

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

OVĚŘENÍ STATISTICKÉ VĚROHODNOSTI VÝSLEDKŮ SIMULACÍ V
PROSTŘEDÍ OPNET MODELER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

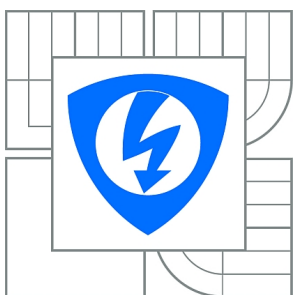
ANDRÁS FÖRDÖS

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

OVĚŘENÍ STATISTICKÉ VĚROHODNOSTI VÝSLEDKŮ SIMULACÍ V PROSTŘEDÍ OPNET MODELER

VERIFICATION OF THE STATISTICAL RELIABILITY OF SIMULATION RESULTS IN OPNET
MODELER ENVIRONMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

ANDRÁS FÖRDÖS

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JIŘÍ HOŠEK, Ph.D.

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Teleinformatika

Student: András Fördös

ID: 125422

Ročník: 3

Akademický rok: 2011/2012

NÁZEV TÉMATU:

Ověření statistické věrohodnosti výsledků simulací v prostředí OPNET Modeler

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se simulačním prostředím OPNET Modeler. Zaměřte se zejména na způsoby nastavení parametrů simulace a možnosti definice automatizovaného běhu sekvence několika simulací. Dále podrobně prozkoumejte používané metody pro statistickou analýzu věrohodnosti výsledků síťových simulací. V rámci praktické části vytvořte v prostředí OPNET Modeler simulační model LAN, v němž budou definovány nejméně 3 různé typy síťového provozu. U vytvořeného scénáře nastavte dostatečné množství sledovaných statistik a poté proveďte simulaci. Prozkoumejte a následně zdokumentujte možnosti zobrazení výsledných statistik. Navrhněte způsob a formu zobrazení základních statistik v závislosti na typu analyzovaného provozu a sledované statistiky. V další části práce se pokuste definovat potřebné množství běhů simulací pro dosažení dostatečně statisticky věrohodných výsledků. Zjištěnou hodnotu ověřte také v různých scénářích (počet uzlů, zatížení přenosových linek, atd.).

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] BILKOVA, D., BUDINSKY, P., VOHANKA, V.: Pravděpodobnost a statistika. Praha: Aleš Čeněk, 2009, ISBN: 978-8073802240.

[2] McCABE, J.: Network Analysis, Architecture, and Design. San Francisco: Morgan Kaufmann, 2007, ISBN: 978-0123704801.

[3] OPNET Technologies, OPNET Modeler Product Documentation Release 16.0, 2010.

Termín zadání: 6.2.2012

Termín odevzdání: 31.5.2012

Vedoucí práce: Ing. Jiří Hošek, Ph.D.

Konzultanti bakalářské práce:

prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.

Předseda oborové rady

ABSTRAKT

Práce je zaměřená na ověření statistické věrohodnosti výsledků simulací v prostředí OPNET Modeler. Jako teoretický úvod do problematiky je na začátku uvedeno stručné seznámení s OPNET Modeler. Dále jsou popsány základní pojmy matematické statistiky, typy dat a některé základní statistické charakteristiky. V rámci projektu byl vytvořen model LAN sítě, byly nastaveny 3 různé typy provozu a několik sledovaných statistik. V práci jsou uvedena nastavení modelu, nastavení parametrů spuštění více běhů simulací, nastavení výběru statistik a možnosti zobrazení výsledných statistik. Popis možnosti zobrazení výsledných statistik je doplněn ukázkovými charakteristikami. Vytvořený model byl dále rozšiřován a modifikován. Byly přidány další síťové služby, byl změněn počet uzlů a čas trvání simulace. Výsledky analýzy původního scénáře jsou porovnány s výsledky modifikovaných scénářů a byly zpracovány do tabulek. V závěru práce jsou zpracovány dosažené výsledky a je napsáno doporučení pro způsob a formu zobrazení základních statistik a doporučení na počet běhů simulace potřebných pro získání věrohodných výsledků.

KLÍČOVÁ SLOVA

OPNET Modeler; počet běhů; statistika; věrohodnost; zobrazení statistiky

ABSTRACT

Project is focused to verify the credibility of the results of statistical simulation in the surround of OPNET Modeler. At the beginning of the project is a short introduction to the problematic of OPNET Modeler. It describes the basic concepts of mathematical statistics, data types and some basic statistical characteristics. In the project was created model of LAN network, were set up three different types of runs and several monitored statistics. In this project are listed setting of the model, startup parameters of some runtime simulations, preferred variety of statistics and the possibility to display final results of statistics. Description of options displaying final results of statistics is supplemented by model characteristics. Created model was further extended and modified. Have been added network services, has changed the number of nodes and the duration of the simulation. Results of analysis of the original scenario are compared to the results of a modified scenario, which are scheduled. At the end of this project are obtained result, recommended way and form of displaying basic statistics and advice on the number of simulation runs needed to obtain reliable results.

KEYWORDS

OPNET Modeler; number of runs; statistic; credibility; displaying statistic

FÖRDÖS, András *Ověření statistické věrohodnosti výsledků simulací v prostředí OPNET Modeler*. bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací, 2011. 79 s. Vedoucí práce byl Ing. Jiří Hošek, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Ověření statistické věrohodnosti výsledků simulací v prostředí OPNET Modeler“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

Brno

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce, Ing. Jiřímu Hoškovi, Ph.D., za odborné vedení, užitečnou metodickou pomoc a cenné připomínky k práci. Chtěl bych poděkovat Réce Tóthové za pomoc při gramatické korektuře této práce. Děkuji své rodině a mé přítelkyni, za podporu, povzbuzení a za trpělivost. V neposlední řadě pak děkuji OPNET Technologies za jejich podporu.

Brno

.....

(podpis autora)

OBSAH

Úvod	11
1 OPNET modeler	13
1.1 Statistiky v OPNET Modeler	13
1.1.1 Výběr statistik pro simulaci	13
1.1.2 Nastavení parametrů simulace	15
2 Matematická statistika	19
2.1 Popisná statistika, základní pojmy	19
2.2 Statistická data	19
2.2.1 Typy dat	19
2.2.2 Statistické charakteristiky	20
2.3 Věrohodnost statistických vlastností	21
2.4 Konfidenční interval u výsledků simulací	22
2.4.1 Konfidenční interval	22
2.4.2 Konfidenční interval v prohlížeči výsledku (Result Browser)	25
3 Praktická část	28
3.1 Konfigurace scénáře	28
3.1.1 Vytvoření projektu	28
3.1.2 Vytvoření a nastavení modelu	28
3.1.3 Nastavení sledovaných statistik	31
3.1.4 Spuštění simulace	31
3.1.5 Zobrazení výsledků	32
4 Možnosti zobrazení výsledných statistik	34
4.1 Histogramy a pravděpodobnostní profily	34
4.1.1 Probability Density Function (PDF)	34
4.1.2 Cumulative Distribution Function (CDF)	35
4.1.3 Probability Mass Function (PMF)	36
4.1.4 Histogram (Sample-Distribution)	36
4.1.5 Histogram (Time-Distribution)	38
4.2 Předdefinované filtry	38
4.2.1 Aritmetické filtry	39
4.2.2 Statistické filtry	42
4.2.3 Různé operace matematické analýzy a související analytické filtry	44
4.2.4 Různé filtry	47
5 Návrh zobrazení základních statistik	51

6 Stanovení potřebného počtu běhů simulace pro věrohodné výsledky	54
6.1 Popis použité analýzy	56
6.1.1 Krok č.1	56
6.1.2 Krok č.2	57
6.1.3 Krok č.3 – Výpočet maximální odchylky	59
6.1.4 Krok č.4	59
6.1.5 Krok č.5	59
6.2 Vyhodnocení výsledků shrnutých v tabulce Tab. 6.5	60
7 Ověření vlivu velikosti simulačního scénáře na dosažené výsledky	64
7.1 Rozšíření scénáře	64
7.2 Analýza výsledků	66
8 Závěr	77
Literatura	78
Seznam symbolů, veličin a zkratk	79

SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Okno s výběrem statistik	14
1.2	Dialogové okno, základné nastavení kolekce dat	15
1.3	Ikona Configure/Run Discrete Event Simulation	16
1.4	Dialogové okno Attribute: Seed	16
1.5	Dialogové okno Configure/Run Discrete Event Simulation	17
1.6	Dialogové okno Simulation Sequence	18
1.7	Ikona Create Simulation Set	18
2.1	Rozložení vzorků \bar{X}	23
2.2	Rozložení vzorků z	24
2.3	Prohlížeč výsledků (Result Browser)	26
2.4	Graf otevřen v samostatném okně	26
2.5	Nastavení zobrazování a výběr velikosti konfidenčního intervalu	27
2.6	Konfidenčního interval	27
3.1	Model LAN sítě	28
3.2	Nastavení provozu na pozadí	30
3.3	Časová odezva HTTP stránky (Page Response Time (seconds), zobrazení average)	33
3.4	Variace zpoždění hlasových packetů (zobrazení glitch_notch – odstránění závad)	33
4.1	Statistika jitter v uzlu LAN_FTP_Voice, zobrazení typu PDF	35
4.2	Statistika jitter v uzlu LAN_FTP_Voice, zobrazení typu CDF	36
4.3	Statistika Ethernet Load v uzlu Server_FTP, zobrazení typu PMF	37
4.4	Statistika jitter v uzlu LAN_FTP_Voice, zobrazení typu Histogram (Sample Distribution)	37
4.5	Statistika jitter v uzlu LAN_FTP_Voice, zobrazení typu Histogram (Time-Distribution)	38
4.6	Statistika jitter v uzlu LAN_FTP_Voice, zobrazení typu adder	39
4.7	Statistika jitter v uzlu LAN_FTP_Voice, zobrazení constant_shift (posunutí $\Delta = 10$)	40
4.8	Statistika jitter v uzlu LAN_FTP_Voice, zobrazení typu gain (koeficient $K = 10$)	40
4.9	Statistika využití linky mezi uzly LAN_FTP_VoIP a Router3, zobrazení typu multiplier	41
4.10	Statistika jitter v uzlu LAN_FTP_Voice, zobrazení typu reciprocal	41
4.11	Statistika jitter v uzlu LAN_FTP_Voice, zobrazení typu average	42
4.12	Statistika jitter v uzlu LAN_FTP_Voice, zobrazení typu moving_average, velikost okna $W=10$	43
4.13	Statistika jitter v uzlu LAN_FTP_Voice, zobrazení typu sample_sum	44
4.14	Statistika jitter v uzlu LAN_FTP_Voice, zobrazení typu differentiator	45

4.15	Statistika jitter v uzlu LAN_FTP_Voice, zobrazení typu integrator	45
4.16	Statistika jitter v uzlu LAN_FTP_Voice, typ exponentiator (exponent = 2) .	46
4.17	Statistika jitter v uzlu LAN_FTP_Voice, zobrazení typu logarithm	46
4.18	Statistika jitter v uzlu LAN_FTP_Voice, zobrazení typu abscissa	47
4.19	Statistika jitter v uzlu LAN_FTP_Voice, zobrazení typu delay_element . . .	48
4.20	Statistika jitter v uzlu LAN_FTP_Voice, zobrazení typu glitch_notch	48
4.21	Statistika jitter v uzlu LAN_FTP_Voice, typ limiter (max_val = 0,001) . . .	49
4.22	Statistika jitter v uzlu LAN_FTP_Voice, typ time_window (min_val = 300) .	50
4.23	Statistika jitter v uzlu LAN_FTP_Voice, zobrazení typu value_notch	50
5.1	Statistika Ethernet Load v uzlu Server_FTP, zobrazení typu time_average .	52
5.2	Globální statistika Voice Packet Delay Variation, zobrazení typu As Is . . .	52
5.3	Globální statistika Voice Packet Delay Variation, zobrazení typu glitch_notch	53
5.4	Statistika throughput mezi uzly Server_HTTP a Router2, typ As Is	53
6.1	Graf zatížení v uzlu Server_HTTP zobrazení průměrných hodnot (10 průběhu)	55
6.2	Graf zatížení v uzlu Server_HTTP zobrazení průměrných hodnot (30 průběhu)	56
6.3	Rozmístění průběhů podle odchylky od střední hodnoty	62
6.4	Rozmístění průběhů podle odchylky od střední hodnoty (zvětšená část grafu)	63
7.1	Rozšířený scénář	64

SEZNAM TABULEK

2.1	Použité intervaly spolehlivosti v OM	25
3.1	Nastavení aplikací v Application Config	29
3.2	Nastavení profilů v Profile Config	29
3.3	Nastavení statistik pro simulaci	31
6.1	Provoz na pozadí mezi uzly Router1→Router2 a Router2→Router3	54
6.2	Vybrané statistiky	54
6.3	Počet běhu simulace, nastavené hodnoty seed	55
6.4	Hodnoty průběhu (seed = 188) z exportovaných dat z OM, graf zatížení (Ethernet Load)	57
6.5	Množství průběhu dopadajících do určitých intervalů	61
7.1	Popis přidáných služeb do rozšířeného scénáře	64
7.2	Popis nastavení přidáných služeb v Profile_Config	65
7.3	Vybrané statistiky	65
7.4	Počet běhů simulace, nastavené hodnoty seed	65
7.5	Výsledky analýzy původního scénáře (statistika zatížení v uzlu Server_HTTP)	68
7.6	Výsledky analýzy rozšířeného scénáře (statistika zpoždění, Ethernet_Delay v uzlu P1_Video)	69
7.7	Výsledky analýzy rozšířeného scénáře (statistika propustnosti mezi uzly Router2 a Router1)	70
7.8	Výsledky analýzy rozšířeného scénáře (statistika Ethernet_Delay v uzlu P1_Video, počet komunikujících stanic ve vybraných uzlech 10)	71
7.9	Výsledky analýzy rozšířeného scénáře (statistika propustnosti mezi uzly Router2 a Router1, počet komunikujících stanic ve vybraných uzlech 10)	72
7.10	Výsledky analýzy rozšířeného scénáře (statistika Ethernet_Delay v uzlu P1_Video, počet komunikujících stanic ve vybraných uzlech 10, čas simulace 60 min)	73
7.11	Výsledky analýzy rozšířeného scénáře (statistika propustnosti mezi uzly Router2 a Router1, počet komunikujících stanic ve vybraných uzlech 10, čas simulace 60 min)	74
7.12	Výsledky analýzy rozšířeného scénáře (statistika Ethernet_Delay v uzlu P1_Video, počet komunikujících stanic ve vybraných uzlech 10, čas simulace 60 min)	75
7.13	Výsledky analýzy rozšířeného scénáře (statistika propustnosti mezi uzly Router2 a Router1, počet komunikujících stanic ve vybraných uzlech 10, čas simulace 60 min)	76

ÚVOD

V současnosti jsou počítačové sítě nenahraditelnou součástí všech oblastí života, proto je velmi důležité jejich spolehlivé fungování. Před sestavením reálné sítě existuje možnost, jak testovat funkčnost a spolehlivost sítě. Pomocí síťových simulátorů, jako je právě OPNET Modeler, se dají měřit veškeré statistiky, které pak dávají dostatečnou informaci o fungování modelované sítě. Na základě získaných informací je potom možné sestavit reálnou síť. Je ale důležité vědět, jestli jsou informace dostatečně přesné, věrohodné. V této práci je zkoumána právě věrohodnost výsledných statistik simulací v prostředí OPNET Modeler a jsou ukázány možnosti zobrazení výsledných charakteristik, které pomáhají při zkoumání určitých vlastností provozu. V práci je zkoumán a následně stanoven počet běhů, který je zapotřebí, aby bylo možné výsledky prohlásit za věrohodné. Dále je provedena analýza vybraných průběhů, kde je ukázáno, jaký mají vliv různá nastavení simulačního scénáře na věrohodnost výsledků.

Cíle

Prvním cílem bylo seznámení s prostředím OPNET Modeler a zaměřit se na nastavení parametrů simulace, zejména na možnosti spuštění více běhů simulace. Dále bylo cílem seznámení se statistickými metodami analýzy sítě.

V rámci praktické části bylo cílem sestavení modelu LAN sítě, ve které byly nastaveny 3 různé typy provozu a několik sledovaných statistik. Původní scénář byl následně modifikován: byly přidány další služby, byl změněn počet uzlů, byly změněny hodnoty seed a doba trvání simulace.

Dalším cílem bylo prozkoumání možnosti zobrazení výsledných statistik v prostředí OPNET Modeler a získané poznatky zdokumentovat. Na základě získaných znalostí byl úkolem návrh zobrazení základních statistik dle typu analyzovaného provozu.

Pomocí vytvořeného modelu byl stanoven potřebný a dostačující počet běhů simulace pro získání věrohodných výsledků. Následnou analýzou změněných scénářů bylo cílem ověřit vliv různých nastavení na věrohodnost výsledků.

Struktura práce

První kapitola se věnuje simulačnímu prostředí OPNET Modeler, se zaměřením na výběr statistik a nastavení parametrů simulace.

V druhé části jsou popsány základní pojmy z matematické statistiky a krátký úvod do věrohodnosti statistických vlastností. Dále je v kapitole popsán teoretický úvod k použití konfidenčního intervalu při zpracovávání výsledků simulací v OPNET Modeler.

V třetí kapitole je popsáno vytvoření modelu simulace, její nastavení, spuštění a zobrazení výsledných statistik.

Čtvrtá kapitola je věnována k popisu možnosti zobrazení výsledných statistik v OP-

NET Modeler, k různým typům zobrazení jsou doplněny ukázkové grafy.

V páté kapitole je napsáno doporučení pro zobrazení základních statistik nasimulovaných ve vytvořeném scénáři.

Šestá kapitola obsahuje popis postupu, jakým byl stanoven potřebný a dostačující počet běhů simulace pro získání věrohodných výsledků. Hodnoty, podle kterých byl určen potřebný počet běhů, jsou shrnuty do tabulky na konci kapitoly.

Sedmá kapitola je věnována ověření vlivu různých nastavení na věrohodnost dosažených výsledků. Obsahuje výsledky modifikovaných scénářů (přidané síťové služby, změněné hodnoty seed, změněný počet uzlů, změněná doba trvání simulace) shrnuté do tabulek.

1 OPNET MODELER

Simulační prostředí OPNET Modeler (OM) bylo vyvinuto a představeno firmou OPNET Technologies Inc., v osmdesátých letech dvacátého století. Program slouží pro návrh, simulaci a optimalizaci počítačových sítí všech rozsahů a architektur. Mezi hlavní přednosti patří možnost pozorování, ukládání a analýza různých statistik a charakteristik.

Nasimulované statistiky je možné ukládat ve formátech XML (Extensible Markup Language), HTML (Hyper Text Markup Language), nebo do tabulek. Ze zmíněných formátů je naopak možné vstupní data načíst.

Zrychlením běhu simulace OM umí během několika minut nebo hodin nasimulovat chování sítě, které by trvalo v reálném čase týdny, nebo měsíce.

OM je tvořen ze tří hierarchicky poskládaných editorů, které mají grafické prostředí pro urychlení práce.

- Project Editor – editor projektu,
- Node Editor – editor uzlu,
- Process Editor – editor procesu.

Podrobnější popis programu OM lze nalézt v [5, 8]

1.1 Statistika v OPNET Modeler

Základní pracovní postup v OM se dá popsat pomocí následujících kroků:

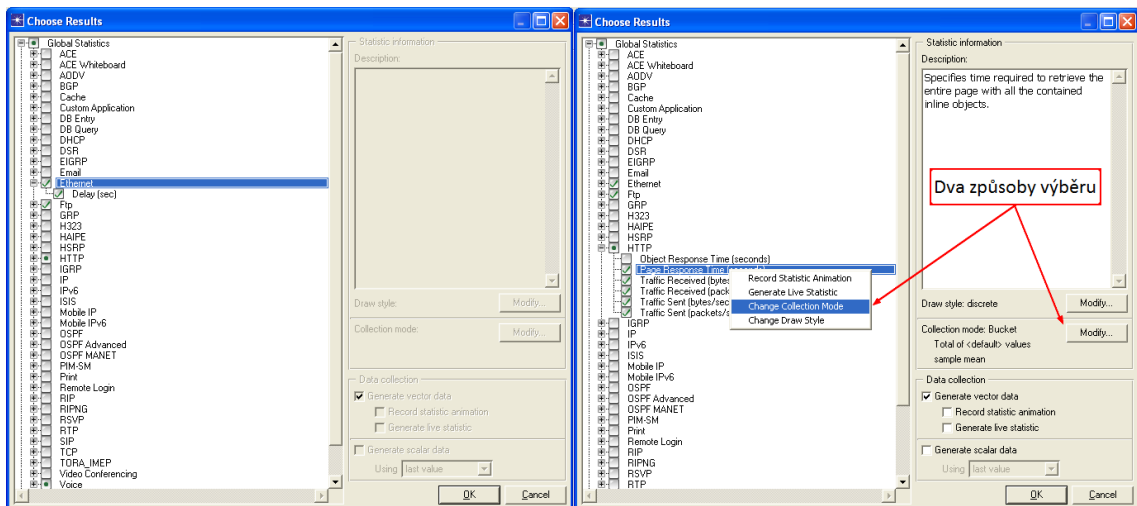
- Krok 1: Návrh a vytvoření síťového modelu
- Krok 2: Nastavení sledovaných statistik
- Krok 3: Spuštění simulace
- Krok 4: Interpretace výsledků

1.1.1 Výběr statistik pro simulaci

Tato část se bude zabývat nastavením statistik pro simulaci za předpokladu, že byl navržen a úspěšně vytvořen model sítě.

