ 200}{600} = 3 > 2,3 \text{ (Ano)}$$

$$\text{If } (600 > 300) \text{ then } \frac{600 + 720}{600} = 2,2 > 2,3 \text{ (Ne)}$$

---

```

1  ServerConfig * cViewServerClient::GetUnLoadServer(char *Key) {
2      if(S->T > CONST_MIN_TRAFFIC){ //min size when use Balance
3          SCBest1 = S;
4          mbrP2 = GetMBRPage(Key);
5          while(mbrP2 != NULL){ //found server with minimal load
6              if(SCBest1 != mbrP2->S && mbrP2->S->State != SERVER_DOWN)
7                  if(SCBest1->T > mbrP2->S->T){
8                      dif = (SCBest1->T + mbrP2->S->T) / mbrP2->S->T;
9                      if(dif > BALANCE) //BALANCE = 2,5
10                         if(dif != rand()%(short)dif) //Balancing
11                             SCBest1 = mbrP2->S; //used
12                     }
13                     mbrP2 = mbrP2->Next;
14                 }
15                 if(SCBest1 != S){
16                     return SCBest1;
17                 }
18             }
19             return NULL;
20         }
```

---

Výpis 4: Navržená metoda vyvažující zátěž serveru

Jak je vidět z ukázkového příkladu 3, zašle se klientovi zpět odpověď s informací o serveru  $T_{S1+n}$ . Příští dotaz klienta na záznamy držené oběma servery bude směřovat právě na  $T_{S1+n}$ . Nevýhodou tohoto způsobu vyvažování je časový odstup, s jakým je informace o zátěži okolních serverů zasílána. Může tak nastat situace, kdy server  $S1 + n$  bude v mezičase aktualizace zátěže přes UDP zprávy zatížen více než  $S$ .

### 6.3 Síťová komunikace

Představíme-li si komunikaci dvou stran klient/server, pak je na obou stranách definován objekt Socket. Socket je definován IP adresou, číslem portu a použitým síťovým protokolem. Vytvoření Socketu vyžaduje další parametry určující jednotlivá nastavení spojení na síťové kartě. Na správné implementaci práce se sockety leží potenciál celé síťové komunikace. Implementace DDS počítala s využitím implementace třetí strany. Po testech několika knihoven jsme tuto možnost zavrhlí z následujících dvou důvodů.

- Rozsáhlé a dosti nesrozumitelné zdrojové kódy bez bližší dokumentace. Složitá manipulace a případné ladění chyb i výkonu [23].
- Druhým důvodem byla vize možnosti napsat *vlastní třídu/y* právě pro potřeby DDS a zajistit si maximální kontrolu nad nastavením socketu a jeho škálovatelnosti.

Po dlouhé době iteračního vývoje vznikla třída `cSocket`, která obsahuje metody pro práci se sockety protokolu TCP a UDP.

Počátky implementace vznikaly na konceptu komunikace s blokovaným spojením *BLOCKING*. Koncept se z důvodů vyčkávání (časových prodlev) a neustálých problémů při přenosu dat ukázal jako neefektivní. Při volání `connect()`, `send()`, `recv()` atpod. dochází k zamrznutí běhu a nemožnosti jej přerušit, dokud není spojení v příslušném stavu. Při volání `recv()` pro větší množství dat ( $> 64kB$ ) docházelo k předčasnemu ukončení přenosu. Došlo k chybě na jedné ze stran a data se nepřenesla korektně. Finální verze třídy řeší všechny tyto problémy. Využívá neblokované spojení - *NON-BLOCKING* s funkcí `select()` pro zjištění stavu navázaného spojení. Provádí se kontrola přenesených dat pomocí CRC, viz kapitola 6.3.4.

#### 6.3.1 Inicializace Winsock DLL

V implementaci je nutné pro možnost použítí socketu inicializovat knihovnu Winsock DLL (`Ws2_32.dll`) pro daný proces, viz výpis 5. Knihovna se vyskytuje v několika verzích. V implementaci využíváme nejnovější verzi 2.2. Samotná inicializace probíhá příkazem `WSAStartup()`. Po ukončení práce se sockety, případně chybné inicializaci je nutné zavolat opačnou metodu `WSACleanup()`. V rámci aplikace stačí volat inicializaci/ukončení pouze jednou. Proto jsou obě metody ukryty v konstruktoru a destruktoru třídy.

---

```

1 bool cmSocket::initWSADLL(void)
2 {
3     WORD wVersionRequested = MAKEWORD(2, 2); // Verze

```

```
4 WSADATA data; // struktura s informacemi o knihovně lib
5
6 if (WSAStartup(wVersionRequested, &data) != 0)
7 {
8     cerr << "WSAStartup(Socket) inicialization failed." << endl;
9     return false;
10 }
11
12 // byla nalezena použitelná knihovna Winsock DLL?
13 if (LOBYTE(data.wVersion) != 2 || HIBYTE(data.wVersion) != 2)
14 {
15     cerr << "Could not find a Winsock.dll" << endl;
16     WSACleanup();
17     return false;
18 }
19 return true;
20 }
```

---

Výpis 5: Ukázka inicializace knihovny Winsock

### 6.3.2 Implementované sockety

V implementaci vznikly metody pro inicializaci a použití následujících socketů v protokolech:

- **Protokol TCP**

- pro poslech serveru na IP adresu a portu
- pro akceptování spojení (klient navázal spojení)
- pro spojení klienta/serveru se serverem

- **Protokol UDP**

- pro poslech serveru na IP adresu (Broadcast)
- pro zasílání UDP paketů na IP adresu (Broadcast)

### 6.3.3 Nastavení socketů

Každá komunikace přes sockety potřebuje specifické nastavení pro správnou funkčnost. Při řešení problémů a maximalizaci výkonu jsme postupně odhalili následující nastavení socketů.

- **FIONBIO** - přepnutí socketu na neblokováný režim z počátečního blokovaného. Nutno použít při inicializaci naslouchání serveru na určité IP adresu a portu.
- **SO\_LINGER** - nastavení prodlevy mezi voláním `closesocket()` a ukončením/uvolněním socketů. Nutno nastavit u testovacích klientů, aby nevyčerpali všechny adresy portu během testů, viz kapitola 6.4.3.

- **SO\_BROADCAST** - nastavení UDP socketu pro odesílání zpráv broadcast.
- **SO\_REUSEADDR** - nastavení pro možné okamžité znovupoužití určité IP adresy a portu. Nutno nastavit při inicializaci naslouchání serveru pro případ výpadku serveru a nutnosti rychlé znova inicializace poslechu na stejně adresu a portu.
- **TCP\_NODELAY** - nastavení pro vypnutí algoritmu Nagle na paměti socketu. Vypnutím nedochází k prodlevě při zasílání dat < 1260 B. Buffer se okamžitě vyprazdňuje odesláním dat a nečeká se na plné naplnění rámce.

Pro pohodlné nastavení jednotlivých parametrů socketu a odchycení případných chyb vznikly statické metody, viz výpis 6.

---

```

1 bool cmSocket::setSocketTCPNoDelay(SOCKET *socket) {
2     short iResult;
3     int set = 1;
4     iResult = setsockopt(*socket, IPPROTO_TCP, TCP_NODELAY, (char *)&set,
5                           sizeof(int));
6     if (iResult == SOCKET_ERROR) {
7         cerr<<"cmSocket::setSocketTCPNoDelay:Setsockopt for TCP_NODELAY failed.
8             "<<endl;
9     }
10    return true;
11 }
```

---

Výpis 6: Ukázka nastavení parametru TCP\_NODELAY socketu

### 6.3.4 Kontrola CRC

Cyklický redundantní součet je metoda k detekci chyb během přenosu zprávy. CRC kód v hlavičce zprávy je implementován ve třídě `cFrame`, z níž zprávy dědí. Potomci třídy, `cCommand` a `cResultSet` pak obsahují kontrolní hodnotu. Po příjetí celé zprávy je hodnota hash spočítána a zkонтrolována s hash hodnotou obsaženou ve zprávě. Tím je zajištěn přenos proti možné chybě v důsledku selhání přenosové techniky. Třída `CRCHash.h` [24] s metodou výpočtu byla dodána se zdrojovými kódy databáze.

### 6.3.5 Testování propustnosti

Na serveru byly zprávy zkontovaly pomocí metody `CheckCRCHash()` a následně zaslána odpověď o správnosti doručení. Všech vláken na serveru bylo využito ve chvíli, kdy přenos dat na/ze serveru zaměstnal postupně všechna vlákna dřív, než se mohlo některé uvolnit. Sledovat, kdy k tomuto jevu dojde, nebylo možné. Statistika využití vláken proto chybí, avšak testy jsou provedeny pro konfiguraci serveru s 8, 12, 16 a 32 vlákny.

### 6.3.6 Průběh přenosu

Data se po síti zasílají rozdelené do jednotlivých framů/rámců a jeden obsahuje maximálně 1 260 bajtů. Velikost rámců na síťové vrstvě je dána technologií přenosu - Ethernet (MTU = 1 500B).

Hodnota MTU je nastavena v systému a lze ji změnit na tzv. *Jumbo rámec*. Velikost Jumbo rámce je maximálně 9 000 bajtů užitečných dat. Změna však přináší mnoho problémů v rámci nastavení u klienta a přenosu. Větší velikost MTU nemusí podporovat některý síťový prvek a dojde k fragmentaci rámce na menší nebo k zahození komunikace.

Kontrola komunikace na transportní vrstvě proběhla pomocí programu Wireshark [25]. Po zaslání rámce s daty následuje potvrzení [ACK], rozdelení dat po 1 260 B je rozhodující u velkého počtu spojení se soubory do 14 kB. Je zde již zanedbatelná hranice, zda pošlu 11 x 1 260 B nebo vícekrát. Zrychlení a využití přenosového média při právě jednom framu, lze postřehnout v grafu přenosu/s. Zde na křivce testu C1xS1 je efektivněji přeneseno 1 260 B, než 1,5 kB. Data 1,5 kB si vyžádají místo jednoho framu s daty [PSH] a potvrzením [ACK] hned dvojnásobek.

Lze navrhnout následující vzorec pro výpočet celkových nákladů na spojení a přenesená data:

$$[\text{SYN}]192\text{B} + [\mathbf{M} + \lceil \mathbf{M}/1260 \rceil * 2 * [\text{ACK}]54\text{B}] + [\mathbf{N} + \lceil \mathbf{N}/1260 \rceil * 2 * [\text{ACK}]54\text{B}] + [\text{FIN}]174\text{B} \quad (2)$$

Kde  $M$  představuje velikost zaslaných dat a  $N$  velikost dat přijatých. Výsledek použití tohoto vzorce a nastínění nákladů na přenos je v grafu 32 a 33. Testy vedly k následujícím doporučením pro jedno a vícevláknový server.

**Poznámka 6.3** Velikost rámce na 1 GBit lince je shodná s FastEthernet linkou, u obou je použita technologie Ethernet.

### 6.3.7 Jedno vláknový server

Server s jedním vlákнем pro vyřízení navázaných spojení bude procesor v době nečinnosti zatěžovat nejméně. Pouze jedno vlákno vyčkává a dotazuje se, zda není spojení čekající ve frontě v rámci poslechu na IP adresu a portu.

Nemusíme řešit případnou synchronizaci a zamykání objektů, např.: databáze, aby byla zajištěna integrita dat. V době vývoje neměly použité DS implementován zámek pro výcevláknový přístup. Spojení čekají v řadě za sebou a jsou vyřízeny postupně (sekvencičně). Vlákno při zpracování příkazu, mezi přijetím a odesláním odpovědi necházá síťové médium nevyužité a *klesá propustnost*.

- Doporučení pro dosažení maximálních hodnot 90-100 %
  - Maximální počet spojení za sekundu
    - \* data do velikosti 2 kB (2 rámce po 1 260 B)
  - Maximální vytížení sítě
    - \* data od 192 kB

### 6.3.8 Více vláknový server

Server s  $n > 1$  vlákny bude zatěžovat procesor postupným dotazováním jednotlivých vláken, zda nečeká ve frontě neobslužené spojení. Vytvářet vlákna dynamicky podle zátěže i s jejich prostředky (alokace paměti, objekty apod.) by bylo časově náročné. Musíme řešit případnou synchronizaci a zamykání objektů (databáze), aby byla zajištěna integrita dat. Pro zamykání objektů je použit Mutex, který dovoluje v jednu chvíli práci pouze jednomu vláknu s daným zdrojem.

Vlákna jsou časově omezena pouze ve chvíli, kdy se pokouší přistoupit k společným prostředkům, tím však není spojení s klientem. Musí se pouze podělit o šířku přenosového média sítě (propustnost média roste).

- Doporučení pro dosažení maximálních hodnot 90-100 %
  - Maximální počet spojení za sekundu
    - \* Server s 8 až 16 vlákny
    - \* Přenášená data do 2 kB (2 rámce po 1260 B)
  - Maximální propustnosť sítě
    - \* Server s 8 a více vláknym
    - \* Přenášená data od 8 kB výše

### 6.3.9 Test síťového prostředí

Prostředí sítě bylo testováno pomocí programu Tamosoft Troughput Test, záznam výsledků je v tabulce 2. Testy se váží na síť tvořenou dvěma PC propojenými switchem s Fast Ethernetem 10/100 Mbps. Maximální propustnost sítě podle testu dosáhla 98,64 Mbps (12,33 MB/s). Naše nejvyšší přenosová hodnota byla 11,199 MB/s. Rozdíl v hodnotách je dán přibližně 7,9 %, což jsou nejnižší náklady na přenos dat. Naše celková maximální propustnost v testech činila 12,089 MB/s.

| TCP                               | UDP   |
|-----------------------------------|---|
| TCP Up: 98,64 Mbps (Ave: 98,93)   | UDP Up: 0,00 Mbps (Ave: 0,00), Loss: 0,0%   |
| TCP Down: 92,36 Mbps (Ave: 91,30) | UDP Down: 0,00 Mbps (Ave: 0,00), Loss: 0,0% |

Round-trip time(ping): 0,7 ms

Tabulka 2: Výsledky testu síťového prostředí

## 6.4 Problémy implementace

Během vývoje aplikace a následných testů se objevilo několik problémů, se kterými se při dalším rozvoji této práce můžeme setkat. Jedná se o problémy spojené s alokací paměti, synchronizací, chováním serverů a testovacím prostředím.

#### 6.4.1 Alokace paměti

Vlastní dynamická alokace paměti za pomocí operátorů `new` a `delete` přináší problémy a rizika s možným neuvolněním paměti, ztrátou odkazu na hodnotu. To vše po určitém čase běhu aplikace vede k nárůstu a možnému zahlcení operační paměti.

Při prvotním testování vkládání 100 000 záznamů v cyklu, aplikace vyvolala systémovou chybu *memory leak* a byla ukončena. Díky neuvolnění cca 60 000 objektů třídy `myPacket`. Ty postupně alokovaly veškerou dostupnou operační paměť. Mezi operátory je nutné hledat i možné podmínky či výstupy z bloku kódu, které by mohly vést k přeskočení příkazu uvolnění paměti `delete`. Alokace paměti ve chvíli, kdy je potřebná, a následné okamžité zahození je časově náročné.

Řešením je alokovat paměť pro jednotlivé operace a objekty hned při spuštění aplikace a uvolnit ji až při ukončení. Pro zjištění možné chyby neuvolnění paměti je vhodné sledovat stav paměti aplikace za pomoci např. Správce úloh (*Task Manager*) nebo jiné aplikace pro správu systémových prostředků.

#### 6.4.2 Sítové prostředí

Testování v neznámém sítovém prostředí jako je například školní síť je nesnadné. Dostupnosti aplikace na použitých portech mohou bránit kromě firewalů na serverech také aktivní prvky v síti. Aktivními prvky myslíme směrovače a přepínače, na kterých lze aktivovat a nastavit bezpečnostní politiky a pravidla.

Při prvotním testování byla aplikace nahrána na server `dbedu.vsb.cz` a povoleny porty TCP/UDP. Simulace klientů na `dbedu.vsb.cz` zasílala data na druhý server umístěný fyzicky mimo školní síť a připojený pomocí VPN. Server replikoval data od klientů zpět na server `dbedu.vsb.cz`. Po určitém počtu odeslaných dat (30-80 tisíc spojení TCP) došlo k nedostupnosti serveru či pádu VPN tunelu do školní sítě.

| Příkaz                | Parametr                      | Význam  |
|-----------------------|-------------------------------|---|
| <code>netstat</code>  | <code>-an</code>              | Výpis všech aktivních (resp. navázaných) sítových spojení na TCP a UDP portech. IP adresy a čísla portů jsou vyjádřeny číselně.         |
| <code>ipconfig</code> | <code>-all</code>             | Výpis sítového nastavení všech existujících sítových adaptérů a připojení.  |
| <code>tracert</code>  | <code>&lt;IPadresa&gt;</code> | Zjištění cesty mezi aktuální stanicí a cílem. Vhodné pro zjištění cesty paketu a možných aktivních zařízení na cestě.                   |
| <code>ping</code>     | <code>&lt;IPadresa&gt;</code> | Zjištění dostupnosti serveru či jiného zařízení na síti. Příkaz ping může být na některých zařízeních blokován z bezpečnostních důvodů. |

Tabulka 3: Příkazy pro zjištění stavu sítového prostředí

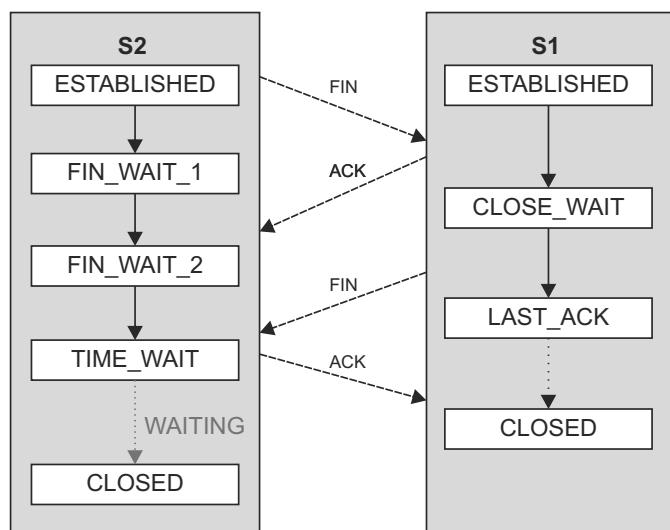
Řešením během testování aplikace na platformě Windows je využít příkazový řádek pro zjištění nezbytných informací o stavu sítové komunikace. Můžeme detektovat zablokování portů, naslouchání serveru na příslušných portech TCP a UDP. Pro zjištění příčin

pádu či občasného selhání komunikace lze využít nástroj Wireshark [25]. S jeho pomocí lze zachytit rámce komunikace a podrobit je analýze.

**Poznámka 6.4** Testování aplikace by mělo probíhat na předem známém síťovém prostředí.

#### 6.4.3 Dočasná nedostupnost

Při větším přeposílání příkazů (např.: proces replikace záznamů) serverem  $S_1$  na server  $S_2$  došlo k dočasné nedostupnosti  $S_2$  na portu 40 001. Problém zapříčinil koncept ukončení TCP spojení a chování síťové karty.



Obrázek 30: Navázání spojení mezi servery  $S_1$  a  $S_2$

Pro možné znovunavázání spojení přejde na určitou dobu stav spojení (session) na serveru  $S_1$  do stavu  $TIME\_WAIT$ . Standardně je nastavena tato doba až na 2 minuty, po které, i přes příznak  $FIN$  - ukončení ze strany  $S_1$ , síťová karta  $S_2$  vyčkává. Vyčkává na možné znovuspojení ze strany  $S_1$ . Při přijetí žádosti o navázání TCP spojení, přiřadí karta unikátní číslo pro dané spojení ze svého rozsahu. Pokud je rozsah vyčerpán mohou nastat tyto dvě situace:

- karta ukončí poslední spojení ve stavu  $TIME\_WAIT$  a založí na tomto portu nové spojení.
- spojení zamítne do doby, než se uvolní některé předchozí spojení.

První spojení klientů s příkazy na síťovou kartu  $S_2$  vyčerpali rozsah  $2^{16} = 65\,535$  portů a další spojení se již nevytvořila. U karty virtuálního stroje může být maximální počet spojení nižší, v našem případě pouze 5 000 spojení (portů). Jak aktivně ukončit spojení na obou stranách TCP a přimět síťovou kartu k navázání spojení v situaci na obrázku 30?

---

```

1 struct linger so_linger;
2 so_linger.l_onoff = TRUE;//use defined time
3 so_linger.l_linger = 0;//time in sec
4 iResult = setsockopt(mainSocket, SOL_SOCKET, SO_LINGER, (char *) &so_linger
, sizeof(so_linger));
5 if (iResult == SOCKET_ERROR) {
6   cout<<"Setsockopt for SO_LINGER failed with error: "<< WSAGetLastError()
      <<endl;
7 }

```

---

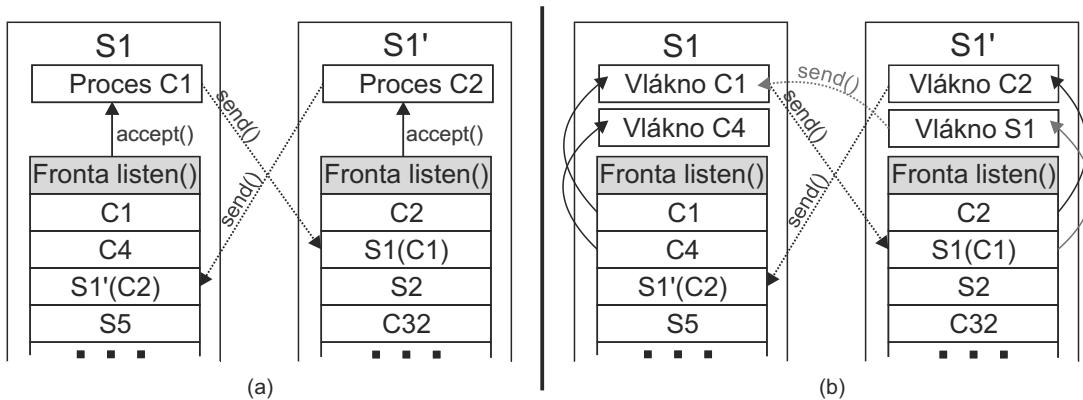
Výpis 7: Úprava parametru SO\_LINGER socketu

Řešením je dodatečně socketu při inicializaci nadefinovat tzv. „HARD“ ukončení pomocí metody `setsockopt()` [19]. Spojení nepřejde při volání `closesocket(int socket)` do stavu *TIME\_WAIT*, ale bude čekat námi definovanou dobu. Pokud je tato doba  $t = 0$ , je při volání ukončení spojení ukončeno a přejde ihned do stavu *CLOSED*. Metoda pro nastavení socketu je ve výpisu kódu 7.

**Poznámka 6.5** Po přidání kódu upravujícího dobu uvolnění spojení se mnohonásobně zrychlila komunikace a uvolnění portu pro další spojení.

#### 6.4.4 Blokování serverů

Testování serverů s nastavením replikace dat může mít za následek postupné zablokování serverů v důsledku čekání na odpověď druhého serveru. Pokud je server pouze jedno vláknová aplikace, vyřizuje jednotlivé požadavky na port 40 001 postupně čtením z fronty pomocí `recv()`. Jak je vidět na obrázku 31 (a), mohou se dva servery navzájem dostat do stavu, kdy oba čekají jeden na druhého. Situace je podmíněna replikací příkazu mezi těmito servery. Nejhorším následkem této situace je ovlivnění celé struktury serverů a jejich lavinové zablokování.



Obrázek 31: Zablokování serverů a možné řešení situace

**Poznámka 6.6** Při replikaci dat mezi servery nelze použít server naimplementovaný jako jednovláknová aplikace z důvodu zablokování procesu serverů.

Ostatní servery se nemusí zúčastnit přímo zablokování, ale zastaví se postupně ve frontě těchto serverů. Zablokování se poté šíří s jednotlivými dotazy mezi servery. Existují dvě řešení této situace:

- Omezení doby čekání na odpověď serverů při replikaci dat a opakování transakce. Došlo by tak z některé strany k uvolnění fronty a vyřízení čekajících spojení. Velkou nevýhodou je přílišné zpomalení odezvy serveru a opakování dotazů.
- Použití vícevláknové aplikace serveru. Jednotlivá vlákna zpracují z fronty postupně požadavky i za zablokovaným spojením a následně odblokují vlákno druhého serveru.

Vhodnějším řešením je samozřejmě více vláknová aplikace. Řešení je ilustrováno na obrázku 31 (b), kde server  $S1'$  odblokuje zpracováním požadavku  $S1(C1)$  z fronty vlákno  $S1$ .

#### 6.4.5 Synchronizace přístupu

Při implementaci se z důvodu uvedeného v předešlé kapitole 6.4.4, muselo zpracování příkazů přesunout do vláken. Jednotlivá vlákna však nemohou pracovat současně s objekty bez řízení přístupu. Pro synchronizaci byly implementovány zámky nad objekty a strukturami.

```

1 //when init object must create Mutex
2 HANDLE HMutex = CreateMutex(NULL, false, NULL);
3 //destructor~
4 CloseHandle(HMutex);
5 //lock or wait for work with object
6 void myDatabase::Lock(void) {
7     DWORD WaitMutex;
8     do {
9         WaitMutex = WaitForSingleObject(this->HMutex, INFINITE);
10        if (WaitMutex == WAIT_OBJECT_0)
11        {
12            break; //take lock, can work with object, data, struct...
13        } else
14            continue; //back to wait
15    } while(true);
16 }
17 //release and unlock object for other waiting thread
18 void myDatabase::UnLock(void) {
19    if (!ReleaseMutex(this->HMutex))
20        cerr<<"Can't release mutex in object myDatabase."<<endl;
21 }
```

Výpis 8: Ukázka uzamknutí objektu pro přístup ve vláknech

Zámek je nutné použít i při drobných operacích se sdílenými daty, jako je například pouhá inkrementace proměnné. Před zavedením zámku u sdíleného objektu `cLog` pro statistiky docházelo k nepřesným výsledkům. Důvodem byla inkrementace proměnné v jeden okamžik dvěma a více vlákny - klienty. Zámky k objektům a strukturám vytváříme za pomocí třídy `Mutex`. Mutex může v jednu chvíli „vlastnit“ pouze jedno vlákno. Před prací se sdíleným objektem je nutné získat zámek objektu funkcí `Lock()`. Po ukončení práce s objektem je příslušný Mutex uvolněn pomocí `UnLock()`. Kód synchronizace přístupu je na výpisu kódu 8.

Nevýhodou zamykaní pomocí Mutexu je zacyklení ostatních vláken volajících `Lock()` na stejný objekt. Vyčkávající vlákna zatěžují procesor neustálým dotazováním o získání zámku pro sebe. Řešení za pomoci uspání těchto vláken příkazem `Sleep(1)` na 1 ms čas uvolnění zámků pouze zhoršil. Pokud vlákno po dokončení své práce nezpřístupní objekt, dojde k nekonečnému čekání všech vláken a zamrznutí aplikace.

Možnou variantou, jak se těmto problémům vyhnout, by bylo zavedení kritických sekcí *CriticalSection* [22] místo zámků. Otázkou je, jaký vliv by byl na efektivnost aplikace.

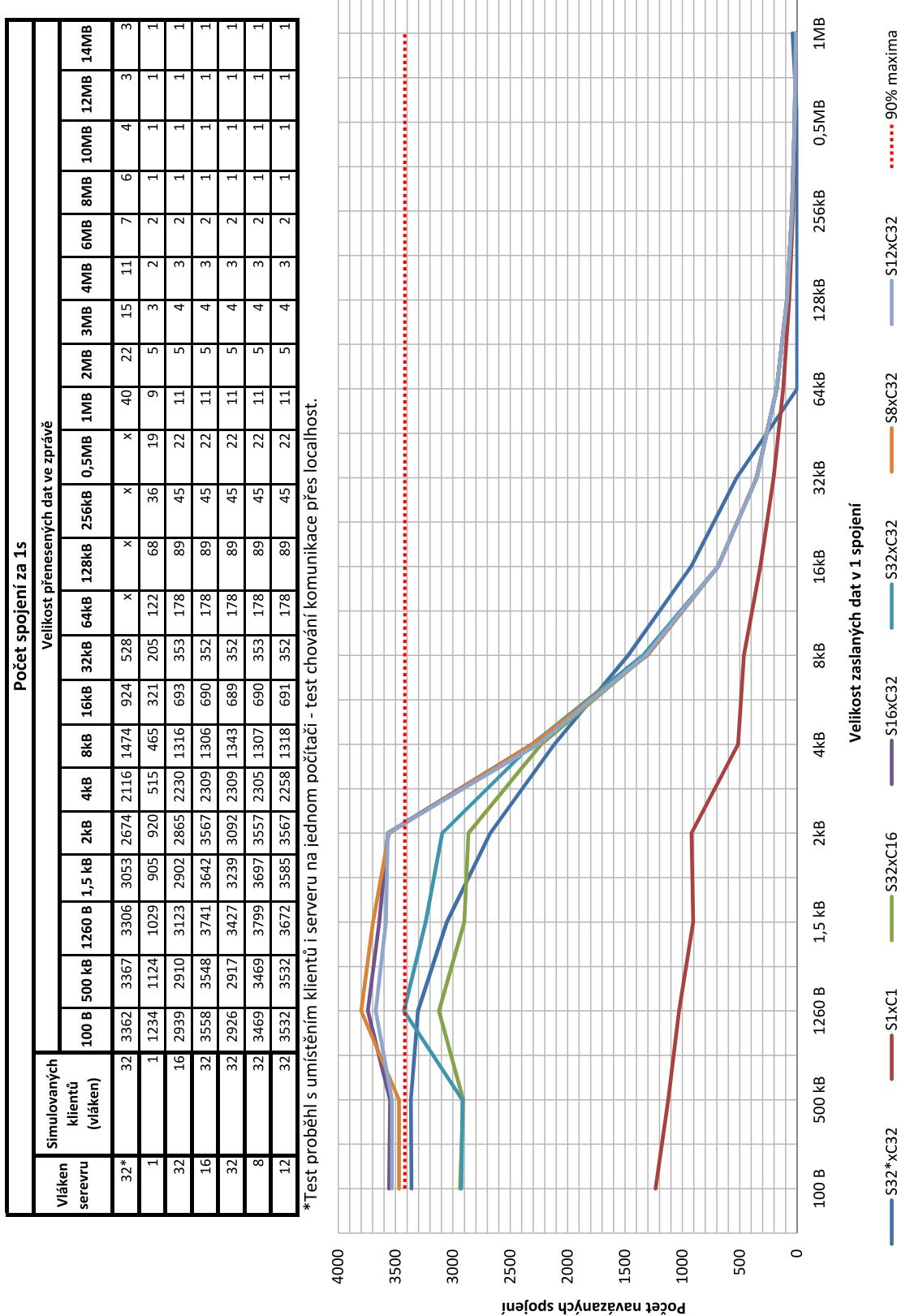
**Poznámka 6.7** Bez synchronizace přístupu nelze garantovat konzistenci dat.