Statistiky se nastavují buď pro celý scénář globálně, nebo na uzel, zařízení lokálně. Nastavení se provádí přes položku **DES**(Discrete Event Simulation) → **Choose Individual Statistics...**, nebo přes kontextové menu vyvolané kliknutím (na plochu pro globální nebo na uzel pro lokální nastavení) na pravé tlačítko myši, výběrem položky **Choose Individual DES Statistics**. Otevře se okno **Choose Results**, ve kterém se nastavují vybrané statistiky viz Obr. 1.1a.[7]

Pro vybrané statistiky je možné nastavit, jakým způsobem mají být data zachytávána. Pomocí toho se dá ovlivnit množství zaznamenávaných dat během simulace. Je to důležité z hlediska výstupních souborů. Vhodně zvolené parametry můžou výrazně zredukovat velikost výstupu.[7]



(a) Choose Results, výběr statistik

(b) Změna způsobu kolekce dat

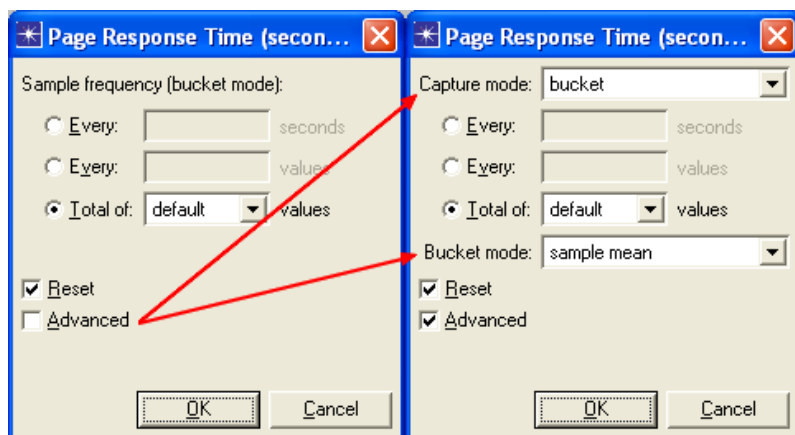
Obr. 1.1: Okno s výběrem statistik

Přístupné způsoby kolekce dat:

- **all values** – všechny hodnoty. Zabere nejvíc místa na disku, zaznamenávají se všechny hodnoty z měřené statistiky. Je užitečný při pozorování krátkodobých simulací.[7]
- **sample** – vzorek. Zaznamenává hodnoty definované uživatelem a to buď v daných časových intervalech, anebo po určitém počtu vzorků. Hodnoty, které nevyhovují podmínkám, jsou zahozeny.[7]
- **bucket** – „nádoba, skupina dat“. Ukládají se všechny hodnoty během simulace v daných časových intervalech, nebo po určitém počtu vzorků do tzv. „datových nádob – data bucket“. Výsledek je generován z hodnot vybíraných z každé nádoby, skupiny.[7]
- **glitch removal** – v případě, že v měřené statistice dochází k více aktualizacím ve stejný čas, je zachována pouze poslední z nich.[7]

Tato nastavení jsou dostupná v okně **Choose Results** dvojitým způsobem, buď kliknutím na pravé tlačítko myši nad jménem vybrané statistiky a následným výběrem položky **Change Collection Mode** v kontextovém menu, nebo výběrem statistiky a kliknutím na **Modify ...** v pravé části okna v oblasti **Collection Mode**: viz Obr. 1.1b. Otevře se dialogové okno se základním nastavením kolekce dat. Po zaškrtnutí políčka **Advanced** se v dialogovém okně objeví dvě rozevírací políčka, **Capture mode** a **Bucket mode** viz Obr. 1.2

Přepínačem se dá volit typ zaznamenávání hodnot: Every n seconds, Every n values a Total of n values. Tyto volby mají odlišný význam pro bucket mode a sample mode.



Obr. 1.2: Dialogové okno, základné nastavení kolekce dat

Význam přepínače pro bucket mode:

- **Every n seconds** – každá skupina dat sbírá všechny hodnoty, které byly vygenerovány během n sekund, když např. $n = 10$, program generuje hodnotu pro výstup každých 10 sekund, bez ohledu na aktuální počet hodnot v skupině. Počet skupin je závislý na celkové době trvání simulace.[7]
- **Every n values** – skupina dat sbírá n hodnot, když např. $n = 10$ program generuje hodnotu pro výstup, když skupina obsahuje 10 hodnot bez ohledu na uplynulý čas simulace.[7]
- **Total of n values** – základní nastavení. Celkový počet skupin je pevně dán hodnotou n . Velikost skupin je dána rozdílem t/n kde t (celková doba trvání simulace) a n (počet hodnot na statistiku, výchozí nastavení je 100). Počet hodnot v jedné skupině není pevně dán.[7]

Význam přepínače pro sample mode:

- **Every n seconds** – jsou sbírány hodnoty v daném časovém intervalu n . Ostatní data jsou zahozena.[7]
- **Every n values** – jsou sbírány hodnoty po určitém počtu vzorek n . Ostatní jsou zahozeny.[7]
- **Total of n values** – všechny hodnoty jsou sbírány až do daného počtu vzorků n (výchozí hodnota je 100).[7]

1.1.2 Nastavení parametrů simulace

Tato část práce popisuje parametry simulace, jak se spustí více instancí simulace pro jeden scénář. Nastavení parametrů spouštění Discrete Event Simulation se nacházejí v položce **DES** → **Configure/Run Discrete Event Simulation...**, nebo je možné jej vyvolat kliknutím na ikonu viz Obr. 1.3



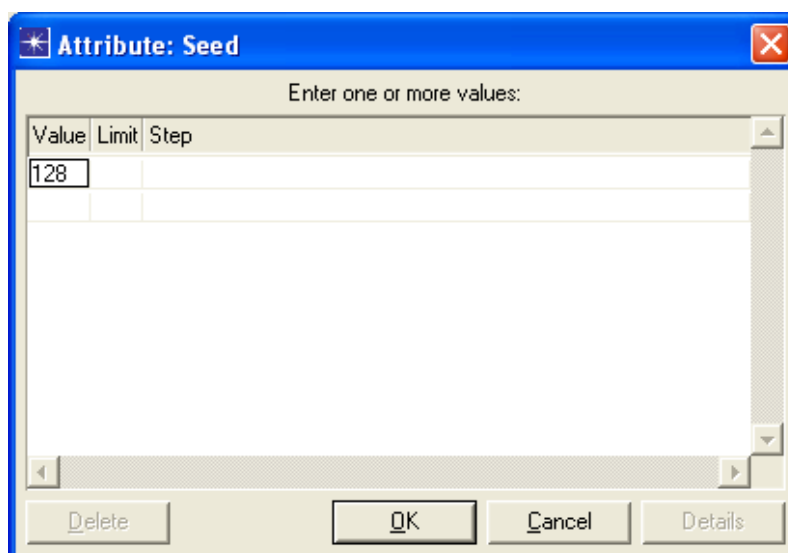
Obr. 1.3: Ikona Configure/Run Discrete Event Simulation

Společné nastavení nacházející se v položce **Common**.

- **Duration** – doba trvání simulace
- **Seed** – hodnota definující sekvenci náhodně generovaných čísel (stejná hodnota seed, stejná sekvence náhodných čísel, výchozí nastavení je 128)
- **Values per statistic** – počet vzorků pro jednu statistiku
- **Update interval** – interval aktualizace hodnot
- **Simulation Kernel** – jádro simulace
- **Simulation set name** – název skupiny simulací
- **Comments** – komentáře

Dále je možné měnit různá nastavení, která jsou v položkách: **Inputs**, **Outputs**, **Execution**, **Runtime Displays**.

V programu OM se dá nastavit více instancí simulace na jeden vybraný scénář, buď pomocí hodnoty seed, nebo definováním skupiny instance. V případě definice více seed hodnot ostatní parametry simulace zůstanou stejné. Nastavení seed je v položce **DES** → **Configure/Run Discrete Event Simulation...** → **Enter Multiple Seed Values...** Otevře se dialogové okno **Attribute: Seed** viz Obr. 1.4

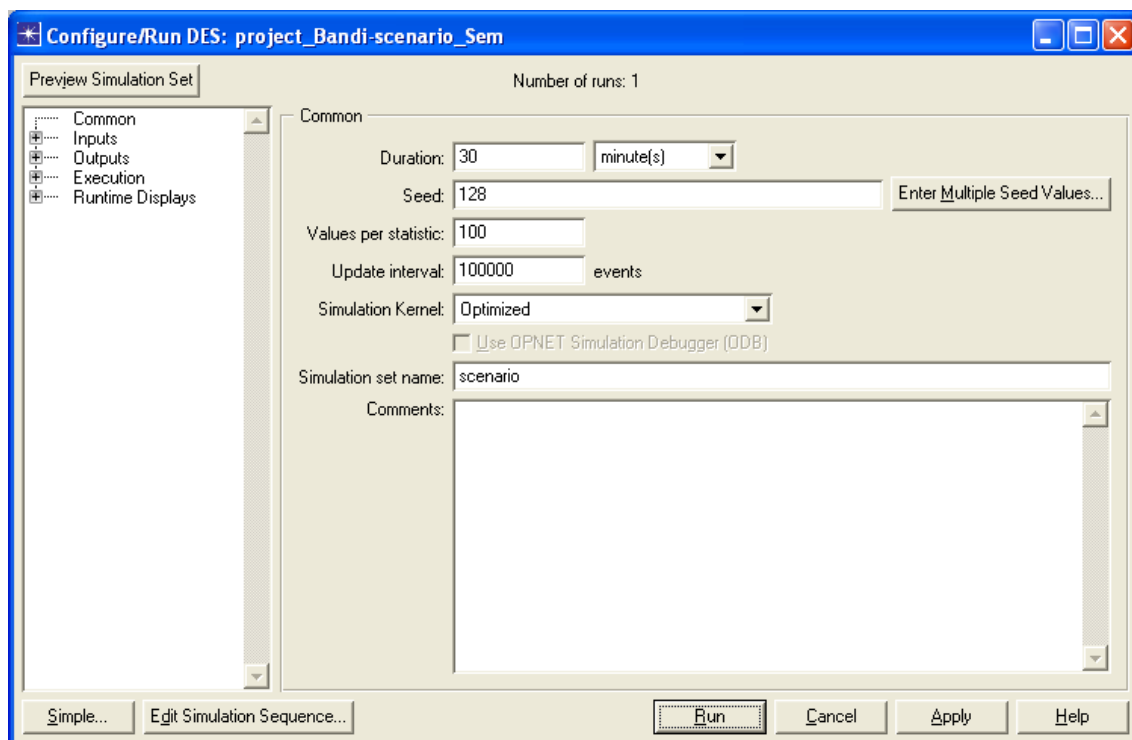


Obr. 1.4: Dialogové okno Attribute: Seed

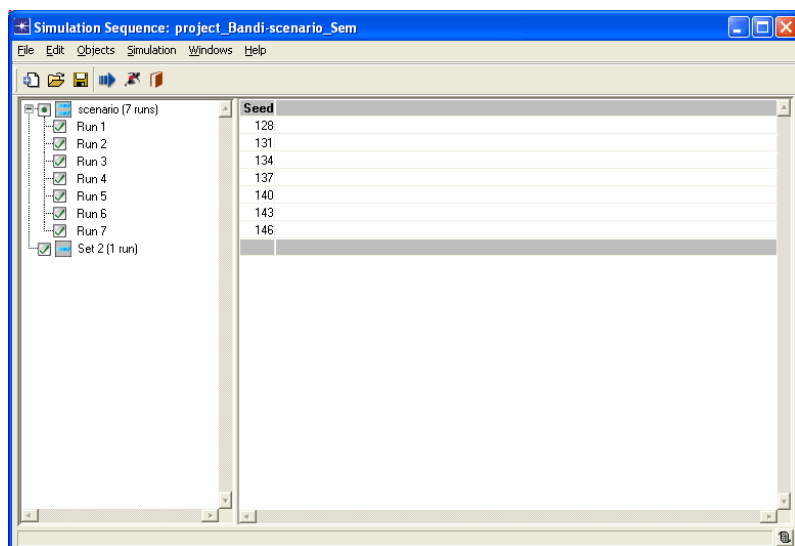
Předpřipravená tabulka obsahuje tři sloupce:

- **Value** – počáteční hodnota, bez dalších parametrů. Simulace proběhne pouze pro tu hodnotu.
- **Limit** – hranice. Spolu s Value udává rozsah hodnot pro simulace.
- **Step** – krok. Slouží pro ulehčení definice více běhů simulace. Při nastavení hodnoty Value na 100, Limit na 200 a Step na 10 se vytvoří sekvence běhů simulace s hodnotami Seed 100, 110, 120... 200.

Skupinu běhů simulace je možné vytvořit přes dialogové okno **Simulation Sequence** viz Obr. 1.6. Otevře se přes položku **DES** → **Configure/Run Discrete Event Simulation (Advanced)**, nebo kliknutím na tlačítko **Edit Simulation Sequence** ve spodní části okna **Configure/Run Discrete Event Simulation** viz Obr. 1.5. Vytvoření skupin lze dosáhnout třemi způsoby, buď přes položku **Objects** → **Create Simulation Set**, nebo stlačením klávesy F4 a nebo kliknutím na ikonu viz Obr. 1.7. Kliknutím na pravé tlačítko myši nad jménem nově vytvořené skupiny v kontextovém menu výběrem **Edit Attributes** se otevře dialogové okno, kde se provádí nastavení skupin viz Obr. 1.5. [7]



Obr. 1.5: Dialogové okno Configure/Run Discrete Event Simulation



Obr. 1.6: Dialogové okno Simulation Sequence



Obr. 1.7: Ikona Create Simulation Set

2 MATEMATICKÁ STATISTIKA

Matematická statistika zpracovává, interpretuje a používá data ze systémů, které je možné popsat náhodnými proměnnými. Pravděpodobnostní pojmy jsou definované podle axiomu, nebo jsou z nich odvozené abstraktní pojmy, tím pádem mají určité vlastnosti definované. Statistika sleduje, počítá nebo měří určité vlastnosti a pak hledá odpovídající pravděpodobnostní pojmy, mnohokrát s kompromisem.[1]

Jevy ovlivněné náhodnými změnami nemůžou být stejné, proto v matematické statistice nejsou jistá tvrzení. Matematická statistika stanovuje tvrzení s odhadnutelnou pravděpodobností.

Úkolem statistiky je:

- Ukázat typické hodnoty a odvození tvrzení z naměřených dat.
- Přiřazení pravděpodobnosti k úsudku.
- Rozhodnutí o potvrzení, nebo vyvrácení hypotézy.
- Definovat také pokusy, aby z hlediska věrohodnosti tvrzení byly co nejprůzračnější.[1]

2.1 Popisná statistika, základní pojmy

V popisné statistice je předmětem studia **statistický soubor**. Statistickým souborem se nazývá určitá skupina prvků, které mají z daného hlediska určité společné vlastnosti např.: lidé žijící v určitém městě, záznamy o teplotě na jistém místě za určité období apod.[10]

Na **prvcích** statistického souboru se sledují různé **znaky**. Například pracovník vyrobil na zařízení za směnu určité množství výrobků. Každý výrobek prošel technickou kontrolou, kde se měřila jeho délka v milimetrech, aby se zjistilo, zda odpovídá předpisům. Množina výrobků, které prošly technickou kontrolou, tvoří soubor. Výrobky jsou jeho prvky. Statistický soubor je se svými prvky jednoznačně určen. Délka, která byla na výrobcích měřená, se nazývá statistický znak. [10]

2.2 Statistická data

2.2.1 Typy dat

Když na prvcích statistického souboru je zkoumán určitý znak a když se tyto znaky liší pouze číselnou hodnotou, pak se znak nazývá **kvantitativní**. Jsou to např.: hmotnost, rychlost, délka atd. U každého kvantitativního znaku se má předem říct v jakých jednotkách a s jakou přesností se bude počítat.[10]

Znaky, které uvedenou vlastnost nemají, se nazývají **kvalitativní**, např.: druh dopravního prostředku, pohlaví, národnost a jiné. Při vyhodnocování kvalitativních znaků se vyjadřují sledované znaky kvalitativně, pomocí stupnic. Speciální případ kvalitativního znaku je **alternativní znak**. Vyskytne se jenom v dvou obměnách např.: dobrý nebo zlý, muž nebo žena .[10]

Kvantitativní znaky v praxi se nejčastěji dělí na dvě skupiny, diskrétní a spojité. Diskrétní znaky na prvcích sledovaného statistického souboru mohou nabývat jenom určité izolované číselné hodnoty. Spojité kvantitativní znaky mohou nabývat všechna reálná čísla z určitého intervalu. Na dvou různých prvcích se mohou od sebe lišit o libovolně malou hodnotu.[10]

2.2.2 Statistické charakteristiky

Rozsah

Je rozdíl mezi největší a nejmenší hodnotou:

$$d = x_{\max} - x_{\min} \quad (2.1)$$

Aritmetický průměr

Předpokladem je, že x_1, x_2, \dots, x_n jsou hodnoty sledovaného kvantitativního statistického souboru. Jeden z nejčastějších a nejpoužívanějších charakteristik polohy je aritmetický průměr. Používají se ještě medián (prostřední hodnota) a modus (nejčastěji se vyskytující hodnota). Aritmetický průměr, medián a modus jsou charakteristiky, kolem kterých je rozdělení četností (relativní četnost) soustředěn. Při grafickém znázornění rozdělení četnosti udávají jeho polohu na x-ové ose, proto se nazývají charakteristikami polohy. Třeba poznamenat, že aritmetický průměr (medián, modus) mají stejný rozměr jako příslušný statistický znak.[10]

Aritmetický průměr znaků je součet znaků x , děleno jejich počtem n :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2.2)$$

Medián

Když všechny prvky statistického souboru jsou seřazeny podle velikosti jejich kvantitativních znaků do neklesající posloupnosti, pak prvek, který dělí posloupnost na dvě stejné části s ohledem na počet prvků, se nazývá medián (prostřední hodnota). Hodnoty znaků v jedné části jsou menší nebo rovny a v druhé části větší nebo rovny mediánu. Je třeba rozeznat dva případy:

Když neklesající posloupnost je sestavena z lichého počtu prvků, pak medián je dán hodnotou prostředního prvku posloupnosti t.j.:

$$\bar{x} = \frac{n+1}{2} \quad (2.3)$$

Když je počet prvků sudý, nedá se určit prvek, který by posloupnost rozdělil na dvě stejné části. V takovém případě mediánem může být některá z hodnot mezi dvěma prostředními hodnotami. Nejčastěji se za medián volí poloviční součet dvou prostředních hodnot posloupnosti.[10]

Modus

Je to taková hodnota kvantitativního znaku, která leží přibližně v intervalu s největší četností. V případě ideálního souměrného rozdělení četností splývá modus (stejně jak aritmetický průměr a medián) se středem souměrnosti. V případě nesouměrného rozdělení četností, polohu modusu je možné určit dle vzorce:

$$\tilde{x} = x_0 + \frac{h}{2} \cdot \frac{f_3 - f_1}{2f_2 - f_1 - f_3} \quad (2.4)$$

Kde x_0 je hodnota příslušící intervalu s maximální četností, h je šířka intervalu, f_1 až f_3 jsou četnosti tří po sobě jdoucích intervalů.[10]

Rozptyl, směrodatná odchylka

Rozptyl je nejdůležitější mírou variability statistického souboru. Je definován jako průměrný podíl součtu druhých mocnin odchylek jednotlivých hodnot statistického souboru od aritmetického průměru t.j.:

$$s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (2.5)$$

Kde n je rozsah souboru a \bar{x} je aritmetický průměr.

Nezáporná druhá mocnina rozptylu se nazývá směrodatná odchylka.[10] Má tvar:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2.6)$$

2.3 Věrohodnost statistických vlastností

Některé zkoumané vlastnosti můžou být zajímavé samy o sobě, třeba když se porovnávají vzorky mezi sebou. Cennější jsou však tehdy, když je známá jejich věrohodnost. S tímto tvrzením souvisejí dvě následující otázky:

1. Jaká je pravděpodobnost, že realizace zkoumaného vzorku (následující hodnota proměnné) dopadá mezi předepsané hranice?
2. Které jsou ty hranice, mezi které dopadá následující zkoumaná hodnota s předepsanou pravděpodobností.

Tyto dvě otázky navzájem souvisejí. Jsou vzájemně inverzní. Otázka 1. hodnotí nějaké pozorování, otázka 2. stanovuje požadavky jako je třeba přesnost výsledků. Když je známá funkce rozdělení pravděpodobnosti, dostaneme odpověď na obě otázky.[1]

Věrohodnost výsledků se nedá určit z jednoho průběhu, jediný průběh nemusí dát korektní výsledek, je vždy potřeba mít několik průběhů, aby byla lepší představa o přesnosti hodnot měření. Z většího počtu hodnot je pak možné na základě konfidenčního intervalu udělat dostatečně spolehlivou představu o věrohodnosti.

2.4 Konfidenční interval u výsledků simulací

Systémové modely, které mají stochastické chování, generují výsledky závislé na inicializační hodnotě seed (generátor náhodných čísel, posloupností). Jenom částečný výběr seed hodnot může vést k neobvyklému, netypickému chování modelu. Proto je důležité pro stanovení standardního (typického) chování modelu, aby byla provedena simulace pro každý model s několika náhodnými seed hodnotami. Základní myšlenkou tohoto principu je, že pokud existuje typické chování, tak se zvyšujícím počtem provedených simulací se zvyšuje i pravděpodobnost, že výsledek většiny simulací bude blíže tomuto typickému chování. [7]

Jedním z důležitých problémů, co se musí řešit, je počet samostatných studií (simulace s náhodnými seed hodnotami), které je třeba provést, aby se mohlo prohlásit, že se jedná o typické chování systému. Samozřejmě nikdy není jisté, že získané výsledky odpovídají standardnímu chování modelu, protože hodnoty lze zvolit tak nevhodně, že k nestandardnímu chování dojde. Avšak větším počtem zvolených seed hodnot klesá šance na takovéto chování, protože typické chování musí nastat častěji než nestandardní. To vede k dojmu, že lze dosáhnout určitou úroveň jistoty ve výsledcích získaných ze simulací tím, že se zajistí dostatečný počet provedených simulací. [7]

2.4.1 Konfidenční interval

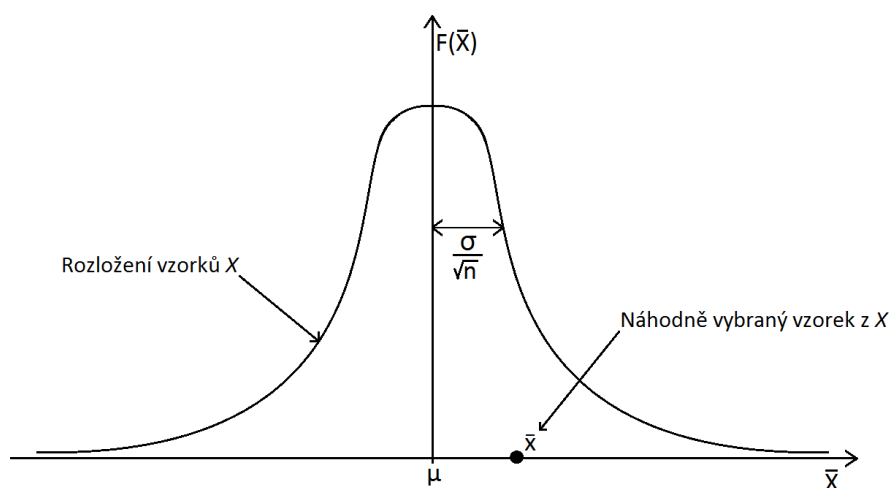
Konfidenční interval je spočten v OM pro y -ové hodnoty skupin vstupních dat za předpokladu, že pro danou hodnotu x existuje více hodnot y , které se od sebe liší v jednom nebo ve více vstupních parametrech. Pro každý vstupní parametr pak musí být definován více seed hodnot pro získání různých vstupních dat pro danou hodnotu x . [7]

Nechť je provedena simulace systému s různými náhodnými hodnotami seed pro získání N vzorku statistiky X (obecné značení statistiky). I když X může mít mnoho průběhů a přesné rozdělení těchto průběhů není známé, je možné stanovit hodnotu μ , která představuje skutečnou statistiku z náhodných průběhů X . Jedna z možností, jak lze μ popsat je, že se jedná o střední hodnotu z obrovské sady průběhů X , v případě, že je možné provést takové velké množství simulací, aby právě jeden průběh byl totožný s touto sadou vzorků, s tímto průběhem μ . Důvod proč je tato hodnota (statistika) μ tak zajímavá jako střední hodnota sady statistik je, že reprezentuje typické, standardní chování systému. [7]

Protože obvykle není možné udělat velký počet simulací pro stanovení μ (teoreticky se jedná o nekonečné množství), je v zájmu určit stupeň přesnosti, s jakým pak průměrná hodnota \bar{x} ze sady N vzorku blíží k μ . Tento stupeň pak určí s jakou důvěrou je možné stanovit typické chování systému. [7]

Základní princip stanovení jistoty, důvěry v měření \bar{x} se nazývá Centrální limitní věta. Centrální limitní věta v souvislosti s OM funguje tak, že během simulace je zachyceno N vzorků statistiky X a vypočítána průměrná hodnota \bar{x} vzorku N . Pak se tento postup zopakuje několikrát a výsledná statistika \bar{X} bude mít nezávislé (samostatné) rozložení. Centrální limitní věta říká, že v závislosti na aktuálním rozložení X , s narůstajícím počtem vzorků N bude mít náhodná proměnná statistiky \bar{X} rozložení, které se blíží normální náhodné veličině s průměrem μ (která je obdobná průměrné hodnotě náhodné veličiny X). Věta dále říká, že když skutečná odchylka X je σ^2 , pak odchylka statistiky \bar{X} bude σ^2/N . [7, 10]

Užitečnost Centrální limitní věty s ohledem na stanovení důvěry v měření se ukrývá v tom, že v případě zaznamenání dostatečného počtu vzorků je možné pracovat s normálním rozložením (které má známé vlastnosti) namísto neznámého rozložení X . Ukázka rozložení vzorku \bar{X} je vidět na Obr. 2.1.



Obr. 2.1: Rozložení vzorků \bar{X}

Protože rozložení \bar{X} je normální, pravděpodobnost, že náhodný vzorek \bar{x} spadne do okolí μ , je možné spočítat. Vzdálenost se měří na základě standardních odchylek, které oddělují náhodné vzorky od střední hodnoty. Pak je definovaná standardizovaná normální proměnná, pro které bude standardní odchylka jednotkou a střední hodnota bude nula viz Obr. 2.2. [7, 10]

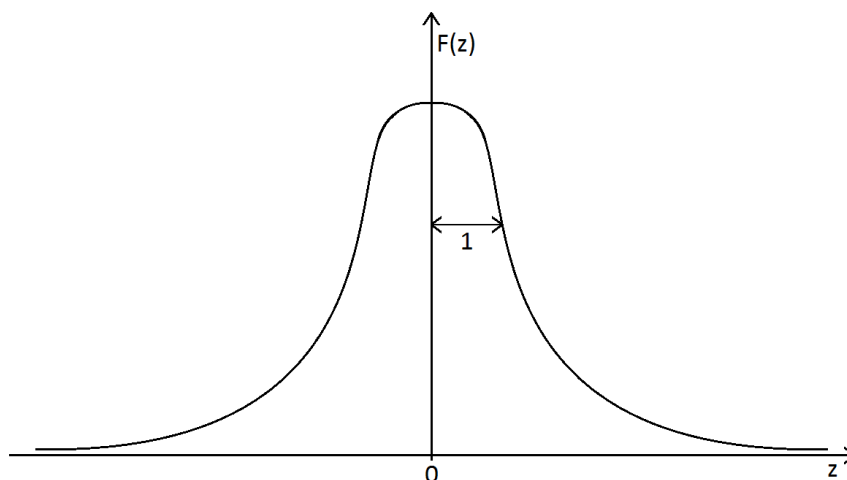
Standardizovaná normální proměnná:

$$z = \frac{(\bar{x} - \mu)}{\sigma_{\bar{x}}} \quad (2.7)$$

kde \bar{x} je náhodný vzorek,

μ je okolí vzorku,

$\sigma_{\bar{x}}$ je odmocnina skutečné odchylky náhodného vzorku.



Obr. 2.2: Rozložení vzorků z

Když je kladná hodnota z_α definovaná jako:

$$\text{Prob}(-z_\alpha < z < z_\alpha) = \alpha \quad (2.8)$$

kde Prob značí pravděpodobnost,

z je standardizovaná normální proměnná,

α je výsledek pravděpodobnostní funkce (muže nabývat hodnot od 0 do 1).

pak se dá udělat následující substituce za z :

$$\text{Prob} \left[\frac{|\bar{x} - \mu|}{\sigma_{\bar{x}}} < z_\alpha \right] = \alpha \quad (2.9)$$

Toto prohlášení lze považovat za pravděpodobnost toho, že \bar{x} leží v blízkosti μ na základě faktu, že rozložení \bar{X} je normální. Naopak, je možné na prohlášení myslet jako pravděpodobnost toho že průměrná hodnota μ leží v blízkosti náhodného vzorku \bar{x} (standardizovaná odchylka statistiky \bar{X} je vyjádřena jako standardizovaná odchylka statistiky X na základě Centrální limitní věty). [7]

$$\text{Prob} \left[\bar{x} - z_\alpha \left(\frac{\sigma}{\sqrt{N}} \right) < \mu < \bar{x} + z_\alpha \left(\frac{\sigma}{\sqrt{N}} \right) \right] = \alpha \quad (2.10)$$

Toto prohlášení vyžaduje zavedení pojmu interval spolehlivosti pro μ , který je definován jako interval reálných čísel $[\Theta_L, \Theta_R]$ (kde Θ_L je levá mez konfidenčního intervalu a Θ_R pravá mez konfidenčního intervalu), který značí pravděpodobnost toho, že μ ležící uvnitř intervalu má určitou hodnotu α . Tento interval je posuzován jako 100α procentní

interval spolehlivosti pro μ . Jinak řečeno, když $\alpha = 0,95$ interval se nazývá 95%-ní interval spolehlivosti pro μ , protože je v takovém případě 95%-ní šance, že průměrná hodnota X leží v mezích intervalu. Z předchozích nerovností plyne, že meze konfidenčního intervalu se dají napsat jako:

$$\Theta_L = \bar{x} - z_\alpha \left(\frac{\sigma}{\sqrt{N}} \right) \quad \Theta_R = \bar{x} + z_\alpha \left(\frac{\sigma}{\sqrt{N}} \right) \quad (2.11)$$

kde Θ_L je levá mez konfidenčního intervalu,
 Θ_R pravá mez konfidenčního intervalu. [7]

Z těchto definic je vidět, že s rostoucím intervalem roste i stupeň spolehlivosti. Případně, když stačí menší stupeň spolehlivosti, je možné snížit meze intervalu spolehlivosti. V praxi v OM je použit určitý počet intervalů viz Tab. 2.1.

Tab. 2.1: Použité intervaly spolehlivosti v OM

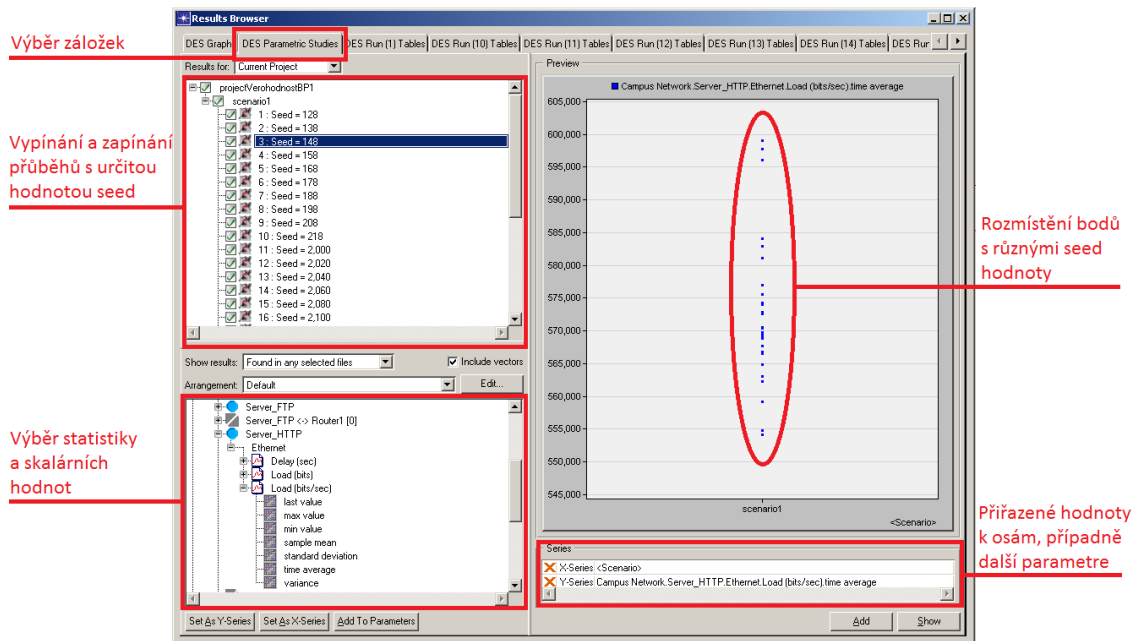
Stupeň spolehlivosti α	z_α
99%	2,575
98%	2,327
95%	1,960
90%	1,645
80%	1,282

2.4.2 Konfidenční interval v prohlížeči výsledku (Result Browser)

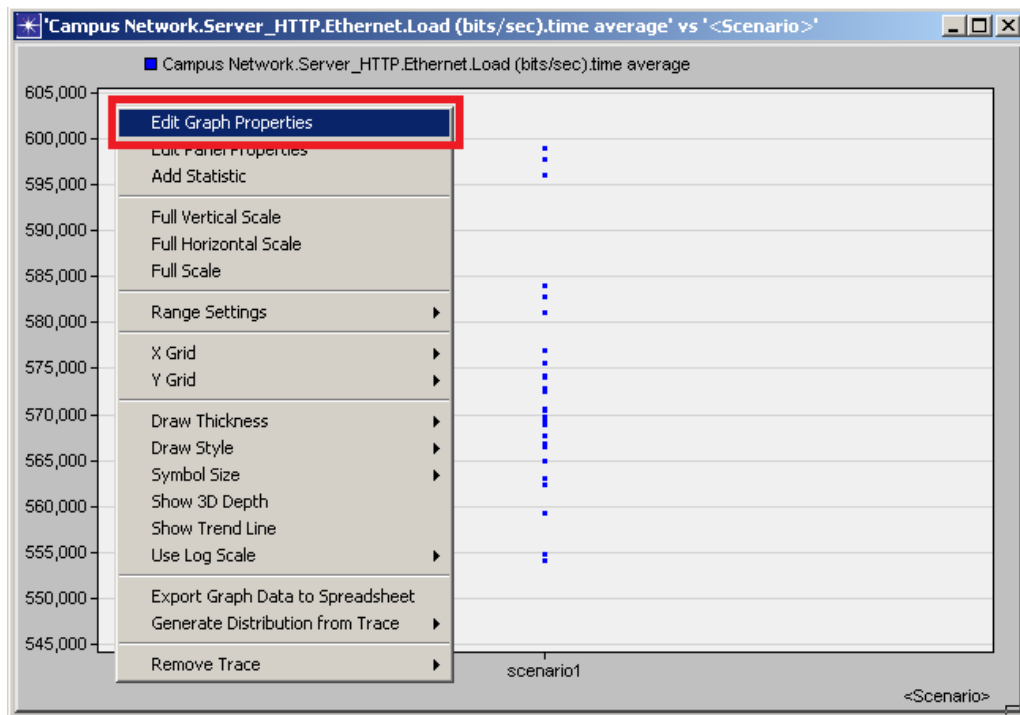
Funkce pro zobrazení konfidenčního intervalu se nachází v prohlížeči výsledků. Pro využití funkce je zapotřebí pracovat se skalárními hodnotami. V okně Result Browser proto je třeba přepnout do záložky **DES Parametric Studies** (horní část okna, druhá záložka) viz Obr. 2.3.

Na levé straně okna, pod záložkami je možno vypínat, případně zapínat zobrazování charakteristik s různými hodnotami seed. Tato volba je užitečná v případě, kdy se v měření vyskytne průběh s hodně odlišnou hodnotou. V levé dolní části je umístěn výběr statistik a skalárních hodnot k dané statistice. Vedle této části vpravo jsou vidět přiřazené hodnoty k osám, případně můžeme přiřadit i parametr k charakteristice. Popsané nastavení je zobrazeno na Obr. 2.3.

Po nastavení a výběru charakteristiky je třeba kliknout na tlačítko **Show**, tím se otevře nové okno viz Obr. 2.4. Pak kliknutím pravého tlačítka myši se zobrazí kontextové menu, kde je třeba kliknout na **Edit Graph Properties** (na Obr. 2.4 vyznačen červeně).

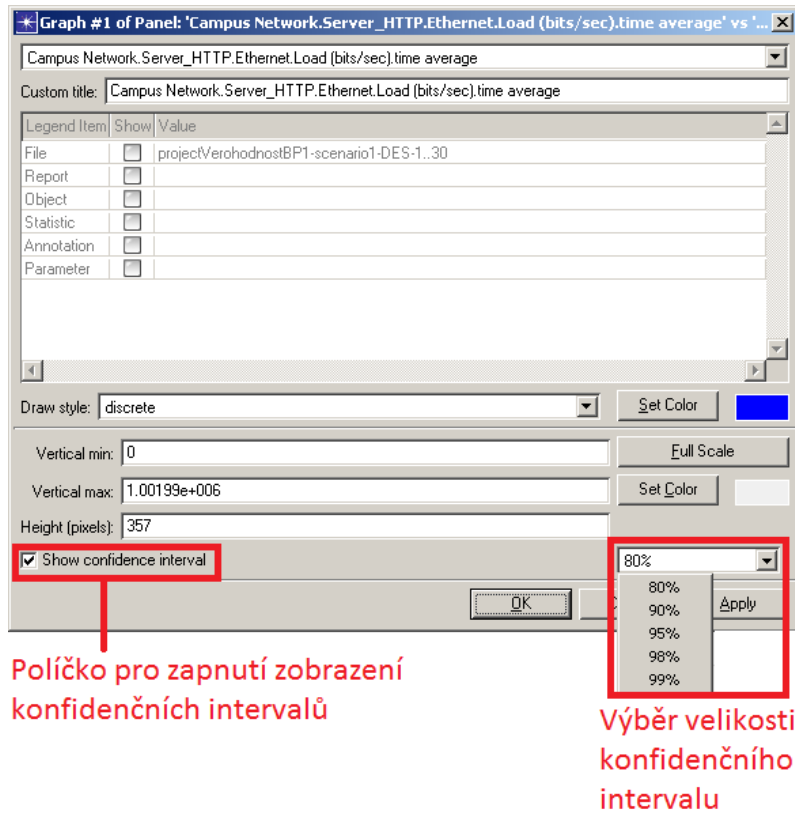


Obr. 2.3: Prohlížeč výsledků (Result Browser)

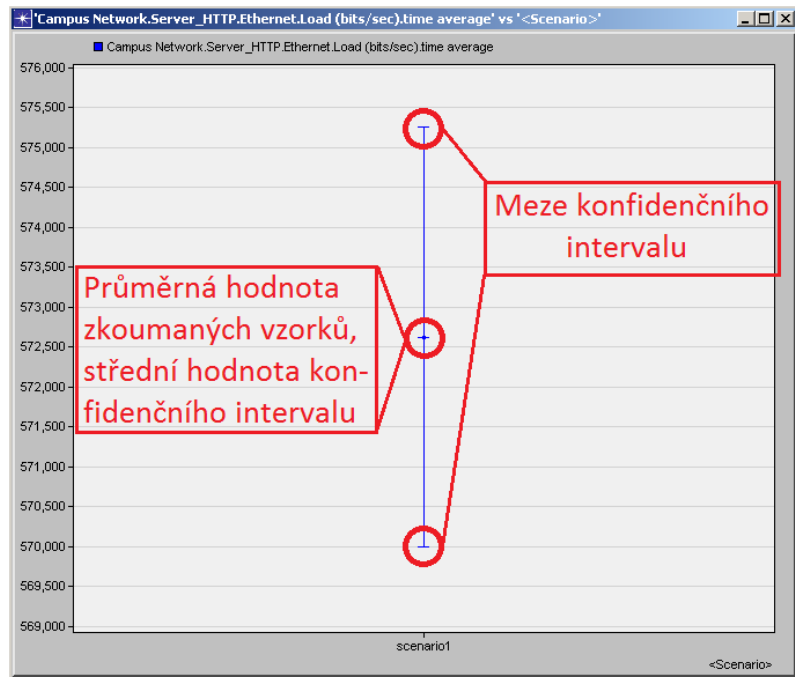


Obr. 2.4: Graf otevřen v samostatném okně

Pro zapnutí zobrazování konfidenčního intervalu je třeba zaškrtnout políčko **Show confidence interval** (levá dolní část okna), viz Obr. 2.5. Po zaškrtnutí se povolí možnost výběru velikosti intervalu, viz Obr. 2.5 (pravá dolní část okna). Na obrázku Obr. 2.6 je vidět zobrazený konfidenční interval.