#### 6.4.6 Metered Section

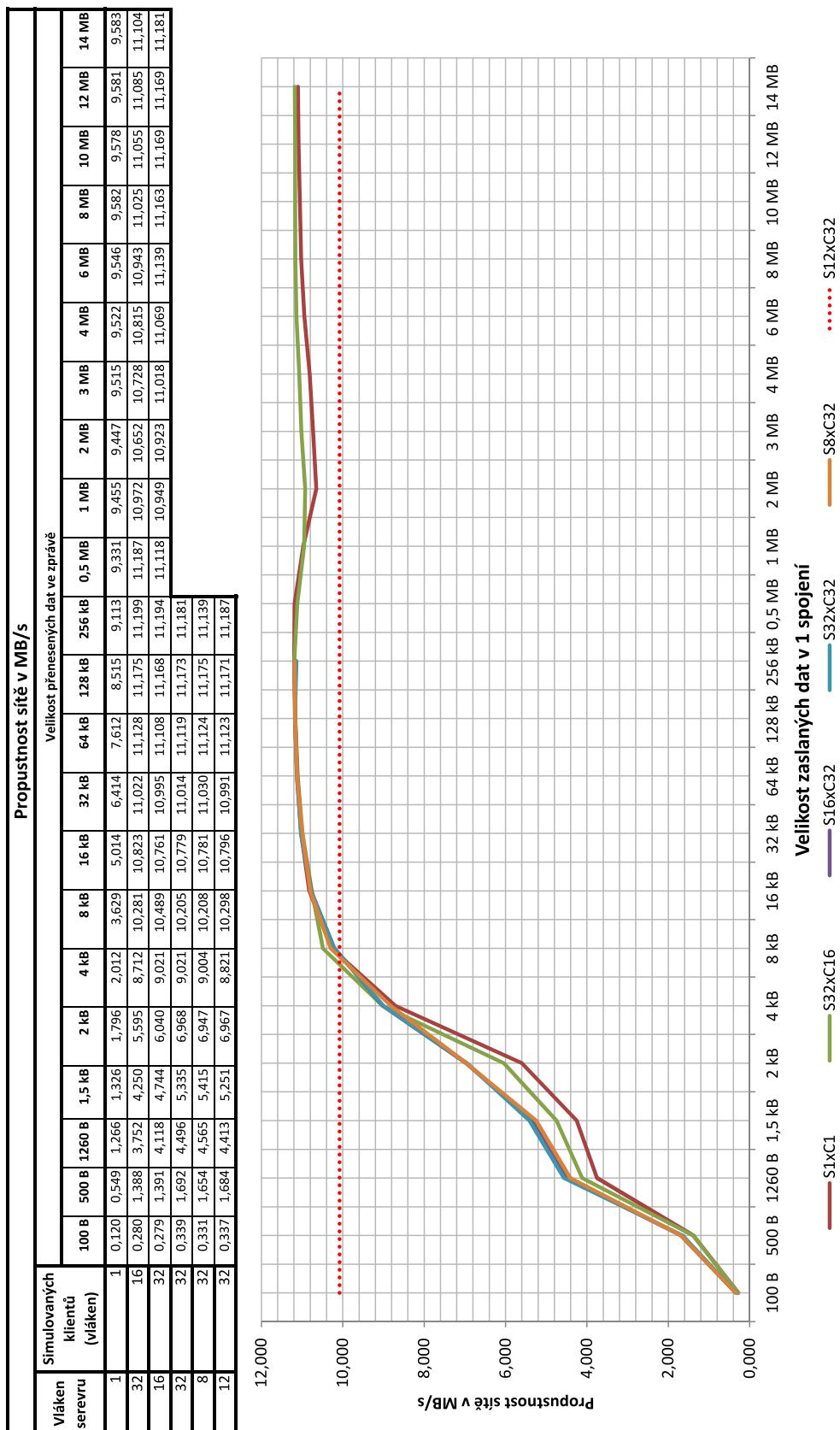
Během testování se vyskytl požadavek na vyzkoušení implementace zámků zvanou *MeteredSection* [22] k nahrazení Mutexu. Tento nástroj je založen na kritických sekcích a rozšiřuje jeho vlastnosti o počty zdrojů (podobně jako nástroj *Semaphore*).

Pro test vznikly dvě verze aplikace serveru využívající každý jiný nástroj. Synchronizovaly se struktury pro vlákna, databáze a pohled. Výsledky pro 1 tis. bodových dotazů na server klienty dopadlo pro Mutex = 0,355 s a Metered Section = 0,535 s. Zhoršení u Metered Section se pohybovalo podobně i u vkládání a to o 50 %. Z těchto důvodů se od použití Metered Section dále upustilo.

**Poznámka 6.8** Výsledky testů synchronizace mohly vzniknout špatnou implementací, případně nevhodným použitím nástroje *MeteredSection*.



Obrázek 32: Tabulka a graf počtu spojení/s

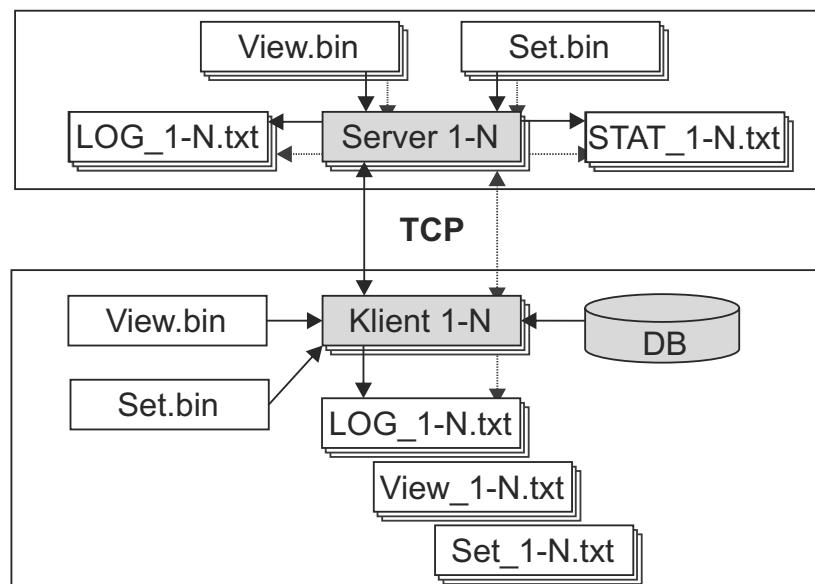


Obrázek 33: Tabulka a graf propustnosti přenosu/s

## 7 Testování

V této kapitole popisujeme jednotlivé testy provedené s první aplikací DDS v1.0 a finální verzí 2.0 na fyzických a virtuálních serverech, dále jen uzly. Nastavení průběhu testu se postupně mění s rostoucím prostředím (počtem uzlů). Pro možnost srovnání jednotlivých výsledků testů se nastavení aplikace neměnilo.

Testy se pokouší poukázat na výhody a nevýhody vyplývající z distribuce a paralelizace záznamů. Rozložení hardwarových prostředků na jednotlivé uzly hraje roli v rámci cennové dostupnosti. Nechceme prověřit pouze funkčnost aplikace, ale nastínit počet uzlů potřebný k dosažení vlastností aplikace srovnatelné s *embedded* řešením. Nabízí se testy s požadavkem zajištění dostupnosti přístupu k datům v případě selhání některého z uzlů.



Obrázek 34: Základní schéma testovaní

### 7.1 Prostředí testů

Pro testy byly použity servery DBEDU, DBSYS a EPE. Na prvních dvou vznikly postupně virtuální stroje, dále jen uzly, dostupné přes vzdálenou plochu. Testování probíhalo vzdáleně s připojením do školní sítě pomocí VPN tunelu. Na každý virtuální server připadla dvě vlákna procesoru. Fyzické servery DBEDU, DBSYS a spojuje 100 Mbit switch. Sítové karty na virtuálních serverech jsou nastaveny na 10 Gbit.

V testech je použita datová kolekce DOCWORD s 18 mil. záznamy. Každý záznam je tvořen 3-dimenziorním klíčem. Rozložení kolekce mezi skupinu 5-ti aplikací DDS je popsáno v tabulce 4.

| Statistika DS B-strom               |           |                            |           |           |           |
|-------------------------------------|-----------|----------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Výška stromu                        | 3         | Vnitřní kapacita           | 127       |           |           |
| <b>Velikost položky v listu [B]</b> | 17        | <b>Velikost indexu [B]</b> | 16        |           |           |
| <b>Kapacita listu</b>               | 119       |                            |           |           |           |
|                                     | Virt.23   | Virt.24                    | Virt.25   | Virt.26   | Virt.27   |
| <b>Celkem položek</b>               | 3 164 263 | 4 308 321                  | 4 031 521 | 3 969 741 | 2 830 899 |
| <b>Celkem uzlů</b>                  | 53 501    | 72 846                     | 68 166    | 67 120    | 47 863    |
| Statistika DS R-strom               |           |                            |           |           |           |
| Výška stromu                        | 3         | Vnitřní kapacita           | 72        |           |           |
| <b>Velikost položky v listu [B]</b> | 17        | <b>Velikost indexu [B]</b> | 28        |           |           |
| <b>Kapacita listu</b>               | 119       |                            |           |           |           |
|                                     | Virt.23   | Virt.24                    | Virt.25   | Virt.26   | Virt.27   |
| <b>Celkem položek</b>               | 3 285 884 | 4 483 584                  | 4 180 658 | 4 127 739 | 2 940 694 |
| <b>Celkem uzlů</b>                  | 96 964    | 134 021                    | 121 375   | 122 884   | 86 839    |

Tabulka 4: DDS v2.0 - Statistika kolekce DOCWORD mezi skupinou uzlů

## 7.2 Distribuovaný SŘBD

V testech se zpočátku objevuje pro srovnání i první implementace aplikace označená DDS v1.0. Následně se testy zaměřují pouze na výslednou aplikaci DDS v2.0. Použít 32 vláken pro obsluhu spojení na jednom uzlu bylo zvoleno po testech s 15-ti uzly. Kdy při testech docházelo k zablokování jednoho z uzlů a následně kaskádovému zablokování všech ostatních. Doporučení získané z TCP testů třídy `cSocket` a uvedené ve zprávě `TCP_Report`, použít pro maximální propustnost vícevláknového serveru pouze 8 vláken, nebylo možné.

**Poznámka 7.1** Není známo, jak virtuální uzly zprostředkovávají předávání dat mezi virt. síťovými kartami a jaká jsou omezení fyzické síťové karty.

## 7.3 Klienti

Vytížit jednotlivé uzly nelze aplikací simulující jednoho klienta. Vznikla třída `cTester-Clients` simulující chování více klientů s jedním či více zdroji testovacích dat. Třída vytvoří až 32 vláken představujících jednotlivé klienty. Nastavení a základní pohled si klienti načítají z předem připravených souborů. Vytváří si postupně svůj vlastní pohled na DDS a ukládají si průběh testu do log souborů. Jedna aplikace (32 klientů) se ukázala na dostatečné zatížení nedostatečná, při testech se příkročilo k simulaci až 256 klientů z více aplikací a počítačů.

| Název    | Operační systém       | Procesor   | RAM    | IP adresa       |
|----------|-----------------------|--|--------|-----------------|
| EPE      | WinServer 2003 SP2    | XEON E5430 2.66 GHz                                      | 8 GB   | 158.196.128.112 |
| DBEDU    | WinServer 2008 R2 SP1 | 2 x XEON X5670 2.93 GHz<br>(6 jader + Hyper-threading)   | 96 GB  | 158.196.141.66  |
| Virt_23  |                       |  |        | 158.196.98.23   |
| Virt_24  |                       |  |        | 158.196.98.24   |
| Virt_25  |                       |  |        | 158.196.98.25   |
| Virt_26  |                       |  |        | 158.196.98.26   |
| Virt_27  |                       |  |        | 158.196.98.27   |
| Virt_28  | WinServer 2003 SP2    | 2 vlákna   | 2 GB   | 158.196.98.28   |
| Virt_29  |                       |  |        | 158.196.98.29   |
| Virt_30  |                       |  |        | 158.196.98.30   |
| Virt_31  |                       |  |        | 158.196.98.31   |
| Virt_32  |                       |  |        | 158.196.98.32   |
| DBSYS    | WinServer 2008 R2 SP1 | 2 x XEON E5-2690 2.90 GHz<br>(8 jader + Hyper-threading) | 288 GB | 158.196.141.12  |
| Virt_17  |                       |  |        | 158.196.98.17   |
| Virt_40  |                       |  |        | 158.196.98.40   |
| Virt_95  |                       |  |        | 158.196.98.95   |
| Virt_96  |                       |  |        | 158.196.98.96   |
| Virt_97  |                       |  |        | 158.196.98.97   |
| Virt_98  | WinServer 2008 R2 SP1 | 2 vlákna   | 2 GB   | 158.196.98.98   |
| Virt_99  |                       |  |        | 158.196.98.99   |
| Virt_100 |                       |  |        | 158.196.98.100  |
| Virt_101 |                       |  |        | 158.196.98.101  |
| Virt_102 |                       |  |        | 158.196.98.102  |

Tabulka 5: Popis dostupného hardwarového vybavení a rozmístění virtuálních uzlů

### 7.3.1 Umístění klientů

Při testu bodových dotazů nad DBEDU a jeho virt. uzly se ukázal problém s umístěním klientů. Jak je zaznamenáno v tabulce 38, neprojevily se předpokládané vlastnosti DDS, a to zvýšení propustnosti. Naopak se propustnost snížila, špatně výsledky testů lze přisoudit zatížení serveru DBEDU a DBSYS 20-ti virt. uzly a zároveň aplikacím simulující klienty. Změnou umístění klientů na server EPE jsme dosáhli předpokládaného zvětšení propustnosti. V testech se klienti simulovali na fyzických umístěních podle tabulky 6. Bohužel nebylo vždy možné oddělit klienty od DDS, aby nedocházelo k ovlivnění výkonu vinou sdílených hardwarových prostředků.

**Poznámka 7.2** Rozdíl v umístění klientů je zřetelný při porovnání tabulky 37 a 38.

| Klientů | Umístění            | Uzlů    | Umístění                  |
|---------|---------------------|---------|---------------------------|
| 4 x 32  | DBSYS (4)           | 5 - 10  | DBEDU (5-10)              |
| 4 x 32  | EPE (4)             | 15 - 20 | DBEDU (10) + DBSYS (5-10) |
| 8 x 32  | DBSYS (8)           | 5 - 10  | DBEDU (5-10)              |
| 8 x 32  | DBSYS (4) + EPE (4) | 15 - 20 | DBEDU (10) - DBSYS (5-10) |

Tabulka 6: Umístění klientů při testech

## 7.4 Pravidla a záznam testů

Při testech se zapisovaly výsledky z log souborů a výpisů aplikací. Znázornění průběhu testu a vzniklých souborů je na obrázku 34. Pro větší přesnost jsme prováděli 3 měření pro jednotlivé sestavy uzlů a dotazy. V tabulkách testů je uveden průměr testů a podrobný záznam hodnot testu na jednotlivých uzlech. Po testu se aplikace na uzlech vždy ukončila a zapsaly se výsledky z log souborů. Před spuštěním testu je přítomen pouze soubor se základním nastavením serveru. Obsahuje IP adresu a další nastavení uzlu s udržovanou DS. Testovací klienti mají na počátku testu vždy pohled pouze na jeden z uzlů DDS. Ze záznamu testů lze tento uzel(y) identifikovat podle pole „Adresní chyby“.

Klienti se na první uzel obrátí v případě, kdy neznají odpovídající adresu záznamu a vědomě se dopustí adresní chyby. Následně je jím zaslán s odpověďí pohled na nový uzel. Dobře je vidět tento proces například na záznamu testu v tabulce 22

| Konstanta         | Hodnota | Popis   |
|-------------------|---------|---|
| CONST_MIN_TRAFFIC | 200     | Minimální hodnota zátěže pro aplikaci metody vyvažování na serveru.               |
| BALANCE           | 2,3     | Práh pro srovnání poměru zátěže mezi serverem a jeho možnou náhradou pro klienta. |

Tabulka 7: Nastavení hodnot pro vyvážení zátěže serverů

## 7.5 Testy embedded DS

Pro provedení testů obou DS v embedded byla implementována testovací aplikace pro zjištění maximální propustnosti při vkládání, bodovém a rozsahovém dotazu. Testy proběhly na serveru DBEDU. Záznamy pro vkládání a dotazy byly připraveny v operační paměti pro dosažení maximální propustnosti.

### 7.5.1 Výsledek testu

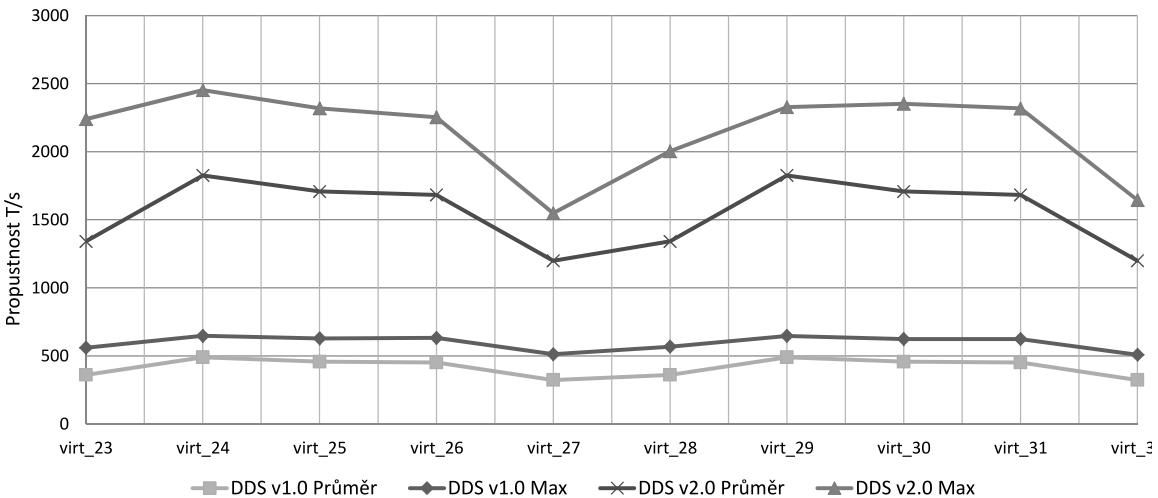
Abnormálně vysoký čas rozsahových dotazů R-stromu je dán nadměrným rozsahem dotazovaného MBR obdelníků. Při testech s menším rozsahem nebyla distribuce na ostatní uzly dostatečná (méně než 5%). Dosahovala časů kolem 60s (59,89s; 58,621s; 59,989s). To odpovídá přibližně 4 až 5-ti násobnému zhoršení oproti B-stromu. Průměrné výsledky jsou uvedeny v tabulce 8 a celý záznam testů je v příloze A v tabulce 16.

| DS      | Vkládání - 18 mil. |                    | Bodové dotazy - 1 mil. |                    | Rozsahové dotazy - 1 mil. |                    |
|---------|--------------------|--------------------|------------------------|--------------------|---------------------------|--------------------|
|         | Čas [s]            | Propustnost [op/s] | Čas [s]                | Propustnost [op/s] | Čas [s]                   | Propustnost [op/s] |
| B-strom | 5,649              | 702 780            | 1,291                  | 776 259            | 13,139                    | 76 113             |
| R-strom | 934,42             | 19 263             | 7,919                  | 126 312            | 1 857,284                 | 539                |

Tabulka 8: Výsledky propustnosti embedded DS

## 7.6 První testy implementace

V příloze jsou obsaženy dva záznamy testů. První jsme testovali vkládání a následně bodové dotazy na 10-ti uzlech první implementace DDS v1.0. Pro porovnání propustností se provedly testy se stejnými parametry u DDS v2.0. Na záznamu prvního testu, viz



Obrázek 35: Srovnání propustnosti vkládání DDS v1.0 a v2.0

tabulka 19, lze vyčíst 85 chyb v průběhu testu. Z 18 mil. vkládaných záznamů se vlivem chyb spojení nevložilo či nereplikovalo 85 záznamů. Obrázek 35 nám ukazuje průměrnou a maximální propustnost vkládání na jednotlivých uzlech. Srovnání propustnosti ukazuje nárůst z průměrné hodnoty 416 na 1 551 příkazů za 1s na jednom uzlu při zátěži 32 klientů. Dosahujeme navýšení propustnosti o 273%.

| Aplikace | Čas [s] | Dotazů | Klientů | Propustnost [op/s] | Propustnost (1 uzel) [op/s] |
|----------|---------|--------|---------|--------------------|-----------------------------|
| DDS v1.0 | 289,294 | 1 mil. | 32      | 3 457              | 343                         |
| DDS v2.0 | 87,797  | 1 mil. | 32      | 11 390             | 1 139                       |

Tabulka 9: DDS v1.0 vs. DDS v2.0 - Vkládání na 10 uzlů, B-strom

V tabulce 9 je porovnání výsledku bodových dotazů s navýšením propustnosti o 230%. Z nárůstu propustnosti vyplývá, že jsme se při implementaci nové komunikace aplikace

nedopustili chyb vedoucích k snížení propustnosti oproti první implementaci. Podrobný záznam testů bodových dotazů je v tabulce 19 a 12.

## 7.7 Testy DDS

V podkapitolách postupně prezentujeme průběh a výsledky testů naší výsledné aplikace při vkládání, bodových a rozsahových dotazech. Poslední provedený test zjišťuje chování klienta při selhání jednoho ze dvou uzlů při komunikaci. Testy probíhaly pro DS B-stromu a R-stromu v sestavě 5 - 20 uzlů, viz obrázek 28. Při pěti uzlech nejsou záznamy replikovány, nedochází k balanci zátěže a distribuci dotazů na ostatní uzly.

Některé testy byly výrazně ovlivněny virtualizací a nedostatkem hardwarových prostředků. Pokud v testech začala propustnost klesat místo očekávaného růstu, nebyly testy s větší zátěží a počtem uzlů provedeny. Výsledky a průměry všech testů jsou uvedeny v tabulce 17.

### 7.7.1 Vkládání

Testy vkládání lze rozdělit do dvou částí, a to podle cíle testů:

- Zjištění maximální propustnosti vkládání.
- Zjištění propustnosti vkládání při rostoucích náročích na replikaci záznamů mezi uzly.

První test zaznamenaný v tabulce 22 simuluje vkládání 256-ti klientů ze serveru DBSYS na pět virtuálních uzlů na DBEDU. Při několika testech došlo k nedostupnosti jednoho z virt. serverů. Vkládání záznamu bylo klientem následně opakováno. V žádném z testů nedošlo k situaci nevložení záznamu klientem a nekonzistenci záznamů v DS. Testy zachycující pokles propustnosti jsou v příloze B. Pro srovnání výsledků testů byl simulován stejný počet klientů z DBSYS nebo EPE. Výsledky jsou znázorněny na obrázku 37 a srovnání embedded v tabulce 10. Klienti znali vždy na začátku testu jen adresu aplikace na uzlu Virt\_23, na který provedli vkládání s adresní chybou. Podle počtu klientů lze z tabulek vyčít počet adresních chyb s přeposláním záznamu a počet aktualizací pohledu klientů. Maximální propustnost vzrostla u B-stromu z 11 717 na 13 920 vložení/s při zvýšení zá-

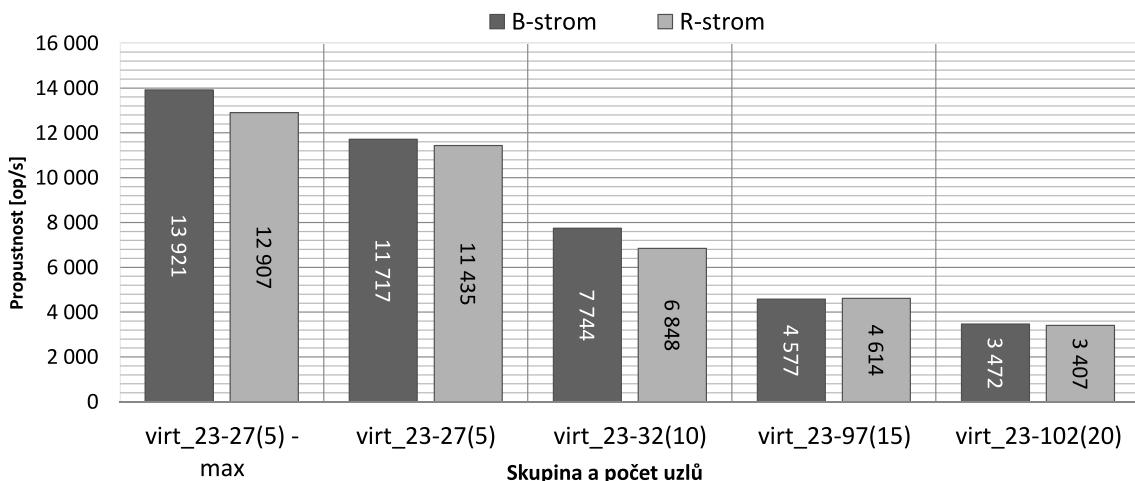
| DS      | Maximální propustnost [op/s] | Propustnost embedded [op/s] | DDS vs. Embedded | Dosažení embedded řešení |             |
|---------|------------------------------|-----------------------------|------------------|--------------------------|-------------|
|         |                              |                             |                  | 1 uzel [op/s]            | Celkem uzlů |
| B-strom | 13 920                       | 702 780                     | 50x              | 2 784                    | 253         |
| R-strom | 12 907                       | 19 263                      | 1/3              | 2 581                    | 11          |

Tabulka 10: Porovnání propustnosti vkládání

těž z 64 na 128 klientů. Maximální propustnost vkládání 13 921/s u B-stromu je oproti embedded řešení s výsledkem 702 780/s 50-krát pomalejší. Zajímavějšího poměru dosahuje vkládání u R-stromu. Propustnost 12 907/s je oproti embedded s 19 263/s pouze o  $^{1/3}$

pomalejší. Srovnatelných propustností bez replikace dat s použitím průměrné propustnosti 2 784/s na jeden uzel dosáhneme u B-stromu s 253-mi uzly. R-strom by potřeboval jen 11 uzlů DDS. Rozdíl mezi výsledky, kdy je R-strom pomalejší než B-strom, je dán výkonem DS R-stromu, který podporuje vícerozměrný rozsahový dotaz.

**Poznámka 7.3** U vkládání byla zaznamenána nejvyšší propustnost jednoho uzlu ze všech provedených testů, a to 6 334 vložení/s.



Obrázek 36: Graf srovnání propustnosti v závislosti na replikaci

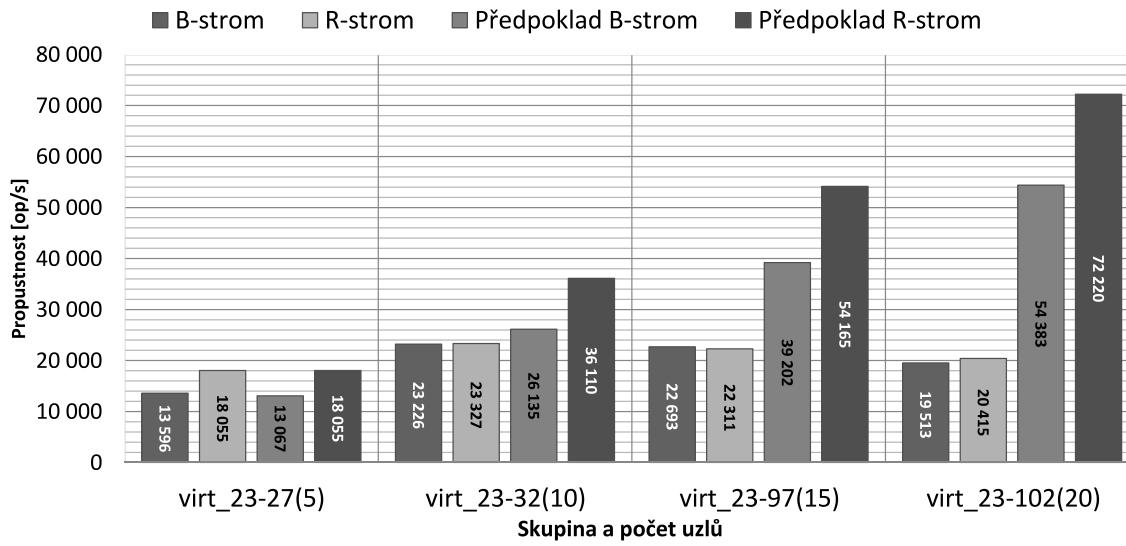
Z grafu je zřejmý pokles propustnosti při replikaci vkládaného záznamu (příkazu Command) na ostatní uzel(y). Propustnost neklesá lineárně podílem počtu replikace záznamu. Při první replikaci je pokles průměrně 33% a následně propustnost klesá logaritmicky s počtem replikací.

### 7.7.2 Bodové dotazy

U testů bylo hlavním záměrem zjistit postupným zvyšováním počtu klientů:

- maximální propustnost uzlů
- schopnost balance zátěže dotazů mezi uzly

Testy proběhly se zatížením uzlů od 128 - 256 klienty. Provedení bodového dotazu nevyžaduje spolupráci ostatních uzlů, vyjma adresní chyby. Z tohoto důvodu uvádíme v grafu i předpoklad zátěže neovlivněné nedostatkem hardwarových zdrojů. Předpokládaná propustnost vznikla z násobků průměrné propustnosti naměřené u Virt\_23-27 (5). Maximální dosažené propustnosti v testech jsou zobrazeny v grafu 37. V grafu je nastíněn i předpoklad růstu výkonu plynoucí z maximální naměřené hodnoty propustnosti při 5-ti



Obrázek 37: Graf srovnání maximálních propustnosti bodových dotazů

uzlech. V testech je uveden počet zaslaných pohledů klientům jednotlivými uzly. U se stavby 10-ti až 20-ti uzlů dochází pomocí zasílání pohledu k balanci zátěže a přesměrování klienta na méně vytížený uzel. Bohužel neznáme průběžné zatížení jednotlivých uzlů v průběhu testů. Můžeme pouze porovnat počty dotazů a pohledů odeslaných uzly. Pokud se podíváme podrobněji na test 20-ti uzlů v tabulce 34, pak 128 klientů obdrželo při 4 mil. dotazů s odpovědí i 2 111 017 pohledů na jiný uzel s nižší zátěží. Zaslání pohledu ve více jak polovině spojení naznačuje neustálé přetížení minimálně jednoho ze 4 uzlů s replikovanými záznamy. Připomeňme, že hranice balance zátěže byla stanovena na rozdíl 30% zátěže. Rozdíl minimálního a maximálního zatížení uzlů se replikací činil od 28,36% k 80,79%. I přes značný počet zaslaných zpráv s vyvážením zátěže není očekávané rozložení zátěže znát ve výsledcích testů. Nejvíce pohledů zaslaly uzly s největším počtem provedených dotazů, a to až v 95,67% odpovědích klientům. Je zřejmé, že se klienti nezachovali podle očekávání, a uzel i přes obdržený pohled zatěžovali dotazy nadále. Testy zachycující všechny bodové dotazy jsou v příloze C.

| DS             | Maximální propustnost [op/s] | Propustnost embedded [op/s] | DDS vs. Embedded | Dosažení embedded řešení |              |
|----------------|------------------------------|-----------------------------|------------------|--------------------------|--------------|
|                |                              |                             |                  | 1 uzel [op/s]            | Celkem uzlů  |
| <b>B-strom</b> | 13 595                       | 776 259                     | 33x              | 2 719                    | 285 (57 x 5) |
| <b>R-strom</b> | 18 055                       | 126 312                     | 5,5x             | 3 611                    | 35 (7 x 5)   |

Tabulka 11: Porovnání propustnosti bodových dotazů

Bodové dotazy jsou oproti embedded řešení u B-stromu 33-krát a u R-stromu 5,5-krát pomalejší. Pokud použijeme propustnost 5-ti uzlů, dostaneme oproti embedded řešení

u B-stromu 57-krát a u R-stromu 7-krát pomalejší propustnost. Srovnatelných výsledků B-stromu s embedded bychom teoreticky dosáhli při 285-ti uzlech. R-strom by potřeboval pouze 35 uzlů. Je otázkou, jaký vliv má na rozložení zátěže 1s zpoždění (interval UDP zpráv) "Hello" při propustnosti uzlu až 5 468 dotazů/s, viz tabulka 36.

| DDS v2.0 - Bodové dotazy na 10 uzlů, B-strom |                   |                    |                      |                    |              |
|--|-------------------|--------------------|----------------------|--------------------|--------------|
| Základní pohled                              | Virt_23 + Virt_28 |                    |                      |                    |              |
|  | Čas [s]           | Dotázaných záznamů | Simulovaných klientů | Propustnost [op/s] | Chyb přenosu |
| Průměr                                       | 87,797            | 1 mil.             | 32                   | 11 390             | 0            |
| Uzel   | Virt_23           | Virt_24            | Virt_25              | Virt_26            | Virt_27      |
| <b>Spojení celkem</b>                        | 56 808            | 117 377            | 102 207              | 131 521            | 94 877       |
| <b>Dotazů</b>                                | 56 744            | 117 377            | 102 207              | 131 521            | 94 877       |
| <b>Čas DB [s]</b>                            | 1,138             | 2,527              | 2,052                | 2,542              | 1,888        |
| <b>Max prop. [op/s]</b>                      | 1 347             | 1 705              | 1 840                | 2 537              | 1 348        |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>                   | 647               | 1 337              | 1 164                | 1 498              | 1 081        |
| <b>Pohledů</b>                               | 44 420            | 10 502             | 19 465               | 120 241            | 15 858       |
| <b>Adresní chyby</b>                         | 64                | 0                  | 0                    | 0                  | 0            |
| Uzel   | Virt_28           | Virt_29            | Virt_30              | Virt_31            | Virt_32      |
| <b>Spojení celkem</b>                        | 116 608           | 119 034            | 118 620              | 85 465             | 57 651       |
| <b>Dotazů</b>                                | 116 544           | 119 034            | 118 620              | 85 465             | 57 651       |
| <b>Čas DB [s]</b>                            | 2,454             | 2,249              | 2,369                | 1,957              | 1,369        |
| <b>Max prop. [op/s]</b>                      | 2 373             | 1 815              | 2 252                | 1 673              | 875          |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>                   | 1 328             | 1 356              | 1 351                | 970                | 657          |
| <b>Pohledů</b>                               | 98 373            | 82 918             | 97 492               | 28 752             | 28 501       |
| <b>Adresní chyby</b>                         | 64                | 0                  | 0                    | 0                  | 0            |

Tabulka 12: DDS v2.0 - Bodové dotazy na 10 uzlů, B-strom, 32 klientů

### 7.7.3 Rozsahové dotazy

Rozsahové dotazy proběhly vždy s použitím jednoho z klíčů DS jako dolní meze. Minimálně byl vždy dotazem vrácen alespoň jeden záznam. Pro horní mez dotazu byl použit stejný klíč s náhodně přičtenou hodnotou v rozsahu 5 000 až 85 000. Rozsah byl zvolen

| DS      | Maximální propustnost [op/s] | Propustnost embedded [op/s] | DDS vs. Embedded | Dosažení embedded řešení |              |
|---------|------------------------------|-----------------------------|------------------|--------------------------|--------------|
|         |                              |                             |                  | 1 uzel [op/s]            | Celkem uzlů  |
| B-strom | 3 733                        | 76 113                      | 20,6x            | 747                      | 105 (21 x 5) |
| R-strom | 322                          | 539                         | 1,7x             | 64                       | 10 (2 x 5)   |

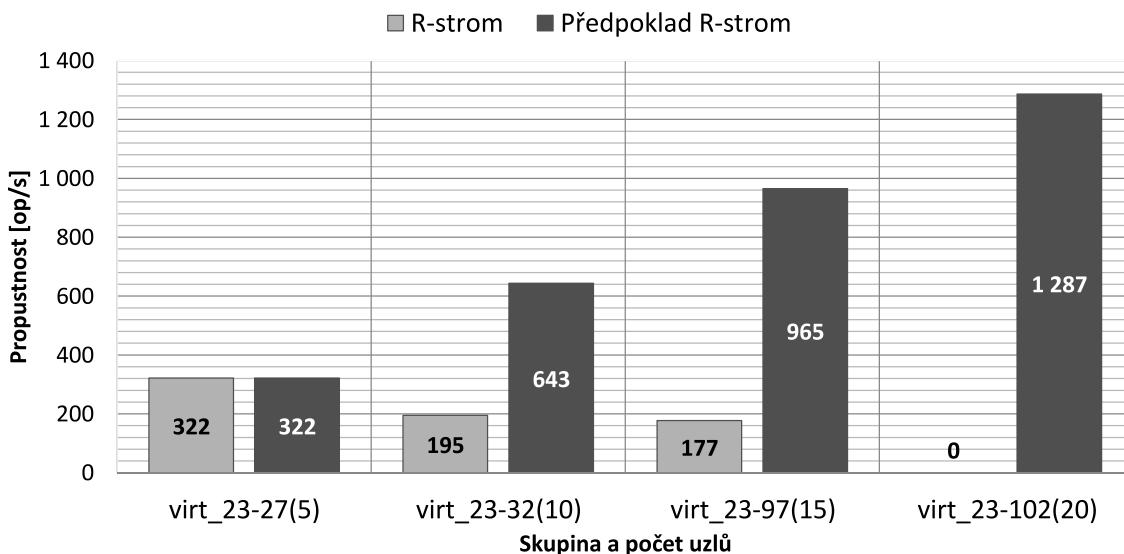
Tabulka 13: Porovnání propustnosti rozsahových dotazů

tak, aby došlo i k distribuci dotazu na všechny ostatní uzly.

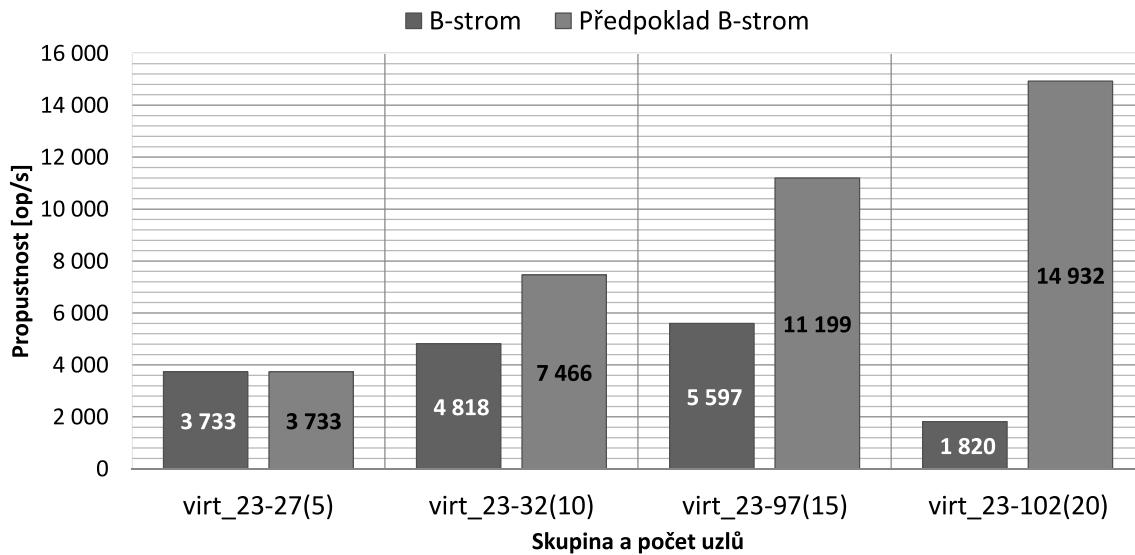
Výsledky B-stromu vlivem nedostatku zdrojů degradují při testech na 15-ti a 20-ti uzlech. U R-stromu se vlivem náročných rozsahových dotazů projevila degradace již u 10-ti uzlů. Při testech 1 dotaz vyvolal na okolních uzlech v průměru 3 další dotazy. Průměrně uzel získal a vložil do odpovědi 100 záznamů, maximálně bylo dosaženo i 1 000 záznamů v 1 odpovědi klientovi.

| DDS v2.0 - Rozsahové dotazy na 5 uzlů, B-strom |         |                    |                 |                           |          |
|--|---------|--------------------|-----------------|---------------------------|----------|
| Základní pohled                                | Virt_23 |                    |                 |                           |          |
| Dotazů   | 1 mil.  | Klientů            | 1 x 32          | Chyb                      | 0        |
|  | Čas [s] | Propustnost [op/s] | Výsledků celkem | Max výsledků v 1 odpovědi | Výsledků |
| Průměr   | 267,890 | 3 733              | 204 874 723     | 1 225                     | 764 827  |
| Uzel   | Virt_23 | Virt_24            | Virt_25         | Virt_26                   | Virt_27  |
| <b>Spojení celkem</b>                          | 802 298 | 833 791            | 821 619         | 844 550                   | 820 925  |
| <b>Dotazů</b>                                  | 802 170 | 833 791            | 821 619         | 844 550                   | 820 925  |
| <b>Replikací dotazu</b>                        | 547 176 | 682 768            | 740 621         | 672 714                   | 479 660  |
| Čas DB [s]                                     | 21,815  | 32,992             | 31,972          | 32,022                    | 20,356   |
| Max prop. [op/s]                               | 3 393   | 3 515              | 3 492           | 3 578                     | 3 474    |
| Průměr prop. [op/s]                            | 2 995   | 3 112              | 3 067           | 3 153                     | 3 064    |
| Pohledů  | 0       | 32                 | 32              | 32                        | 32       |
| Adresní chyby                                  | 128     | 0                  | 0               | 0                         | 0        |

Tabulka 14: DDS v2.0 - Rozsahové dotazy na 5 uzlů, B-strom a R-strom, 32



Obrázek 38: Graf srovnání rozsahových dotazů R-stromu

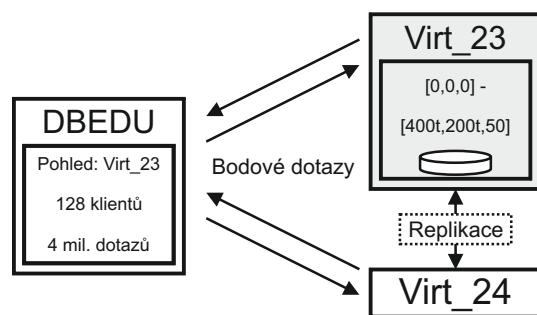


Obrázek 39: Graf srovnání rozsahových dotazů B-stromu

Přibližně  $\frac{1}{3}$  všech dotazů skončila navrácením pouze jednoho záznamu. Propustnost B-stromu roste s počtem uzlů až k 5 597 dotazům/s. Pro dosažení propustnosti embedded řešení bychom potřebovali 105 uzlů (rozložení 21 x 5). Propustnost R-stromu je maximálně 322 dotazů. Pro dosažení propustnosti embedded řešení bychom potřebovali 10 uzlů. Při použití předpokládané propustnosti 1 287 na 20-ti uzlech překročíme propustnost embedded řešení dvojnásobně. Bohužel se nám vinou nedostatečných hardwarových zdrojů tento výsledek nepovedl naměřit. Testy zachycující rozsahové dotazy jsou v příloze D.

#### 7.7.4 Test dostupnosti DDS

Zrcadlení záznamů na uzlech neslouží pouze pro zvýšení dostupnosti při paralelních dotazech, ale i k zajištění dostupnosti při možném selhání jednoho či více uzlů. Pokoušíme se zjistit průběh a reakci klientů na případné selhání uzlu.



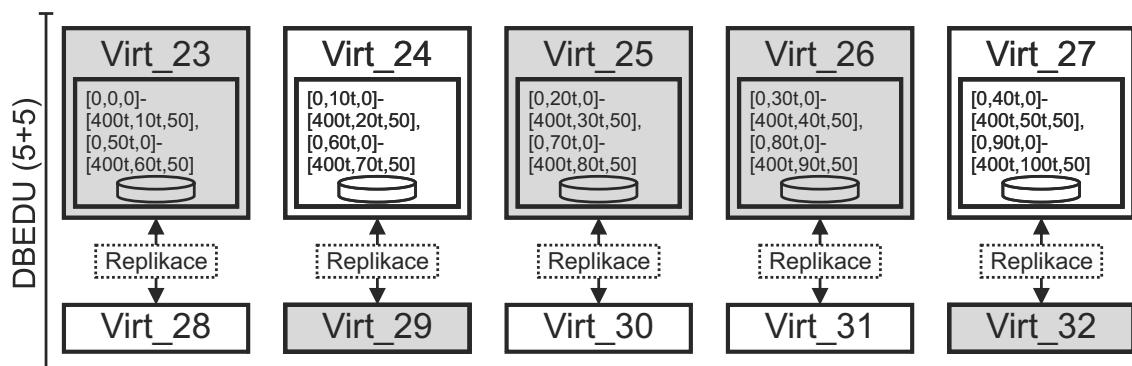
Obrázek 40: Test dostupnosti

První test zjišťuje zajištění dostupnosti při plné replikaci záznamů mezi dva uzly Virt\_23 a Virt\_24. Na tyto uzly proběhla z DBEDU zátěž tvořená 128-mi klienty s cílem dotázat se na 4 mil záznamů. Základní pohled pro všechny klienty je pouze Virt\_23. Po čase se klienti naučí celý pohled, tedy existenci uzlu Virt\_24. Po 30s od počátku testu je aplikace na Virt\_23 násilně ukončena spolu s probíhajícími spojeními klientů. Pro porovnání jsme otestovali dostupnost i bez selhání.

Doba mezi voláním metody `connect()` na klientovi a vyvoláním chyby `ERROR_TCP_ESTABLISH` dosahovala při testech až 21s. Musíme si uvědomit, že se jednalo o nedostupnost cílové IP adresy. Při našem testu zůstane síťová karta v síti dostupná. Pouze aplikace nebude naslouchat na příslušném portu. Klienti se při chybě probíhajícího spojení na uzel Virt\_23 pokusí o znovunavázání spojení. Společně s ostatními klienty postupně zjistí nedostupnost uzlu. V pohledech klientů se stav uzlu změní z `SERVER_OK` na `SERVER_DOWN`. Veškeré další dotazy jsou adresovány pouze na uzel Virt\_24.

Testy proběhly dle očekávání. Klienti s právě probíhajícím spojením na ukončený uzel zahlásili chybu spojení a opakovali svůj dotaz. Při zjištění nedostupnosti uzlu klienty se všechny dotazy začaly směřovat k uzlu Virt\_24.

**Poznámka 7.4** Nedostupnost uzlu netestujeme při vkládání záznamů klienty, a to z důvodu plné replikace mezi uzly.



Obrázek 41: Test nedostupnosti 5-ti uzlů

Druhý test zjišťuje zajištění dostupnosti při selhání 5-ti uzlů, záznam průběhu testu je v tabulce 15. Kolekce DOCWORD je plně replikována mezi dvě skupiny uzlů Virt\_23-27 a Virt\_28-32, viz obrázek 41. Na tyto uzly proběhla z DBEDU zátěž tvořená 128-mi klienty s cílem dotázat se na 4 mil záznamů.

Oproti předchozímu testu byl základní pohled klientů na všech 10 uzlů. Nebylo jinak možné zajistit, aby všichni klienti v době ukončení některého z uzlu znali náhradní uzel. Po čase se klienti sice naučí celý pohled, avšak není jasné, kdy k tomu dojde. Po 30s od počátku testu jsme postupně násilně ukončili uzly Virt\_23, Virt\_29, Virt\_25, Virt\_26, Virt\_32. Ostatních pět uzlů tak stále zpřístupňuje všech 18 mil. záznamů.

Při testu došlo k 337 chybám spojení při komunikaci klienta s ukončeným uzlem. Následně se klienti při novém dotazu nebo jeho opakování pokusili 512-krát navázat kontakt

s již nefungujícím uzlem. Při zjištění nedostupnosti uzlu změnili jeho stav na nedostupný a pokračovali dotazem na zastupující uzel. Na obrázku 41 jsou nedostupné uzly podbarveny šedě. Pokud výsledek testu porovnáme s výsledkem dotazů na uzly bez selhání, dostaneme rozdíl 77,406 s (333,953 - 256,547) s, propustnost dotazů poklesla z 15 592 na 11 978 operací za sekundu.

Test ukázal chybu v procesu adresování uzlů u klienta při nedostupnosti. Pokud mělo 128 klientů při testu pouze základní pohled na uzel Virt\_23, pak se několik z nich nenaučilo před selháním celý pohled. Toto zjištění vyplývá ze souborů obsahujících pohled testovacích klientů po testu bez selhání. Klienti se jeden či dva uzly nenaučili. Následně při selhání uzlů došlo u některých k neschopnosti dotázat se na data. Přitom nejspíše znali alespoň jeden z uzlů, který nebyl ukončen. Pokud by na něj provedli dotaz (adresní chybu), poskytl by klientovi v odpovědi informaci o fungujícím uzlu se záznamy.

Místo toho klient našel záznam o uzlu držící daný klíč, prvním dotazem zjistil, že je uzel nedostupný a pozměnil si jeho stav ve svém pohledu. Následně v cyklu opakování dotazu našel ve svém pohledu znovu stejný uzel ve stavu nedostupný. O navázání spojení s uzlem se nepokusil a po 10-ti neuspěšných pokusech oznámil chybu nedostupnosti uzlu. V závěru práce navrhujeme úpravu části klienta, která se zabývá adresací uzlu.

| DDS v2.0 - Bodové dotazy na 10 uzlů, B-strom |                         |                    |                      |                    |              |
|--|-------------------------|--------------------|----------------------|--------------------|--------------|
| Základní pohled                              | Virt_23 - Virt_28       |                    |                      |                    |              |
|  | Čas [s]                 | Dotázaných záznamů | Simulovaných klientů | Propustnost [op/s] | Chyb přenosu |
| <b>Průměr</b>                                | 333,953                 | 4 x 1 mil.         | 4 x 32               | 11 978             | 337          |
| Uzel   | Virt_23                 | Virt_24            | Virt_25              | Virt_26            | Virt_27      |
| <b>Spojení celkem</b>                        | X                       | 942 404            | X                    | X                  | 616 979      |
| <b>Dotazů</b>                                | X                       | 942 404            | X                    | X                  | 616 979      |
| <b>Čas DB [s]</b>                            | X                       | 22,980             | X                    | X                  | 15,658       |
| <b>Max prop. [op/s]</b>                      | X                       | 5 718              | X                    | X                  | 3 716        |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>                   | X                       | 2 821              | X                    | X                  | 1 848        |
| <b>Pohledů</b>                               | X                       | 358 154            | X                    | X                  | 327 905      |
| <b>Adresní chyby</b>                         | 0 - plný pohled klientů |                    |                      |                    |              |
| Uzel   | Virt_28                 | Virt_29            | Virt_30              | Virt_31            | Virt_32      |
| <b>Spojení celkem</b>                        | 533 187                 | X                  | 504 876              | 493 013            | X            |
| <b>Dotazů</b>                                | 533 187                 | X                  | 504 876              | 493 013            | X            |
| <b>Čas DB [s]</b>                            | 14,292                  | X                  | 14,400               | 14,262             | X            |
| <b>Max prop. [op/s]</b>                      | 4 217                   | X                  | 4 698                | 4 804              | X            |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>                   | 1 597                   | X                  | 1 512                | 1 476              | X            |
| <b>Pohledů</b>                               | 368 306                 | X                  | 335 977              | 45 656             | X            |
| <b>Adresní chyby</b>                         | 0 - plný pohled klientů |                    |                      |                    |              |

Tabulka 15: DDS v2.0 - Bodové dotazy na 10 uzlů s nedostupností, Bstrom, 4 x 32



## 8 Závěr

Začátek práce se věnuje vlastnostem jednotlivých SDDS s popisem způsobů distribuce a rozložení dat. Uvedené struktury umožňují paralelní zpracování, zvýšení propustnosti a duplicitu dat mezi uzly. Těchto vlastností je dnes zapotřebí u aplikací s důrazem na dostupnost a s velkým počtem klientů.

V rámci vývoje navrhujeme ze získaných poznatků vlastní koncept DDS s distribucí a rozložením pohledu na data. Serializaci volání metod a komunikaci jsme z počátku chtěli převzít z veřejně dostupných API knihoven. Následně jsme se rozhodli pro vlastní implementaci. Navrhli a implementovali jsme metodu vzdáleného volání metod za pomocí dvou příkazů *Command* a *ResultSet*. Zde jsme vycházeli z konceptu navrhnutého společně s vedoucím práce. Třídy aplikace implementujeme v jazyce C++. Aplikaci serveru s nově vzniklou třídou pro komunikaci jsme otestovali na reálné síti s použitím TCP a UDP protokolů. Z výsledků jsme vytvořili report s doporučeními pro správné použití a nastavení aplikace serveru.

Implementace aplikace s sebou přinesla i mnoho problémů, které jsme v průběhu práce řešili. Jedním z problémů byla synchronizace přístupu vláken ke sdíleným objektům. Provedli jsme testy synchronizace za pomocí nástroje Mutex a Metered Section. Po srovnání rychlosti synchronizace jsme použili rychlejší nástroj Mutex.

Výsledkem práce je aplikace vícevláknového serveru a klienta s možností využití pro různé datové struktury. Reálné použití našla aplikace v projektu SGS Detekce plagiovaných dokumentů. Zpřístupňuje rozhraní DS pomocí webového klienta.

V závěru práce se zabýváme srovnáním naší aplikace a embedded řešením za použití DS B-stromu a R-stromu. Testy probíhaly na třech školních serverech s dalšími 20-ti virtuálními uzly. Přístup k serverům probíhal s využitím VPN tunelu do školní sítě a vzdálené plochy. Pozdější výsledky testů ukazují degradaci propustnosti s rostoucím zatížením. Degradaci přisuzujeme nedostatečným hardwarem prostředkům pro jednotlivé uzly, dělení o síťovou kartu a procesor. Nedosáhli jsme předpokládaných násobků propustnosti při replikaci dat.

Při vkládání se projevilo očekávané snížení propustnosti s rostoucí replikací dat mezi uzly. Výsledky bodových dotazů poukázaly na úměrný růst propustnosti s počtem replikací a rozsahové dotazy se dosti přiblížily propustnosti embedded řešení. Abychom dosáhli propustnosti embedded řešení, potřebovali bychom pro B-strom 285 (57 x 5) uzlů a pro R-strom 35 (7 x 5). Úspěšně jsme otestovali zajištění dostupnosti dat při výpadku jednoho ze dvou plně replikovaných uzlů. U testu s replikací mezi dvě skupiny uzlů se nám podařilo při nedostupnosti poloviny uzlů zachovat dostupnost všech záznamů. Konvergence klientů na záložní uzel byla okamžitá. Odhalili jsme chybu v procesu výběru uzlu při dotazování klienta v situaci s nedostupností a navrhli jsme způsob řešení.

S rostoucím vývojem Internetu a nároků na zpracování velkého množství dat by bylo vhodné ve vývoji a testech SDDS pokračovat. Provádění testů upřednostnit na fyzická zařízení a nalézt lepší způsoby vyvážení zátěže. Budoucí implementace by se měla zaměřit na způsoby udržení konzistence dat možnou synchronizací replikovaných záznamů DS po výpadku jednoho z uzlů. Některé vlastnosti nebylo možné v rámci diplomové práce plně implementovat. Uvádíme několik nápadů a možných vylepšení aplikace pro do-

sažení vyšší škálovatelnosti, dynamičnosti a rychlosti. Vzniklé prvky aplikace našly již využití i v jiných pracích a aplikacích. Nedostatky a možná vylepšení aplikace:

- Přepsání struktur tvořících pohled do tříd s využitím template <class tkey>. Dosáhli bychom větší dynamičnosti klíče a mohli bychom nahradit objekt cMBREctangle. Ten nyní slouží i pro popis intervalu klíčů jednorozměrné DS B-stromu.
- Udržování struktur pohledu ve stromové či jiné vhodné struktuře pro vyhledávání. Nyní je pohled tvořen čtyřmi strukturami, které jsou organizovány jako dynamické pole struktur. Vyhledání záznamu uzlu přes klíč tak probíhá sekvenčně.
- Úprava procesu dotazování klienta při zjištění nedostupnosti uzlu v replikovaném prostředí tak, aby se nedopustil opakování dotazu v cyklu a nezískání záznamu. Místo toho by se měl, podobně jako při úplné neznalosti umístění klíče, dopustit adresní chyby na některý jiný uzel. V odpovědi by získal pohled na uzel, který replikuje záznamy nedostupného uzlu, viz kapitola 7.7.4.
- Implementace log souboru pro synchronizaci replikovaných uzlů během výpadku sítě či serveru a zajištění konzistence dat.
- Třídu cSocket doplnit o podporu protokolu IPv6.
- Další testy zámku Critical section nebo jiných synchronizačních nástrojů (události, semafory atp.) s otestováním rychlosti zpracování požadavku, viz kapitola 6.4.5.
- Přepsání vláken aplikace serveru do jiného konceptu řízení, test dynamické tvorby vláken podle potřeby s cílem snížení zátěže CPU.
- Implementace UDP komunikace uzlů bez opakování zpráv. Okamžitá reakce na přijaté zprávy, viz kapitola 4.5.3.
- Implementace automatického rozložení dat mezi uzly a dosažení škálovatelné DDS. Nedefinovali bychom rozsah/intervall dat udržovaných jednotlivými uzly, ale pouze klíč záznamů. Uzly by si následně pomocí UDP zpráv mohly rozdělit a určit udržovaný obsah v DS. Tím bychom docílili vyvážení datové zátěže na uzlech.
- Návrh pro vylepšení stávajícího vyvážení dotazů mezi uzly s replikací dat. Případné testy s přepsáním stavající reakce klienta na obdržení zprávy (IAM) o přetížení.
- Řešení hromadných transakcí zabalením více příkazů do jednoho. V rámci implementace lze vložit do cCommand jako parametry další serializované objekty cCommand, viz kapitola 5.2.

Za pomoci tříd zajišťujících komunikaci klient/server vznikl prostředek pro testování a nasazení DS. Umožňující vyšší dostupnost a škálovatelnost než umožňují embedded datové struktury. V průběhu vypracování DP vznikla k projektu *SGS Detekce plagiovaných dokumentů* DLL knihovna pro C# obsahující komunikaci a zpracování objektů DS. Byla zde

prokázána jednoduchost použití knihovny při implementaci webového rozhraní klienta. Komunikace přes webovou aplikaci klienta na server a zpracování získaných výsledků splnila základní požadavky a dále se testuje.

Zdrojové kódy pro komunikaci s aplikací serveru dala možnost implementace MapReduce prostředí s SQL databází v rámci jiné DP. Je předpokládán další rozvoj a použití vzniklých tříd v jiných aplikacích.