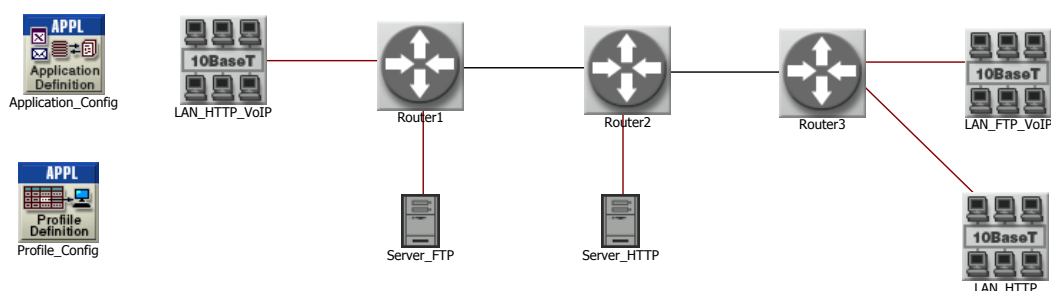
Obr. 2.5: Nastavení zobrazování a výběr velikosti konfidenčního intervalu



Obr. 2.6: Konfidenčního intervalu

3 PRAKTICKÁ ČÁST

Tato část práce se zaměří na konkrétní vytvoření modelu sítě, na kterém pak bude spuštěno několik běhů simulace, a budou také nastaveny sledované statistiky. Možnosti zobrazení naměřených statistik jsou popsány v další části práce.



Obr. 3.1: Model LAN sítě

3.1 Konfigurace scénáře

3.1.1 Vytvoření projektu

- Je potřeba spustit OM.
- Název projektu byl zadán jako **projectVerohodnost** a scénář pojmenován na **scenario1**.
- S pomocí **Startup Wizard** pro vytvoření prázdného scénáře byla vytvořena síť typu **Campus** rozměrem **10×10 kilometers**.
- Výše popsané nastavení bylo zvoleno tak, aby odpovídalo úkolu, což bylo vytvoření **LAN** (Local Area Network) sítě.
- Byla vyhledána z **Model Family** položka **internet_toolbox** a hodnota **No** změněna na **Yes**.
- Důvodem výběru je, že v sekci **internet_toolbox** se dají najít všechny prvky pro vytvoření sítě viz Obr. 3.1.
- Pro ukončení průvodce klikneme na **Next** a následně **Finish**.

3.1.2 Vytvoření a nastavení modelu

Z **Object Palette** byly vybrány a vloženy následující prvky:

- Application Config,
- Profile Config,
- 3 krát 10BaseT_LAN,
- 3 krát ethernet4_slip8_gtwy – tyto objekty byly spojeny mezi sebou linkou PPP_DS1

- 2 krát ethernet_server,
- ostatní objekty byly spojeny linkou 10BaseT a pojmenovány podle Obr. 3.1.

Byl nastaven **Application Config**, v **Edit Attributes** u položky **Application Definitions** byly nastaveny aplikace viz Tab.3.1. Služby FTP a HTTP využívají protokol TCP, a proto byla do simulace vložena služba VoIP (využívá protokol UDP), aby síť mohla být testována v širším spektru.

Tab. 3.1: Nastavení aplikací v Application Config

Jméno aplikace	Description – popis	Typ provozu
FTP	Ftp	High Load
HTTP	Http	Heavy Browsing
VoIP	Voice	PCM Quality and Silence Supressed

V Tab.3.1 hodnoty třetího sloupce (Typ provozu) byly zvoleny tímto způsobem proto, aby provoz byl dostatečně viditelný na linkách mezi směrovači.

Byl nastaven **Profile Config** následovně viz Tab.3.2.

Tab. 3.2: Nastavení profilů v Profile Config

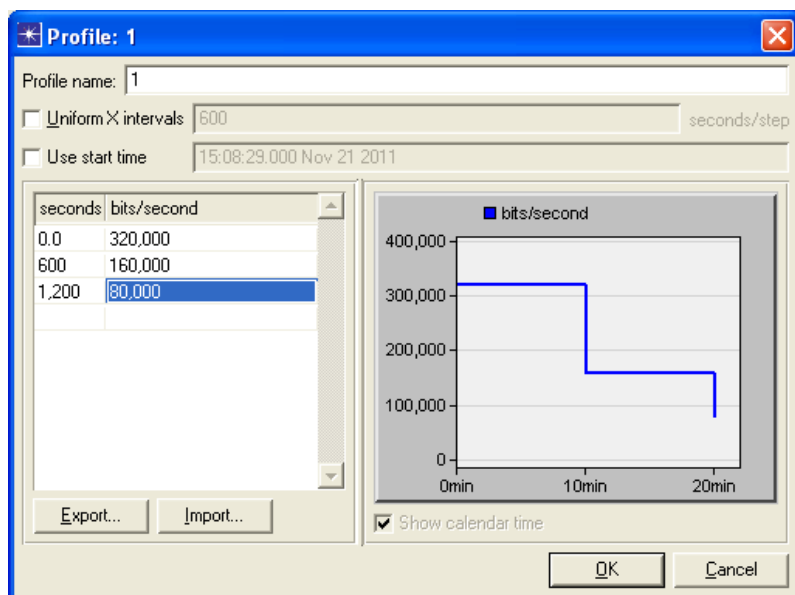
Jméno profilu	Jméno aplikace	Start time offset	Operation mode	Start time
FTP	FTP	constant(5)	Simultaneous	constant(60)
HTTP	HTTP	constant(5)	Simultaneous	constant(60)
VoIP	Voice	constant(5)	Simultaneous	constant(60)

Hodnoty doba spuštění a ofset doby spuštění byly nastaveny na konstantní. Důvodem je eliminace nežádoucích změn při sledu více běhů simulace. Chování sítě by nemělo být ovlivněno již zmíněnými parametry. Hodnota **Operation Mode** – provozní režim – byl nastaven na Simultaneous, tímto nastavením se zajistí současné spuštění všech nastavených profilů.

Na linkách mezi směrovači byl nastaven provoz na pozadí jenom v jednom směru, aby bylo možné pozorovat jiné typy zobrazení statistik v opačném směru. **Average Packet Size (bytes)** byl nastaven na Ethernet a **Traffic Load (bps)** byl nastaven dle obrázku Obr. 3.2.

V objektu **LAN_HTTP_VoIP** byly nastaveny **Edit Attributes**→**Application: Supported profiles**→**Edit...** a podobně **Edit Attributes**→**Application: Supported services**→**Edit...** na hodnoty HTTP a Voice. Obdobným způsobem byly nastaveny u objektu **LAN_FTP_VoIP** profily FTP a Voice a u objektu **LAN_HTTP** profil HTTP.

U objektů **LAN_HTTP_VoIP**, **LAN_HTTP** a **LAN_FTP_VoIP** byl počet pracovišť (Number of Workstations) nastaven na 25 v položce **Edit Attributes**→**LAN**→**Num-**



Obr. 3.2: Nastavení provozu na pozadí

ber of Workstations, aby byl produkován větší provoz v síti.

V objektu **server_FTP** byl nastaven **Edit Attributes**→**Applications**→ **Application: Supported services** na hodnotu FTP a obdobně v objektu **server_HTTP** na hodnotu HTTP.

3.1.3 Nastavení sledovaných statistik

Kliknutím pravým tlačítkem na volnou plochu se zobrazí kontextové menu, je třeba vybrat **Choose Individual DES Statistics**. Byly vybrány statistiky viz Tab.3.3

Tab. 3.3: Nastavení statistik pro simulaci

Global Statistics	Ethernet	Delay
	Ftp	Download Response Time (sec)
		Upload Response Time (sec)
	Ftp, HTTP	Traffic Received (bytes/sec)
		Traffic Received (packets/sec)
		Traffic Sent (bytes/sec)
		Traffic Sent (packets/sec)
	HTTP	Page Response Time (seconds)
	Voice	Jitter (sec)
		Packet Delay Variation
		Packet End-to-End Delay (sec)
Node Statistics	Ethernet, TCP	Load (bits/sec)
		Load (packets/sec)
	IP	End-to-End Delay (sec)
		End-to-End Delay Variation (sec)
	TCP, UDP	Traffic Received (bytes/sec)
		Traffic Received (packets/sec)
		Traffic Sent (bytes/sec)
		Traffic Sent (packets/sec)
	Voice Application	Jitter (sec)
		Packet Delay Variation
		Packet End-to-End Delay (sec)
	Link Statistics	point-to-point
queuing delay (sec) <-		
throughput (bits/sec) ->		
throughput (bits/sec) <-		
throughput (packet/sec) ->		
throughput (packet/sec) <-		
utilization ->		
utilization <-		

3.1.4 Spuštění simulace

Z hlavního menu bylo vybráno **DES→Configure/Run Discrete Event Simulation**, nebo je možné spustit kliknutím na ikonu **Run**, anebo klávesovou zkratkou **Ctrl+R**.

V nově otevřeném okně nastavíme parametry:

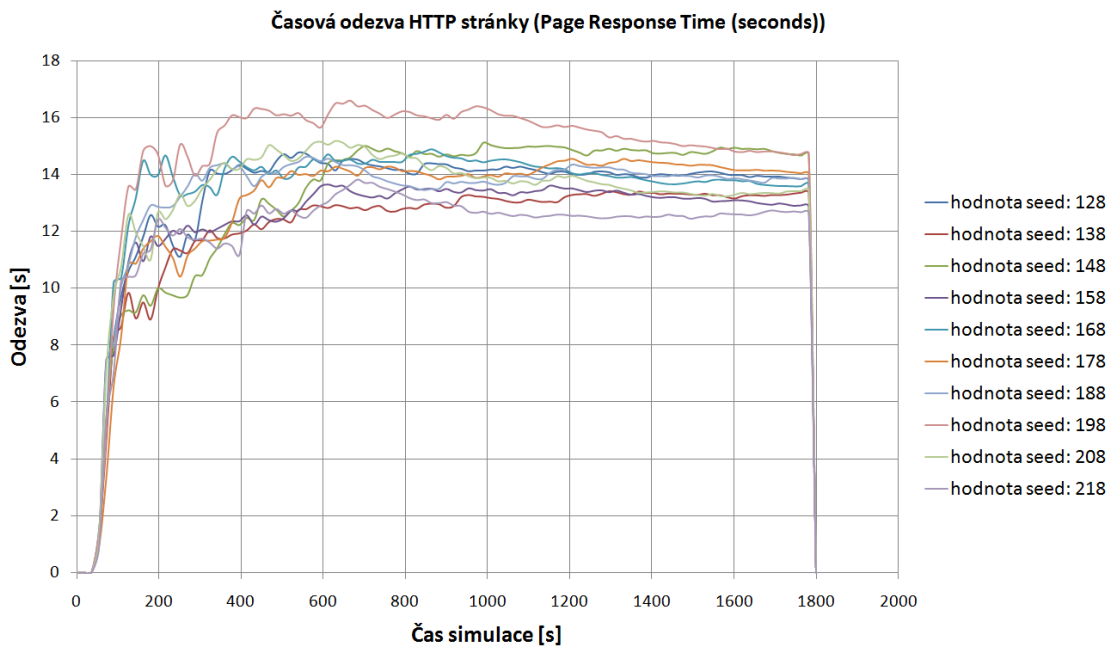
- **Duration:** 30 min – bylo zapotřebí nasimulovat několik běhů simulace za sebou, zvolená hodnota je dostačující z hlediska měření statistik a na druhé straně, doba měření v reálném čase nepřesahuje několik minut.
- **Seed:** 128 TO 218 BY 10 – slouží na nastavení počtu běhů simulace. Byl zvolen tak, aby bylo možné pozorovat rozdíly mezi jednotlivými běhy simulace, způsobeny právě nastavením této hodnoty.
- **Values per statistic:** 100 – hodnota byla nechána na výchozím nastavení. Větší počet vzorků by znamenal více výpočtů a tím pádem i větší dobu trvání simulace.
- **Update interval:** 100000 events (událost) – udává, jak často mají být aktualizovány měřené hodnoty.
- **Simulation Kernel:** Optimized – nastavení jádra simulace. Byl nastaven **Optimized**, je to optimalizované nastavení jádra OM.

Po nastavení parametrů je třeba kliknout na tlačítko **Run**, tím se simulace spustí a objeví se nové okno, kde je možné vidět sekvence všech nastavených běhů simulací. Po úspěšném ukončení sekvence se zobrazí v položce **Status** u všech běhů hlášení **Completed**.

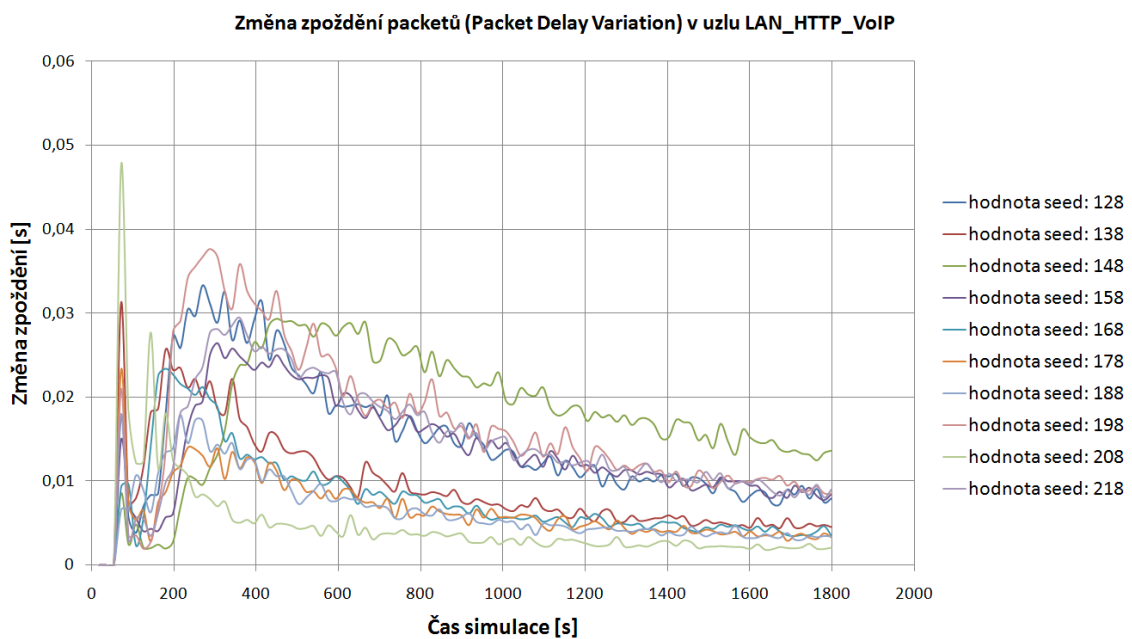
3.1.5 Zobrazení výsledků

Kliknutím pravého tlačítka myši na volnou plochu se zobrazí nabídka, je třeba vybrat **View Results**. Zde je možné vybrat, která charakteristika má být zobrazena, aby bylo možné jednotlivé běhy zobrazovat v jednom grafu, položku v části **Presentation** změníme ze **Stacked Statistics** na **Overlaid Statistics**. Po výběru charakteristiky, kliknutím na tlačítko **Show** se zobrazí graf v samostatném okně. Zobrazené grafy v dalších částech práce byly vytvořeny v programu Microsoft Office Excel.

Ukázka výsledných statistik modelu



Obr. 3.3: Časová odezva HTTP stránky (Page Response Time (seconds), zobrazení average)



Obr. 3.4: Variace zpoždění hlasových packetů (zobrazení glitch_notch – odstránění závad)

4 MOŽNOSTI ZOBRAZENÍ VÝSLEDNÝCH STATISTIK

V dalších částech práce byla použita literatura [7]

V kapitole 1.1 byl popsán pracovní postup ve čtyřech krocích. Tato kapitola je zaměřena na Krok 4.

Typicky, většina dat získaných ze simulací je vkládána do výstupních vektorů. Modeler pak provádí grafické a numerické zpracování v prohlížeči výsledků (**Result Browser**) v projekt editoru (**Project Editor**).

Editor projektu umožní, aby ze souboru výstupních vektorů byly vybírány jednotlivě, nebo kolektivně vektory, které se pak zobrazují jako stopy vektorů (traces). Tyto stopy jsou uspořádané dvojice souřadnic x a y zvané položky nebo vzorky (entries). Navíc skalární hodnoty ze stejného souboru mohou být vykreslovány proti sobě, aby byly vidět výsledky vícenásobných parametrických simulací. V případě vykreslování takovýmto způsobem jsou souřadnice skalárních hodnot seskupeny jako uspořádané dvojice a výsledná data jsou zpracována jako stopy (trace).

Stopy jsou zobrazeny v panelech analýz (**analysis panels**). Řada možností je dostupná pro přizpůsobení zobrazení prezentovaných dat, např.: zvětšení, barva pozadí, barva grafu, styl vykreslování a popisek.

Panely analýz poskytují několik numerických operací pro zpracování dat, které jsou použitelné na vektory, aby byla generována nová data pro vyhodnocování.[7]

Rozdělení numerických operací:

- **Histograms and Probability Profiles** – histogramy a pravděpodobnostní profily
- **Predefined Filters** – Předdefinované filtry

4.1 Histogramy a pravděpodobnostní profily

Operace v této sekci jsou většinou unární, t.j. pro generování výstupní statistiky potřebují jenom jednu vstupní statistiku.

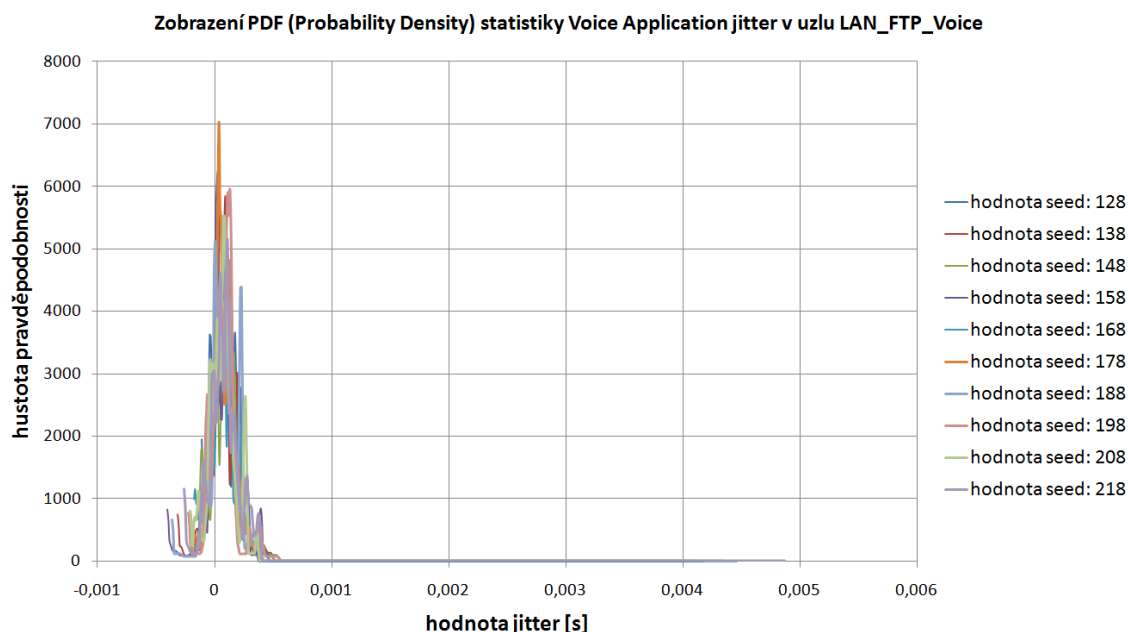
4.1.1 Probability Density Function (PDF)

Hustota pravděpodobnosti je plynulý ekvivalent PMF (Probability Mass Function). PDF vyhodnocuje hodnoty y přiměřeně k určitému intervalu. Když např. hodnota má pravděpodobnost 0,1 na daném intervalu d a jiná hodnota má stejnou pravděpodobnost na intervalu $d/2$, pak PDF bude v druhém případě dvakrát větší. PDF bude co největší, když malý počet hodnot bude mít co největší PMF.