Aleš Nedbálek



## 9 Reference

- [1] WITOLD Litwin, NEIMAT Marie-Anne, SCHNEIDER A. Donovan, LH\*—A Scalable, Distributed Data Structure, *Transactions and Database Systems*, 1996, ACM: 0362-5915/96/1200-0480, s. 480-525
- [2] WITOLD Litwin, RISCH Tore, LH\*g : A High-Availability Scalable Distributed, *Knowledge and Data Engineering, IEEE Transactions*, 2002, ISSN: 1041-4347
- [3] LITWIN Witold , M.A. NEIMANT, High-Availability LH\* Schemes width Mirroring, *Cooperative Information Systems, Proceedings., First IFCIS International Conference*, 1996, ISBN: 0-8186-7505-5
- [4] LITWIN Witold, NEIMAT Marie-Anne, LEVY G., NDIANYE S., SECK T., LH\*s : a High-availability and High-security Scalable Distributed Data Structure, *Research Issues in Data Engineering, Seventh International Workshop*, 1997, ISBN: 0-8186-7849-6
- [5] LITWIN Witold, Rim Moussa, SCHWARZ Thomas, S.J, LH\*g : A LH\*RS – A Highly-Available Scalable Distributed Data Structure, *ACM Transactions on Database Systems (TODS)*, 2005, s. 769-811
- [6] SCHWARZ Thomas, TSUI Peter, LITWIN Witold, An Encrypted, Content Searchable Scalable Distributed Data Structure, *Data Engineering Workshops, 22nd International Conference*, 2006, ISBN: 0-7695-2571-7
- [7] Official Microsoft site, *Mutex – třída*, <http://msdn.microsoft.com/cs-cz/library/system.threading.mutex.aspx> [cit. 12.8.2012]
- [8] du MOUSA C., LITWIN Witold, RIGAUX Philippe, SD-Rtree: A Scalable Distributed Rtree, *Data Engineering, IEEE 23rd International Conference*, 2007, s. 296-305, ISBN: 1-4244-0803-2
- [9] LUKAWSKI Grzegorz, SAPIECHA Krzysztof, Balancing Workloads of Servers Maintaining Scalable Distributed Data Structures, *International Euromicro Conference on Parallel, Distributed and Network-Based Processing*, 2011, s. 80-84, ISBN: 978-1-4244-9682-2
- [10] YUNMO Chung, Dynamic Signature Hashing, *Computer Software and Applications Conference, COMPSAC 89*, 1989, s. 257-262, ISBN: 0-8186-1964-3
- [11] LEWIS Ted G., COOK Curtis R., Hashing for Dynamic and Static Internal Tables, *Computer*, 1988, s. 45-56, ISSN: 0018-9162
- [12] Introduction to SDDS, <http://ceria.dauphine.fr/Sddstal1.ppt> [cit. 12.4.2012]
- [13] PRATA Stephen, *Mistrovství v C++*, 2. aktualizované vydání, Computer Press, a.s., Brno, 2004, 1006s, ISBN: 802-5100987.
- [14] KRÁTKÝ Michal, *Databázové a informační systémy*, Ostrava, [pdf dokument], 4.3.2007

- 
- [15] WU Sai, JIANG Dawei, OOI Beng Chin, KUN-LUNG Wu, Efficient B-tree Based Indexing for Cloud Data Processing, *Conference In VLDB*, 2010, s. 1207-1218
  - [16] Wikipedie, *TCP/IP*, <http://cs.wikipedia.org/wiki/TCP/IP> [cit. 25.1.2012]
  - [17] ANDRZEJAK, A., GOMES J. B., Parallel MapReduce in Python in Ten Minutes, *Data Mining Workshops (ICDMW), 2012 IEEE 12th International Conference*, 2012, s. 402-407, ISBN: 978-1-4673-5164-5
  - [18] Baselinemag, *How Google Works*, <http://www.baselinemag.com/c/a/Infrastructure/How-Google-Works-1/P> [cit. 24.2.2012]
  - [19] MSDN Microsoft Developer Support, *Winsock Reference*, <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/desktop/ms741416%28v=vs.85%29.aspx> [cit. 26.3.2012]
  - [20] JAGADISH H. V., OOI Beng Chin, RINARD Martin, BATON: A Balanced Tree Structure for Peer-to-Peer Networks, *Conference In VLDB*, 2005, s. 661-672
  - [21] Wikipedie, *BATON Overlay*, [http://en.wikipedia.org/wiki/BATON\\_Overlay](http://en.wikipedia.org/wiki/BATON_Overlay) [cit. 25.3.2012]
  - [22] CHOU Dan, *A Quick and Versatile Synchronization Object*, MSDN Microsoft Developer Support, <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ms810428.aspx> [cit. 2.2.2013]
  - [23] ZeroC, *ICE - Internet Communications Engine*, <http://www.zeroc.com/index.html> [cit. 21.10.2012]
  - [24] Database Research Group, *DBRG Framework API 20120313*, Katedra informatiky, VŠB-TU Ostrava, <http://db.cs.vsb.cz/api/> [cit. 2.10.2012]
  - [25] Riverbed Technology, *Wireshark*, <http://www.wireshark.org/> [cit. 6.1.2013]
  - [26] KITSUREGAWA, M., TANAKA H., MOTO-OKA T., Architecture and performance of relational algebra machine GRACE, *Conference on Parallel Processing*, 1984
  - [27] DBC/1012 data base computer concepts and facilities, *International Conference on Very Large Data Bases*, Teradata Document C02-001-05, 1988
  - [28] DEWITT, D., GERBER, R., GRAEFE, G., HEYTENS, M., KUMAR, K., AND MURALIKRISHNA, M., GAMMA: A high performance dataflow database machine, *Conference In VLDB*, 1986
  - [29] WITOLD Litwin, NEIMAT Marie-Anne, SCHNEIDER A. Donovan, RP\*: A Family of Order Preserving Scalable Distributed Data Structures, *In Proceedings of the Twentieth International Conference on Very Large Databases*, s. 342–353, 1994
  - [30] SEVERANCE, C., PRAMANIK, S., AND WOLBERG, P., Distributed linear hashing and parallel projection in main memory databases, *Conference In VLDB*, 1990

## A Výsledky embedded a DDS

| Vkládání - 18 mil. záznamů kolekce DOCWORD |               |                    |                 |                    |
|--|---------------|--------------------|-----------------|--------------------|
|  | B-strom       |                    | R-strom         |                    |
| Test č.                                    | Čas [s]       | Propustnost [op/s] | Čas [s]         | Propustnost [op/s] |
| 1  | 27,019        | 666 198            | 938,406         | 19 181             |
| 2  | 24,840        | 724 638            | 932,101         | 19 311             |
| 3  | 25,087        | 717 503            | 932,754         | 19 298             |
| <b>Průměr</b>                              | <b>25,649</b> | <b>702 780</b>     | <b>934,420</b>  | <b>19 263</b>      |
| Bodové dotazy - 1 mil.                     |               |                    |                 |                    |
| Test č.                                    | Čas [s]       | Propustnost [op/s] | Čas [s]         | Propustnost [op/s] |
| 1  | 1,338         | 747 384            | 7,863           | 127 178            |
| 2  | 1,327         | 753 580            | 8,110           | 123 305            |
| 3  | 1,208         | 827 815            | 7,785           | 128 452            |
| <b>Průměr</b>                              | <b>1,291</b>  | <b>776 259</b>     | <b>7,919</b>    | <b>126 312</b>     |
| Rozsahové dotazy - 1 mil.                  |               |                    |                 |                    |
| Test č.                                    | Čas [s]       | Propustnost [op/s] | Čas [s]         | Propustnost [op/s] |
| 1  | 13,040        | 76 687             | 1849,490        | 541                |
| 2  | 13,270        | 75 358             | 1830,472        | 546                |
| 3  | 13,107        | 76 295             | 1891,890        | 529                |
| <b>Průměr</b>                              | <b>13,139</b> | <b>76 113</b>      | <b>1857,284</b> | <b>539</b>         |
| <b>Průměr vrácených záznamů v 1 dotazu</b> |               | <b>208,4</b>       |                 | <b>7,5</b>         |

Tabulka 16: Výsledky testů embedded datové struktury

| Klienti/<br>uzly  | B-strom   |                       |             | R-strom   |                       |             |
|---|-----------|-----------------------|-------------|-----------|-----------------------|-------------|
| <b>Vkládání - 18 mil. záznamů kolekce DOCWORD</b>                   |           |                       |             |           |                       |             |
|   | Čas [s]   | Propustnost<br>[op/s] | Chyb        | Čas [s]   | Propustnost<br>[op/s] | Chyb        |
| 32/2  | 4 144,945 | 4 343                 | 0           | -         | -                     | -           |
| Test s replikací záznamů na oba uzly.                               |           |                       |             |           |                       |             |
| 128/5   | 1 293,109 | 13 921                | 0           | 1 394,610 | 12 907                | 0           |
| Test maximální propustnosti 5-ti uzlů.                              |           |                       |             |           |                       |             |
| 32/5  | 1 537,203 | 11 710                | 0           | 1 574,088 | 11 435                | 0           |
| 32/10   | 2 324,479 | 7 744                 | 0           | 2 630,610 | 6 843                 | 0           |
| 32/15   | 3 933,135 | 4 577                 | 0           | 3 901,517 | 4 614                 | 0           |
| 32/20   | 5 184,460 | 3 472                 | 0           | 5 285,025 | 3 407                 | 0           |
| Zjištění závislosti propustnosti na replikaci.                      |           |                       |             |           |                       |             |
| <b>Bodové dotazy - 1 mil.</b>                                       |           |                       |             |           |                       |             |
|   | Čas [s]   | Propustnost<br>[op/s] | Chyb        | Čas [s]   | Propustnost<br>[op/s] | Chyb        |
| 32/10   | 87,797    | 11 390                | 0           | -         | -                     | -           |
| <b>Bodové dotazy - 4 mil.</b>                                       |           |                       |             |           |                       |             |
| 128/2   | 381,691   | 10 480                | 0           | -         | -                     | -           |
| 128/2   | 524,104   | 7 632                 | 0           | -         | -                     | -           |
| Speciální test s replikací záznamů na obou uzlech se selháním uzlu. |           |                       |             |           |                       |             |
| 128/5   | 321,075   | 12 458                | 0           | 316,991   | 12 619                | 0           |
| 128/10  | 256,547   | 15 592                | 0           | 250,385   | 15 975                | 0           |
| 128/15  | 227,276   | 17 603                | 0           | 235,461   | 17 071                | 0           |
| 128/20  | 213,228   | 18 769                | 0           | 208,346   | 19 239                | 0           |
| <b>Bodové dotazy - 8 mil.</b>                                       |           |                       |             |           |                       |             |
| 256/5   | 588,441   | 13 596                | 2 890       | 443,153   | 18 055                | 2 200       |
| 256/10  | 344,538   | 23 226                | 1 704       | 343,459   | 23 327                | 2 409       |
| 256/15  | 353,077   | 22 693                | 0           | 359,979   | 22 311                | 0           |
| 256/20  | 424,814   | 19 513                | 0           | 399,880   | 20 415                | 0           |
| <b>Rozsahové dotazy - 1 mil.</b>                                    |           |                       |             |           |                       |             |
|   | Čas [s]   | Propustnost<br>[op/s] | [záznamů/s] | Čas [s]   | Propustnost<br>[op/s] | [záznamů/s] |
| 32/5  | 267,890   | 3 733                 | 764 827     | 3 108,846 | 322                   | 2 017       |
| 32/10   | 243,154   | 4 113                 | 845 461     | 5 137,033 | 195                   | 1 301       |
| 32/15   | 290,522   | 3 442                 | 695 660     | 5 652,437 | 177                   | 1 069       |
| <b>Rozsahové dotazy - 2 mil.</b>                                    |           |                       |             |           |                       |             |
| 128/10  | 416,296   | 4 818                 | 972 492     | -         | -                     | -           |
| 128/15  | 358,162   | 5 597                 | 1 117 001   | -         | -                     | -           |
| <b>Rozsahové dotazy - 4 mil.</b>                                    |           |                       |             |           |                       |             |
| 128/20  | 2 198,210 | 1 820                 | 225 940     | -         | -                     | -           |

Tabulka 17: Výsledky všech testů na DDS v2.0

## B Tabulky vkládání

| DDS v1.0 - Vkládání na 10 uzelů |           |                 |                      |                    |              |
|---------------------------------|-----------|-----------------|----------------------|--------------------|--------------|
| Základní pohled   Virt_23       |           |                 |                      |                    |              |
| B-strom                         |           |                 |                      |                    |              |
| Test č.                         | Čas [s]   | Použito záznamů | Simulovaných klientů | Propustnost [op/s] | Chyb přenosu |
| 1                               | 8 645,57  | 18 mil.         | 32                   | 2 082              | 85           |
| Uzel                            | Virt_23   | Virt_24         | Virt_25              | Virt_26            | Virt_27      |
| <b>Vloženo</b>                  | 3 110 436 | 4 237 537       | 3 963 520            | 3 903 833          | 2 784 675    |
| <b>Replikováno</b>              | 3 110 445 | 3 972 644       | 3 838 338            | 3 414 868          | 2 091 385    |
| <b>Spojení celkem</b>           | 3 110 511 | 4 237 576       | 3 963 553            | 3 903 873          | 2 784 719    |
| <b>Čas DB [s]</b>               | 46,959    | 66,118          | 56,583               | 55,576             | 44,119       |
| <b>Max propustnost [op/s]</b>   | 560       | 647             | 628                  | 632                | 512          |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>      | 360       | 490             | 458                  | 451                | 322          |
| <b>Pohledů</b>                  | 64        | 12              | 14                   | 14                 | 18           |
| <b>Adresní chyby</b>            | 64        | 12              | 14                   | 14                 | 18           |
| Uzel                            | Virt_28   | Virt_29         | Virt_30              | Virt_31            | Virt_32      |
| <b>Vloženo</b>                  | 3 110 436 | 4 237 537       | 3 963 520            | 3 903 833          | 2 784 675    |
| <b>Replikováno</b>              | 0         | 264 915         | 125 199              | 488 987            | 693 309      |
| <b>Spojení celkem</b>           | 3 110 499 | 4 237 585       | 3 963 564            | 3 903 874          | 2 784 734    |
| <b>Čas DB [s]</b>               | 45,1010   | 65,4360         | 58,2280              | 59,3130            | 43,5130      |
| <b>Max propustnost [op/s]</b>   | 567       | 646             | 624                  | 623                | 508          |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>      | 360       | 490             | 458                  | 451                | 322          |
| <b>Pohledů</b>                  | 0         | 0               | 0                    | 0                  | 6            |
| <b>Adresní chyby</b>            | 0         | 0               | 0                    | 0                  | 6            |

Tabulka 18: DDS v1.0 - Vkládání na 10 uzelů, B-strom

| DDS v1.0 - Bodové dotazy na 10 uzlů |         |                 |                      |                    |              |
|-------------------------------------|---------|-----------------|----------------------|--------------------|--------------|
| Základní pohled                     |         | Virt_23         |                      |                    |              |
| B-strom                             |         |                 |                      |                    |              |
| Test č.                             | Čas [s] | Použito záznamů | Simulovaných klientů | Propustnost [op/s] | Chyb přenosu |
| 1                                   | 289,294 | 1 mil.          | 32                   | 3 457              | 0            |
| Uzel                                | Virt_23 | Virt_24         | Virt_25              | Virt_26            | Virt_27      |
| Bodový dotaz                        | 172 609 | 186 628         | 191 905              | 155 886            | 113 787      |
| Spojení celkem                      | 172 675 | 186 646         | 191 923              | 155 904            | 113 799      |
| Čas DB [s]                          | 2,2570  | 2,5700          | 2,8750               | 2,3090             | 1,6940       |
| Max propustnost [op/s]              | 796     | 879             | 913                  | 735                | 576          |
| Průměr prop. [op/s]                 | 596     | 645             | 633                  | 539                | 393          |
| Pohledů                             | 64      | 16              | 16                   | 16                 | 10           |
| Adresní chyby                       | 64      | 16              | 16                   | 16                 | 10           |
| Uzel                                | Virt_28 | Virt_29         | Virt_30              | Virt_31            | Virt_32      |
| Bodový dotaz                        | 0       | 51 245          | 27 107               | 61 290             | 39 544       |
| Spojení celkem                      | 0       | 51 247          | 27 115               | 61 292             | 39 546       |
| Čas DB [s]                          | 0s      | 1,0570          | 0,5170               | 1,1810             | 0,4720       |
| Max propustnost [op/s]              | 0       | 338             | 149                  | 329                | 207          |
| Průměr prop. [op/s]                 | 0       | 177             | 94                   | 212                | 137          |
| Pohledů                             | 0       | 0               | 0                    | 6                  | 0            |
| Adresní chyby                       | 0       | 0               | 0                    | 6                  | 0            |

Tabulka 19: DDS v1.0 - Bodové dotazy na 10 uzlů, B-strom, 4 x 32

| DDS v2.0 - Vkládání na 2 uzly |           |                 |                        |                    |              |
|-------------------------------|-----------|-----------------|------------------------|--------------------|--------------|
| Základní pohled               |           | Virt_23         |                        |                    |              |
| B-strom                       |           |                 |                        |                    |              |
| Test č.                       | Čas [s]   | Použito záznamů | Simulovaných klientů   | Propustnost [op/s] | Chyb přenosu |
| 1                             | 4 144,945 | 18 mil.         | 32                     | 4 343              | 0            |
| Uzel                          |           |                 | Virt_23                | Virt_24            |              |
| Spojení celkem                |           |                 | 18 000 000             | 18 000 000         |              |
| Záznamů v DB                  |           |                 | 18 000 000             | 18 000 000         |              |
| Čas DB [s]                    |           |                 | 295,523                | 255,902            |              |
| Max propustnost [op/s]        |           |                 | 5 873                  | 5 855              |              |
| Průměr propustnost [op/s]     |           |                 | 4 344                  | 4 344              |              |
| Pohledů                       |           |                 | 5 438 406              | 3 791 514          |              |
| Chyb přeposlání               |           |                 | 0 - plná replikace dat |                    |              |

Tabulka 20: DDS v2.0 - Vkládání na 2 uzly, B-strom

| DDS v2.0 - Vkládání na 5 uzlů |           |                 |                      |                    |              |
|-------------------------------|-----------|-----------------|----------------------|--------------------|--------------|
| Základní pohled               |           | Virt_23         |                      |                    |              |
| B-strom                       |           |                 |                      |                    |              |
|                               | Čas [s]   | Vloženo záznamů | Simulovaných klientů | Propustnost [op/s] | Chyb přenosu |
| <b>Průměr</b>                 | 1 537,203 | 18 mil.         | 32                   | 11 710             | 0            |
| Uzel                          | Virt_23   | Virt_24         | Virt_25              | Virt_26            | Virt_27      |
| <b>Spojení celkem</b>         | 3 111 712 | 4 236 595       | 3 964 403            | 3 903 652          | 2 783 771    |
| <b>Záznamů v DB</b>           | 3 111 583 | 4 236 595       | 3 964 403            | 3 903 652          | 2 783 771    |
| <b>Čas DB [s]</b>             | 19,558    | 19,997          | 19,964               | 18,084             | 17,669       |
| <b>Max prop. [op/s]</b>       | 3 436     | 4 500           | 4 032                | 4 072              | 2 936        |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>    | 2 649     | 3 607           | 3 375                | 3 323              | 23 70        |
| <b>Pohledů</b>                | 0         | 32              | 32                   | 32                 | 32           |
| <b>Adresní chyby</b>          | 128       | 0               | 0                    | 0                  | 0            |
| R-strom                       |           |                 |                      |                    |              |
|                               | Čas [s]   | Vloženo záznamů | Simulovaných klientů | Propustnost [op/s] | Chyb přenosu |
| <b>Průměr</b>                 | 1 574,088 | 18 mil.         | 32                   | 11 435             | 0            |
| Uzel                          | Virt_23   | Virt_24         | Virt_25              | Virt_26            | Virt_27      |
| <b>Spojení celkem</b>         | 3 111 712 | 4 236 595       | 3 964 403            | 3 903 652          | 2 783 771    |
| <b>Záznamů v DB</b>           | 3 111 583 | 4 236 595       | 3 964 403            | 3 903 652          | 2 783 771    |
| <b>Čas DB [s]</b>             | 241,552   | 398,442         | 370,523              | 371,274            | 261,989      |
| <b>Max prop. [op/s]</b>       | 2 498     | 3 240           | 2 984                | 2 966              | 2 200        |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>    | 1 977     | 2 691           | 2 519                | 2 480              | 1 768        |
| <b>Pohledů</b>                | 0         | 32              | 32                   | 32                 | 32           |
| <b>Adresní chyby</b>          | 128       | 0               | 0                    | 0                  | 0            |

Tabulka 21: DDS v2.0 - Vkládání na 5 uzlů, R-strom a B-strom

| DDS v2.0 - Vkládání na 5 uzlů |           |                 |                      |                    |              |
|-------------------------------|-----------|-----------------|----------------------|--------------------|--------------|
| Základní pohled               |           | Virt_23         |                      |                    |              |
| B-strom                       |           |                 |                      |                    |              |
|                               | Čas [s]   | Vloženo záznamů | Simulovaných klientů | Propustnost [op/s] | Chyb přenosu |
| <b>Průměr</b>                 | 1 293,109 | 18 mil.         | 4 x 32               | 13 921             | 0            |
| Uzel                          | Virt_23   | Virt_24         | Virt_25              | Virt_26            | Virt_27      |
| <b>Spojení celkem</b>         | 3 112 095 | 4 236 594       | 3 964 402            | 3 903 651          | 2 783 770    |
| <b>Záznamů v DB</b>           | 3 111 583 | 4 236 594       | 3 964 402            | 3 903 651          | 2 783 770    |
| <b>Čas DB [s]</b>             | 77,582    | 49,658          | 72,297               | 76,052             | 44,313       |
| <b>Max prop. [op/s]</b>       | 4 859     | <b>6 334</b>    | 5 759                | 5 950              | 4 173        |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>    | 2 407     | 3 276           | 3 066                | 3 019              | 2 153        |
| <b>Pohledů</b>                | 0         | 128             | 128                  | 128                | 128          |
| <b>Adresní chyby</b>          | 512       | 0               | 0                    | 0                  | 0            |
| R-strom                       |           |                 |                      |                    |              |
|                               | Čas [s]   | Vloženo záznamů | Simulovaných klientů | Propustnost [op/s] | Chyb přenosu |
| <b>Průměr</b>                 | 1 394,61  | 18 mil.         | 4 x 32               | 12 907             | 0            |
| Uzel                          | Virt_23   | Virt_24         | Virt_25              | Virt_26            | Virt_27      |
| <b>Spojení celkem</b>         | 3 112 095 | 4 236 594       | 3 964 402            | 3 903 651          | 2 783 770    |
| <b>Záznamů v DB</b>           | 3 111 583 | 4 236 594       | 3 964 402            | 3 903 651          | 2 783 770    |
| <b>Čas DB [s]</b>             | 792,093   | 1 220,63        | 1 136,95             | 1 164              | 639,076      |
| <b>Max prop. [op/s]</b>       | 3 550     | 4 658           | 4 777                | 4 339              | 2 992        |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>    | 2 232     | 3 038           | 2 843                | 2 799              | 1 996        |
| <b>Pohledů</b>                | 0         | 128             | 128                  | 128                | 128          |
| <b>Adresní chyby</b>          | 512       | 0               | 0                    | 0                  | 0            |

Tabulka 22: DDS v2.0 - Vkládání na 5 uzlů, R-strom a B-strom, 4 x 32

| DDS v2.0 - Vkládání na 10 uzlů   |   |   |   |   |  |
|--|---|---|---|---|--|
| Základní pohled   Virt_23  |   |   |   |   |  |
| B-strom  |   |   |   |   |  |
|  | Čas [s]   | Vloženo záznamů   | Simulovaných klientů  | Propustnost [op/s]  | Chyb přenosu   |
| <b>Průměr</b>  | 2 324,479   | 18 mil.   | 32  | 7 744   | 0  |
| <b>Uzel</b>  | <b>Virt_23</b>  | <b>Virt_24</b>  | <b>Virt_25</b>  | <b>Virt_26</b>  | <b>Virt_27</b>   |
| <b>Spojení celkem Záznamů v DB Čas DB [s] Max prop. [op/s] Průměr prop. [op/s] Pohledů Adresní chyby</b> | 3 111 711<br>3 111 583<br>79,126<br>2 240<br>1 341<br>0<br>128          | 4 236 594<br>4 236 594<br>87,478<br>2 452<br>1 826<br>32<br>0         | 3 964 402<br>3 964 402<br>72,866<br>2 319<br>1 708<br>32<br>0         | 3 903 651<br>3 903 651<br>83,781s<br>2 253<br>1 682<br>32<br>0        | 2 783 770<br>2 783 770<br>60,459<br>1 548<br>1 199<br>32<br>0        |
| <b>Uzel</b>  | <b>Virt_28</b>  | <b>Virt_29</b>  | <b>Virt_30</b>  | <b>Virt_31</b>  | <b>Virt_32</b>   |
| <b>Spojení celkem Záznamů v DB Čas DB [s] Max prop. [op/s] Průměr prop. [op/s] Pohledů Adresní chyby</b> | 3 111 583<br>3 111 583<br>56,753<br>2 003<br>1 341<br>0<br>0            | 4 236 595<br>4 236 594<br>77,923<br>2 328<br>1 826<br>0<br>0          | 3 964 402<br>3 964 402<br>79,175<br>2 352<br>1 708<br>0<br>0          | 3 903 651<br>3 903 651<br>78,657<br>2 318<br>1 682<br>0<br>0          | 2 783 770<br>2 783 770<br>55,467<br>1 644<br>1 199<br>0<br>0         |
| R-strom  |   |   |   |   |  |
|  | Čas [s]   | Vloženo záznamů   | Simulovaných klientů  | Propustnost [op/s]  | Chyb přenosu   |
| <b>Průměr</b>  | 2 630,610   | 18 mil.   | 32  | 6 843   | 0  |
| <b>Uzel</b>  | <b>Virt_23</b>  | <b>Virt_24</b>  | <b>Virt_25</b>  | <b>Virt_26</b>  | <b>Virt_27</b>   |
| <b>Spojení celkem Záznamů v DB Čas DB [s] Max prop. [op/s] Průměr prop. [op/s] Pohledů Adresní chyby</b> | 3 111 711<br>3 111 583<br>314,225<br>1 894<br>1 183<br>1 051 356<br>128 | 4 236 594<br>4 236 594<br>499,626<br>2 242<br>1 610<br>1 581 978<br>0 | 3 964 402<br>3 964 402<br>447,937<br>2 185<br>1 507<br>165 245<br>0   | 3 903 651<br>3 903 651<br>459,247<br>2273<br>1 484<br>238 646<br>0    | 2 783 770<br>2 783 770<br>266,056<br>1653<br>1 058<br>1 217 543<br>0 |
| <b>Uzel</b>  | <b>Virt_28</b>  | <b>Virt_29</b>  | <b>Virt_30</b>  | <b>Virt_31</b>  | <b>Virt_32</b>   |
| <b>Spojení celkem Záznamů v DB Čas DB [s] Max prop. [op/s] Průměr prop. [op/s] Pohledů Adresní chyby</b> | 3 111 583<br>3 111 583<br>304,202<br>1 790<br>1 183<br>534 733<br>0     | 4 236 594<br>4 236 594<br>476,636<br>2 429<br>1 610<br>634 863<br>0   | 3 964 402<br>3 964 402<br>454,622<br>2 237<br>1 507<br>1 853 682<br>0 | 3 903 651<br>3 903 651<br>396,797<br>2 263<br>1 484<br>1 758 886<br>0 | 2 783 770<br>2 783 770<br>320,446<br>1 674<br>1 058<br>214 353<br>0  |

Tabulka 23: DDS v2.0 - Vkládání na 10 uzlů, B-strom a R-strom

| DDS v2.0 - Vkládání na 15 uzlů |           |                 |                      |                    |              |
|--------------------------------|-----------|-----------------|----------------------|--------------------|--------------|
| Základní pohled   Virt_23      |           |                 |                      |                    |              |
| B-strom                        |           |                 |                      |                    |              |
|                                | Čas [s]   | Vloženo záznamů | Simulovaných klientů | Propustnost [op/s] | Chyb přenosu |
| Průměr                         | 3 933,135 | 18 mil.         | 32                   | 4 577              | 0            |
| Uzel                           | Virt_23   | Virt_24         | Virt_25              | Virt_26            | Virt_27      |
| <b>Spojení celkem</b>          | 3 111 711 | 4 236 594       | 3 964 402            | 3 903 651          | 2 783 770    |
| <b>Záznamů v DB</b>            | 3 111 583 | 4 236 594       | 3 964 402            | 3 903 651          | 2 783 770    |
| <b>Čas DB [s]</b>              | 75,498    | 84,076          | 77,167               | 66,824             | 62,145       |
| <b>Max prop. [op/s]</b>        | 1 396     | 1 826           | 1 722                | 1 764              | 1 358        |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>     | 791       | 1 077           | 1 008                | 993                | 708          |
| <b>Pohledů</b>                 | 1 535 021 | 1 881 185       | 228 766              | 217 445            | 1 245 972    |
| <b>Adresní chyby</b>           | 128       | 0               | 0                    | 0                  | 0            |
| Uzel                           | Virt_28   | Virt_29         | Virt_30              | Virt_31            | Virt_32      |
| <b>Spojení celkem</b>          | 3 111 583 | 4 236 594       | 3 964 402            | 3 903 651          | 2 783 770    |
| <b>Záznamů v DB</b>            | 3 111 583 | 4 236 594       | 3 964 402            | 3 903 651          | 2 783 770    |
| <b>Čas DB [s]</b>              | 61,459    | 81,51           | 77,869               | 73,171             | 66,591       |
| <b>Max prop. [op/s]</b>        | 1 342     | 1 894           | 1 793                | 1 737              | 1 341        |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>     | 791       | 1 077           | 1 008                | 993                | 708          |
| <b>Pohledů</b>                 | 50 548    | 0               | 1 548 486            | 0                  | 80 090       |
| <b>Adresní chyby</b>           | 0         | 0               | 0                    | 0                  | 0            |
| Uzel                           | Virt_17   | Virt_40         | Virt_95              | Virt_96            | Virt_97      |
| <b>Spojení celkem</b>          | 3 111 583 | 4 236 594       | 3 964 402            | 3 903 651          | 2 783 770    |
| <b>Záznamů v DB</b>            | 3 111 583 | 4 236 594       | 3 964 402            | 3 903 651          | 2 783 770    |
| <b>Čas DB [s]</b>              | 182,645   | 185,161         | 116,281              | 180,852            | 80,211       |
| <b>Max prop. [op/s]</b>        | 1 345     | 1 876           | 1 681                | 1 816              | 1 314        |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>     | 791       | 1 077           | 1 008                | 993                | 708          |
| <b>Pohledů</b>                 | 0         | 422 222         | 260 849              | 2 640 200          | 51 023       |
| <b>Adresní chyby</b>           | 0         | 0               | 0                    | 0                  | 0            |

Tabulka 24: DDS v2.0 - Vkládání na 15 uzlů, B-strom

| DDS v2.0 - Vkládání na 15 uzelů  |   |   |   |   |   |
|--|---|---|---|---|---|
| Základní pohled    Virt_23   |   |   |   |   |   |
| R-strom  |   |   |   |   |   |
|  | Čas [s]   | Vloženo záznamů   | Simulovaných klientů  | Propustnost [op/s]  | Chyb přenosu  |
| <b>Průměr</b>  | 3 901,517   | 18 mil.   | 32  | 4 614   | 0   |
| <b>Uzel</b>  | <b>Virt_23</b>  | <b>Virt_24</b>  | <b>Virt_25</b>  | <b>Virt_26</b>  | <b>Virt_27</b>  |
| <b>Spojení celkem Záznamů v DB Čas DB [s] Max prop. [op/s] Průměr prop. [op/s] Pohledů Adresní chyby</b> | 3 111 711<br>3 111 583<br>311,768<br>1 172<br>798<br>1 489 477<br>128 | 4 236 594<br>4 236 594<br>405,116<br>1 584<br>1 086<br>2 179 128<br>0 | 3 964 402<br>3 964 402<br>343,323<br>1 388<br>1 016<br>0<br>0         | 3 903 651<br>3 903 651<br>352,899<br>1 372<br>1 001<br>0<br>0         | 2 783 770<br>2 783 770<br>261,017<br>1 043<br>714<br>1 372 498<br>0 |
| <b>Uzel</b>  | <b>Virt_28</b>  | <b>Virt_29</b>  | <b>Virt_30</b>  | <b>Virt_31</b>  | <b>Virt_32</b>  |
| <b>Spojení celkem Záznamů v DB Čas DB [s] Max prop. [op/s] Průměr prop. [op/s] Pohledů Adresní chyby</b> | 3 111 538<br>3 111 538<br>297,055<br>1 160<br>798<br>659<br>0         | 4 236 594<br>4 236 594<br>365,445<br>1 574<br>1 086<br>2 702<br>0     | 3 964 402<br>3 964 402<br>365,997<br>1 386<br>1 016<br>1 985 735<br>0 | 3 903 651<br>3 903 651<br>391,036<br>1 390<br>1 001<br>1 983 392<br>0 | 2 783 770<br>2 783 770<br>294,95<br>1 054<br>714<br>50 272<br>0     |
| <b>Uzel</b>  | <b>Virt_17</b>  | <b>Virt_40</b>  | <b>Virt_95</b>  | <b>Virt_96</b>  | <b>Virt_97</b>  |
| <b>Spojení celkem Záznamů v DB Čas DB [s] Max prop. [op/s] Průměr prop. [op/s] Pohledů Adresní chyby</b> | 3 111 538<br>3 111 538<br>768,342<br>1 147<br>1798<br>57 178<br>0     | 4 236 594<br>4 236 594<br>591,168<br>1 564<br>1 086<br>21<br>0        | 3 964 402<br>3 964 402<br>611,705<br>1 413<br>1 016<br>0<br>0         | 3 903 651<br>3 903 651<br>588,057<br>1 387<br>1 001<br>67 801<br>0    | 2 783 770<br>2 783 770<br>395,698<br>1 003<br>714<br>3 006<br>0     |

Tabulka 25: DDS v2.0 - Vkládání na 15 uzelů, R-strom

| DDS v2.0 - Vkládání na 20 uzlů |                |                    |                         |                       |                 |
|--------------------------------|----------------|--------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------|
| Základní pohled                |                | Virt_23            |                         |                       |                 |
| B-strom                        |                |                    |                         |                       |                 |
|                                | Čas<br>[s]     | Vloženo<br>záznamů | Simulovaných<br>klientů | Propustnost<br>[op/s] | Chyb<br>přenosu |
| <b>Průměr</b>                  | 5 184,46       | 18 mil.            | 32                      | 3 472                 | 0               |
| <b>Uzel</b>                    | <b>Virt_23</b> | <b>Virt_24</b>     | <b>Virt_25</b>          | <b>Virt_26</b>        | <b>Virt_27</b>  |
| <b>Spojení celkem</b>          | 3 111 711      | 4 236 594          | 3 964 402               | 3 903 651             | 2 783 770       |
| <b>Záznamů v DB</b>            | 3 111 583      | 4 236 594          | 3 964 402               | 3 903 651             | 2 783 770       |
| <b>Čas DB [s]</b>              | 72,365         | 81,815             | 75,109                  | 79,894                | 61,392          |
| <b>Max prop. [op/s]</b>        | 964            | 1 248              | 1 030                   | 1 028                 | 800             |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>     | 600            | 817                | 765                     | 753                   | 537             |
| <b>Pohledů</b>                 | 1 572 504      | 1 957 371          | 1 893 293               | 1 931 515             | 1 314 535       |
| <b>Adresní chyby</b>           | 128            | 0                  | 0                       | 0                     | 0               |
| <b>Uzel</b>                    | <b>Virt_28</b> | <b>Virt_29</b>     | <b>Virt_30</b>          | <b>Virt_31</b>        | <b>Virt_32</b>  |
| <b>Spojení celkem</b>          | 3 111 583      | 4 236 594          | 3 964 402               | 3 903 651             | 2 783 770       |
| <b>Záznamů v DB</b>            | 3 111 583      | 4 236 594          | 3 964 402               | 3 903 651             | 2 783 770       |
| <b>Čas DB [s]</b>              | 64,646         | 77,071             | 71,963                  | 80,214                | 57,683          |
| <b>Max prop. [op/s]</b>        | 963            | 1 248              | 1 047                   | 1 080                 | 804             |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>     | 600            | 817                | 765                     | 753                   | 537             |
| <b>Pohledů</b>                 | 174            | 932                | 6 562                   | 7 580                 | 0               |
| <b>Adresní chyby</b>           | 128            | 0                  | 0                       | 0                     | 0               |
| <b>Uzel</b>                    | <b>Virt_17</b> | <b>Virt_40</b>     | <b>Virt_95</b>          | <b>Virt_96</b>        | <b>Virt_97</b>  |
| <b>Spojení celkem</b>          | 3 111 583      | 4 236 594          | 3 964 402               | 3 903 651             | 2 783 770       |
| <b>Záznamů v DB</b>            | 3 111 583      | 4 236 594          | 3 964 402               | 3 903 651             | 2 783 770       |
| <b>Čas DB [s]</b>              | 245,172        | 255,278            | 166,569                 | 244,609               | 204,215         |
| <b>Max prop. [op/s]</b>        | 944            | 1 267              | 1 041                   | 1 031                 | 870             |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>     | 600            | 817                | 765                     | 753                   | 537             |
| <b>Pohledů</b>                 | 14 824         | 122 770            | 110 547                 | 8 717                 | 31              |
| <b>Adresní chyby</b>           | 128            | 0                  | 0                       | 0                     | 0               |
| <b>Uzel</b>                    | <b>Virt_98</b> | <b>Virt_99</b>     | <b>Virt_100</b>         | <b>Virt_101</b>       | <b>Virt_102</b> |
| <b>Spojení celkem</b>          | 3 111 583      | 4 236 594          | 3 964 402               | 3 903 651             | 2 783 770       |
| <b>Záznamů v DB</b>            | 3 111 583      | 4 236 594          | 3 964 402               | 3 903 651             | 2 783 770       |
| <b>Čas DB [s]</b>              | 188,929        | 189,757            | 248,794                 | 176,445               | 117,326         |
| <b>Max prop. [op/s]</b>        | 891            | 1 268              | 1 044                   | 1 036                 | 785             |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>     | 600            | 817                | 765                     | 753                   | 537             |
| <b>Pohledů</b>                 | 0              | 0                  | 0                       | 0                     | 0               |
| <b>Adresní chyby</b>           | 128            | 0                  | 0                       | 0                     | 0               |

Tabulka 26: DDS v2.0 - Vkládání na 20 uzlů, B-strom

| DDS v2.0 - Vkládání na 20 uzelů  |   |   |   |   |   |
|--|---|---|---|---|---|
| Základní pohled  | Virt_23   |   |   |   |   |
| R-strom  |   |   |   |   |   |
|  | Čas [s]   | Vloženo záznamů   | Simulovaných klientů  | Propustnost [op/s]  | Chyb přenosu  |
| Průměr   | 5 285,025   | 18 mil.   | 32  | 3 407   | 0   |
| Uzel   | Virt_23   | Virt_24   | Virt_25   | Virt_26   | Virt_27   |
| <b>Spojení celkem Záznamů v DB Čas DB [s] Max prop. [op/s] Průměr prop. [op/s] Pohledů Adresní chyby</b> | 3 111 711<br>3 111 538<br>321,893<br>913<br>589<br>1 492 516<br>128 | 4 236 594<br>4 236 594<br>372,2<br>1 119<br>802<br>1 844 121<br>0   | 3 964 402<br>3 964 402<br>344,256<br>1 016<br>750<br>2 077 057<br>0 | 3 903 651<br>3 903 651<br>353,005<br>1 046<br>739<br>1 886 614<br>0 | 2 783 770<br>2 783 770<br>276,316<br>754<br>527<br>1 374 862<br>0 |
| Uzel   | Virt_28   | Virt_29   | Virt_30   | Virt_31   | Virt_32   |
| <b>Spojení celkem Záznamů v DB Čas DB [s] Max prop. [op/s] Průměr prop. [op/s] Pohledů Adresní chyby</b> | 3 111 538<br>3 111 538<br>289,034<br>878<br>589<br>730<br>0         | 4 236 594<br>4 236 594<br>381,184<br>1 179<br>802<br>124 523<br>0   | 3 964 402<br>3 964 402<br>339,535<br>997<br>750<br>1 056<br>0       | 3 903 651<br>3 903 651<br>396,316<br>1 001<br>739<br>0<br>0         | 2 783 770<br>2 783 770<br>268,111<br>750<br>527<br>0<br>0         |
| Uzel   | Virt_17   | Virt_40   | Virt_95   | Virt_96   | Virt_97   |
| <b>Spojení celkem Záznamů v DB Čas DB [s] Max prop. [op/s] Průměr prop. [op/s] Pohledů Adresní chyby</b> | 3 111 538<br>3 111 538<br>1 042,49<br>883<br>589<br>6<br>0          | 4 236 594<br>4 236 594<br>1 006,453<br>1 143<br>802<br>213 196<br>0 | 3 964 402<br>3 964 402<br>953,511<br>1 049<br>750<br>36<br>0        | 3 903 651<br>3 903 651<br>949,691<br>1 017<br>739<br>171 605<br>0   | 2 783 770<br>2 783 770<br>622,183<br>742<br>527<br>1 886<br>0     |
| Uzel   | Virt_98   | Virt_99   | Virt_100  | Virt_101  | Virt_102  |
| <b>Spojení celkem Záznamů v DB Čas DB [s] Max prop. [op/s] Průměr prop. [op/s] Pohledů Adresní chyby</b> | 3 111 538<br>3 111 538<br>710,307<br>897<br>589<br>0<br>0           | 4 236 594<br>4 236 594<br>1 019,08<br>1 142<br>802<br>0<br>0        | 3 964 402<br>3 964 402<br>844,04<br>1 017<br>750<br>0<br>0          | 3 903 651<br>3 903 651<br>883,02<br>1 014<br>739<br>0<br>0          | 2 783 770<br>2 783 770<br>594,202<br>742<br>527<br>0<br>0         |

Tabulka 27: DDS v2.0 - Vkládání na 20 uzelů, R-strom



## C Tabulky bodových dotazů

| DDS v2.0 - Bodové dotazy na 2 uzly     |         |                    |                      |                    |              |
|--|---------|--------------------|----------------------|--------------------|--------------|
| Základní pohled    Virt_23             |         |                    |                      |                    |              |
| B-strom                                |         |                    |                      |                    |              |
|  | Čas [s] | Dotázaných záznamů | Simulovaných klientů | Propustnost [op/s] | Chyb přenosu |
| Průměr                                 | 381,691 | 4 x 1 mil.         | 4 x 32               | 10 480             | 0            |
| Uzel                                   |         |                    | Virt_23              |                    | Virt_24      |
| Spojení Dotazů                         |         |                    | 1 678 043            |                    | 2 321 957    |
| Čas DB [s]                             |         |                    | 1 678 043            |                    | 2 321 957    |
| Max prop. [op/s]                       |         |                    | 29,541               |                    | 37,612       |
| Průměr prop. [op/s]                    |         |                    | 5 736                |                    | 6 682        |
| Pohledů                                |         |                    | 4 396                |                    | 6 083        |
| Chyb přeposlání                        |         |                    | 1 112 621            |                    | 0            |
| Chyb přeposlání 0 - plná replikace dat |         |                    |                      |                    |              |

Tabulka 28: DDS v2.0 - Bodové dotazy na 2 uzly, B-strom, 4 x 32

| DDS v2.0 - Bodové dotazy na 2 uzly s nedostupností |         |                    |                      |                    |              |
|--|---------|--------------------|----------------------|--------------------|--------------|
| Základní pohled    Virt_23                         |         |                    |                      |                    |              |
| B-strom  |         |                    |                      |                    |              |
|  | Čas [s] | Dotázaných záznamů | Simulovaných klientů | Propustnost [op/s] | Chyb přenosu |
| Průměr   | 524,104 | 4 x 1 mil.         | 4 x 32               | 7 632              | 61           |
| Test dostupnosti při selhání 1 uzlu                |         |                    |                      |                    |              |
| Uzel   |         |                    | Virt_23              |                    | Virt_24      |
| Spojení Dotazů                                     |         |                    | X                    |                    | 3 693 129    |
| Čas DB [s]   |         |                    | 306 871              |                    | 3 693 129    |
| Max prop. [op/s]                                   |         |                    | X                    |                    | 61,747       |
| Průměr prop. [op/s]                                |         |                    | X                    |                    | 9 500        |
| Pohledů  |         |                    | X                    |                    | 7 047        |
| Chyb přeposlání                                    |         |                    | X                    |                    | 2 049 601    |
| Chyb přeposlání 0 - plná replikace dat             |         |                    |                      |                    |              |

Tabulka 29: DDS v2.0 - Bodové dotazy na 2 uzly s nedostupností, B-strom, 4 x 32

| DDS v2.0 - Bodové dotazy na 5 uzelů |         |                    |                      |                    |              |
|-------------------------------------|---------|--------------------|----------------------|--------------------|--------------|
| Základní pohled    Virt_23          |         |                    |                      |                    |              |
| B-strom                             |         |                    |                      |                    |              |
|                                     | Čas [s] | Dotázaných záznamů | Simulovaných klientů | Propustnost [op/s] | Chyb přenosu |
| <b>Průměr</b>                       | 321,075 | 4 x 1 mil.         | 4 x 32               | 12 458             | 0            |
| Uzel                                | Virt_23 | Virt_24            | Virt_25              | Virt_26            | Virt_27      |
| <b>Spojení celkem</b>               | 693 003 | 942 614            | 878 949              | 868 709            | 617 237      |
| <b>Dotazů</b>                       | 692 491 | 942 614            | 878 949              | 868 709            | 617 237      |
| <b>Čas DB [s]</b>                   | 5,345   | 6,269              | 5,725                | 6,26s              | 4,492        |
| <b>Max prop. [op/s]</b>             | 2 749   | 3 384              | 3 510                | 3 416              | 2 669        |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>          | 2 158   | 2 738              | 2 737                | 2 705              | 1 922        |
| <b>Pohledů</b>                      | 0       | 128                | 128                  | 128                | 128          |
| <b>Adresní chyby</b>                | 512     | 0                  | 0                    | 0                  | 0            |
| R-strom                             |         |                    |                      |                    |              |
|                                     | Čas [s] | Dotázaných záznamů | Simulovaných klientů | Propustnost [op/s] | Chyb přenosu |
| <b>Průměr</b>                       | 316,991 | 4 x 1 mil.         | 4 x 32               | 12 619             | 0            |
| Uzel                                | Virt_23 | Virt_24            | Virt_25              | Virt_26            | Virt_27      |
| <b>Spojení celkem</b>               | 693 004 | 942 614            | 878 949              | 868 708            | 617 237      |
| <b>Dotazů</b>                       | 692 492 | 942 614            | 878 949              | 868 708            | 617 237      |
| <b>Čas DB [s]</b>                   | 127,23  | 130,556            | 134,03               | 131,213            | 90,381       |
| <b>Max prop. [op/s]</b>             | 2 998   | 4 197              | 3 776                | 3 788              | 2 816        |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>          | 2 186   | 2 974              | 2 773                | 2 740              | 1 947        |
| <b>Pohledů</b>                      | 0       | 128                | 128                  | 128                | 128          |
| <b>Adresní chyby</b>                | 512     | 0                  | 0                    | 0                  | 0            |

Tabulka 30: DDS v2.0 - Bodové dotazy na 5 uzelů, B-strom a R-strom, 4 x 32

| DDS v2.0 - Bodové dotazy na 10 uzlů |                |                    |                      |                    |                |
|-------------------------------------|----------------|--------------------|----------------------|--------------------|----------------|
| Základní pohled                     |                | Virt_23 + Virt_28  |                      |                    |                |
| B-strom                             |                |                    |                      |                    |                |
|                                     | Čas [s]        | Dotázaných záznamů | Simulovaných klientů | Propustnost [op/s] | Chyb přenosu   |
| <b>Průměr</b>                       | 256,547        | 4 x 1 mil.         | 4 x 32               | 15 592             | 0              |
| <b>Uzel</b>                         | <b>Virt_23</b> | <b>Virt_24</b>     | <b>Virt_25</b>       | <b>Virt_26</b>     | <b>Virt_27</b> |
| <b>Spojení celkem</b>               | 520 909        | 702 446            | 654 832              | 629 058            | 502 973        |
| <b>Dotazů</b>                       | 520 525        | 702 446            | 654 832              | 629 058            | 502 973        |
| <b>Čas DB [s]</b>                   | 20,484         | 16,658             | 17,281               | 15,684             | 14,944         |
| <b>Max prop. [op/s]</b>             | 2 649          | 3 697              | 3 343                | 3 367              | 2 622          |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>          | 2 030          | 2 738              | 2 552                | 2 448              | 1 961          |
| <b>Pohledů</b>                      | 358 548        | 321 136            | 300 164              | 210 575            | 320 282        |
| <b>Adresní chyby</b>                | 256            | 0                  | 0                    | 0                  | 0              |
| <b>Uzel</b>                         | <b>Virt_28</b> | <b>Virt_29</b>     | <b>Virt_30</b>       | <b>Virt_31</b>     | <b>Virt_32</b> |
| <b>Spojení celkem</b>               | 172 095        | 240 168            | 224 117              | 239 650            | 114 364        |
| <b>Dotazů</b>                       | 171 967        | 240 168            | 224 117              | 239 650            | 114 364        |
| <b>Čas DB [s]</b>                   | 4,653          | 8,028              | 5,88                 | 5,632              | 3,155          |
| <b>Max prop. [op/s]</b>             | 1 333          | 1 764              | 1 993                | 1 911              | 1 235          |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>          | 674            | 936                | 874                  | 934                | 446            |
| <b>Pohledů</b>                      | 64 803         | 58 265             | 34 502               | 150 117            | 31 228         |
| <b>Adresní chyby</b>                | 256            | 0                  | 0                    | 0                  | 0              |
| R-strom                             |                |                    |                      |                    |                |
|                                     | Čas [s]        | Dotázaných záznamů | Simulovaných klientů | Propustnost [op/s] | Chyb přenosu   |
| <b>Průměr</b>                       | 250,385        | 4 x 1 mil.         | 4 x 32               | 15 975             | 0              |
| <b>Uzel</b>                         | <b>Virt_23</b> | <b>Virt_24</b>     | <b>Virt_25</b>       | <b>Virt_26</b>     | <b>Virt_27</b> |
| <b>Spojení celkem</b>               | 583 653        | 941 883            | 534 580              | 753 403            | 256 968        |
| <b>Dotazů</b>                       | 583 397        | 941 883            | 534 580              | 753 403            | 256 968        |
| <b>Čas DB [s]</b>                   | 18,997         | 23,362             | 14,849               | 17,389             | 10,072         |
| <b>Max prop. [op/s]</b>             | 2 949          | 4 217              | 3 673                | 3 620              | 1 844          |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>          | 2 331          | 3 762              | 2 135                | 3 009              | 1 026          |
| <b>Pohledů</b>                      | 344 844        | 454 318            | 353 206              | 515 367            | 109 275        |
| <b>Adresní chyby</b>                | 256            | 0                  | 0                    | 0                  | 0              |
| <b>Uzel</b>                         | <b>Virt_28</b> | <b>Virt_29</b>     | <b>Virt_30</b>       | <b>Virt_31</b>     | <b>Virt_32</b> |
| <b>Spojení celkem</b>               | 109 351        | 731                | 344 370              | 115 305            | 360 269        |
| <b>Dotazů</b>                       | 108 905        | 731                | 344 370              | 115 305            | 360 269        |
| <b>Čas DB [s]</b>                   | 2,992          | 0,092              | 8,371                | 4,674              | 11,627         |
| <b>Max prop. [op/s]</b>             | 1 935          | 65                 | 3 206                | 1 971              | 1 760          |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>          | 437            | 3                  | 1 375                | 461                | 1 439          |
| <b>Pohledů</b>                      | 23 597         | 0                  | 112 890              | 22 665             | 227 736        |
| <b>Adresní chyby</b>                | 256            | 0                  | 0                    | 0                  | 0              |

Tabulka 31: DDS v2.0 - Bodové dotazy na 10 uzlů, Bstrom a R-strom, 4 x 32

| <b>DDS v2.0 - Bodové dotazy na 15 uzlů</b> |                |                             |                             |                           |                     |
|--|----------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------|
| <b>Základní pohled</b>                     |                | Virt_23 + Virt_28 + Virt_17 |                             |                           |                     |
| <b>B-strom</b>                             |                |                             |                             |                           |                     |
|  | <b>Čas [s]</b> | <b>Dotázaných záznamů</b>   | <b>Simulovaných klientů</b> | <b>Propustnost [op/s]</b> | <b>Chyb přenosu</b> |
| <b>Průměr</b>                              | 227,276        | 4 x 1 mil.                  | 4 x 32                      | 17 603                    | 0                   |
| <b>Uzel</b>                                | <b>Virt_23</b> | <b>Virt_24</b>              | <b>Virt_25</b>              | <b>Virt_26</b>            | <b>Virt_27</b>      |
| <b>Spojení celkem</b>                      | 344 538        | 457 628                     | 398 173                     | 395 641                   | 303 862             |
| <b>Dotazů</b>                              | 344 282        | 457 628                     | 398 173                     | 395 641                   | 303 862             |
| <b>Čas DB [s]</b>                          | 10,59          | 11,193                      | 9,533                       | 9,782                     | 8,981               |
| <b>Max prop. [op/s]</b>                    | 2 182          | 3 017                       | 2 829                       | 2 638                     | 1 974               |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>                 | 1 516          | 2 014                       | 1 752                       | 1 741                     | 1 337               |
| <b>Pohledů</b>                             | 123 096        | 247 949                     | 111 537                     | 191 401                   | 92 854              |
| <b>Adresní chyby</b>                       | 256            | 0                           | 0                           | 0                         | 0                   |
| <b>Uzel</b>                                | <b>Virt_28</b> | <b>Virt_29</b>              | <b>Virt_30</b>              | <b>Virt_31</b>            | <b>Virt_32</b>      |
| <b>Spojení celkem</b>                      | 194 384        | 217 077                     | 361 561                     | 81 718                    | 210 241             |
| <b>Dotazů</b>                              | 194 256        | 217 077                     | 361 561                     | 81 718                    | 210 241             |
| <b>Čas DB [s]</b>                          | 5,373          | 5,381                       | 9,192                       | 2,527                     | 5,905               |
| <b>Max prop. [op/s]</b>                    | 2 214          | 2 173                       | 2 963                       | 1 421                     | 2 017               |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>                 | 855            | 955                         | 1 591                       | 360                       | 925                 |
| <b>Pohledů</b>                             | 101 674        | 131 333                     | 232 074                     | 23 095                    | 148 214             |
| <b>Adresní chyby</b>                       | 128            | 0                           | 0                           | 0                         | 0                   |
|  | <b>Virt_17</b> | <b>Virt_40</b>              | <b>Virt_95</b>              | <b>Virt_96</b>            | <b>Virt_97</b>      |
| <b>Spojení celkem</b>                      | 154 082        | 267 909                     | 119 215                     | 391 349                   | 103 131             |
| <b>Dotazů</b>                              | 153 954        | 267 909                     | 119 215                     | 391 349                   | 103 131             |
| <b>Čas DB [s]</b>                          | 8,383          | 11,024                      | 3,174                       | 15,859                    | 3,197               |
| <b>Max prop. [op/s]</b>                    | 1 852          | 2 406                       | 1 629                       | 2 844                     | 1 673               |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>                 | 678            | 1 179                       | 525                         | 1 721                     | 454                 |
| <b>Pohledů</b>                             | 107 507        | 63 784                      | 27 024                      | 214 496                   | 18 386              |
| <b>Adresní chyby</b>                       | 128            | 0                           | 0                           | 0                         | 0                   |

Tabulka 32: DDS v2.0 - Bodové dotazy na 15 uzlů, B-strom, 4 x 32

| DDS v2.0 - Bodové dotazy na 15 uzlů |                             |                    |                      |                    |                |
|-------------------------------------|-----------------------------|--------------------|----------------------|--------------------|----------------|
| Základní pohled                     | Virt_23 + Virt_28 + Virt_17 |                    |                      |                    |                |
| R-strom                             |                             |                    |                      |                    |                |
|                                     | Čas [s]                     | Dotázaných záznamů | Simulovaných klientů | Propustnost [op/s] | Chyb přenosu   |
| <b>Průměr</b>                       | 235,461                     | 4 x 1 mil.         | 4 x 32               | 17 071             | 0              |
| <b>Uzel</b>                         | <b>Virt_23</b>              | <b>Virt_24</b>     | <b>Virt_25</b>       | <b>Virt_26</b>     | <b>Virt_27</b> |
| <b>Spojení celkem</b>               | 221 816                     | 444 280            | 12 362               | 187 638            | 309 042        |
| <b>Dotazů</b>                       | 221 560                     | 444 280            | 12 362               | 187 638            | 309 042        |
| <b>Čas DB [s]</b>                   | 7,01                        | 11,684             | 0,33                 | 8,104              | 11,003         |
| <b>Max prop. [op/s]</b>             | 1 502                       | 2 509              | 540                  | 2 306              | 1 682          |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>          | 942                         | 1 887              | 53                   | 797                | 1 313          |
| <b>Pohledů</b>                      | 127 775                     | 213 783            | 0                    | 92 108             | 231 752        |
| <b>Adresní chyby</b>                | 256                         | 0                  | 0                    | 0                  | 0              |
| <b>Uzel</b>                         | <b>Virt_28</b>              | <b>Virt_29</b>     | <b>Virt_30</b>       | <b>Virt_31</b>     | <b>Virt_32</b> |
| <b>Spojení celkem</b>               | 290 705                     | 461 594            | 544 309              | 212 266            | 445 181        |
| <b>Dotazů</b>                       | 290 554                     | 461 594            | 544 309              | 212 266            | 445 181        |
| <b>Čas DB [s]</b>                   | 8,841                       | 23,093             | 14,878               | 6,187              | 10,645         |
| <b>Max prop. [op/s]</b>             | 2 382                       | 2 470              | 2 744                | 1 451              | 3 708          |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>          | 1 235                       | 1 960              | 2 312                | 901                | 1 891          |
| <b>Pohledů</b>                      | 229 085                     | 320 021            | 326 340              | 60 686             | 232 281        |
| <b>Adresní chyby</b>                | 128                         | 0                  | 0                    | 0                  | 0              |
|                                     | <b>Virt_17</b>              | <b>Virt_40</b>     | <b>Virt_95</b>       | <b>Virt_96</b>     | <b>Virt_97</b> |
| <b>Spojení celkem</b>               | 180 516                     | 36 748             | 33 774               | 324 406            | 95 933         |
| <b>Dotazů</b>                       | 180 388                     | 36 748             | 33 774               | 324 406            | 95 933         |
| <b>Čas DB [s]</b>                   | 10,259                      | 2,032              | 1,425                | 14,124             | 4,349          |
| <b>Max prop. [op/s]</b>             | 1 454                       | 1 243              | 1 503                | 2 549              | 769            |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>          | 767                         | 156                | 143                  | 1 378              | 407            |
| <b>Pohledů</b>                      | 125 444                     | 4 332              | 16 543               | 136 226            | 12 265         |
| <b>Adresní chyby</b>                | 128                         | 0                  | 0                    | 0                  | 0              |

Tabulka 33: DDS v2.0 - Bodové dotazy na 15 uzlů, R-strom, 4 x 32

| DDS v2.0 - Bodové dotazy na 20 uzlů |         |                                       |                      |                    |              |
|-------------------------------------|---------|---------------------------------------|----------------------|--------------------|--------------|
| Základní pohled                     |         | Virt_23 + Virt_28 + Virt_17 + Virt_98 |                      |                    |              |
| B-strom                             |         |                                       |                      |                    |              |
|                                     | Čas [s] | Dotázaných záznamů                    | Simulovaných klientů | Propustnost [op/s] | Chyb přenosu |
| Průměr                              | 213,228 | 4 x 1 mil.                            | 4 x 32               | 18 769             | 0            |
| Uzel                                | Virt_23 | Virt_24                               | Virt_25              | Virt_26            | Virt_27      |
| <b>Spojení celkem</b>               | 238 510 | 255 998                               | 215 274              | 272 427            | 77 399       |
| <b>Dotazů</b>                       | 238 382 | 255 998                               | 215 274              | 272 427            | 77 399       |
| <b>Čas DB [s]</b>                   | 7,86    | 7,228                                 | 5,091                | 6,462              | 2,54         |
| <b>Max prop. [op/s]</b>             | 1 957   | 1 745                                 | 1 462                | 1 965              | 1 198        |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>          | 1 119   | 1 201                                 | 1 010                | 1 278              | 363          |
| <b>Pohledů</b>                      | 187 963 | 158 601                               | 61 498               | 184 805            | 19 539       |
| <b>Adresní chyby</b>                | 128     | 0                                     | 0                    | 0                  | 0            |
| Uzel                                | Virt_28 | Virt_29                               | Virt_30              | Virt_31            | Virt_32      |
| <b>Spojení celkem</b>               | 187 398 | 304 563                               | 150 861              | 206 945            | 403 003      |
| <b>Dotazů</b>                       | 187 270 | 304 563                               | 150 861              | 206 945            | 403 003      |
| <b>Čas DB [s]</b>                   | 5,489   | 7,042                                 | 4,574                | 6,303              | 9,562        |
| <b>Max prop. [op/s]</b>             | 1 707   | 2 899                                 | 938                  | 1 278              | 2 262        |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>          | 879     | 1 428                                 | 708                  | 971                | 1 890        |
| <b>Pohledů</b>                      | 131 294 | 179 986                               | 130 896              | 68 299             | 351 416      |
| <b>Adresní chyby</b>                | 128     | 0                                     | 0                    | 0                  | 0            |
| Uzel                                | Virt_17 | Virt_40                               | Virt_95              | Virt_96            | Virt_97      |
| <b>Spojení celkem</b>               | 180 225 | 153 826                               | 49 555               | 207 239            | 225 813      |
| <b>Dotazů</b>                       | 180 097 | 153 826                               | 49 555               | 207 239            | 225 813      |
| <b>Čas DB [s]</b>                   | 8,54    | 7,887                                 | 2,12                 | 10,671             | 12,535       |
| <b>Max prop. [op/s]</b>             | 1 110   | 1 299                                 | 1 960                | 1 611              | 1 640        |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>          | 451     | 721                                   | 232                  | 972                | 1 059        |
| <b>Pohledů</b>                      | 47 460  | 11 239                                | 18 350               | 90 167             | 142 978      |
| <b>Adresní chyby</b>                | 128     | 0                                     | 0                    | 0                  | 0            |
| Uzel                                | Virt_98 | Virt_99                               | Virt_100             | Virt_101           | Virt_102     |
| <b>Spojení celkem</b>               | 170 871 | 228 227                               | 211 117              | 128 097            | 133 164      |
| <b>Dotazů</b>                       | 170 745 | 228 227                               | 211 117              | 128 097            | 133 164      |
| <b>Čas DB [s]</b>                   | 8,255   | 11,121                                | 9,569                | 8,126              | 5,494        |
| <b>Max prop. [op/s]</b>             | 1 324   | 1 551                                 | 1 473                | 1 283              | 1 093        |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>          | 801     | 1 070                                 | 990                  | 600                | 625          |
| <b>Pohledů</b>                      | 31 738  | 129 324                               | 127 690              | 8 008              | 29 766       |
| <b>Adresní chyby</b>                | 128     | 0                                     | 0                    | 0                  | 0            |