Definice PDF je založena na skutečnosti, že je to integrál na daném intervalu, který dává PMF spojený s tímto intervalem. PMF spojený s intervalem je možné dostat spočítáním rozdílu CDF (Cumulative Distribution Function) pro horní a dolní limity intervalu. Když délky intervalů budou nekonečně malé, bude možné vidět, že PDF je derivát CDF s ohledem na výstupní proměnné.

Vztah mezi PDF a CDF spočívá ve skutečnosti, že základem metody používané prohlížečem výsledků (Result Browser) je spočítání PDF. Jako první je ale spočítán CDF, pak je provedena diferenciace pro získání PDF. Rozdíl mezi dvěma po sobě jdoucími CDF hodnotami je odlišen rozdílem v odpovídajících souřadnicích. Výsledná hodnota je pak hustota spojená s intervalem a je považován jako nejnižší limita intervalu.[7] Proto, když statistika obsahuje dvě po sobě jdoucí hodnoty y_1 a y_2 , PDF je spočítán jako:

$$\text{PDF}(y_1) = \frac{\text{CDF}(y_2) - \text{CDF}(y_1)}{y_2 - y_1} \quad (4.1)$$



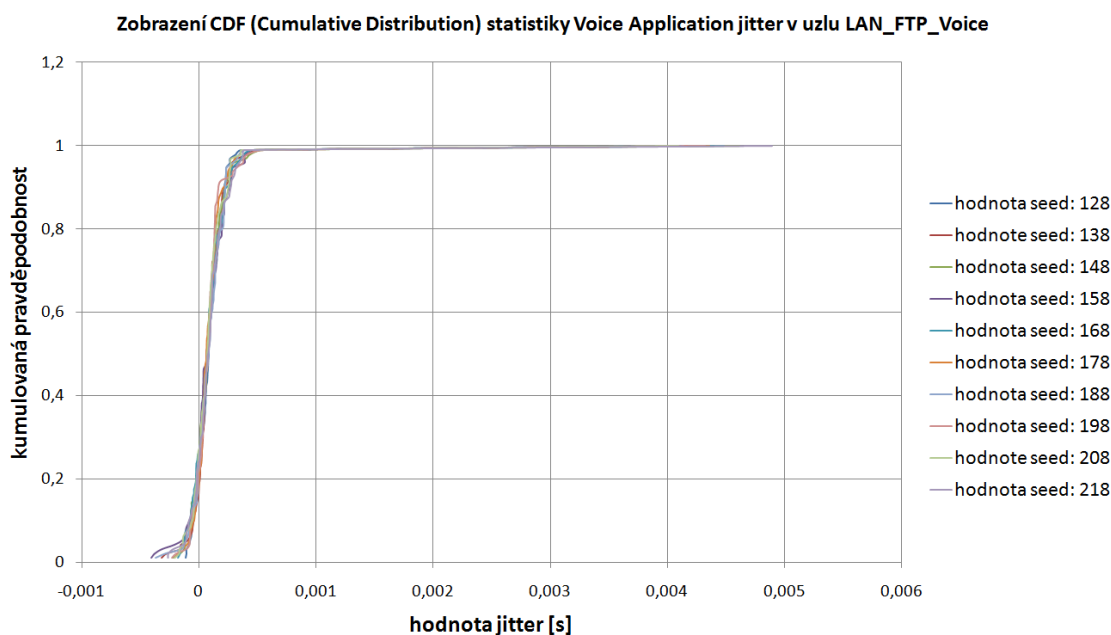
Obr. 4.1: Statistika jitter v uzlu LAN_FTP_Voice, zobrazení typu PDF

4.1.2 Cumulative Distribution Function (CDF)

Kumulativní distribuce, podobně jako PMF i CDF dané statistiky se týká pravděpodobnosti výskytu hodnot souřadnic. Avšak předtím, než připraví pravděpodobnostní hodnotu výskytu jednotlivých hodnot, CDF zobrazuje kumulovanou pravděpodobnostní hodnotu všech souřadnic, které jsou menší nebo rovny konkrétní souřadnici. Tato forma reprezentace je užitečná, když je zájem o hodnoty do určité prahové hodnoty souřadnice.[7]

Výpočet CDF se podobá výpočtu PMF ve smyslu, že je spočítán poměr pro jednotlivé souřadnice původní statistiky. Ke každé vstupní hodnotě je přičítána stejná váha, která je dána obrácenou hodnotou počtu vstupních hodnot. Proto, když je sto vstupních hodnot, každá bude mít váhu 0,01, a když pět z těch vstupů má hodnotu souřadnice y t.j. stejnou hodnotu, pak celková pravděpodobnostní hodnota CDF bude 0,05 ($5 \cdot 0,01$). Vstupy CDF jsou konstruovány umístěním rozdílných hodnot souřadnic původní statistiky vzestupně dle x -ové osy. Hodnota CDF pro počáteční vstupní hodnotu je jednoduše pravděpodobnostní hodnota odpovídající souřadnice. Hodnota CDF pro další vstupní hodnotu je rovna

hodnotě první CDF rozšířené pravděpodobnostní hodnotou té další odpovídající souřadnice atd. CDF je průběžný součet hodnot PMF. Ukázku viz Obr. 4.2.[7]



Obr. 4.2: Statistika jitter v uzlu LAN_FTP_Voice, zobrazení typu CDF

4.1.3 Probability Mass Function (PMF)

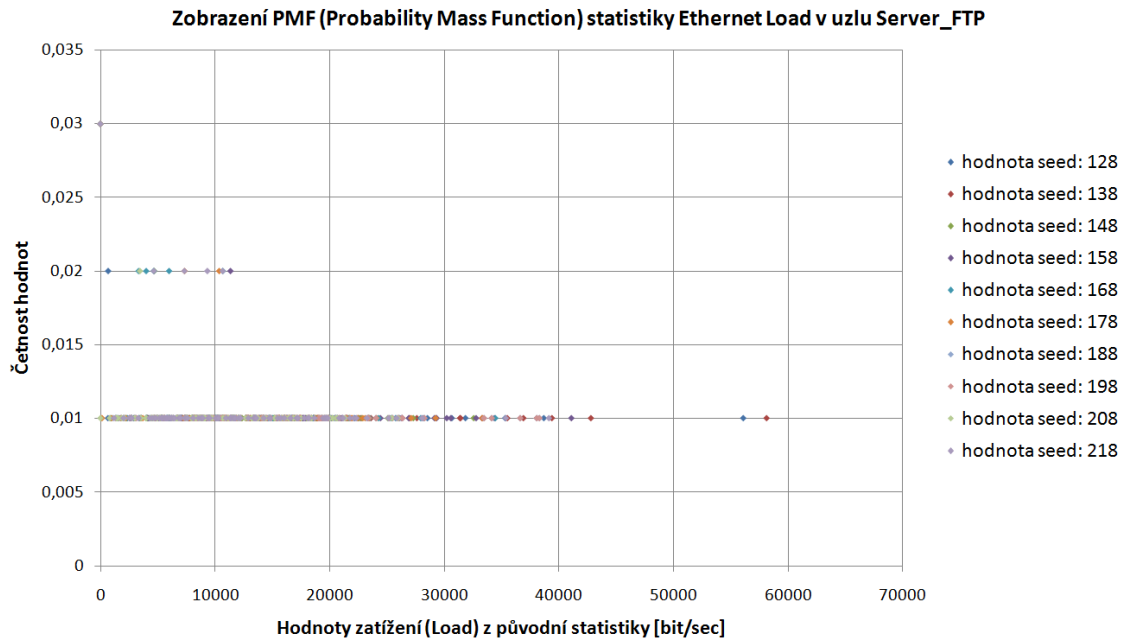
Pravděpodobnostní funkce pracuje s y hodnotami vstupní statistiky. Když PMF spočítá četnost vstupních hodnot, nepracuje na základě intervalu (kolikrát se objeví daná hodnota za interval), každá jednoznačně daná hodnota se spočítá zvlášť, t.j. jen přesně totožné hodnoty mohou zvyšovat hodnotu PMF. PMF udává četnost hodnoty normalizovaně, jako poměr četnosti samostatné hodnoty ku četnosti všech hodnot. V extrémním případě, když každá hodnota je reprezentovaná v statistice jenom jednou, výsledek PMF bude konstantní charakteristika s hodnotou 1. Ukázku viz Obr. 4.3.[7]

4.1.4 Histogram (Sample-Distribution)

Histogram, distribuce vzorku ukazuje distribuci hodnot souřadnic y , přes rovnoměrně rozdělené intervaly vertikální osy. Vertikální osa je rozdělena na N jasně odlišitelných intervalů začínajících od spodní meze až k horní hranici. Jako výchozí hodnota N je nastavená 100, ale tato hodnota se může lišit v závislosti na uživatelem definované délce intervalů.[7]

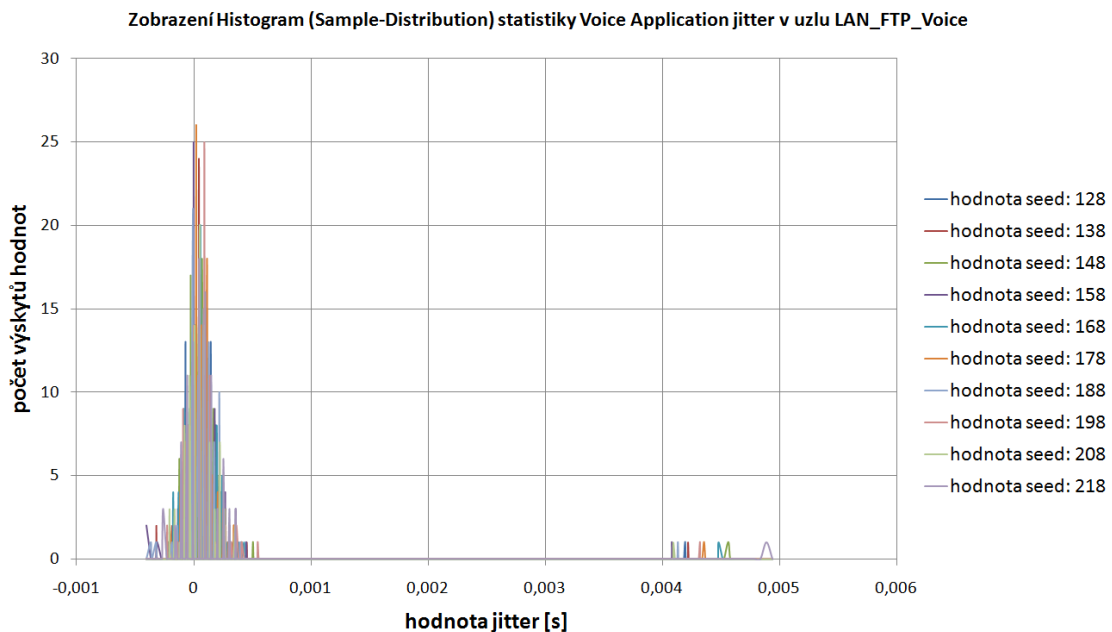
Operace Sample-Distribution Histogram (SDH) realizuje a inicializuje samostatné počítadlo pro reprezentaci početnosti vstupních hodnot v daném intervalu. Následně se prochází celá statistika a analyzuje se každá vstupní hodnota. Počítadlo intervalu v němž je hodnota přítomná je zvýšena o jedna.[7]

Výsledná statistika po této operaci obsahuje N vstupních hodnot souvisejících s N



Obr. 4.3: Statistika Ethernet Load v uzlu Server_FTP, zobrazení typu PMF

intervalu. Protože tyto intervaly dělí vertikální osu původní statistiky, objevují se na horizontální ose nové statistiky a na vertikální ose jsou zastoupeny hodnoty počtů výskytu z N počítačů. Hodnoty x z původní statistiky jsou nerelevantní z hlediska SDH [7]. Ukázkou viz Obr. 4.4.

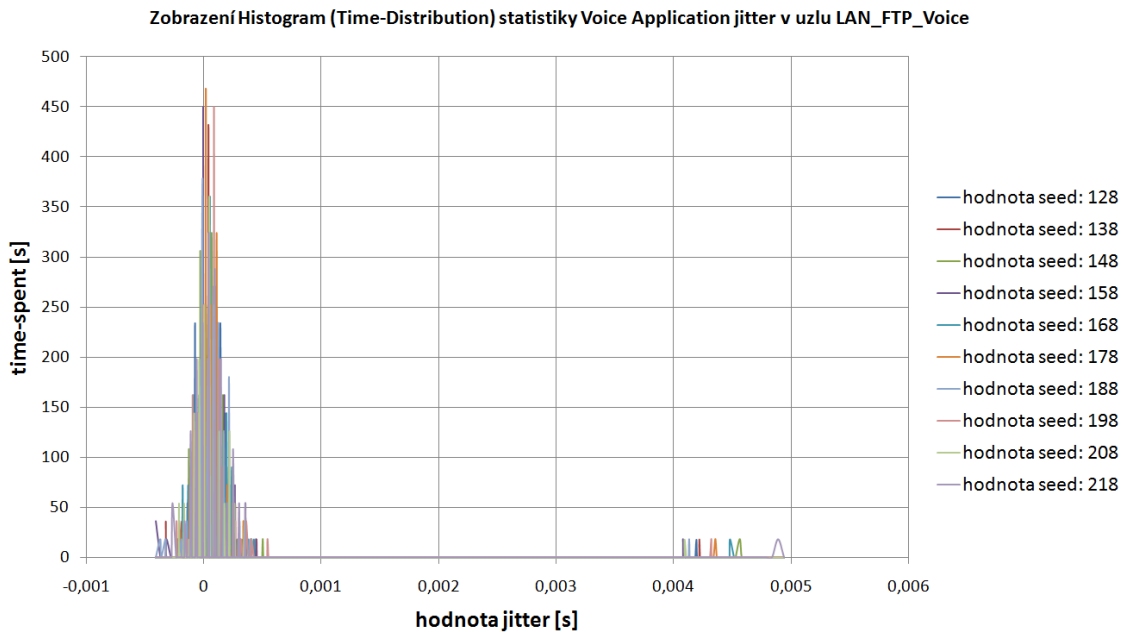


Obr. 4.4: Statistika jitter v uzlu LAN_FTP_Voice, zobrazení typu Histogram (Sample-Distribution)

4.1.5 Histogram (Time-Distribution)

Histogram, distribuce času se podobá na Sample-Distribution Histogram ve smyslu, že profil je sestavený pro y -ové hodnoty statistiky. I tato operace dělí vertikální osu podobně jako SDH, ale narozdíl od něj je založen na pozorování stráveného času (time-spent) v daném intervalu. Základem výpočtů pro histogram jsou y -ové hodnoty, ale vážení se provádí jinak: u SDH je vstupní hodnota vážena koeficientem 1.0; TDH váže vstupní hodnoty rozdílem x -ové souřadnice vstupní hodnoty a x -ové souřadnice následující hodnoty.[7]

Intervaly dělí vertikální osu původní statistiky, a objevují se na horizontální ose nové statistiky. Na vertikální ose budou zastoupeny hodnoty stráveného času v daném intervalu. Ukázku viz Obr. 4.5.



Obr. 4.5: Statistika jitter v uzlu LAN_FTP_Voice, zobrazení typu Histogram (Time-Distribution)

4.2 Předdefinované filtry

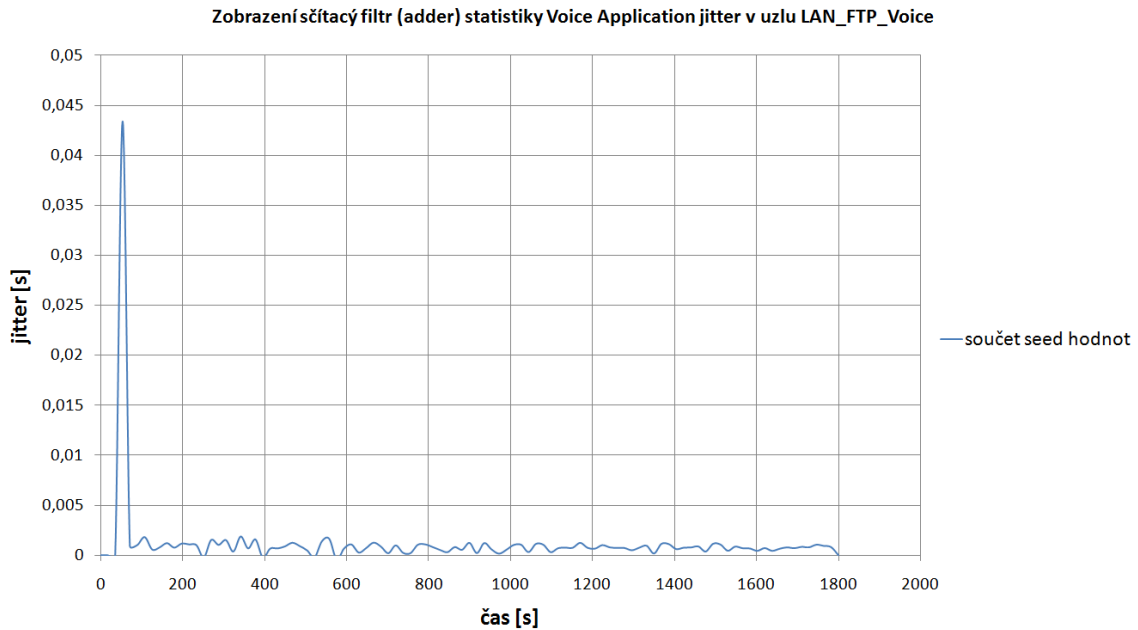
Předdefinované filtry umí různé druhy výpočtů včetně aritmetických, základních výpočtů matematické analýzy a statistické operace. Popis některých filtrů obsahuje rovnice a tabulky pro vysvětlení prováděných výpočtů [7]. Tyto rovnice a tabulky používají následné symboly:

- $T_\alpha(x)$ – hodnota souřadnice y , statistiky T_α když abscisa (hodnota x -ové souřadnice) je x ,
- $y_\alpha[n]$ – vstupní hodnota souřadnice y indexem n statistiky T_α ,
- $x_\alpha[n]$ – vstupní hodnota souřadnice x indexem n statistiky T_α .