Tabulka 34: DDS v2.0 - Bodové dotazy na 20 uzlů, B-strom, 4 x 32

| DDS v2.0 - Bodové dotazy na 20 uzlů |         |                                       |                      |                    |              |
|-------------------------------------|---------|---------------------------------------|----------------------|--------------------|--------------|
| Základní pohled                     |         | Virt_23 + Virt_28 + Virt_17 + Virt_98 |                      |                    |              |
| R-strom                             |         |                                       |                      |                    |              |
|                                     | Čas [s] | Dotázaných záznamů                    | Simulovaných klientů | Propustnost [op/s] | Chyb přenosu |
| Průměr                              | 208,346 | 4 x 1 mil.                            | 4 x 32               | 19 239             | 0            |
| Uzel                                | Virt_23 | Virt_24                               | Virt_25              | Virt_26            | Virt_27      |
| <b>Spojení celkem</b>               | 137 026 | 169 518                               | 218 488              | 323 264            | 22 276       |
| <b>Dotazů</b>                       | 136 898 | 169 518                               | 218 488              | 323 264            | 22 276       |
| <b>Čas DB [s]</b>                   | 4,201   | 7,64                                  | 5,734                | 9,228              | 0,763        |
| <b>Max prop. [op/s]</b>             | 1 004   | 1 956                                 | 1 618                | 2 277              | 843          |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>          | 658     | 813                                   | 1 049                | 1 552              | 107          |
| <b>Pohledů</b>                      | 97 567  | 210 007                               | 163 333              | 198 188            | 2 362        |
| <b>Adresní chyby</b>                | 128     | 0                                     | 0                    | 0                  | 0            |
| Uzel                                | Virt_28 | Virt_29                               | Virt_30              | Virt_31            | Virt_32      |
| <b>Spojení celkem</b>               | 176 659 | 259 934                               | 93 030               | 188 034            | 54 864       |
| <b>Dotazů</b>                       | 176 531 | 259 934                               | 93 030               | 188 034            | 54 864       |
| <b>Čas DB [s]</b>                   | 4,331   | 6,104                                 | 2,471                | 4,174              | 1,176        |
| <b>Max prop. [op/s]</b>             | 1 415   | 2 131                                 | 1 562                | 1 489              | 1 060        |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>          | 847     | 1 248                                 | 446                  | 902                | 263          |
| <b>Pohledů</b>                      | 46 118  | 126 991                               | 18 460               | 54 421             | 20 876       |
| <b>Adresní chyby</b>                | 128     | 0                                     | 0                    | 0                  | 0            |
| Uzel                                | Virt_17 | Virt_40                               | Virt_95              | Virt_96            | Virt_97      |
| <b>Spojení celkem</b>               | 56 318  | 189 241                               | 349 811              | 176 782            | 401 482      |
| <b>Dotazů</b>                       | 56 190  | 189 241                               | 349 811              | 176 782            | 401 482      |
| <b>Čas DB [s]</b>                   | 5,607   | 9,328                                 | 20,603               | 8,405              | 23,9         |
| <b>Max prop. [op/s]</b>             | 897     | 1 371                                 | 2 963                | 1 910              | 2 487        |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>          | 270     | 908                                   | 1 679                | 849                | 1 927        |
| <b>Pohledů</b>                      | 15 849  | 19 976                                | 144 945              | 67 368             | 366 122      |
| <b>Adresní chyby</b>                | 128     | 0                                     | 0                    | 0                  | 0            |
| Uzel                                | Virt_98 | Virt_99                               | Virt_100             | Virt_101           | Virt_102     |
| <b>Spojení celkem</b>               | 323 001 | 223 921                               | 217 620              | 180 628            | 138 615      |
| <b>Dotazů</b>                       | 322 873 | 223 921                               | 217 620              | 180 628            | 138 615      |
| <b>Čas DB [s]</b>                   | 17,006  | 12,981                                | 12,012               | 8,067              | 7,877        |
| <b>Max prop. [op/s]</b>             | 2 082   | 1 512                                 | 1 424                | 1 354              | 933          |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>          | 1 550   | 1 075                                 | 1 045                | 867                | 665          |
| <b>Pohledů</b>                      | 306 031 | 130 413                               | 192 520              | 133 864            | 33 353       |
| <b>Adresní chyby</b>                | 128     | 0                                     | 0                    | 0                  | 0            |

Tabulka 35: DDS v2.0 - Bodové dotazy na 20 uzlů, R-strom, 4 x 32

| DDS v2.0 - Bodové dotazy na 5 uzelů |           |                    |                      |                    |              |
|-------------------------------------|-----------|--------------------|----------------------|--------------------|--------------|
| Základní pohled                     |           | Virt_23            |                      |                    |              |
| B-strom                             |           |                    |                      |                    |              |
|                                     | Čas [s]   | Dotázaných záznamů | Simulovaných klientů | Propustnost [op/s] | Chyb přenosu |
| <b>Průměr</b>                       | 588,441   | 8 x 1 mil.         | 8 x 32               | 13 596             | 2 890        |
| Uzel                                | Virt_23   | Virt_24            | Virt_25              | Virt_26            | Virt_27      |
| <b>Spojení celkem</b>               | 1 386 009 | 1 883 919          | 1 757 130            | 1 737 264          | 1 234 474    |
| <b>Dotazů</b>                       | 1 384 985 | 1 883 919          | 1 757 130            | 1 737 264          | 1 234 474    |
| <b>Čas DB [s]</b>                   | 32,033    | 40,108             | 42,271               | 36,434             | 28,935       |
| <b>Max prop. [op/s]</b>             | 3 169     | 4 255              | 4 011                | 3 927              | 2 825        |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>          | 2 355     | 3 202              | 2 986                | 2 952              | 2 098        |
| <b>Pohledů</b>                      | 0         | 256                | 256                  | 256                | 256          |
| <b>Adresní chyby</b>                | 1024      | 0                  | 0                    | 0                  | 0            |
| R-strom                             |           |                    |                      |                    |              |
|                                     | Čas [s]   | Dotázaných záznamů | Simulovaných klientů | Propustnost [op/s] | Chyb přenosu |
| <b>Průměr</b>                       | 443,153   | 8 x 1 mil.         | 8 x 32               | 18 055             | 2 200        |
| Uzel                                | Virt_23   | Virt_24            | Virt_25              | Virt_26            | Virt_27      |
| <b>Spojení celkem</b>               | 1 386 008 | 1 885 203          | 1 757 866            | 1 737 416          | 1 234 323    |
| <b>Dotazů</b>                       | 1 384 984 | 1 885 203          | 1 757 866            | 1 737 416          | 1 234 323    |
| <b>Čas DB [s]</b>                   | 40,97     | 47,06              | 42,933               | 35,708             | 25,42        |
| <b>Max prop. [op/s]</b>             | 4 183     | 5 468              | 4 940                | 4 939              | 4 201        |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>          | 3 128     | 4 254              | 3 967                | 3 920              | 2 785        |
| <b>Pohledů</b>                      | 0         | 256                | 256                  | 256                | 256          |
| <b>Adresní chyby</b>                | 1024      | 0                  | 0                    | 0                  | 0            |

Tabulka 36: DDS v2.0 - Bodové dotazy na 5 uzelů, B-strom a R-strom, 4 x 32

| DDS v2.0 - Bodové dotazy na 10 uzlů |                |                    |                      |                    |                |
|-------------------------------------|----------------|--------------------|----------------------|--------------------|----------------|
| Základní pohled                     |                | Virt_23 + Virt_28  |                      |                    |                |
| B-strom                             |                |                    |                      |                    |                |
|                                     | Čas [s]        | Dotázaných záznamů | Simulovaných klientů | Propustnost [op/s] | Chyb přenosu   |
| <b>Průměr</b>                       | 344,538        | 8 x 1 mil.         | 8 x 32               | 23 226             | 1 704          |
| <b>Uzel</b>                         | <b>Virt_23</b> | <b>Virt_24</b>     | <b>Virt_25</b>       | <b>Virt_26</b>     | <b>Virt_27</b> |
| <b>Spojení celkem</b>               | 637 334        | 687 047            | 1 279 140            | 1 462 223          | 538 293        |
| <b>Dotazů</b>                       | 637 822        | 687 047            | 1 279 140            | 1 462 223          | 538 293        |
| <b>Čas DB [s]</b>                   | 19,161         | 16,799             | 37,158               | 31,211             | 13,678         |
| <b>Max prop. [op/s]</b>             | 2 788          | 4 153              | 5 801                | 4 934              | 2 604          |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>          | 1 850          | 1 994              | 3 713                | 4 244              | 1 562          |
| <b>Pohledů</b>                      | 314 700        | 362 581            | 1 019 413            | 893 838            | 167 423        |
| <b>Adresní chyby</b>                | 512            | 0                  | 0                    | 0                  | 0              |
| <b>Uzel</b>                         | <b>Virt_28</b> | <b>Virt_29</b>     | <b>Virt_30</b>       | <b>Virt_31</b>     | <b>Virt_32</b> |
| <b>Spojení celkem</b>               | 747 674        | 1 198 181          | 487 758              | 275 193            | 686 981        |
| <b>Dotazů</b>                       | 747 162        | 1 198 181          | 487 758              | 275 193            | 686 981        |
| <b>Čas DB [s]</b>                   | 17,429         | 24,877             | 11,533               | 7,228              | 14,255         |
| <b>Max prop. [op/s]</b>             | 3 442          | 5 195              | 5 635                | 3 232              | 3 391          |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>          | 2 170          | 3 478              | 1 416                | 799                | 1 994          |
| <b>Pohledů</b>                      | 581 745        | 672 302            | 312 150              | 114 875            | 249 497        |
| <b>Adresní chyby</b>                | 512            | 0                  | 0                    | 0                  | 0              |
| R-strom                             |                |                    |                      |                    |                |
|                                     | Čas [s]        | Dotázaných záznamů | Simulovaných klientů | Propustnost [op/s] | Chyb přenosu   |
| <b>Průměr</b>                       | 343,459        | 8 x 1 mil.         | 8 x 32               | 23 327             | 2 409          |
| <b>Uzel</b>                         | <b>Virt_23</b> | <b>Virt_24</b>     | <b>Virt_25</b>       | <b>Virt_26</b>     | <b>Virt_27</b> |
| <b>Spojení celkem</b>               | 393 456        | 1 206 557          | 488 988              | 622 257            | 1 230 520      |
| <b>Dotazů</b>                       | 392 944        | 1 206 557          | 488 988              | 622 257            | 1 230 520      |
| <b>Čas DB [s]</b>                   | 80,765         | 129,522            | 106,65               | 116,126            | 109,019        |
| <b>Max prop. [op/s]</b>             | 4 277          | 5 582              | 3 564                | 4 090              | 4 387          |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>          | 1 146          | 3 513              | 1 424                | 1 812              | 3 583          |
| <b>Pohledů</b>                      | 243 698        | 653 905            | 344 113              | 206 214            | 864 792        |
| <b>Adresní chyby</b>                | 512            | 0                  | 0                    | 0                  | 0              |
| <b>Uzel</b>                         | <b>Virt_28</b> | <b>Virt_29</b>     | <b>Virt_30</b>       | <b>Virt_31</b>     | <b>Virt_32</b> |
| <b>Spojení celkem</b>               | 992 552        | 678 622            | 1 268 717            | 1 115 154          | 3 954          |
| <b>Dotazů</b>                       | 992 040        | 678 622            | 1 268 717            | 1 115 154          | 3 954          |
| <b>Čas DB [s]</b>                   | 20,251         | 35,253             | 29,972               | 29,069             | 0,22           |
| <b>Max prop. [op/s]</b>             | 4 402          | 3 989              | 4 885                | 5 358              | 80             |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>          | 2 890          | 1 976              | 3 694                | 3 247              | 12             |
| <b>Pohledů</b>                      | 806 968        | 230 980            | 896 329              | 731 969            | 0              |
| <b>Adresní chyby</b>                | 512            | 0                  | 0                    | 0                  | 0              |

Tabulka 37: DDS v2.0 - Bodové dotazy na 10 uzlů, R-strom a B-strom, 8 x 32

| DDS v2.0 - Bodové dotazy na 10 uzlů - chyba |            |                       |                         |                       |                 |
|---|------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------|
| Základní pohled                             |            | Virt_23 + Virt_28     |                         |                       |                 |
| B-strom                                     |            |                       |                         |                       |                 |
|   | Čas<br>[s] | Dotázaných<br>záznamů | Simulovaných<br>klientů | Propustnost<br>[op/s] | Chyb<br>přenosu |
| <b>Průměr</b>                               | 627,503    | 8 x 1 mil.            | 8 x 32                  | 12 754                | 827             |
| Uzel  | Virt_23    | Virt_24               | Virt_25                 | Virt_26               | Virt_27         |
| <b>Spojení celkem</b>                       | 321 097    | 716 544               | 515 158                 | 1 338 591             | 531 614         |
| <b>Dotazů</b>                               | 320 585    | 716 544               | 515 158                 | 1 338 591             | 531 614         |
| <b>Čas DB [s]</b>                           | 17,564     | 29,364                | 19,975                  | 47,303                | 21,228          |
| <b>Max prop. [op/s]</b>                     | 2 819      | 3 107                 | 3 237                   | 3 532                 | 2 493           |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>                  | 512        | 1 142                 | 821                     | 2 133                 | 847             |
| <b>Pohledů</b>                              | 372 304    | 250 724               | 985 036                 | 348 763               | 243 993         |
| <b>Adresní chyby</b>                        | 512        | 0                     | 0                       | 0                     | 0               |
| Uzel  | Virt_28    | Virt_29               | Virt_30                 | Virt_31               | Virt_32         |
| <b>Spojení celkem</b>                       | 1 064 911  | 1 168 674             | 1 242 697               | 398 812               | 702 860         |
| <b>Dotazů</b>                               | 1 064 399  | 1 168 674             | 1 242 697               | 398 812               | 702 860         |
| <b>Čas DB [s]</b>                           | 28,074     | 39,637                | 35,908                  | 10,873                | 21,264          |
| <b>Max prop. [op/s]</b>                     | 2 961      | 3 488                 | 3 529                   | 3 424                 | 2 663           |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>                  | 1 697      | 1 862                 | 1 980                   | 636                   | 1 120           |
| <b>Pohledů</b>                              | 704 162    | 668 386               | 919 564                 | 158 343               | 531 015         |
| <b>Adresní chyby</b>                        | 512        | 0                     | 0                       | 0                     | 0               |

Tabulka 38: DDS v2.0 - Bodové dotazy na 10 uzlů, B-strom, 8 x 32 - chyba

| <b>DDS v2.0 - Bodové dotazy na 15 uzlů</b> |                |                             |                             |                           |                     |
|--|----------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------|
| <b>Základní pohled</b>                     |                | Virt_23 + Virt_28 + Virt_17 |                             |                           |                     |
| <b>B-strom</b>                             |                |                             |                             |                           |                     |
|  | <b>Čas [s]</b> | <b>Dotázaných záznamů</b>   | <b>Simulovaných klientů</b> | <b>Propustnost [op/s]</b> | <b>Chyb přenosu</b> |
| <b>Průměr</b>                              | 353,077        | 8 x 1 mil.                  | 8 x 32                      | 22 693                    | 0                   |
| <b>Uzel</b>                                | <b>Virt_23</b> | <b>Virt_24</b>              | <b>Virt_25</b>              | <b>Virt_26</b>            | <b>Virt_27</b>      |
| <b>Spojení celkem</b>                      | 322 558        | 450 072                     | 337 355                     | 308 399                   | 291 156             |
| <b>Dotazů</b>                              | 322 302        | 450 072                     | 337 355                     | 308 399                   | 291 156             |
| <b>Čas DB [s]</b>                          | 5,657          | 7,987                       | 5,858                       | 6,869                     | 6,862               |
| <b>Max prop. [op/s]</b>                    | 1 929          | 2 584                       | 2 334                       | 1 774                     | 1 610               |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>                 | 913            | 1 275                       | 955                         | 874                       | 825                 |
| <b>Pohledů</b>                             | 144 238        | 386 625                     | 147 733                     | 100 377                   | 99 545              |
| <b>Adresní chyby</b>                       | 256            | 0                           | 0                           | 0                         | 0                   |
| <b>Uzel</b>                                | <b>Virt_28</b> | <b>Virt_29</b>              | <b>Virt_30</b>              | <b>Virt_31</b>            | <b>Virt_32</b>      |
| <b>Spojení celkem</b>                      | 604 416        | 930 338                     | 647 487                     | 712 859                   | 179 807             |
| <b>Dotazů</b>                              | 604 032        | 930 338                     | 647 487                     | 712 859                   | 179 807             |
| <b>Čas DB [s]</b>                          | 11,866         | 17,906                      | 12,159                      | 13,912                    | 3,522               |
| <b>Max prop. [op/s]</b>                    | 2 291          | 4 305                       | 3 295                       | 3 410                     | 1 656               |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>                 | 1 712          | 2 635                       | 1 834                       | 2 019                     | 509                 |
| <b>Pohledů</b>                             | 318 888        | 630 947                     | 350 596                     | 340 003                   | 64 044              |
| <b>Adresní chyby</b>                       | 384            | 0                           | 0                           | 0                         | 0                   |
| <b>Uzel</b>                                | <b>Virt_17</b> | <b>Virt_40</b>              | <b>Virt_95</b>              | <b>Virt_96</b>            | <b>Virt_97</b>      |
| <b>Spojení celkem</b>                      | 457 157        | 502 781                     | 772 361                     | 717 335                   | 766 953             |
| <b>Dotazů</b>                              | 456 763        | 502 781                     | 772 361                     | 717 335                   | 766 953             |
| <b>Čas DB [s]</b>                          | 24,866         | 31,075                      | 28,548                      | 25,633                    | 46,091              |
| <b>Max prop. [op/s]</b>                    | 1 781          | 2 790                       | 3 422                       | 3 863                     | 3 225               |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>                 | 1 295          | 1 424                       | 2 188                       | 2 032                     | 2 172               |
| <b>Pohledů</b>                             | 242 713        | 38 738                      | 429 306                     | 199 543                   | 519 919             |
| <b>Adresní chyby</b>                       | 384            | 0                           | 0                           | 0                         | 0                   |

Tabulka 39: DDS v2.0 - Bodové dotazy na 15 uzlů, B-strom, 8 x 32

| DDS v2.0 - Bodové dotazy na 15 uzlů            |           |                    |                      |                    |              |
|--|-----------|--------------------|----------------------|--------------------|--------------|
| Základní pohled    Virt_23 + Virt_28 + Virt_17 |           |                    |                      |                    |              |
| R-strom  |           |                    |                      |                    |              |
|  | Čas [s]   | Dotázaných záznamů | Simulovaných klientů | Propustnost [op/s] | Chyb přenosu |
| Průměr   | 359,979   | 8 x 1 mil.         | 8 x 32               | 22 311             | 0            |
| Uzel   | Virt_23   | Virt_24            | Virt_25              | Virt_26            | Virt_27      |
| <b>Spojení celkem</b>                          | 102 601   | 199 850            | 0                    | 0                  | 151 046      |
| <b>Dotazů</b>                                  | 102 729   | 199 850            | 0                    | 0                  | 151 046      |
| <b>Čas DB [s]</b>                              | 34,016    | 32,896             | 0                    | 0                  | 21,263       |
| <b>Max prop. [op/s]</b>                        | 850       | 1 161              | 0                    | 0                  | 916          |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>                     | 285       | 555                | 0                    | 0                  | 420          |
| <b>Pohledů</b>                                 | 67 947    | 114 391            | 0                    | 0                  | 99 940       |
| <b>Adresní chyby</b>                           | 128       | 0                  | 0                    | 0                  | 0            |
| Uzel   | Virt_28   | Virt_29            | Virt_30              | Virt_31            | Virt_32      |
| <b>Spojení celkem</b>                          | 1 021 751 | 1 479 103          | 512 016              | 1 260 165          | 858 726      |
| <b>Dotazů</b>                                  | 1 021 239 | 1 479 103          | 512 016              | 1 260 165          | 858 726      |
| <b>Čas DB [s]</b>                              | 21,77     | 31,569             | 9,037                | 102,442            | 17,741       |
| <b>Max prop. [op/s]</b>                        | 3 719     | 5 230              | 3 197                | 4 467              | 4 061        |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>                     | 2 838     | 4 109              | 1 422                | 3 500              | 2 386        |
| <b>Pohledů</b>                                 | 805 223   | 1 113 897          | 255 926              | 902 860            | 611 094      |
| <b>Adresní chyby</b>                           | 512       | 0                  | 0                    | 0                  | 0            |
| Uzel   | Virt_17   | Virt_40            | Virt_95              | Virt_96            | Virt_97      |
| <b>Spojení celkem</b>                          | 261 460   | 36 748             | 1 245 882            | 477 248            | 224 702      |
| <b>Dotazů</b>                                  | 261 061   | 36 748             | 1 245 882            | 477 248            | 224 702      |
| <b>Čas DB [s]</b>                              | 14,393    | 2,032              | 53,663               | 16,855             | 15,638       |
| <b>Max prop. [op/s]</b>                        | 1 932     | 1 243              | 4 912                | 5 149              | 1 774        |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>                     | 726       | 102                | 3 461                | 1 326              | 624          |
| <b>Pohledů</b>                                 | 123 226   | 4 332              | 1 124 117            | 275 742            | 29 372       |
| <b>Adresní chyby</b>                           | 384       | 0                  | 0                    | 0                  | 0            |

Tabulka 40: DDS v2.0 - Bodové dotazy na 15 uzlů, R-strom, 8 x 32

| DDS v2.0 - Bodové dotazy na 20 uzlů |                |                                       |                      |                    |                 |
|-------------------------------------|----------------|---------------------------------------|----------------------|--------------------|-----------------|
| Základní pohled                     |                | Virt_23 + Virt_28 + Virt_17 + Virt_98 |                      |                    |                 |
| B-strom                             |                |                                       |                      |                    |                 |
|                                     | Čas [s]        | Dotázaných záznamů                    | Simulovaných klientů | Propustnost [op/s] | Chyb přenosu    |
| <b>Průměr</b>                       | 424,814        | 8 x 1 mil.                            | 8 x 32               | 19 513             | 0               |
| <b>Uzel</b>                         | <b>Virt_23</b> | <b>Virt_24</b>                        | <b>Virt_25</b>       | <b>Virt_26</b>     | <b>Virt_27</b>  |
| <b>Spojení celkem</b>               | 42 789         | 669 822                               | 355 894              | 639 907            | 226 189         |
| <b>Dotazů</b>                       | 42 533         | 669 822                               | 355 894              | 639 907            | 226 189         |
| <b>Čas DB [s]</b>                   | 4,842          | 16,466                                | 7,328                | 14,997             | 7,601           |
| <b>Max prop. [op/s]</b>             | 1 105          | 3 631                                 | 1 915                | 2 637              | 1 556           |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>          | 101            | 1 577                                 | 838                  | 1 506              | 532             |
| <b>Pohledů</b>                      | 7 590          | 366 599                               | 147 325              | 459 866            | 137 165         |
| <b>Adresní chyby</b>                | 256            | 0                                     | 0                    | 0                  | 0               |
| <b>Uzel</b>                         | <b>Virt_28</b> | <b>Virt_29</b>                        | <b>Virt_30</b>       | <b>Virt_31</b>     | <b>Virt_32</b>  |
| <b>Spojení celkem</b>               | 517 313        | 550 340                               | 526 357              | 388 522            | 300 426         |
| <b>Dotazů</b>                       | 517 057        | 550 340                               | 526 357              | 388 522            | 300 426         |
| <b>Čas DB [s]</b>                   | 10,473         | 10,843                                | 9,941                | 9,963              | 6,148           |
| <b>Max prop. [op/s]</b>             | 2 264          | 3 384                                 | 3 017                | 2 652              | 2 025           |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>          | 1 218          | 1 296                                 | 1 239                | 915                | 707             |
| <b>Pohledů</b>                      | 389 626        | 287 092                               | 401 512              | 140 227            | 225 962         |
| <b>Adresní chyby</b>                | 256            | 0                                     | 0                    | 0                  | 0               |
| <b>Uzel</b>                         | <b>Virt_17</b> | <b>Virt_40</b>                        | <b>Virt_95</b>       | <b>Virt_96</b>     | <b>Virt_97</b>  |
| <b>Spojení celkem</b>               | 225 924        | 348 245                               | 693 913              | 385 973            | 379 634         |
| <b>Dotazů</b>                       | 225 668        | 348 245                               | 693 913              | 385 973            | 379 634         |
| <b>Čas DB [s]</b>                   | 20,739         | 24,129                                | 34,778               | 22,979             | 25,442          |
| <b>Max prop. [op/s]</b>             | 1 193          | 1 497                                 | 2 061                | 1 543              | 1 774           |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>          | 425            | 820                                   | 1 634                | 909                | 894             |
| <b>Pohledů</b>                      | 124 995        | 12 606                                | 438 021              | 204 623            | 221 665         |
| <b>Adresní chyby</b>                | 256            | 0                                     | 0                    | 0                  | 0               |
| <b>Uzel</b>                         | <b>Virt_98</b> | <b>Virt_99</b>                        | <b>Virt_100</b>      | <b>Virt_101</b>    | <b>Virt_102</b> |
| <b>Spojení celkem</b>               | 599 982        | 316 821                               | 412 720              | 323 016            | 288 225         |
| <b>Dotazů</b>                       | 599 726        | 316 821                               | 412 720              | 323 016            | 288 225         |
| <b>Čas DB [s]</b>                   | 35,042         | 16,884                                | 15,725               | 20,49              | 17,398          |
| <b>Max prop. [op/s]</b>             | 2 835          | 1 712                                 | 1 783                | 1 599              | 1 209           |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>          | 1 412          | 746                                   | 972                  | 760                | 679             |
| <b>Pohledů</b>                      | 534 173        | 42 845                                | 387 086              | 45 758             | 219 336         |
| <b>Adresní chyby</b>                | 256            | 0                                     | 0                    | 0                  | 0               |

Tabulka 41: DDS v2.0 - Bodové dotazy na 20 uzlů, B-strom, 8 x 32

| DDS v2.0 - Bodové dotazy na 20 uzlů |         |                                       |                      |                    |              |
|-------------------------------------|---------|---------------------------------------|----------------------|--------------------|--------------|
| Základní pohled                     |         | Virt_23 + Virt_28 + Virt_17 + Virt_98 |                      |                    |              |
| R-strom                             |         |                                       |                      |                    |              |
|                                     | Čas [s] | Dotázaných záznamů                    | Simulovaných klientů | Propustnost [op/s] | Chyb přenosu |
| Průměr                              | 399,880 | 8 x 1 mil.                            | 8 x 32               | 20 415             | 0            |
| Uzel                                | Virt_23 | Virt_24                               | Virt_25              | Virt_26            | Virt_27      |
| <b>Spojení celkem</b>               | 99 100  | 556 785                               | 261 955              | 443 438            | 498 125      |
| <b>Dotazů</b>                       | 98 844  | 556 785                               | 261 955              | 443 438            | 498 125      |
| <b>Čas DB [s]</b>                   | 64,962  | 105,013                               | 6,051                | 114,581            | 75,264       |
| <b>Max prop. [op/s]</b>             | 633     | 3 132                                 | 2 367                | 2 933              | 3 399        |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>          | 248     | 1 392                                 | 655                  | 1 108              | 1 246        |
| <b>Pohledů</b>                      | 17 013  | 209 548                               | 149 324              | 163 876            | 324 315      |
| <b>Adresní chyby</b>                | 256     | 0                                     | 0                    | 0                  | 0            |
| Uzel                                | Virt_28 | Virt_29                               | Virt_30              | Virt_31            | Virt_32      |
| <b>Spojení celkem</b>               | 455 530 | 516 306                               | 695 387              | 424 954            | 364 355      |
| <b>Dotazů</b>                       | 455 274 | 516 306                               | 695 387              | 424 954            | 364 355      |
| <b>Čas DB [s]</b>                   | 9,026   | 11,048                                | 14,748               | 75,075             | 10,235       |
| <b>Max prop. [op/s]</b>             | 2 679   | 2 991                                 | 3 872                | 2 498              | 1 955        |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>          | 1 139   | 1 291                                 | 1 739                | 1 063              | 911          |
| <b>Pohledů</b>                      | 346 903 | 140 812                               | 501 796              | 192 046            | 284 927      |
| <b>Adresní chyby</b>                | 256     | 0                                     | 0                    | 0                  | 0            |
| Uzel                                | Virt_17 | Virt_40                               | Virt_95              | Virt_96            | Virt_97      |
| <b>Spojení celkem</b>               | 163 028 | 433 196                               | 395 944              | 434 630            | 201 661      |
| <b>Dotazů</b>                       | 162 772 | 433 196                               | 395 944              | 434 630            | 201 661      |
| <b>Čas DB [s]</b>                   | 14,626  | 30,55                                 | 24,928               | 24,879             | 19,008       |
| <b>Max prop. [op/s]</b>             | 1 264   | 1 662                                 | 1 572                | 1 616              | 1 169        |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>          | 408     | 1 083                                 | 990                  | 1 087              | 504          |
| <b>Pohledů</b>                      | 64 826  | 68 770                                | 113 166              | 128 956            | 56 072       |
| <b>Adresní chyby</b>                | 256     | 0                                     | 0                    | 0                  | 0            |
| Uzel                                | Virt_98 | Virt_99                               | Virt_100             | Virt_101           | Virt_102     |
| <b>Spojení celkem</b>               | 668 094 | 378 942                               | 404 612              | 434 394            | 201 661      |
| <b>Dotazů</b> 667 838               |         | 378 942                               | 404 612              | 434 394            | 201 661      |
| <b>Čas DB [s]</b>                   | 38,001  | 22,565                                | 30,339               | 27,469             | 14,386       |
| <b>Max prop. [op/s]</b>             | 2 849   | 1 626                                 | 1 699                | 1 751              | 1 147        |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>          | 1 670   | 948                                   | 1 012                | 1 086              | 1 169        |
| <b>Pohledů</b>                      | 644 805 | 253 112                               | 109 229              | 390 085            | 8 054        |
| <b>Adresní chyby</b>                | 256     | 0                                     | 0                    | 0                  | 0            |