4.2.1 Aritmetické filtry

Sčítací filtr (adder) – je binární filtr, ze dvou vstupních statistik T_0 a T_1 generuje třetí statistiku T_{out} , která je součtem předchozích dvou statistik [7]. Ukázku viz Obr. 4.6. Pracuje podle rovnice:

$$T_{out}(x) = T_0(x) + T_1(x) \quad (4.2)$$



Obr. 4.6: Statistika jitter v uzlu LAN_FTP_Voice, zobrazení typu adder

Filtr konstantní posun (constant_shift) – je unární filtr, z jedné vstupní statistiky T_0 generuje druhou T_{out} , která je posunutá T_0 určitou velikostí Δ podél vertikální osy. Velikost posunu Δ je reálné číslo stanoveno jako parametr filtru. Ukázku viz Obr. 4.7. Pracuje podle rovnice:

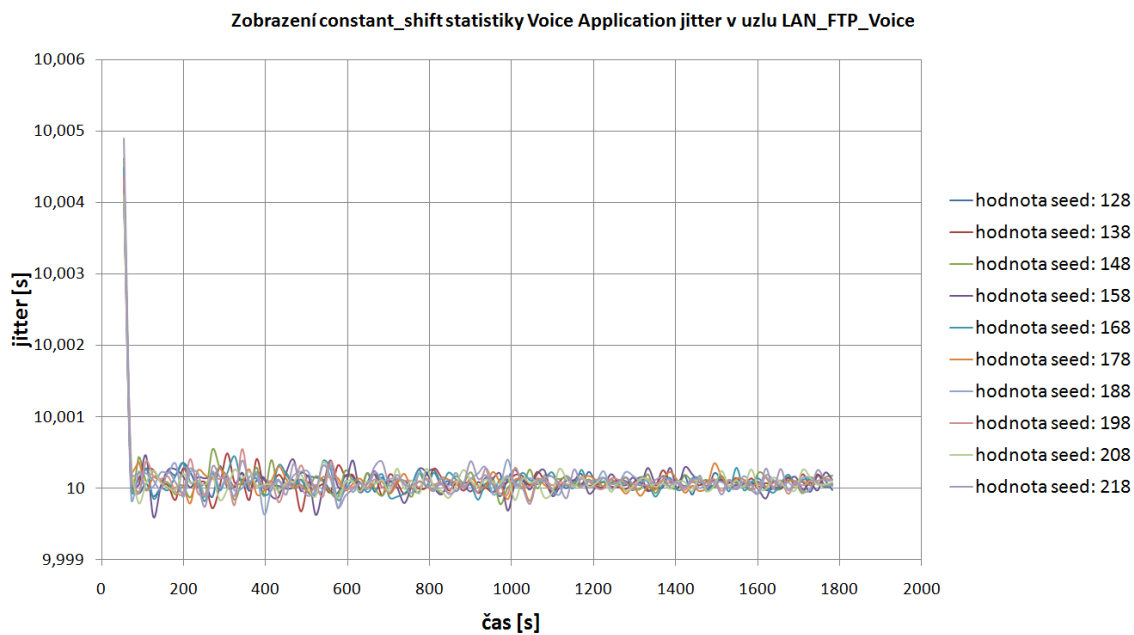
$$y_{out}[n] = y_0[n] + \Delta \quad (4.3)$$

Ziskový filtr (gain) – je unární filtr, z jedné vstupní statistiky T_0 generuje druhou T_{out} , která je T_0 se změnou velikostí podél vertikální osy koeficientem K . Koeficient K je reálné číslo stanoveno jako parametr filtru. Ukázku viz Obr. 4.8. Pracuje podle rovnice:

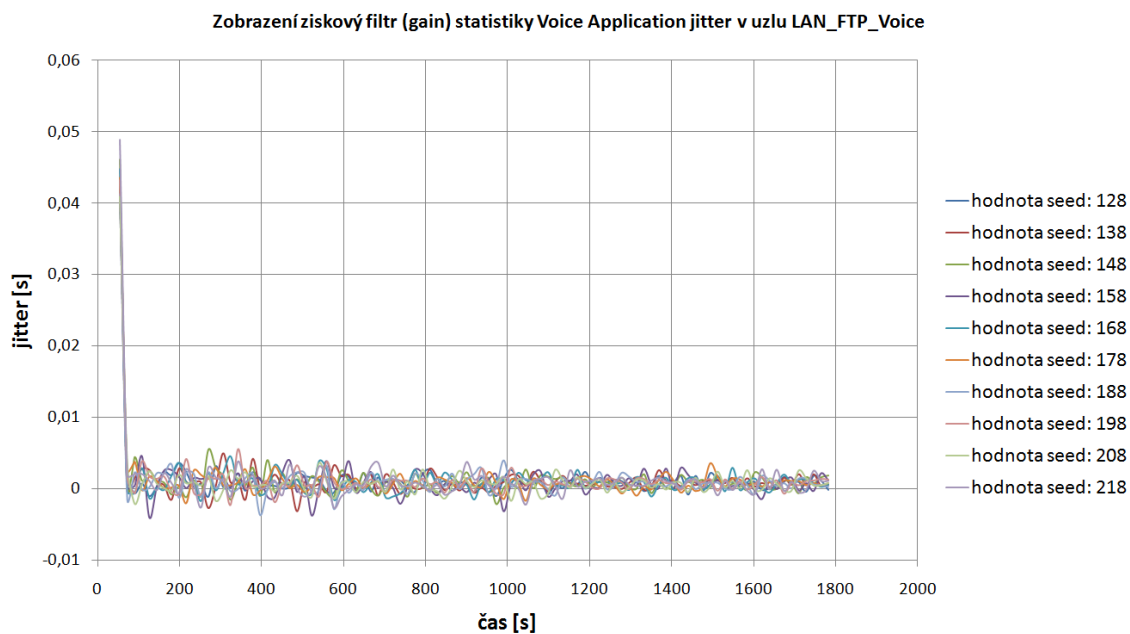
$$y_{out}[n] = y_0[n] \cdot K \quad (4.4)$$

Násobící filtr (multiplier) – je binární filtr, ze dvou vstupních statistik T_0 a T_1 generuje třetí T_{out} , která je násobkem předchozích dvou statistik [7]. Ukázku viz Obr. 4.9. Pracuje podle rovnice:

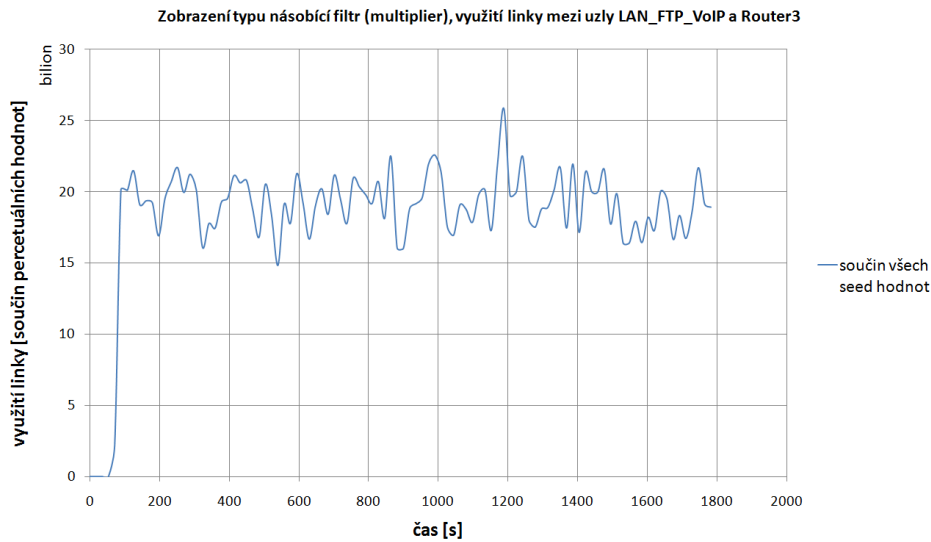
$$T_{out}(x) = T_0(x) \cdot T_1(x) \quad (4.5)$$



Obr. 4.7: Statistika jitter v uzlu LAN_FTP_Voice, zobrazení constant_shift (posunutí $\Delta = 10$)



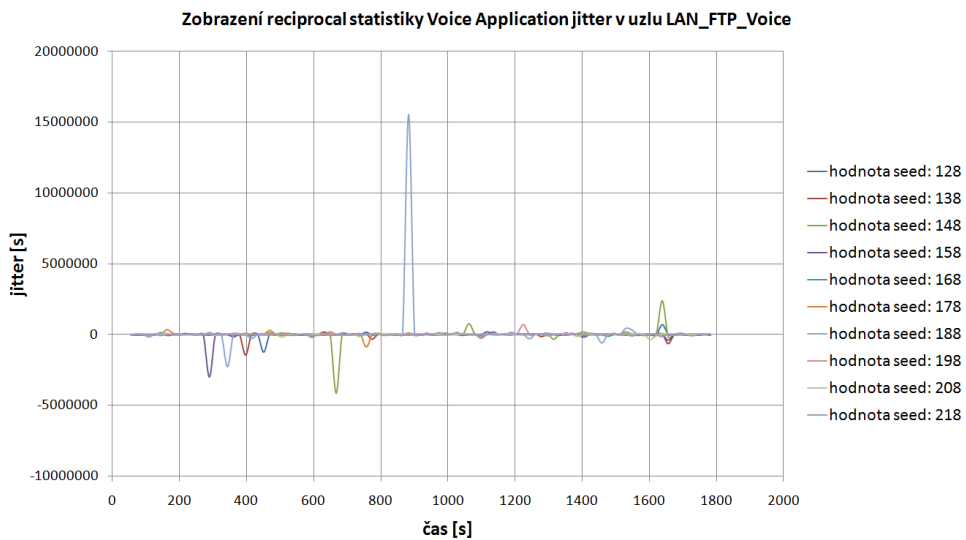
Obr. 4.8: Statistika jitter v uzlu LAN_FTP_Voice, zobrazení typu gain (koeficient $K = 10$)



Obr. 4.9: Statistika využití linky mezi uzly LAN_FTP_VoIP a Router3, zobrazení typu multiplier

Filtr převrácená hodnota (reciprocal) – je unární filtr, z jedné vstupní statistiky T_0 generuje druhou T_{out} , převrácením jednotlivých hodnot souřadnice x v T_0 . Ukázku viz Obr. 4.10. Pracuje podle rovnice:

$$T_{out}(x) = \frac{1}{T_0(x)} \quad (4.6)$$



Obr. 4.10: Statistika jitter v uzlu LAN_FTP_Voice, zobrazení typu reciprocal

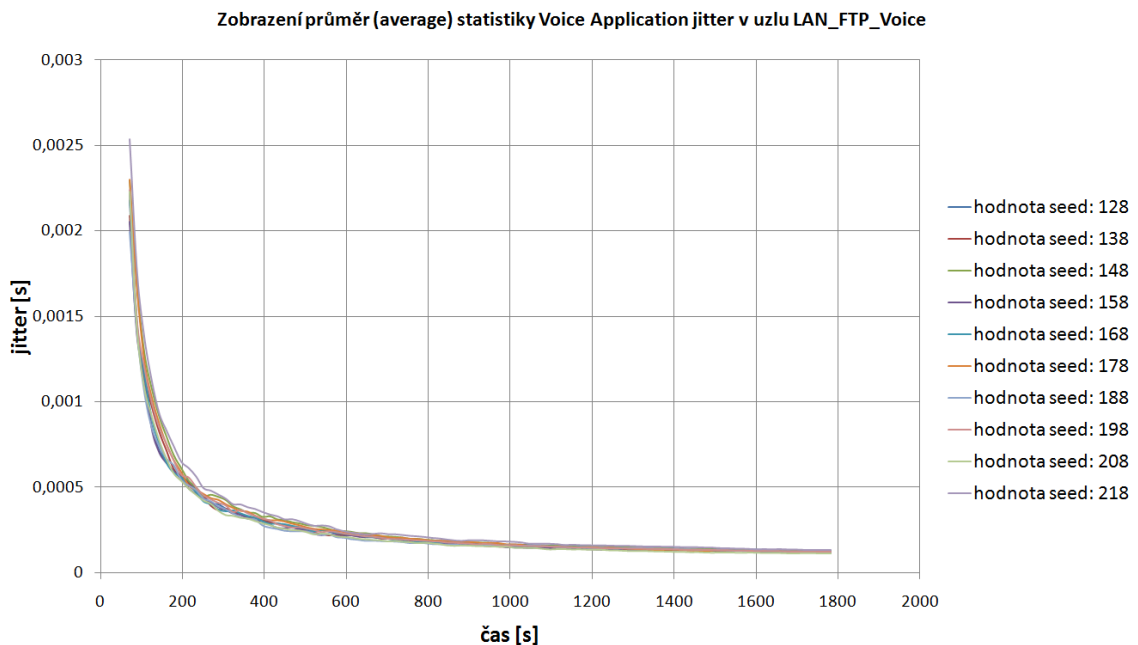
4.2.2 Statistické filtry

Filtr průměr (average) – je unární filtr, z jedné vstupní statistiky T_0 generuje druhou T_{out} , která reprezentuje neprůběžnou průměrnou hodnotu souřadnice y v T_0 od první položky. Ukázku viz Obr. 4.11. Pracuje podle rovnice:

$$y_{out}[n] = \frac{\sum_{i=0}^n y_0[i]}{(n+1)} \quad (4.7)$$

Filtr časový průměr (time_average) – je unární filtr, z jedné vstupní statistiky T_0 generuje druhou T_{out} , která reprezentuje průběžnou průměrnou hodnotu souřadnice y v T_0 od první položky. Rozdíl mezi tímto filtrem a filtrem popisovaným výš je v tom, že v tomto případě vstupní hodnoty nejsou váženy stejně, ale každá zvlášť podle rozdílu, který je dán souřadnicí x samotné hodnoty a hodnoty následující [7]. Pracuje podle rovnice:

$$y_{out}[n] = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} y_0[i] \cdot (x_0[i+1] - x_0[i])}{\sum_{i=0}^n (x_0[i+1] - x_0[i])} \quad (4.8)$$



Obr. 4.11: Statistika jitter v uzlu LAN_FTP_Voice, zobrazení typu average

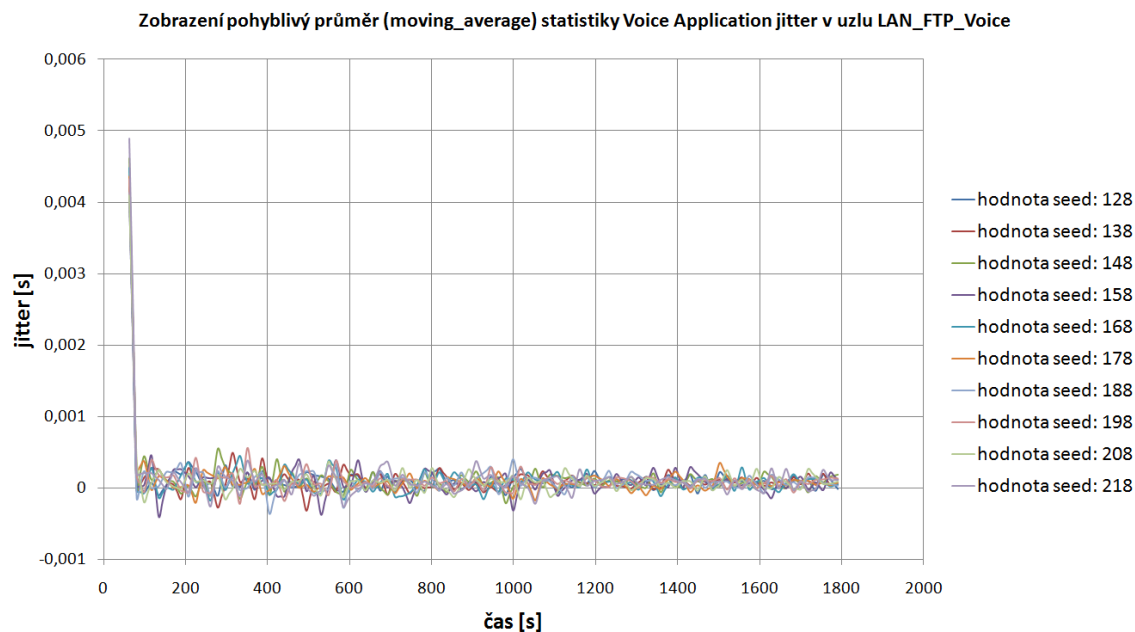
Filtr pohyblivý průměr (moving_average) – je unární filtr, z jedné vstupní statistiky T_0 generuje druhou T_{out} , která reprezentuje průběžnou průměrnou hodnotu souřadnice y v T_0 v určitých intervalech dané šířky. Tyto intervaly se posouvají nad hodnotami souřadnic x v T_0 tak, že T_{out} reprezentuje průměrnou hodnotu nejaktuálnějšího intervalu. Šířka intervalu je dána jako jediný parametr filtru, která se nazývá „window-okno“. Ukázku viz Obr. 4.12. Pracuje podle rovnice:

$$y_{out}[n] = \frac{\left[\sum_{i=k}^m y_0[i] \cdot (x_0[i+1] - x_0[i]) \right] + \frac{[y_0[k-1] \cdot (x_0[k] - x_{out}[n] + W)] + [y_0[m] \cdot (x_{out}[n] - x_{out}[m])]}{W}}{W} \quad (4.9)$$

W – velikost okna

k – nejnižší index položky v T_0

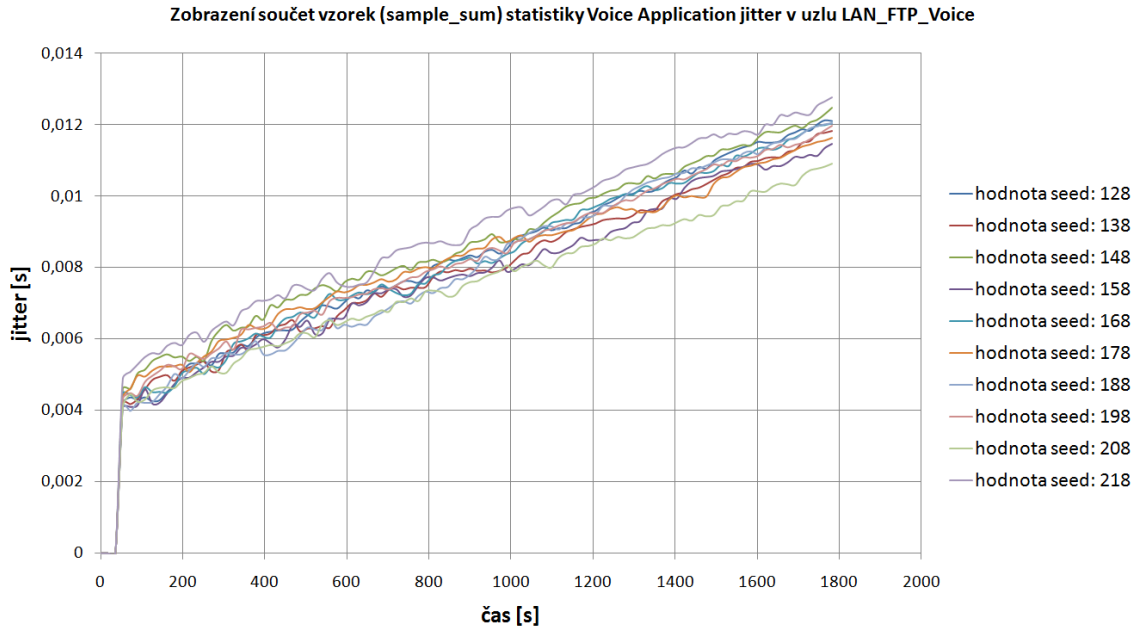
m – nejvyšší index položky v T_0



Obr. 4.12: Statistika jitter v uzlu LAN_FTP_Voice, zobrazení typu moving_average, velikost okna $W=10$

Filtr součet vzorek (sample_sum) – je unární filtr, z jedné vstupní statistiky T_0 generuje druhou T_{out} , která reprezentuje průběžnou celkovou hodnotu hodnot souřadnic y v T_0 od první položky. Ukázku viz Obr. 4.13. Pracuje podle rovnice:

$$y_{out}[n] = \sum_{i=0}^n y_0[i] \quad (4.10)$$



Obr. 4.13: Statistika jitter v uzlu LAN_FTP_Voice, zobrazení typu sample_sum

4.2.3 Různé operace matematické analýzy a související analytické filtry

Derivační filtr (differentiator) – je unární filtr, z jedné vstupní statistiky T_0 generuje druhou T_{out} , která reprezentuje derivaci T_0 s ohledem na x -ové souřadnice [7]. Ukázku viz Obr. 4.14. Pracuje podle rovnice:

$$y_{out}[n] = \frac{y_0[n+1] - y_0[n]}{x_0[n+1] - x_0[n]} \quad (4.11)$$

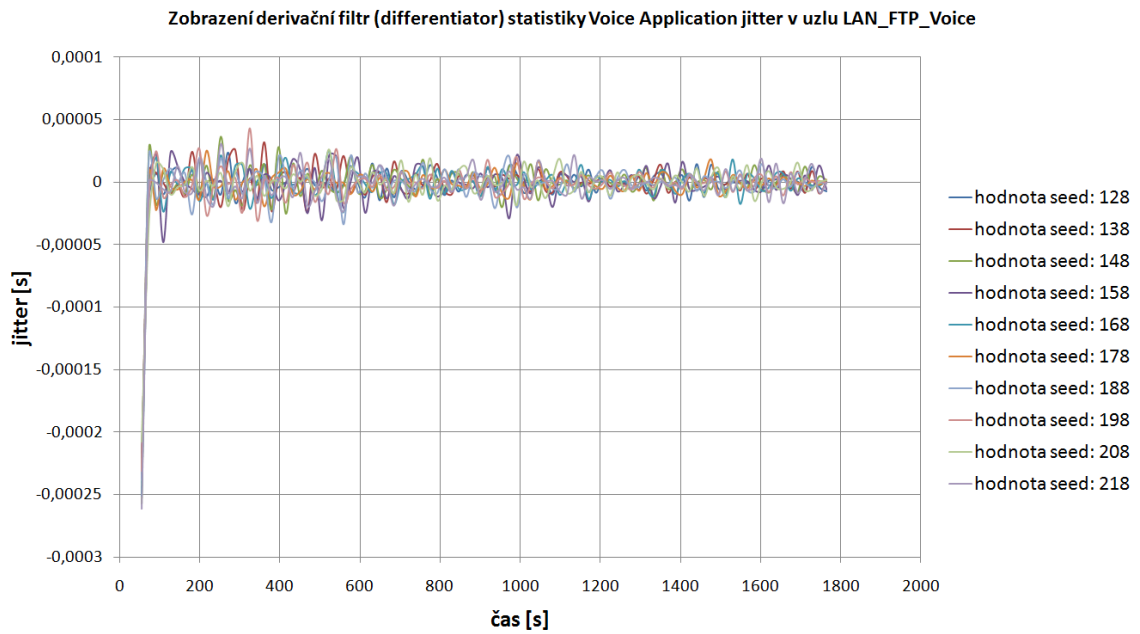
Integrační filtr (integrator) – je unární filtr, z jedné vstupní statistiky T_0 generuje druhou T_{out} , která reprezentuje integrál T_0 s ohledem na x -ové souřadnice. Ukázku viz Obr. 4.15. Pracuje podle rovnice:

$$y_{out}[n] = \sum_{i=0}^{n-1} y_0[i] \cdot (x_0[i+1] - x_0[i]) \quad (4.12)$$

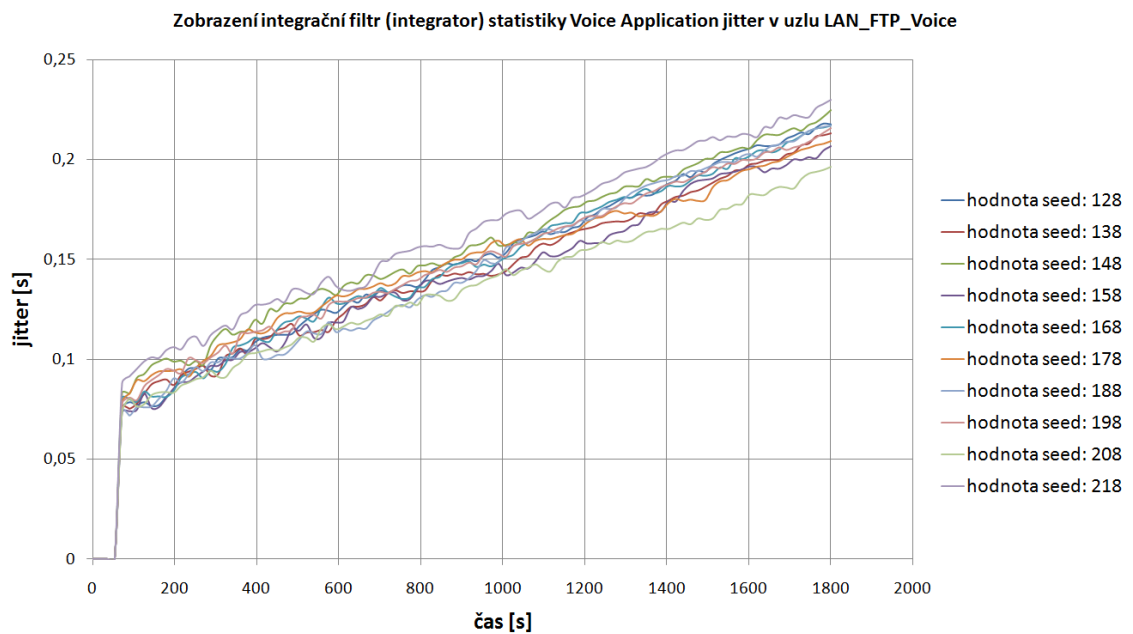
Exponenciální filtr (exponentiator) – je unární filtr, z jedné vstupní statistiky T_0 generuje druhou T_{out} , která reprezentuje exponenciálu hodnot souřadnic y v T_0 s určitým exponentem. Exponent je určený jako jediný parametr filtru. Ukázku viz Obr. 4.16. Pracuje podle rovnice:

$$T_{out}(x) = (T_0(x))^p \quad (4.13)$$

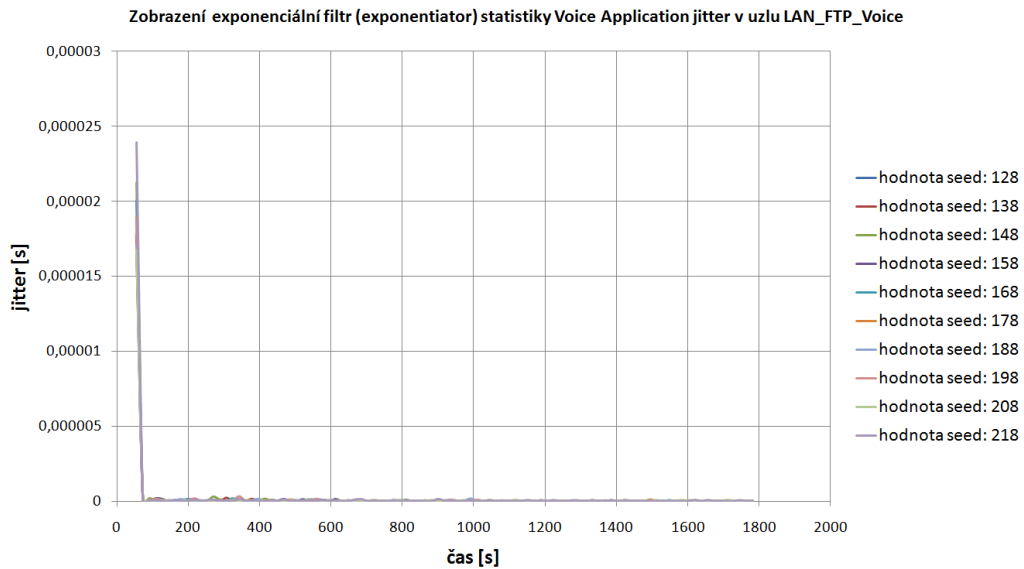
p – je exponent



Obr. 4.14: Statistika jitter v uzlu LAN_FTP_Voice, zobrazení typu differentiator



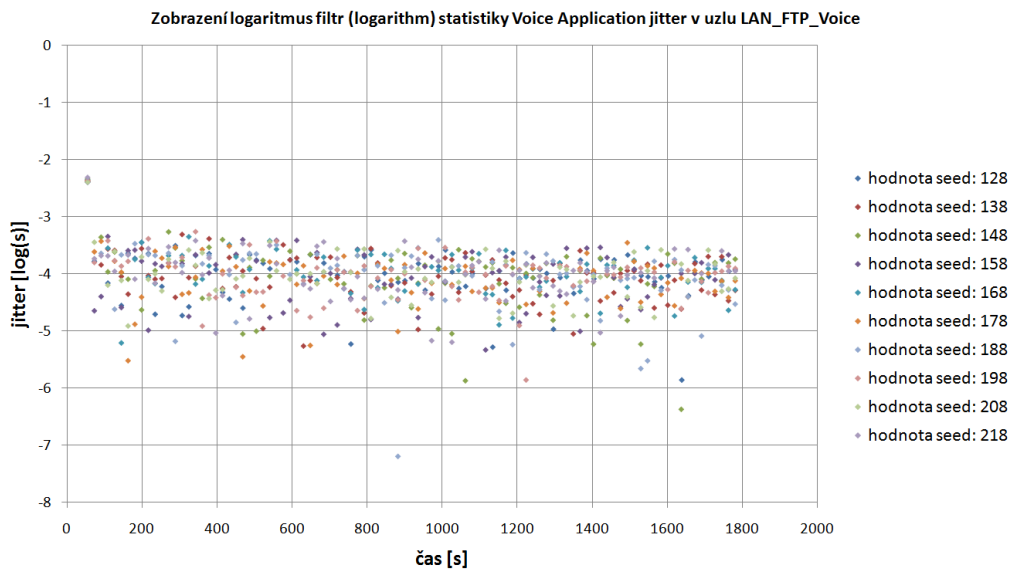
Obr. 4.15: Statistika jitter v uzlu LAN_FTP_Voice, zobrazení typu integrator



Obr. 4.16: Statistika jitter v uzlu LAN_FTP_Voice, typ exponentiator (exponent = 2)

Logaritmus filtr (logarithm) – je unární filtr, z jedné vstupní statistiky T_0 generuje druhou T_{out} , která je dekadický logaritmus spočítaný z hodnot souřadnice y v T_0 [7]. Ukázku viz Obr. 4.17. Pracuje podle rovnice:

$$y_{out}[n] = \log_{10}(y_0[n]) \quad (4.14)$$

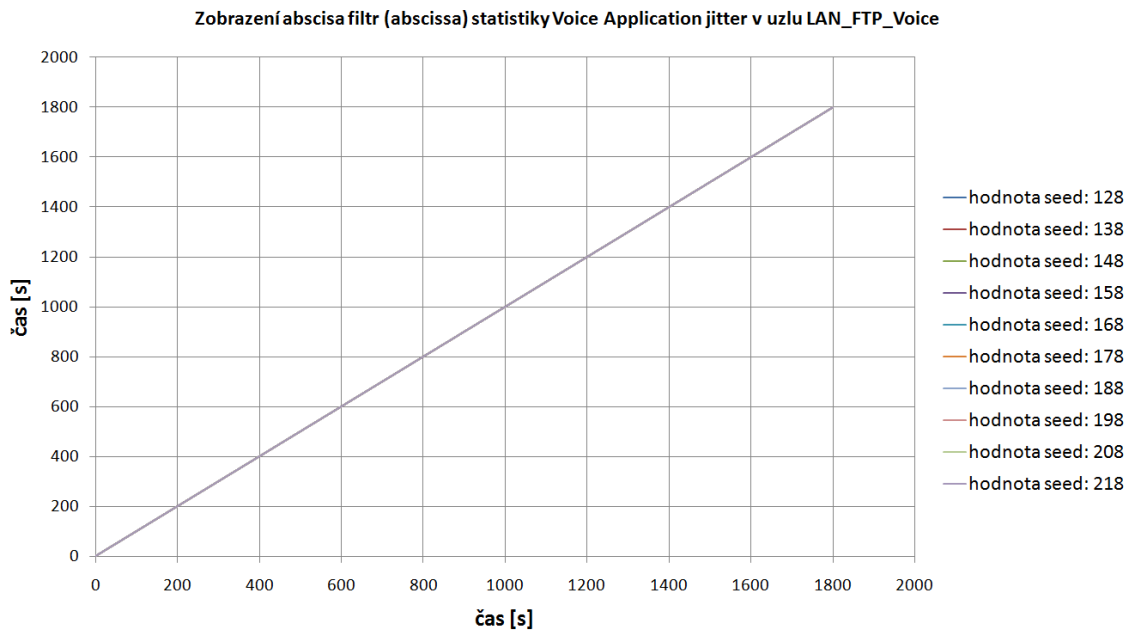


Obr. 4.17: Statistika jitter v uzlu LAN_FTP_Voice, zobrazení typu logarithm

4.2.4 Různé filtry

Abscisa filtr (abscissa) – je unární filtr, z jedné vstupní statistiky T_0 generuje druhou T_{out} , která vrací jednoduše hodnoty souřadnic x jednotlivých položek T_0 [7]. Ukázku viz Obr. 4.18. Pracuje podle rovnice:

$$y_{out}[n] = x_0[n] \quad (4.15)$$



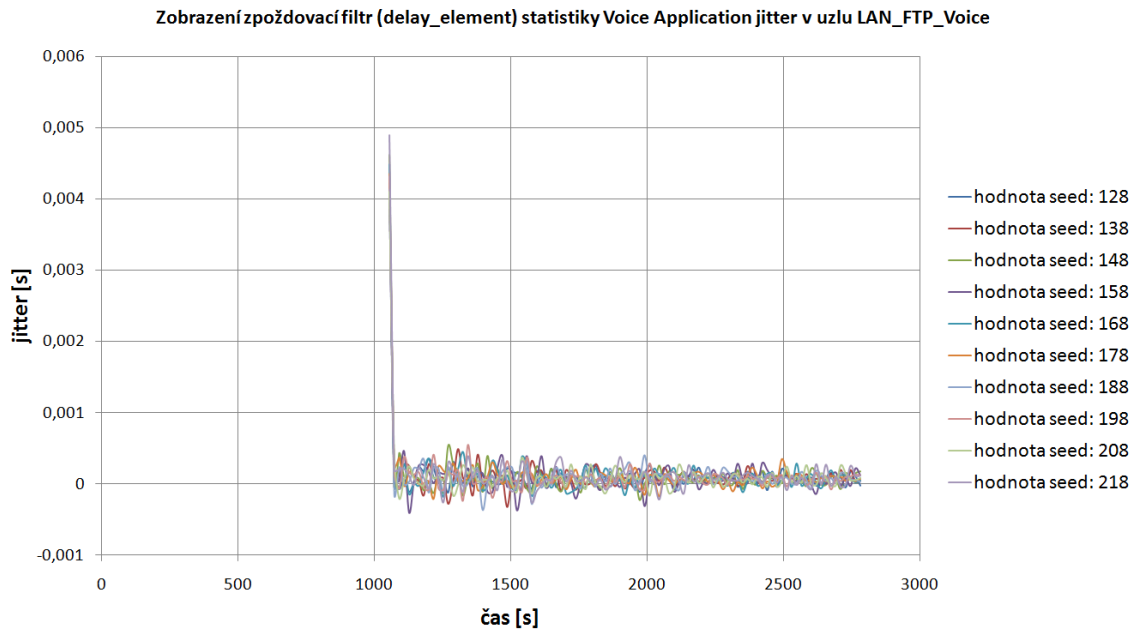
Obr. 4.18: Statistika jitter v uzlu LAN_FTP_Voice, zobrazení typu abscissa

Zpoždovací filtr (delay_element) – je unární filtr, z jedné vstupní statistiky T_0 generuje druhou T_{out} , která je posunutá podél horizontální osy o určitou míru. Míra posunutí je parametr filtru zvaný „delay“. Kladná hodnota působí posun v kladném směru. Ukázku viz Obr. 4.19. Pracuje podle rovnice:

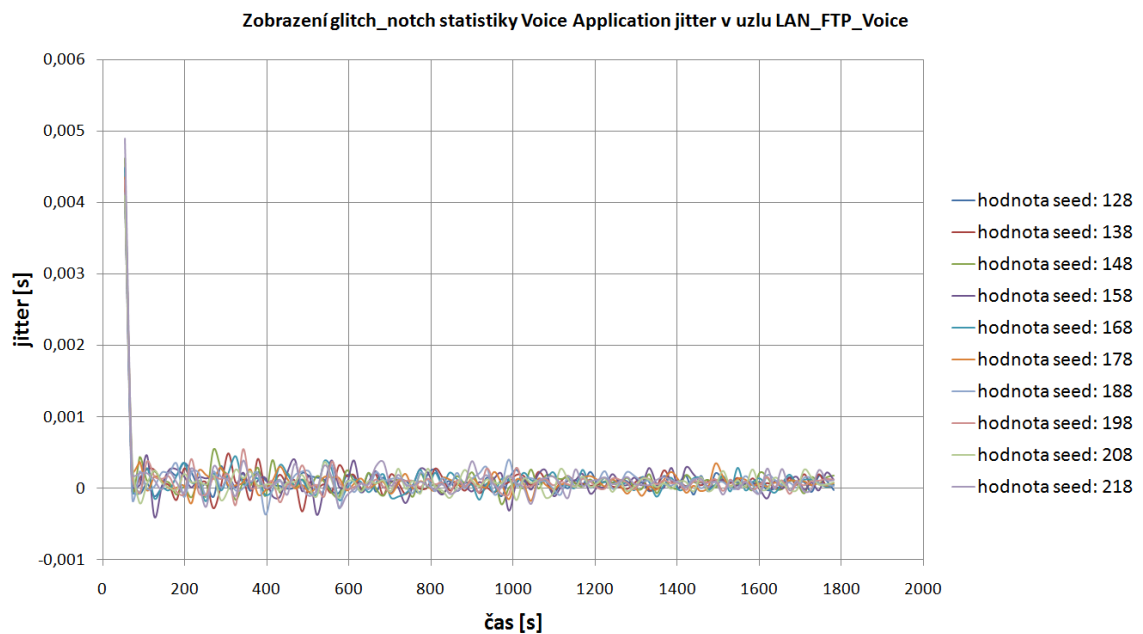
$$y_{out}[n] = y_0[n] \quad (4.16)$$

$$x_{out}[n] = x_0[n] + delay \quad (4.17)$$

Filtr pro eliminaci závad (souřadnice x) (glitch_notch) – je unární filtr, z jedné vstupní statistiky T_0 generuje druhou T_{out} , odstraněním výskytu vstupních hodnot, které mají stejnou hodnotu y k dané souřadnici x . T_{out} dostaneme zkopírováním vstupních hodnot z T_0 . Pokud se ale při zkopírování vyskytnou minimálně dvě po sobě jdoucí hodnoty se stejnou souřadnicí x , kromě poslední hodnoty, všechny zbylé jsou zahozeny a ta poslední je zkopírována do T_{out} . Pak bude výstup již bez závad [7]. Ukázku viz Obr. 4.20.



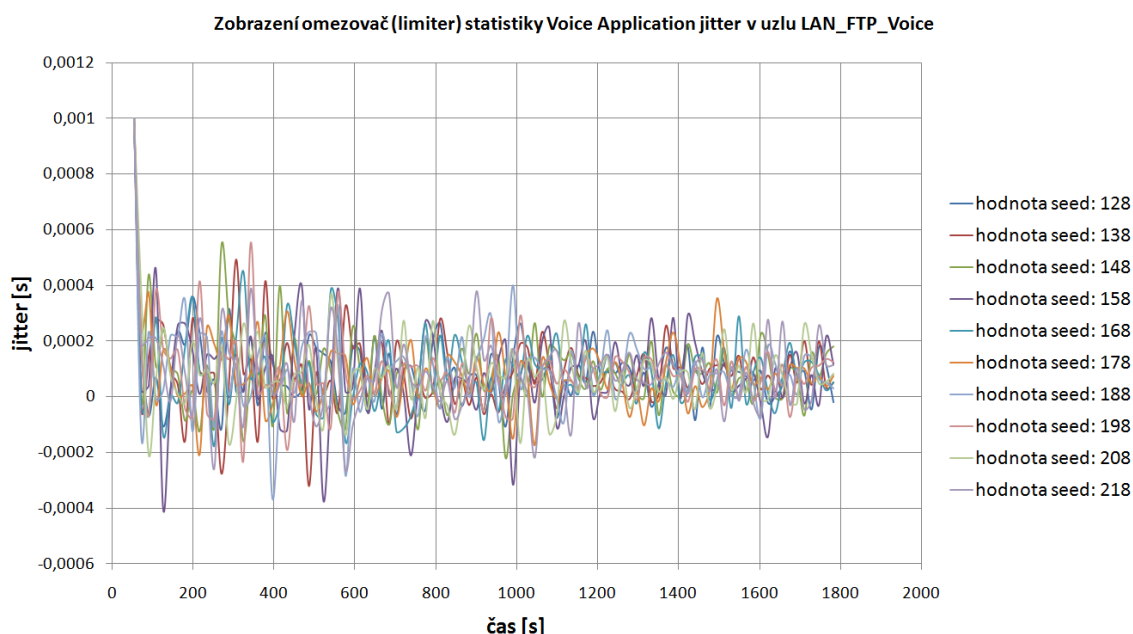
Obr. 4.19: Statistika jitter v uzlu LAN_FTP_Voice, zobrazení typu delay_element



Obr. 4.20: Statistika jitter v uzlu LAN_FTP_Voice, zobrazení typu glitch_notch

Filtr omezovač (limiter) – je unární filtr, z jedné vstupní statistiky T_0 generuje druhou T_{out} , která je kopie T_0 s tím, že hodnoty jsou omezeny v určitém rozsahu (vertikální směr). Spodní a vrchní hranice jsou parametry filtru zvané „min_val“ a „max_val“. Při zkopírování dojde ke změně hodnot, které neodpovídají danému intervalu, hodnoty vyšší než max_val jsou změněny na úroveň max_val a hodnoty menší než min_val jsou zvýšeny na úroveň min_val [7]. Ukázku viz Obr. 4.21. Pracuje podle rovnice:

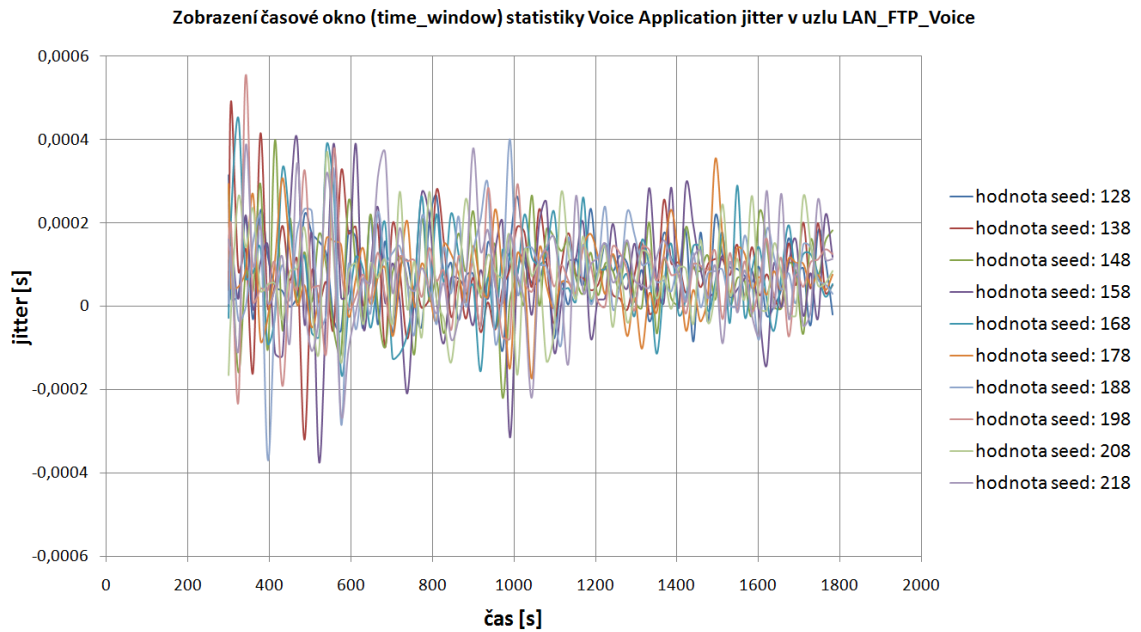
$$y_{out}[n] = \min(\maxval, \max(\minval, y_0[n])) \quad (4.18)$$