Tabulka 42: DDS v2.0 - Bodové dotazy na 20 uzlů, R-strom, 8 x 32

## D Tabulky rozsahových dotazů

| DDS v2.0 - Rozsahové dotazy na 5 uzlů |           |                       |                    |                              |                 |
|---------------------------------------|-----------|-----------------------|--------------------|------------------------------|-----------------|
| Základní pohled                       | Virt_23   |                       |                    |                              |                 |
| Dotazů                                | 1 mil.    | Klientů               | 1 x 32             | Chyb                         | 0               |
| B-strom                               |           |                       |                    |                              |                 |
|                                       | Čas [s]   | Propustnost<br>[op/s] | Výsledků<br>celkem | Max výsledků<br>v 1 odpovědi | Výsledků<br>[s] |
| Průměr                                | 267,890   | 3 733                 | 204 874 723        | 1 225                        | 764 827         |
| Uzel                                  | Virt_23   | Virt_24               | Virt_25            | Virt_26                      | Virt_27         |
| <b>Spojení celkem</b>                 | 802 298   | 833 791               | 821 619            | 844 550                      | 820 925         |
| <b>Dotazů</b>                         | 802 170   | 833 791               | 821 619            | 844 550                      | 820 925         |
| <b>Replikací dotazu</b>               | 547 176   | 682 768               | 740 621            | 672 714                      | 479 660         |
| <b>Čas DB [s]</b>                     | 21,815    | 32,992                | 31,972             | 32,022                       | 20,356          |
| <b>Max prop. [op/s]</b>               | 3 393     | 3 515                 | 3 492              | 3 578                        | 3 474           |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>            | 2 995     | 3 112                 | 3 067              | 3 153                        | 3 064           |
| <b>Pohledů</b>                        | 0         | 32                    | 32                 | 32                           | 32              |
| <b>Adresní chyby</b>                  | 128       | 0                     | 0                  | 0                            | 0               |
| R-strom                               |           |                       |                    |                              |                 |
|                                       | Čas [s]   | Propustnost<br>[op/s] | Výsledků<br>celkem | Max výsledků<br>v 1 odpovědi | Výsledků<br>[s] |
| Průměr                                | 3 108,846 | 322                   | 6 270 839          | 89                           | 2 017           |
| Uzel                                  | Virt_23   | Virt_24               | Virt_25            | Virt_26                      | Virt_27         |
| <b>Spojení celkem</b>                 | 805 995   | 824 238               | 836 432            | 846 538                      | 822 946         |
| <b>Dotazů</b>                         | 805 986   | 824 238               | 836 432            | 846 538                      | 822 946         |
| <b>Replikací dotazu</b>               | 553 822   | 738 350               | 690 638            | 674 490                      | 478 760         |
| <b>Čas DB [s]</b>                     | 2 128,95  | 2 792,37              | 2 097,54           | 2 920,43                     | 2 151,59        |
| <b>Max prop. [op/s]</b>               | 2 484     | 2 143                 | 2 515              | 2 618                        | 2 564           |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>            | 259       | 265                   | 269                | 269                          | 265             |
| <b>Pohledů</b>                        | 0         | 32                    | 32                 | 32                           | 32              |
| <b>Adresní chyby</b>                  | 128       | 0                     | 0                  | 0                            | 0               |

Tabulka 43: DDS v2.0 - Rozsahové dotazy na 5 uzlů, B-strom a R-strom, 32

| DDS v2.0 - Rozsahové dotazy na 10 uzlů, B-strom |                   |                       |                    |                              |                 |
|---|-------------------|-----------------------|--------------------|------------------------------|-----------------|
| Základní pohled                                 | Virt_23 + Virt_28 |                       |                    |                              |                 |
| Dotazů  | 1 mil.            | Klientů               | 32                 | Chyb                         | 0               |
|   | Čas [s]           | Propustnost<br>[op/s] | Výsledků<br>celkem | Max výsledků<br>v 1 odpovědi | Výsledků<br>[s] |
| Průměr  | 243,154           | 4 113                 | 205 281 345        | 1 042                        | 845 461         |
| Uzel  | Virt_23           | Virt_24               | Virt_25            | Virt_26                      | Virt_27         |
| <b>Spojení celkem</b>                           | 457 312           | 498 976               | 536 374            | 527 588                      | 500 824         |
| <b>Dotazů</b>                                   | 457 248           | 498 976               | 536 374            | 527 588                      | 500 824         |
| <b>Replikací dotazu</b>                         | 272 683           | 626 789               | 374 985            | 332 811                      | 235 541         |
| <b>Čas DB [s]</b>                               | 19,227            | 25,11                 | 26,079             | 26,043                       | 20,488          |
| <b>Max prop. [op/s]</b>                         | 2 095             | 2 335                 | 2 484              | 2 408                        | 2 297           |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>                      | 1 880             | 2 050                 | 2 205              | 2 170                        | 2 060           |
| <b>Pohledů</b>                                  | 13 726            | 98 702                | 66 661             | 80 873                       | 51 924          |
| <b>Adresní chyby</b>                            | 64                | 0                     | 0                  | 0                            | 0               |
| Uzel  | Virt_28           | Virt_29               | Virt_30            | Virt_31                      | Virt_32         |
| <b>Spojení celkem</b>                           | 341 807           | 319 583               | 294 230            | 313 574                      | 315 608         |
| <b>Dotazů</b>                                   | 341 743           | 319 583               | 294 230            | 313 574                      | 315 608         |
| <b>Replikací dotazu</b>                         | 272 983           | 104 743               | 309 840            | 335 891                      | 392 220         |
| <b>Čas DB [s]</b>                               | 12,887            | 15,017                | 13,711             | 15,544                       | 13,158          |
| <b>Max prop. [op/s]</b>                         | 1 689             | 1 642                 | 1 510              | 1 567                        | 1 621           |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>                      | 1 406             | 1 314                 | 1 210              | 1 290                        | 1 298           |
| <b>Pohledů</b>                                  | 14 731            | 25 899                | 32 291             | 54 021                       | 43 550          |
| <b>Adresní chyby</b>                            | 64                | 0                     | 0                  | 0                            | 0               |

Tabulka 44: DDS v2.0 - Rozsahové dotazy na 10 uzlů, B-strom, 32

| DDS v2.0 - Rozsahové dotazy na 10 uzlů |                   |                       |                    |                              |                 |
|--|-------------------|-----------------------|--------------------|------------------------------|-----------------|
| Základní pohled                        | Virt_23 + Virt_28 |                       |                    |                              |                 |
| Dotazů                                 | 1 mil.            | Klientů               | 32                 | Chyb                         | 0               |
| R-strom                                |                   |                       |                    |                              |                 |
|  | Čas [s]           | Propustnost<br>[op/s] | Výsledků<br>celkem | Max výsledků<br>v 1 odpovědi | Výsledků<br>[s] |
| Průměr                                 | 5 137,033         | 195                   | 6 402 464          | 95                           | 1 301           |
| Uzel                                   | Virt_23           | Virt_24               | Virt_25            | Virt_26                      | Virt_27         |
| <b>Spojení celkem</b>                  | 579 989           | 335 158               | 352 414            | 529 885                      | 381 978         |
| <b>Dotazů</b>                          | 579 925           | 335 158               | 352 414            | 529 885                      | 381 978         |
| <b>Replikací dotazu</b>                | 176 133           | 336 779               | 234 468            | 414 216                      | 381 978         |
| <b>Čas DB [s]</b>                      | 4 351,41          | 2 617,92              | 1 052,41           | 4 863,05                     | 2 494,04        |
| <b>Max prop. [op/s]</b>                | 1 173             | 1 070                 | 1 164              | 1 205                        | 141             |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>             | 112               | 65                    | 69                 | 103                          | 74              |
| <b>Pohledů</b>                         | 176 133           | 41                    | 58                 | 289                          | 141             |
| <b>Adresní chyby</b>                   | 64                | 0                     | 0                  | 0                            | 0               |
| Uzel                                   | Virt_28           | Virt_29               | Virt_30            | Virt_31                      | Virt_32         |
| <b>Spojení celkem</b>                  | 223 383           | 487 430               | 477 078            | 315 314                      | 439 184         |
| <b>Dotazů</b>                          | 223 319           | 487 430               | 477 078            | 315 314                      | 439 184         |
| <b>Replikací dotazu</b>                | 373 686           | 399 645               | 454 779            | 259 553                      | 63 500          |
| <b>Čas DB [s]</b>                      | 1 365,18          | 5 540,3               | 5 847,36           | 3 640                        | 4 518,19        |
| <b>Max prop. [op/s]</b>                | 68                | 174                   | 160                | 143                          | 256             |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>             | 43                | 95                    | 92                 | 61                           | 85              |
| <b>Pohledů</b>                         | 0                 | 16                    | 16                 | 16                           | 16              |
| <b>Adresní chyby</b>                   | 64                | 0                     | 0                  | 0                            | 0               |

Tabulka 45: DDS v2.0 - Rozsahové dotazy na 10 uzlů, R-strom, 32

| DDS v2.0 - Rozsahové dotazy na 10 uzelů |                   |                       |                    |                              |                 |
|---|-------------------|-----------------------|--------------------|------------------------------|-----------------|
| Základní pohled                         | Virt_23 + Virt_28 |                       |                    |                              |                 |
| Dotazů                                  | 2 x 1 mil.        | Klientů               | 2 x 32             | Chyb                         | 0               |
| B-strom                                 |                   |                       |                    |                              |                 |
|   | Čas [s]           | Propustnost<br>[op/s] | Výsledků<br>celkem | Max výsledků<br>v 1 odpovědi | Výsledků<br>[s] |
| Průměr                                  | 416,296           | 4 818                 | 403 839 628        | 1 070                        | 972 492         |
| Uzel                                    | Virt_23           | Virt_24               | Virt_25            | Virt_26                      | Virt_27         |
| <b>Spojení celkem</b>                   | 890 841           | 908 527               | 1 188 621          | 1 131 624                    | 1 074 424       |
| <b>Dotazů</b>                           | 890 713           | 908 527               | 1 188 621          | 1 131 624                    | 1 074 424       |
| <b>Replikací dotazu</b>                 | 556 134           | 815 725               | 1 192 450          | 434 524                      | 533 534         |
| <b>Čas DB [s]</b>                       | 36,223            | 45,074                | 55,226             | 53,341                       | 40,994          |
| <b>Max prop. [op/s]</b>                 | 2 547             | 2 592                 | 3 385              | 3 365                        | 3 190           |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>              | 2 140             | 2 182                 | 2 855              | 2 718                        | 2 581           |
| <b>Pohledů</b>                          | 82 610            | 142 867               | 280 926            | 44 252                       | 53 849          |
| <b>Adresní chyby</b>                    | 128               | 0                     | 0                  | 0                            | 0               |
| Uzel                                    | Virt_28           | Virt_29               | Virt_30            | Virt_31                      | Virt_32         |
| <b>Spojení celkem</b>                   | 715 456           | 736 553               | 480 003            | 557 492                      | 567 399         |
| <b>Dotazů</b>                           | 715 328           | 736 553               | 480 003            | 557 492                      | 567 399         |
| <b>Replikací dotazu</b>                 | 543 508           | 661 055               | 179 139            | 910 386                      | 423 458         |
| <b>Čas DB [s]</b>                       | 29,06             | 36,774                | 21,136             | 29,093                       | 23,22           |
| <b>Max prop. [op/s]</b>                 | 2 672             | 2 694                 | 2 026              | 2 289                        | 2 256           |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>              | 1 718             | 1 769                 | 1 153              | 1 339                        | 1 363           |
| <b>Pohledů</b>                          | 59 433            | 139 505               | 35 651             | 150 678                      | 70 704          |
| <b>Adresní chyby</b>                    | 128               | 0                     | 0                  | 0                            | 0               |

Tabulka 46: DDS v2.0 - Rozsahové dotazy na 10 uzelů, B-strom, 2 x 32

| <b>DDS v2.0 - Rozsahové dotazy na 15 uzlů</b> |                             |                               |                            |                                      |                         |
|---|-----------------------------|-------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
| <b>Základní pohled</b>                        | Virt_23 + Virt_28 + Virt_17 |                               |                            |                                      |                         |
| <b>Dotazů</b>                                 | 1 mil.                      | <b>Klientů</b>                | 32                         | <b>Chyb</b>                          | 0                       |
| <b>B-strom</b>                                |                             |                               |                            |                                      |                         |
|   | <b>Čas [s]</b>              | <b>Propustnost<br/>[op/s]</b> | <b>Výsledků<br/>celkem</b> | <b>Max výsledků<br/>v 1 odpovědi</b> | <b>Výsledků<br/>[s]</b> |
| <b>Průměr</b>                                 | 290,522                     | 3 442                         | 201 674 410                | 1 016                                | 695 660                 |
| <b>Uzel</b>                                   | <b>Virt_23</b>              | <b>Virt_24</b>                | <b>Virt_25</b>             | <b>Virt_26</b>                       | <b>Virt_27</b>          |
| <b>Spojení celkem</b>                         | 325 964                     | 324 823                       | 321 872                    | 269 716                              | 260 348                 |
| <b>Dotazů</b>                                 | 325 924                     | 324 823                       | 321 872                    | 269 716                              | 260 348                 |
| <b>Replikací dotazu</b>                       | 325 964                     | 242 724                       | 226 328                    | 201 991                              | 144 572                 |
| <b>Čas DB [s]</b>                             | 13,925                      | 17,212                        | 16,347                     | 11,463                               | 8,754                   |
| <b>Max prop. [op/s]</b>                       | 1 723                       | 1 695                         | 1 676                      | 1 476                                | 1 464                   |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>                    | 1 122                       | 1 118                         | 1 108                      | 928                                  | 896                     |
| <b>Pohledů</b>                                | 46 090                      | 67 128                        | 21 970                     | 43 270                               | 12 375                  |
| <b>Adresní chyby</b>                          | 40                          | 0                             | 0                          | 0                                    | 0                       |
| <b>Uzel</b>                                   | <b>Virt_28</b>              | <b>Virt_29</b>                | <b>Virt_30</b>             | <b>Virt_31</b>                       | <b>Virt_32</b>          |
| <b>Spojení celkem</b>                         | 250 360                     | 253 693                       | 258 979                    | 269 737                              | 255 757                 |
| <b>Dotazů</b>                                 | 250 320                     | 253 693                       | 258 979                    | 269 737                              | 255 757                 |
| <b>Replikací dotazu</b>                       | 174 775                     | 214 530                       | 228 682                    | 252 719                              | 104 579                 |
| <b>Čas DB [s]</b>                             | 8,738                       | 14,759                        | 11,177                     | 11,93                                | 9,108                   |
| <b>Max prop. [op/s]</b>                       | 1 765                       | 1 781                         | 1 754                      | 1 749                                | 1 659                   |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>                    | 861                         | 873                           | 891                        | 928                                  | 880                     |
| <b>Pohledů</b>                                | 16 610                      | 58 767                        | 29 723                     | 29 841                               | 23 035                  |
| <b>Adresní chyby</b>                          | 40                          | 0                             | 0                          | 0                                    | 0                       |
| <b>Uzel</b>                                   | <b>Virt_17</b>              | <b>Virt_40</b>                | <b>Virt_95</b>             | <b>Virt_96</b>                       | <b>Virt_97</b>          |
| <b>Spojení celkem</b>                         | 226 895                     | 242 053                       | 251 536                    | 303 924                              | 303 501                 |
| <b>Dotazů</b>                                 | 226 847                     | 242 053                       | 251 536                    | 303 924                              | 303 501                 |
| <b>Replikací dotazu</b>                       | 192 649                     | 274 160                       | 234 032                    | 214 867                              | 230 774                 |
| <b>Čas DB [s]</b>                             | 17,757                      | 14,125                        | 24,356                     | 27,771                               | 19,074                  |
| <b>Max prop. [op/s]</b>                       | 1 956                       | 1 141                         | 1 166                      | 1 380                                | 1 440                   |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>                    | 781                         | 833                           | 866                        | 1 046                                | 1 045                   |
| <b>Pohledů</b>                                | 26 286                      | 85 278                        | 31 247                     | 30 236                               | 70 955                  |
| <b>Adresní chyby</b>                          | 48                          | 0                             | 0                          | 0                                    | 0                       |

Tabulka 47: DDS v2.0 - Rozsahové dotazy na 15 uzlů, B-strom, 32

| DDS v2.0 - Rozsahové dotazy na 15 uzlů |                             |                       |                    |                              |                 |
|--|-----------------------------|-----------------------|--------------------|------------------------------|-----------------|
| Základní pohled                        | Virt_23 + Virt_28 + Virt_17 |                       |                    |                              |                 |
| Dotazů                                 | 1 mil.                      | Klientů               | 32                 | Chyb                         | 0               |
| R-strom                                |                             |                       |                    |                              |                 |
|  | Čas [s]                     | Propustnost<br>[op/s] | Výsledků<br>celkem | Max výsledků<br>v 1 odpovědi | Výsledků<br>[s] |
| <b>Průměr</b>                          | 5 652,437                   | 177                   | 5 969 907          | 88                           | 1 069           |
| Uzel                                   | Virt_23                     | Virt_24               | Virt_25            | Virt_26                      | Virt_27         |
| <b>Spojení celkem</b>                  | 153 849                     | 175 718               | 109 925            | 95 846                       | 142 874         |
| <b>Dotazů</b>                          | 153 809                     | 175 718               | 109 925            | 95 846                       | 142 874         |
| <b>Replikací dotazu</b>                | 184 404                     | 241 455               | 0                  | 0                            | 158 161         |
| <b>Čas DB [s]</b>                      | 320,486                     | 455,596               | 343,455            | 343,357                      | 253,069         |
| <b>Max prop. [op/s]</b>                | 123                         | 128                   | 89                 | 78                           | 130             |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>             | 27                          | 31                    | 19                 | 17                           | 25              |
| <b>Pohledů</b>                         | 0                           | 10                    | 10                 | 10                           | 10              |
| <b>Adresní chyby</b>                   | 40                          | 0                     | 0                  | 0                            | 0               |
| Uzel                                   | Virt_28                     | Virt_29               | Virt_30            | Virt_31                      | Virt_32         |
| <b>Spojení celkem</b>                  | 381 376                     | 371 231               | 445 887            | 467 110                      | 403 710         |
| <b>Dotazů</b>                          | 381 376                     | 371 231               | 445 887            | 467 110                      | 403 710         |
| <b>Replikací dotazu</b>                | 183 136                     | 247 119               | 460 991            | 447 425                      | 158 113         |
| <b>Čas DB [s]</b>                      | 3140,98                     | 3188,75               | 4233,45            | 4424,66                      | 3196,73         |
| <b>Max prop. [op/s]</b>                | 146                         | 137                   | 104                | 192                          | 149             |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>             | 67                          | 66                    | 79                 | 83                           | 71              |
| <b>Pohledů</b>                         | 0                           | 10                    | 10                 | 10                           | 10              |
| <b>Adresní chyby</b>                   | 40                          | 0                     | 0                  | 0                            | 0               |
| Uzel                                   | Virt_17                     | Virt_40               | Virt_95            | Virt_96                      | Virt_97         |
| <b>Spojení celkem</b>                  | 267 997                     | 273 615               | 277 134            | 281 162                      | 273 879         |
| <b>Dotazů</b>                          | 267 949                     | 273 615               | 277 134            | 281 162                      | 273 879         |
| <b>Replikací dotazu</b>                | 182 027                     | 242 972               | 228 309            | 223 104                      | 163 986         |
| <b>Čas DB [s]</b>                      | 5 362,31                    | 463,1                 | 5 167,29           | 5 593,44                     | 5729,87         |
| <b>Max prop. [op/s]</b>                | 73                          | 76                    | 81                 | 81                           | 74              |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>             | 47                          | 48                    | 49                 | 50                           | 49              |
| <b>Pohledů</b>                         | 0                           | 12                    | 12                 | 12                           | 12              |
| <b>Adresní chyby</b>                   | 48                          | 0                     | 0                  | 0                            | 0               |

Tabulka 48: DDS v2.0 - Rozsahové dotazy na 15 uzlů, R-strom, 32

| DDS v2.0 - Rozsahové dotazy na 15 uzlů |                             |                    |                 |                           |              |
|--|-----------------------------|--------------------|-----------------|---------------------------|--------------|
| Základní pohled                        | Virt_23 + Virt_28 + Virt_17 |                    |                 |                           |              |
| Dotazů                                 | 2 x 1 mil.                  | Klientů            | 2 x 32          | Chyb                      | 0            |
| B-strom                                |                             |                    |                 |                           |              |
|  | Čas [s]                     | Propustnost [op/s] | Výsledků celkem | Max výsledků v 1 odpovědi | Výsledků [s] |
| Průměr                                 | 358,162                     | 5 597              | 399 149 789     | 977                       | 1 117 001    |
| Uzel                                   | Virt_23                     | Virt_24            | Virt_25         | Virt_26                   | Virt_27      |
| <b>Spojení celkem</b>                  | 543 185                     | 545 495            | 548 005         | 476 212                   | 468 376      |
| <b>Dotazů</b>                          | 543 101                     | 545 495            | 548 005         | 476 212                   | 468 376      |
| <b>Replikací dotazu</b>                | 208 886                     | 447 907            | 430 002         | 363 688                   | 304 980      |
| <b>Čas DB [s]</b>                      | 22,931                      | 26,729             | 25,528          | 20,078                    | 19,662       |
| <b>Max prop. [op/s]</b>                | 2 102                       | 2 076              | 2 112           | 2 061                     | 1 978        |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>             | 1 517                       | 1 523              | 1 530           | 1 330                     | 1 308        |
| <b>Pohledů</b>                         | 34 426                      | 105 067            | 115 694         | 56 885                    | 40 695       |
| <b>Adresní chyby</b>                   | 84                          | 0                  | 0               | 0                         | 0            |
| Uzel                                   | Virt_28                     | Virt_29            | Virt_30         | Virt_31                   | Virt_32      |
| <b>Spojení celkem</b>                  | 608 910                     | 620 832            | 631 557         | 625 291                   | 601 381      |
| <b>Dotazů</b>                          | 608 822                     | 620 832            | 631 557         | 625 291                   | 601 381      |
| <b>Replikací dotazu</b>                | 544 780                     | 524 018            | 525 372         | 414 031                   | 331 497      |
| <b>Čas DB [s]</b>                      | 25,935                      | 31,021             | 27,758          | 31,558                    | 24,392       |
| <b>Max prop. [op/s]</b>                | 2 477                       | 2 503              | 2 507           | 2 511                     | 2 471        |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>             | 1 700                       | 1 734              | 1 764           | 1 746                     | 1 679        |
| <b>Pohledů</b>                         | 142 232                     | 49 558             | 112 089         | 77 838                    | 23 454       |
| <b>Adresní chyby</b>                   | 88                          | 0                  | 0               | 0                         | 0            |
| Uzel                                   | Virt_17                     | Virt_40            | Virt_95         | Virt_96                   | Virt_97      |
| <b>Spojení celkem</b>                  | 454 702                     | 477 257            | 487 335         | 586 551                   | 571 773      |
| <b>Dotazů</b>                          | 454 618                     | 477 257            | 487 335         | 586 551                   | 571 773      |
| <b>Replikací dotazu</b>                | 342 340                     | 495 211            | 416 393         | 569 647                   | 327 095      |
| <b>Čas DB [s]</b>                      | 48,874                      | 34,802             | 41,599          | 55,997                    | 31,031       |
| <b>Max prop. [op/s]</b>                | 2 114                       | 2 169              | 2 216           | 2 459                     | 2 509        |
| <b>Průměr prop. [op/s]</b>             | 1 270                       | 1 333              | 1 361           | 1 638                     | 1 597        |
| <b>Pohledů</b>                         | 52 237                      | 81 854             | 15 291          | 141 187                   | 57 443       |
| <b>Adresní chyby</b>                   | 84                          | 0                  | 0               | 0                         | 0            |

Tabulka 49: DDS v2.0 - Rozsahové dotazy na 15 uzlů, B-strom, 2 x 32

| DDS v2.0 - Rozsahové dotazy na 20 uzelů |           |                                       |                    |                              |                 |
|---|-----------|---------------------------------------|--------------------|------------------------------|-----------------|
| Základní pohled                         |           | Virt_23 + Virt_28 + Virt_17 + Virt_98 |                    |                              |                 |
| Dotazů                                  | 4 mil.    | Klientů                               | 2 x 32             | Nedostupnost                 | 7               |
| B-strom                                 |           |                                       |                    |                              |                 |
|   | Čas [s]   | Propustnost<br>[op/s]                 | Výsledků<br>celkem | Max výsledků<br>v 1 odpovědi | Výsledků<br>[s] |
| Průměr                                  | 2 198,210 | 1 820                                 | 49 666 3544        | 111                          | 225 940         |
| Uzel                                    | Virt_23   | Virt_24                               | Virt_25            | Virt_26                      | Virt_27         |
| Spojení celkem                          | 728 473   | 801 946                               | 814 592            | 866 068                      | 866 963         |
| Dotazů                                  | 728 409   | 801 946                               | 814 592            | 866 068                      | 866 963         |
| Replikací dotazu                        | 197 531   | 903 724                               | 680 329            | 926 595                      | 606 401         |
| Čas DB [s]                              | 23,175    | 32,898                                | 29,889             | 32,898                       | 27,116          |
| Max prop. [op/s]                        | 2 206     | 2 124                                 | 2 181              | 2 319                        | 2 326           |
| Průměr prop. [op/s]                     | 331       | 365                                   | 371                | 394                          | 394             |
| Pohledů                                 | 32 311    | 145 384                               | 113 526            | 132 626                      | 96 970          |
| Adresní chyby                           | 64        | 0                                     | 0                  | 0                            | 0               |
| Uzel                                    | Virt_28   | Virt_29                               | Virt_30            | Virt_31                      | Virt_32         |
| Spojení celkem                          | 1 395 345 | 778 298                               | 818 446            | 831 610                      | 796 081         |
| Dotazů                                  | 1 395 281 | 778 298                               | 818 446            | 831 610                      | 796 081         |
| Replikací dotazu                        | 0         | 947 226                               | 808 935            | 581 431                      | 449 558         |
| Čas DB [s]                              | 42,851    | 30,755                                | 27,542             | 29,047                       | 24,282          |
| Max prop. [op/s]                        | 2 999     | 2 270                                 | 2 383              | 2 401                        | 2 386           |
| Průměr prop. [op/s]                     | 635       | 354                                   | 372                | 378                          | 362             |
| Pohledů                                 | 213 857   | 141 989                               | 147 101            | 115 549                      | 76 801          |
| Adresní chyby                           | 64        | 0                                     | 0                  | 0                            | 0               |
| Uzel                                    | Virt_17   | Virt_40                               | Virt_95            | Virt_96                      | Virt_97         |
| Spojení celkem                          | 650 585   | 656 849                               | 684 504            | 725 371                      | 732 696         |
| Dotazů                                  | 650 521   | 656 849                               | 684 504            | 725 371                      | 732 696         |
| Replikací dotazu                        | 3 871     | 619 100                               | 681 949            | 748 878                      | 556 502         |
| Čas DB [s]                              | 107,031   | 99,299                                | 82,322             | 90,694                       | 85,56           |
| Max prop. [op/s]                        | 602       | 625                                   | 701                | 671                          | 670             |
| Průměr prop. [op/s]                     | 296       | 298                                   | 311                | 330                          | 333             |
| Pohledů                                 | 97        | 94 929                                | 138 279            | 140 002                      | 84 239          |
| Adresní chyby                           | 64        | 0                                     | 0                  | 0                            | 0               |
| Uzel                                    | Virt_98   | Virt_99                               | Virt_100           | Virt_101                     | Virt_102        |
| Spojení celkem                          | 437 778   | 448 471                               | 484 033            | 501 497                      | 495 211         |
| Dotazů                                  | 437 714   | 448 471                               | 484 033            | 501 497                      | 495 211         |
| Replikací dotazu                        | 5 197     | 463 186                               | 568 362            | 435 601                      | 318 070         |
| Čas DB [s]                              | 30,176    | 32,933                                | 28,285             | 30,649                       | 26,684          |
| Max prop. [op/s]                        | 570       | 637                                   | 757                | 708                          | 710             |
| Průměr prop. [op/s]                     | 199       | 204                                   | 220                | 228                          | 225             |
| Pohledů                                 | 149       | 27 311                                | 76 257             | 32 493                       | 57 996          |
| Adresní chyby                           | 64        | 0                                     | 0                  | 0                            | 0               |

Tabulka 50: DDS v2.0 - Rozsahové dotazy na 20 uzelů, B-strom, 2 x 32

## E Testy síťové komunikace

**C1xS1 - Test LAN 100xConnect-SEND-RECV-FIN**

|                           | Vláken serveru:                 | 1      | Klientů: | 1      | Počet spojení: | 100    |        |         |         |         |
|---------------------------|---------------------------------|--------|----------|--------|----------------|--------|--------|---------|---------|---------|
| Test č.                   | Velikost zprávy / čas testu [s] |        |          |        |                |        |        |         |         |         |
|                           | 0,5 MB                          | 1 MB   | 2 MB     | 3 MB   | 4 MB           | 6 MB   | 8 MB   | 10 MB   | 12 MB   | 14 MB   |
| 1                         | 5,382                           | 10,624 | 21,200   | 31,622 | 41,933         | 62,681 | 83,850 | 104,254 | 125,268 | 146,157 |
| 2                         | 5,367                           | 10,609 | 21,158   | 31,590 | 41,855         | 62,853 | 83,475 | 104,177 | 125,175 | 146,437 |
| 3                         | 5,428                           | 10,545 | 21,158   | 31,574 | 41,964         | 62,806 | 83,445 | 104,224 | 125,221 | 146,094 |
| 4                         | 5,429                           | 10,608 | 21,201   | 31,637 | 41,870         | 62,853 | 83,382 | 104,287 | 125,377 | 146,001 |
| 5                         | 5,304                           | 10,561 | 21,169   | 31,527 | 41,854         | 62,884 | 83,741 | 104,661 | 125,440 | 146,016 |
| 6                         | 5,304                           | 10,624 | 21,170   | 31,606 | 41,855         | 62,884 | 83,803 | 105,472 | 125,284 | 145,969 |
| 7                         | 5,304                           | 10,576 | 21,170   | 31,606 | 41,933         | 62,805 | 83,616 | 104,988 | 125,299 | 145,891 |
| 8                         | 5,538                           | 10,530 | 21,200   | 31,653 | 41,979         | 62,962 | 83,398 | 105,129 | 125,393 | 145,876 |
| 9                         | 5,320                           | 10,592 | 21,154   | 31,574 | 42,058         | 62,899 | 83,413 | 104,427 | 125,253 | 146,063 |
| 10                        | 5,288                           | 10,655 | 21,169   | 31,512 | 41,652         | 62,852 | 83,398 | 104,271 | 125,222 | 146,188 |
| 11                        | 5,304                           | 10,545 | 21,185   | 31,419 | 42,260         | 62,868 | 83,491 | 104,114 | 125,143 | 146,172 |
| 12                        | 5,320                           | 10,624 | 21,138   | 31,496 | 42,152         | 62,868 | 83,460 | 104,239 | 125,330 | 146,047 |
| 13                        | 5,531                           | 10,545 | 21,154   | 31,45  | 42,042         | 62,884 | 83,413 | 104,146 | 125,362 | 146,016 |
| 14                        | 5,304                           | 10,577 | 21,184   | 31,449 | 42,213         | 62,712 | 83,351 | 104,223 | 125,159 | 146,328 |
| 15                        | 5,320                           | 10,561 | 21,185   | 31,512 | 42,089         | 62,899 | 83,257 | 104,193 | 125,237 | 145,892 |
| 16                        | 5,351                           | 10,499 | 21,216   | 31,466 | 42,058         | 62,837 | 83,695 | 104,223 | 125,175 | 146,126 |
| 17                        | 5,304                           | 10,530 | 21,185   | 31,481 | 42,167         | 62,852 | 83,429 | 104,271 | 125,128 | 145,876 |
| 18                        | 5,319                           | 10,515 | 21,154   | 31,512 | 42,042         | 62,962 | 83,382 | 104,146 | 125,034 | 146,187 |
| 19                        | 5,367                           | 10,608 | 21,123   | 31,480 | 42,136         | 62,946 | 83,257 | 104,208 | 125,253 | 146,344 |
| 20                        | 5,382                           | 10,592 | 21,153   | 31,419 | 42,011         | 62,806 | 83,476 | 104,426 | 125,268 | 146,173 |
| <b>Průměr [s]</b>         | 5,358                           | 10,576 | 21,171   | 31,529 | 42,01          | 62,855 | 83,486 | 104,404 | 125,251 | 146,093 |
| <b>Spojení celkem</b>     | 19                              | 9      | 5        | 3      | 2              | 2      | 1      | 1       | 1       | 1       |
| <b>Propustnost [MB/s]</b> | 9,332                           | 9,455  | 9,446    | 9,514  | 9,522          | 9,545  | 9,582  | 9,578   | 9,581   | 9,583   |

Tabulka 51: C1xS1 - Test LAN 100xConnect-SEND-RECV-FIN

## C1xS1 - Test LAN 100xConnect-SEND-RECV-FIN

|                           | Vláken serveru: 1               |        |         |         |         |         |         | Klientů: 1 |         |         |         | Počet spojení: 100 |  |  |
|---------------------------|---------------------------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|------------|---------|---------|---------|--------------------|--|--|
|                           | Velikost zprávy / čas testu [s] |        |         |         |         |         |         |            |         |         |         |                    |  |  |
| Test č.                   | 100 kB                          | 500 kB | 1260 kB | 1,5 kB  | 2 kB    | 4 kB    | 8 kB    | 16 kB      | 32 kB   | 64 kB   | 128 kB  | 256 kB             |  |  |
| 1                         | 0,811                           | 0,842  | 0,983   | 1,030   | 1,045   | 1,622   | 2,153   | 3,058      | 4,852   | 8,097   | 14,789  | 27,284             |  |  |
| 2                         | 0,797                           | 0,905  | 0,967   | 1,310   | 1,061   | 1,669   | 2,137   | 3,104      | 5,523   | 8,112   | 14,555  | 27,503             |  |  |
| 3                         | 0,577                           | 0,889  | 0,967   | 1,560   | 1,029   | 1,763   | 2,121   | 3,026      | 4,836   | 8,003   | 14,601  | 27,331             |  |  |
| 4                         | 0,718                           | 0,874  | 0,968   | 1,809   | 1,077   | 1,903   | 2,340   | 3,151      | 4,883   | 8,299   | 14,587  | 27,441             |  |  |
| 5                         | 0,671                           | 0,827  | 0,998   | 1,046   | 1,061   | 2,293   | 2,122   | 3,089      | 4,805   | 8,284   | 14,523  | 27,440             |  |  |
| 6                         | 0,733                           | 0,843  | 0,983   | 1,029   | 1,029   | 2,886   | 2,168   | 3,135      | 4,820   | 8,268   | 14,461  | 27,378             |  |  |
| 7                         | 0,811                           | 0,921  | 0,983   | 1,014   | 1,045   | 2,012   | 2,169   | 3,120      | 4,821   | 8,049   | 14,555  | 27,300             |  |  |
| 8                         | 0,811                           | 0,920  | 0,983   | 1,014   | 1,077   | 2,278   | 2,153   | 3,105      | 4,805   | 8,096   | 14,961  | 27,394             |  |  |
| 9                         | 0,968                           | 0,936  | 0,967   | 1,029   | 1,045   | 5,054   | 2,137   | 3,073      | 4,804   | 8,128   | 15,022  | 27,425             |  |  |
| 10                        | 0,811                           | 0,873  | 0,983   | 1,014   | 1,045   | 2,060   | 2,153   | 3,120      | 4,790   | 8,268   | 14,758  | 28,064             |  |  |
| 11                        | 0,873                           | 0,874  | 0,967   | 1,014   | 1,061   | 1,544   | 2,168   | 3,105      | 4,836   | 8,471   | 14,524  | 27,519             |  |  |
| 12                        | 0,905                           | 0,843  | 0,983   | 1,014   | 1,045   | 1,529   | 2,152   | 3,229      | 4,852   | 8,222   | 14,617  | 27,893             |  |  |
| 13                        | 1,029                           | 0,967  | 0,967   | 1,030   | 1,061   | 1,513   | 2,153   | 3,120      | 4,867   | 8,221   | 14,570  | 27,300             |  |  |
| 14                        | 0,812                           | 0,858  | 0,951   | 1,014   | 1,045   | 1,513   | 2,137   | 3,120      | 4,883   | 9,375   | 14,617  | 27,316             |  |  |
| 15                        | 0,904                           | 0,968  | 0,967   | 1,029   | 1,045   | 1,498   | 2,106   | 3,120      | 4,836   | 8,034   | 14,695  | 27,503             |  |  |
| 16                        | 0,796                           | 0,873  | 0,967   | 0,999   | 1,061   | 1,528   | 2,137   | 3,089      | 4,851   | 8,018   | 14,758  | 27,347             |  |  |
| 17                        | 0,811                           | 0,905  | 0,967   | 1,014   | 1,029   | 1,513   | 2,138   | 3,135      | 4,868   | 7,940   | 14,914  | 27,284             |  |  |
| 18                        | 0,780                           | 0,905  | 0,967   | 1,014   | 1,233   | 1,560   | 2,137   | 3,167      | 4,851   | 8,019   | 15,023  | 27,300             |  |  |
| 19                        | 0,765                           | 0,936  | 0,952   | 1,014   | 1,544   | 1,575   | 2,153   | 3,136      | 4,883   | 8,159   | 14,445  | 27,331             |  |  |
| 20                        | 0,827                           | 0,842  | 0,968   | 1,092   | 1,108   | 1,514   | 2,121   | 3,120      | 4,774   | 8,159   | 14,618  | 27,300             |  |  |
| <b>Průměr [s]</b>         | 0,8105                          | 0,8900 | 0,9719  | 1,10445 | 1,0873  | 1,9413  | 2,1527  | 3,1161     | 4,872   | 8,2111  | 14,679  | 27,432             |  |  |
| <b>Spojení celkem</b>     | 1234                            | 1124   | 1029    | 905     | 920     | 515     | 465     | 321        | 205     | 122     | 68      | 36                 |  |  |
| <b>Propustnost [kB/s]</b> | 123,38                          | 561,76 | 1296,4  | 1358,14 | 1839,41 | 2060,42 | 3716,17 | 5134,62    | 6568,14 | 7794,32 | 8719,55 | 9331,94            |  |  |

Tabulka 52: C1xS1 - Test LAN 100xConnect-SEND-RECV-FIN

**C16xS32 - Test LAN 16x1000xConnect-SEND-RECV-FIN**

|                           | Vláken serveru: 32              |        | Klientů: 16 |        | Počet spojení: 16x1000 |       |         |         |         |         |         |         |  |
|---------------------------|---------------------------------|--------|-------------|--------|------------------------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--|
|                           | Velikost zprávy / čas testu [s] |        |             |        |                        |       |         |         |         |         |         |         |  |
| Test č.                   | 100 B                           | 500 B  | 1260 B      | 1,5 kB | 2 kB                   | 4 kB  | 8 kB    | 16 kB   | 32 kB   | 64 kB   | 128 kB  | 256 kB  |  |
| 1                         | 5,054                           | 5,460  | 5,101       | 5,382  | 5,475                  | 7,192 | 12,152  | 23,088  | 45,380  | 89,825  | 179,010 | 357,163 |  |
| 2                         | 5,367                           | 5,461  | 5,148       | 5,428  | 5,476                  | 7,082 | 12,137  | 23,478  | 45,693  | 89,825  | 179,229 | 357,115 |  |
| 3                         | 5,647                           | 5,360  | 5,054       | 5,366  | 5,366                  | 7,082 | 12,215  | 23,072  | 45,287  | 89,871  | 178,995 | 357,147 |  |
| 4                         | 5,491                           | 5,585  | 5,194       | 6,037  | 5,491                  | 7,082 | 12,121  | 23,12   | 45,302  | 89,872  | 178,917 | 357,147 |  |
| 5                         | 5,460                           | 5,928  | 5,116       | 5,554  | 5,444                  | 7,083 | 12,152  | 23,182  | 45,287  | 89,856  | 178,979 | 357,178 |  |
| 6                         | 5,429                           | 5,460  | 5,070       | 5,444  | 5,834                  | 7,820 | 12,153  | 23,353  | 45,396  | 89,825  | 178,932 | 357,179 |  |
| 7                         | 5,460                           | 5,492  | 5,242       | 5,662  | 6,942                  | 7,980 | 12,137  | 23,135  | 45,319  | 89,840  | 178,932 | 357,178 |  |
| 8                         | 5,523                           | 5,445  | 5,180       | 5,444  | 6,256                  | 7,066 | 12,184  | 23,073  | 45,334  | 89,825  | 178,994 | 357,178 |  |
| 9                         | 5,460                           | 5,647  | 5,102       | 5,413  | 5,445                  | 7,129 | 12,246  | 23,025  | 45,614  | 89,825  | 178,932 | 357,178 |  |
| 10                        | 5,366                           | 5,344  | 5,180       | 5,569  | 5,382                  | 7,062 | 12,153  | 23,057  | 45,521  | 89,872  | 178,947 | 357,163 |  |
| 11                        | 5,522                           | 5,460  | 5,085       | 5,522  | 5,398                  | 7,082 | 12,168  | 23,025  | 45,365  | 89,871  | 178,932 | 357,163 |  |
| 12                        | 5,382                           | 5,543  | 5,038       | 5,522  | 5,491                  | 7,098 | 12,152  | 23,041  | 45,333  | 89,903  | 178,979 | 357,147 |  |
| 13                        | 5,522                           | 5,530  | 5,194       | 5,538  | 5,507                  | 7,098 | 12,137  | 23,042  | 45,349  | 89,903  | 178,916 | 357,132 |  |
| 14                        | 5,413                           | 5,610  | 5,054       | 5,429  | 5,491                  | 7,082 | 12,152  | 23,026  | 45,303  | 89,856  | 178,933 | 357,131 |  |
| 15                        | 5,428                           | 5,362  | 5,085       | 5,631  | 5,507                  | 7,082 | 12,168  | 23,041  | 45,318  | 89,857  | 178,932 | 357,132 |  |
| 16                        | 5,397                           | 5,362  | 5,133       | 5,428  | 5,382                  | 7,083 | 12,137  | 23,057  | 45,287  | 89,888  | 178,963 | 357,163 |  |
| 17                        | 5,570                           | 5,400  | 5,085       | 5,491  | 5,523                  | 7,083 | 12,137  | 23,057  | 45,287  | 89,872  | 178,948 | 357,147 |  |
| 18                        | 5,492                           | 5,450  | 5,163       | 5,491  | 5,367                  | 7,098 | 12,153  | 23,041  | 45,318  | 89,872  | 178,964 | 357,147 |  |
| 19                        | 5,538                           | 5,532  | 5,148       | 5,413  | 5,460                  | 7,114 | 12,152  | 23,041  | 45,287  | 89,903  | 178,917 | 357,318 |  |
| 20                        | 5,350                           | 5,530  | 5,085       | 5,523  | 5,460                  | 7,083 | 12,152  | 23,042  | 45,287  | 89,871  | 178,947 | 357,475 |  |
| <b>Průměr [s]</b>         | 5,443                           | 5,498  | 5,124       | 5,514  | 5,585                  | 7,174 | 12,158  | 23,099  | 45,363  | 89,860  | 178,960 | 357,179 |  |
| <b>Spojení celkem</b>     | 2939                            | 2910   | 3123        | 2902   | 2865                   | 2230  | 1316    | 693     | 353     | 178     | 89      | 45      |  |
| <b>Propustnost [kB/s]</b> | 287,04                          | 1420,1 | 3842,3      | 4352,3 | 5729,8                 | 8921  | 10528,1 | 11082,3 | 11286,6 | 11395,3 | 11443,6 | 11467,6 |  |

Tabulka 53: C16xS32 - Test LAN 16x1000xConnect-SEND-RECV-FIN

C16xS32 - Test Lan 16x20xConnect-SEND-RECV-FIN

| Test č.                   | Vláken serveru: 32 |        |        |        |         |         |         | Klientů: 16 | Počet spojení: 16x20 |
|---------------------------|--------------------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|-------------|----------------------|
|                           | 0,5 MB             | 1 MB   | 2 MB   | 3 MB   | 4 MB    | 6 MB    | 8 MB    |             |                      |
| 1                         | 14,289             | 29,141 | 59,686 | 89,216 | 118,358 | 175,453 | 232,206 | 289,474     | 346,414              |
| 2                         | 14,321             | 29,172 | 59,826 | 89,544 | x       | x       | x       | x           | x                    |
| 3                         | 14,305             | 29,173 | 60,154 | 89,544 | x       | x       | x       | x           | x                    |
| 4                         | 14,290             | 29,141 | 59,997 | 89,356 | x       | x       | x       | x           | x                    |
| 5                         | 14,305             | 29,016 | 60,294 | 89,511 | x       | x       | x       | x           | x                    |
| 6                         | 14,289             | 29,157 | 60,216 | 89,606 | x       | x       | x       | x           | x                    |
| 7                         | 14,305             | 29,172 | 60,170 | 89,511 | x       | x       | x       | x           | x                    |
| 8                         | 14,305             | 29,219 | 60,154 | 89,606 | x       | x       | x       | x           | x                    |
| 9                         | 14,305             | 29,250 | 60,048 | x      | x       | x       | x       | x           | x                    |
| 10                        | 14,305             | 29,188 | 60,513 | x      | x       | x       | x       | x           | x                    |
| 11                        | 14,320             | 29,157 | 60,341 | x      | x       | x       | x       | x           | x                    |
| 12                        | 14,305             | 29,156 | 59,826 | x      | x       | x       | x       | x           | x                    |
| 13                        | 14,290             | 29,094 | 60,029 | x      | x       | x       | x       | x           | x                    |
| 14                        | 14,305             | 29,156 | 60,045 | x      | x       | x       | x       | x           | x                    |
| 15                        | 14,305             | 29,203 | 60,122 | x      | x       | x       | x       | x           | x                    |
| 16                        | 14,305             | 29,172 | 60,029 | x      | x       | x       | x       | x           | x                    |
| 17                        | 14,305             | 29,109 | 59,826 | x      | x       | x       | x       | x           | x                    |
| 18                        | 14,305             | 29,172 | 60,045 | x      | x       | x       | x       | x           | x                    |
| 19                        | 14,305             | 29,172 | 60,232 | x      | x       | x       | x       | x           | x                    |
| 20                        | 14,289             | 29,266 | 60,076 | x      | x       | x       | x       | x           | x                    |
| <b>Průměr [s]</b>         | 14,303             | 29,164 | 60,081 | 89,487 | 118,358 | 175,453 | 232,206 | 289,474     | 346,414              |
| <b>Spojení celkem</b>     | 22                 | 11     | 5      | 4      | 3       | 2       | 1       | 1           | 1                    |
| <b>Propustnost [MB/s]</b> | 11,187             | 10,972 | 10,652 | 10,728 | 10,815  | 10,943  | 11,024  | 11,054      | 11,085               |
|                           |                    |        |        |        |         |         |         |             | 11,104               |

Tabulka 54: C16xS32 - Test Lan 16x20xConnect-SEND-RECV-FIN

| C32xS8 - Test LAN 32x100xCConnect-SEND-RECV-FIN |                                 |        |             |        |                       |        |         |          |          |         |         |         |
|---|---------------------------------|--------|-------------|--------|-----------------------|--------|---------|----------|----------|---------|---------|---------|
|   | Vláken serveru: 8               |        | Klientů: 32 |        | Počet spojení: 32x100 |        |         |          |          |         |         |         |
|   | Velikost zprávy / čas testu [s] |        |             |        |                       |        |         |          |          |         |         |         |
| Test č.   | 100 B                           | 500 B  | 1260 B      | 1,5 kB | 2kB                   | 4 kB   | 8 kB    | 16 kB    | 32 kB    | 64 kB   | 128 kB  | 256 kB  |
| 1   | 0,920                           | 0,905  | 0,858       | 0,873  | 0,889                 | 1,373  | 2,433   | 4,644    | 9,079    | 17,987  | 35,786  | 71,838  |
| 2   | 0,950                           | 0,936  | 0,858       | 0,873  | 0,874                 | 1,388  | 2,434   | 4,649    | 9,064    | 17,971  | 35,802  | 71,853  |
| 3   | 0,936                           | 0,952  | 0,858       | 0,874  | 0,889                 | 1,388  | 2,434   | 4,649    | 9,063    | 17,987  | 35,786  | 71,838  |
| 4   | 0,906                           | 0,920  | 0,842       | 0,842  | 0,889                 | 1,404  | 2,465   | 4,649    | 9,064    | 17,971  | 35,787  | 71,760  |
| 5   | 0,902                           | 0,921  | 0,811       | 0,858  | 0,936                 | 1,389  | 2,496   | 4,602    | 9,063    | 17,987  | 35,802  | 71,807  |
| 6   | 0,920                           | 0,900  | 0,827       | 0,874  | 0,921                 | 1,388  | 2,433   | 4,633    | 9,064    | 17,972  | 35,802  | 71,807  |
| <b>Průměr [s]</b>                               | 0,922                           | 0,922  | 0,842       | 0,865  | 0,899                 | 1,388  | 2,449   | 4,637    | 9,066    | 17,979  | 35,794  | 71,817  |
| <b>Spojení celkem</b>                           | 3469                            | 3469   | 3799        | 3697   | 3557                  | 2305   | 1307    | 690      | 353      | 178     | 89      | 45      |
| <b>Propustnost [kB/s]</b>                       | 338,9                           | 1694,1 | 4674,5      | 5544,9 | 7113,8                | 9219,7 | 10452,5 | 11040,03 | 11294,74 | 11390,9 | 11443,2 | 11406,7 |

Tabulka 55: C32xS8 - Test LAN 32x100xCConnect-SEND-RECV-FIN

C32xS12 - Test LAN 32x100xCConnect-SEND-RECV-FIN

|                           | Vláken serveru: | 12           | Klientů:     | 32                              |              | Počet spojení: | 32x100       |              |              |               |               |               |
|---------------------------|-----------------|--------------|--------------|---------------------------------|--------------|----------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|
|                           |                 |              |              | Velikost zprávy / čas testu [s] |              |                |              |              |              |               |               |               |
| Test č.                   | 100 kB          | 500 kB       | 1260 kB      | 1,5kB                           | 2kB          | 4kB            | 8kB          | 16kB         | 32kB         | 64kB          | 128kB         | 256kB         |
| 1                         | 0,921           | 0,920        | 0,874        | 0,921                           | 0,905        | 1,404          | 2,434        | 4,633        | 9,063        | 17,972        | 35,787        | 71,51         |
| 2                         | 0,889           | 0,920        | 0,873        | 0,905                           | 0,89         | 1,419          | 2,433        | 4,649        | 9,064        | 17,971        | 35,802        | 71,500        |
| 3                         | 0,920           | 0,905        | 0,858        | 0,905                           | 0,905        | 1,388          | 2,418        | 4,617        | 9,079        | 17,987        | 35,802        | 71,512        |
| 4                         | 0,874           | 0,905        | 0,904        | 0,889                           | 0,889        | 1,419          | 2,418        | 4,633        | 9,079        | 17,971        | 35,833        | 71,526        |
| 5                         | 0,909           | 0,904        | 0,858        | 0,843                           | 0,921        | 1,388          | 2,434        | 4,634        | 9,282        | 17,956        | 35,786        | 71,510        |
| 6                         | 0,905           | 0,890        | 0,842        | 0,905                           | 0,889        | 1,450          | 2,430        | 4,633        | 9,064        | 18,002        | 35,802        | 71,510        |
| 7                         | 0,920           | 0,904        | 0,904        | 0,889                           | 0,889        | 1,450          | 2,418        | 4,634        | 9,079        | 17,987        | 35,833        | 71,510        |
| 8                         | 0,910           | 0,901        | 0,858        | 0,884                           | 0,889        | 1,419          | 2,433        | 4,617        | 9,079        | 18,002        | 35,802        | 71,512        |
| <b>Průměr [s]</b>         | <b>0,906</b>    | <b>0,906</b> | <b>0,871</b> | <b>0,892</b>                    | <b>0,897</b> | <b>1,417</b>   | <b>2,427</b> | <b>4,631</b> | <b>9,098</b> | <b>17,981</b> | <b>35,805</b> | <b>71,512</b> |
| <b>Spojení celkem</b>     | <b>3532</b>     | <b>3532</b>  | <b>3672</b>  | <b>3585</b>                     | <b>3567</b>  | <b>2258</b>    | <b>1318</b>  | <b>691</b>   | <b>352</b>   | <b>178</b>    | <b>89</b>     | <b>45</b>     |
| <b>Propustnost [kB/s]</b> | <b>344,9</b>    | <b>1724</b>  | <b>4519</b>  | <b>5377</b>                     | <b>7134</b>  | <b>9032</b>    | <b>10545</b> | <b>11055</b> | <b>11254</b> | <b>11390</b>  | <b>11439</b>  | <b>11455</b>  |

Tabulka 56: C32xS12 - Test LAN 32x100xCConnect-SEND-RECV-FIN

| C32xS16 - Test LAN 32x100xConnect-SEND-RECV-FIN |                                 |       |          |        |                |        |       |       |       |        |        |        |
|---|---------------------------------|-------|----------|--------|----------------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
|   | Vláken serveru:                 | 16    | Klientů: | 32     | Počet spojení: | 32x100 |       |       |       |        |        |        |
| Test č.   | Veličost zprávy / čas testu [s] |       |          |        |                |        |       |       |       |        |        |        |
|   | 100 B                           | 500 B | 1260 B   | 1,5 kB | 2kB            | 4 kB   | 8 kB  | 16 kB | 32 kB | 64 kB  | 128 kB | 256 kB |
| 1   | 0,920                           | 0,920 | 0,843    | 0,921  | 0,905          | 1,388  | 2,450 | 4,649 | 9,094 | 17,986 | 35,802 | 71,744 |
| 2   | 0,905                           | 0,889 | 0,889    | 0,873  | 0,889          | 1,373  | 2,434 | 4,633 | 9,079 | 17,987 | 35,802 | 71,448 |
| 3   | 0,889                           | 0,920 | 0,827    | 0,889  | 0,905          | 1,404  | 2,496 | 4,634 | 9,064 | 17,987 | 35,802 | 71,464 |
| 4   | 0,874                           | 0,889 | 0,842    | 0,858  | 0,889          | 1,388  | 2,434 | 4,649 | 9,094 | 17,986 | 35,802 | 71,744 |
| 5   | 0,905                           | 0,920 | 0,827    | 0,842  | 0,889          | 1,388  | 2,450 | 4,633 | 9,079 | 17,987 | 35,802 | 71,448 |
| 6   | 0,904                           | 0,874 | 0,904    | 0,889  | 0,905          | 1,373  | 2,434 | 4,634 | 9,064 | 17,987 | 35,802 | 71,464 |
| <b>Průměr [s]</b>                               | 0,899                           | 0,902 | 0,855    | 0,879  | 0,897          | 1,386  | 2,450 | 4,639 | 9,079 | 17,986 | 35,802 | 71,552 |
| <b>Spojení celkem</b>                           | 3558                            | 3548  | 3741     | 3642   | 3567           | 2309   | 1306  | 690   | 352   | 178    | 89     | 45     |
| <b>Propustnost [kB/s]</b>                       | 347,42                          | 1732  | 4604     | 5463   | 7135           | 9237   | 10450 | 11038 | 11279 | 11386  | 11441  | 11449  |

Tabulka 57: C32xS16 - Test LAN 32x100xConnect-SEND-RECV-FIN

**C32xS32 - Test LAN 32x100xCConnect-SEND-RECV-FIN**

|                    | Vláken serveru: 32              |        |         |        |       |       | Klientů: 32 | Počet spojení: 32x100 |       |        |        |        |
|--------------------|---------------------------------|--------|---------|--------|-------|-------|-------------|-----------------------|-------|--------|--------|--------|
|                    | Velikost zprávy / čas testu [s] |        |         |        |       |       |             |                       |       |        |        |        |
| Test č.            | 100 kB                          | 500 kB | 1260 kB | 1,5 kB | 2 kB  | 4 kB  | 8 kB        | 16 kB                 | 32 kB | 64 kB  | 128 kB | 256 kB |
| 1                  | 1,076                           | 1,123  | 0,890   | 0,029  | 0,999 | 1,389 | 2,418       | 4,649                 | 9,095 | 17,987 | 35,802 | 71,511 |
| 2                  | 1,070                           | 1,153  | 0,968   | 0,983  | 1,061 | 1,388 | 2,149       | 4,633                 | 9,111 | 18,018 | 35,802 | 71,479 |
| 3                  | 1,092                           | 1,108  | 0,952   | 0,998  | 1,014 | 1,388 | 2,434       | 4,633                 | 9,095 | 18,002 | 35,802 | 71,510 |
| 4                  | 1,108                           | 1,076  | 0,983   | 0,952  | 1,045 | 1,388 | 2,433       | 4,634                 | 9,095 | 18,003 | 35,849 | 71,448 |
| 5                  | 1,107                           | 1,061  | 0,889   | 1,014  | 1,076 | 1,373 | 2,449       | 4,649                 | 9,079 | 18,018 | 35,833 | 71,433 |
| 6                  | 1,108                           | 1,060  | 0,921   | 0,952  | 1,014 | 1,388 | 2,418       | 4,680                 | 9,095 | 18,007 | 35,817 | 71,433 |
| Průměr [s]         | 1,096                           | 1,097  | 0,934   | 0,990  | 1,035 | 1,390 | 2,384       | 4,646                 | 9,095 | 18,006 | 35,818 | 71,470 |
| Spojení celkem     | 2926                            | 2917   | 3427    | 3239   | 3092  | 2309  | 1343        | 689                   | 352   | 178    | 89     | 45     |
| Propustnost [kB/s] | 285,8                           | 1424   | 4216    | 4858   | 6184  | 9237  | 10740       | 11019                 | 11258 | 11374  | 11435  | 11462  |

Tabulka 58: C32xS32 - Test LAN 32x100xCConnect-SEND-RECV-FIN

**C32xS32 - Test LAN 32x20xCConnect-SEND-RECV-FIN**

|                    | Vláken serveru: 32              |        |         |         |         |         | Klientů: 32 | Počet spojení: 32x20 |         |         |
|--------------------|---------------------------------|--------|---------|---------|---------|---------|-------------|----------------------|---------|---------|
|                    | Velikost zprávy / čas testu [s] |        |         |         |         |         |             |                      |         |         |
| Test č.            | 0,5 MB                          | 1 MB   | 2 MB    | 3 MB    | 4 MB    | 6 MB    | 8 MB        | 10 MB                | 12 MB   | 14 MB   |
| 1                  | 28,782                          | 58,453 | 117,187 | 174,253 | 231,271 | 344,729 | 458,641     | 573,005              | 687,618 | 801,358 |
| Průměr [s]         | 28,78                           | 58,45  | 117,19  | 174,25  | 231,27  | 344,73  | 458,64      | 573,00               | 687,62  | 801,36  |
| Spojení            | 22                              | 11     | 5       | 4       | 3       | 2       | 1           | 1                    | 1       | 1       |
| Propustnost [MB/s] | 11,118                          | 10,949 | 10,92   | 11,019  | 11,069  | 11,139  | 11,163      | 11,169               | 11,169  | 11,181  |

Tabulka 59: C32xS32 - Test LAN 32x20xCConnect-SEND-RECV-FIN



## F Obsah přiloženého DVD

- /src - Obsahuje zdrojové kódy.
  - /cpp - Použité kódy v jazyce C++.
    - \* /SDDS\_v2.0
      - . /common/networking - třídy pro práci se sockety
      - . /dbms/clientserver - třídy serveru a klienta
      - . /dbms/ddbms - třídy s mapováním a pohledem na DDS
    - /Embedded
      - \* /EmbeddedBtree - aplikace s testy DS B-stromu.
      - \* /EmbeddedRtree - aplikace s testy DS R-stromu.
    - /MutexMeteredSection
      - \* /2.3 Mutex - test synchronizace za pomoci Mutexu.
      - \* /2.3 MeteredSection - test synchronizace za pomoci Metered Section.
    - /SDDS\_v1.0 - prvotní verze aplikace.
    - /SDDS\_v2.0 - finální verze aplikace.
  - /text - obsahuje text diplomové práce v Latexu.
  - /log - obsahuje záznamy a nastavení serverů z testů.
    - /virt\_23
      - \* /B5 - test s B-stromem a 5-ti uzly.
      - \* ...
      - \* /R20 - test s R-stromem a 20-ti uzly.
    - ....
    - /virt\_102
  - /TCP\_Report - záznamy meření TCP výkonu
    - /cz - česky psaná verze
    - /en - anglicky psaná verze