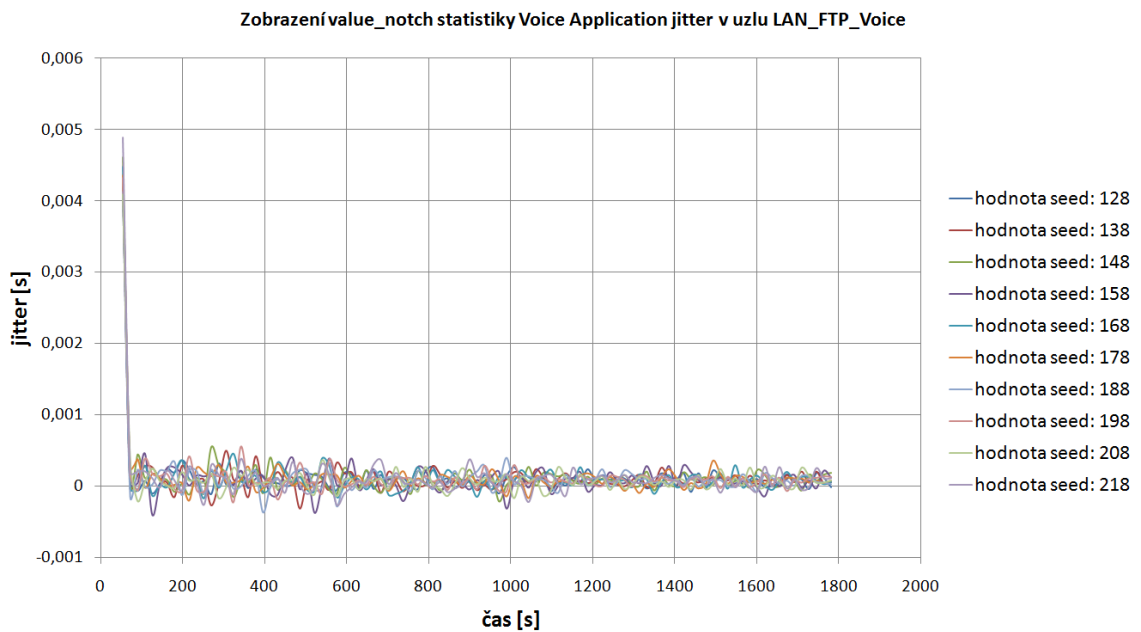
Obr. 4.21: Statistika jitter v uzlu LAN_FTP_Voice, typ limiter (max_val = 0,001)

Filtr časové okno (time_window) – je unární filtr, z jedné vstupní statistiky T_0 generuje druhou T_{out} , která je kopie T_0 s tím, že všechny hodnoty souřadnice x , které leží mimo určitý rozsah (horizontální směr), jsou zahazeny. Rozsah je dán spodní a vrchní hranicí zvané „min_time“ a „max_time“ a jsou to parametry filtru. Ukázku viz Obr. 4.22

Filtr odstranění závad (souřadnice y)(value_notch) – je unární filtr, z jedné vstupní statistiky T_0 generuje druhou T_{out} . Výstupní statistika vzniká odstraněním „přibližně stejných“ hodnot x , které patří k dané souřadnici y . Přibližná hodnota je dána toleranční hodnotou zvanou tol (základní hodnotou je 10^{-9}). Když T_0 je větší než $x - tol$ a zároveň menší než $x + tol$, pak je hodnota odstraněna, jinak je zkopírována do výstupní statistiky T_{out} . [7]. Ukázku viz Obr. 4.23.



Obr. 4.22: Statistika jitter v uzlu LAN_FTP_Voice, typ time_window (min_val = 300)



Obr. 4.23: Statistika jitter v uzlu LAN_FTP_Voice, zobrazení typu value_notch

5 NÁVRH ZOBRAZENÍ ZÁKLADNÍCH STATISTIK

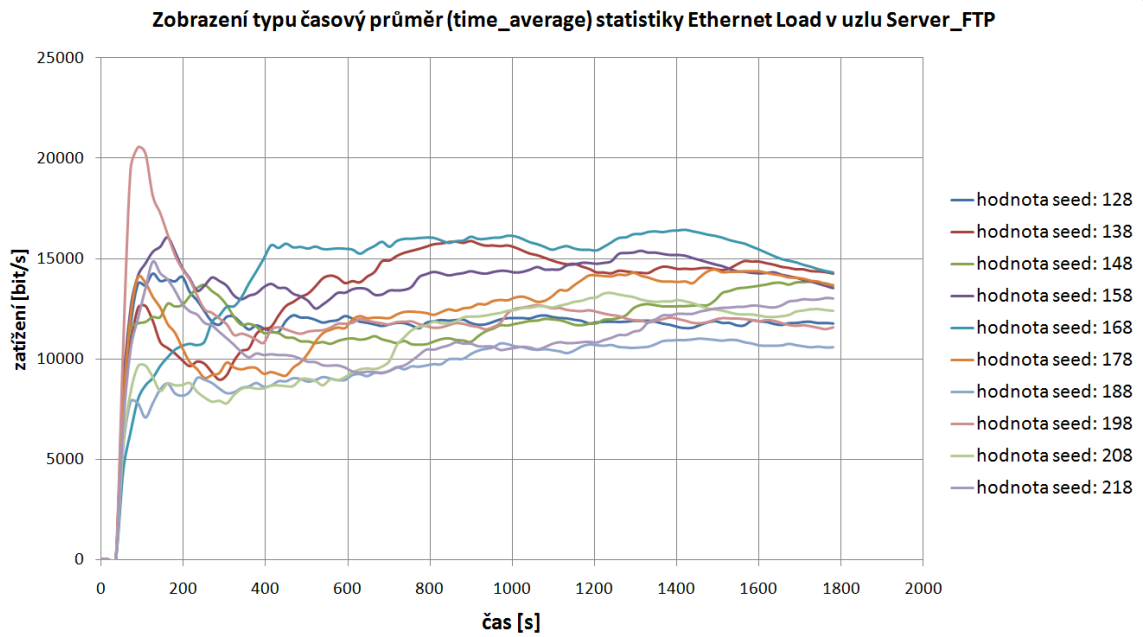
Zobrazení statistik hodně závisí na zájmu osoby, která zkoumá danou síť. Když centrem pozornosti jsou hodnoty v charakteristice s nejvyšší četností, třeba kde je síť nejvíce využita, nebo jaká hodnota se vyskytuje v průběhu nejčastěji, pak se volí některá ze zobrazení z histogramů a pravděpodobnostních profilů (kapitola 4.1). V případě, že je zájem o konkrétní hodnoty nebo o určitou část charakteristiky, volba padne na aritmetické filtry (kapitola 4.2.1) nebo na různé filtry (kapitola 4.2.3). Pomocí statistických filtrů (kapitola 4.2.2) se dají výsledné grafy vyhladit, zrovnoměnit pro případ, kdy se testuje např. funkčnost sítě bez nutnosti přesných hodnot.

Zobrazení typu průměr (average), časový průměr (time_average) (viz Obr. 5.1) a pohyblivý průměr (moving_average) se dá použít pro zobrazení statistik zpoždění (Delay), časových odezev (Response Time) a zatížení (Load). V případě, že tyto typy zobrazení neposkytnou dostatečnou informaci – je zájem o maximální hodnotu, minimální hodnotu, nebo o určitou část statistiky – je lepší použít zobrazení jako převrácená hodnota (reciprocal), ziskový filtr (gain), časové okno (time_window).

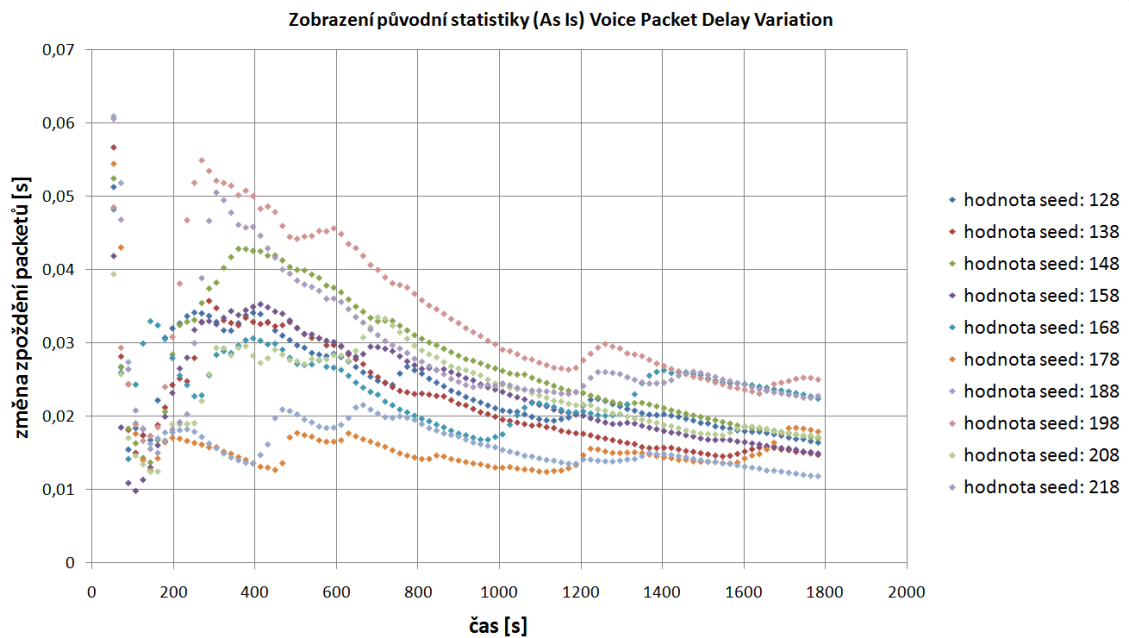
Pro statistiku jako je proměnlivost zpoždění (Jitter) nebo změna zpoždění paketů (Packet Delay Variation) jsou vhodnější zobrazení původní statistiky (As Is) (viz Obr. 5.2) nebo použití filtru eliminace závad (glitch_notch viz Obr. 5.3, value_notch). V případě použití zobrazení průměr (average) na statistiku jitter ohledně vytvořeného scénáře dochází ke zkreslení na začátku charakteristiky. Zkreslení je způsobeno tím, že hodnoty doby spuštění jednotlivých služeb v měřeném modelu byly nastaveny na konstantní, t.j. všechny služby se spustí ve stejný čas. Následkem je, že zmíněné statistiky mají na začátku velký skok a ovlivňuje to další průběh charakteristiky. Zobrazení typu omezovač (limiter), časové okno (time_window), a případně logaritmus filtr (logarithm), jsou dobře použitelné právě v takových případech.

Zobrazení původní statistiky (As Is) a zobrazení typu eliminace závad (glitch_notch) případně zobrazení pohyblivý průměr (moving_average) je použitelné i při statistice využití linky (utilization) a propustnosti (throughput) (viz Obr. 5.4). Pro více průběhů ve stejném grafu, ale s odlišnými parametry, je vhodným výběrem zobrazení průměr (average), protože vyhlazuje kolísání grafů, jednotlivé charakteristiky se pak dají od sebe lépe rozlišit.

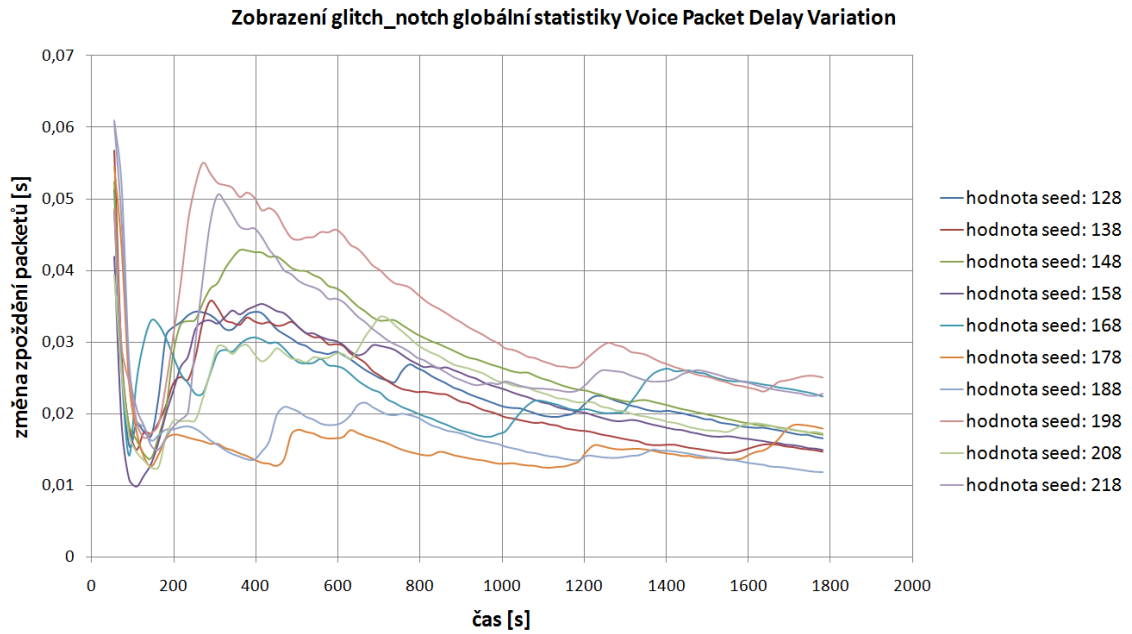
Některé typy zobrazení mají širokou škálu použitelnosti, jako např.: průměr (average), časový průměr (time_average), zobrazení původní statistiky (AsIs), eliminace závad (glitch_notch). Další typy jsou méně používané, mají konkrétnější využitelnost, jako jsou ziskový filtr (gain), násobící filtr (multiplier), derivační filtr (differentiator), exponenciální filtr (exponentiator) a jiné. Z důvodu omezeného rozsahu práce není možné graficky ukázat všechny typy filtrů a zobrazení, proto byly vybrány jen ty nejpoužívanější.



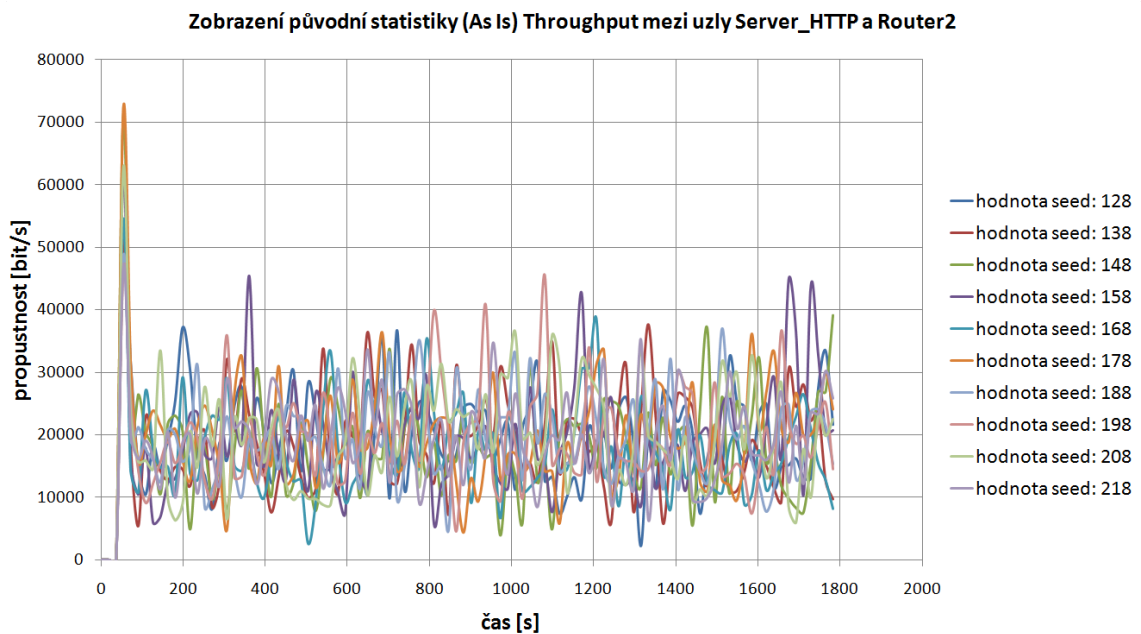
Obr. 5.1: Statistika Ethernet Load v uzlu Server_FTP, zobrazení typu time_average



Obr. 5.2: Globální statistika Voice Packet Delay Variation, zobrazení typu As Is



Obr. 5.3: Globální statistika Voice Packet Delay Variation, zobrazení typu glitch_notch



Obr. 5.4: Statistika throughput mezi uzly Server_HTTP a Router2, typ As Is

6 STANOVENÍ POTŘEBNÉHO POČTU BĚHŮ SIMULACE PRO VĚROHODNÉ VÝSLEDKY

Vytvořený scénář byl duplikován a linky mezi uzly Router1, Router2 a Router3 byly změněny z PPP_DS1 na 10BaseT a provoz na pozadí nastaven podle následující tabulky viz Tab. 6.1.

Tab. 6.1: Provoz na pozadí mezi uzly Router1→Router2 a Router2→Router3

Čas (s)	Provoz na pozadí (bit)
0	600000
600	1200000
1200	1800000

Po nastavení scénáře byly vybrány sledované statistiky viz Tab. 6.2 a nastaven počet běhů simulace pomocí seed hodnot viz Tab. 6.3

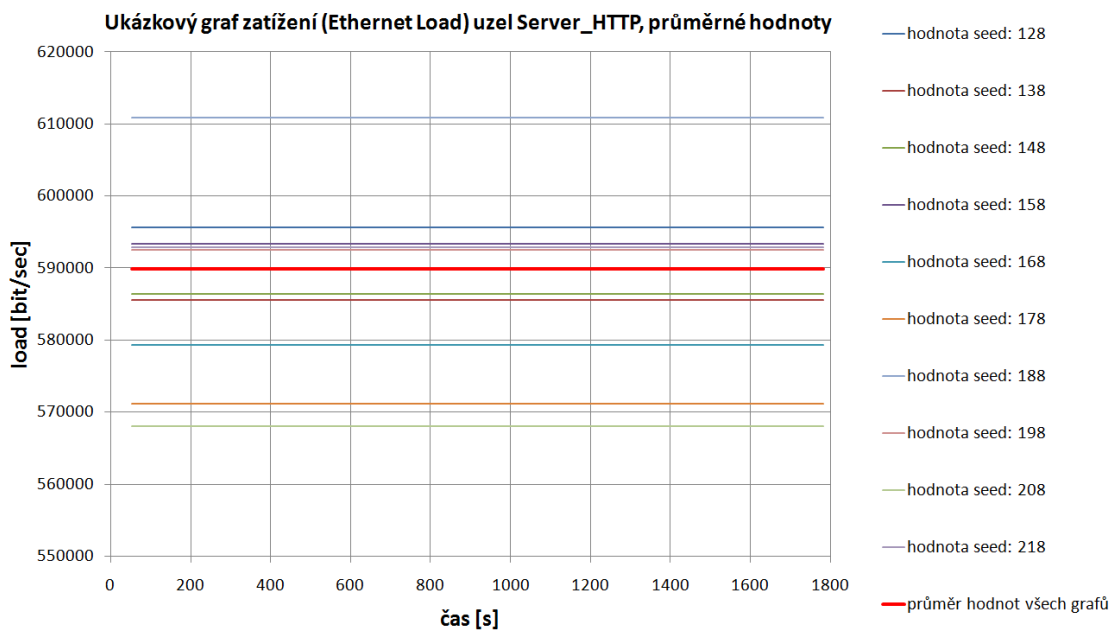
Tab. 6.2: Vybrané statistiky

Global Statistic	Ethernet	Delay (sec)
Node Statistic	Ethernet	Delay (sec)
		Load (bit)
		Load (bit/sec)
Link Statistics	point-to-point	throughput (bit/sec)->
		throughput (bit/sec)<-
		utilization ->
		utilization <-

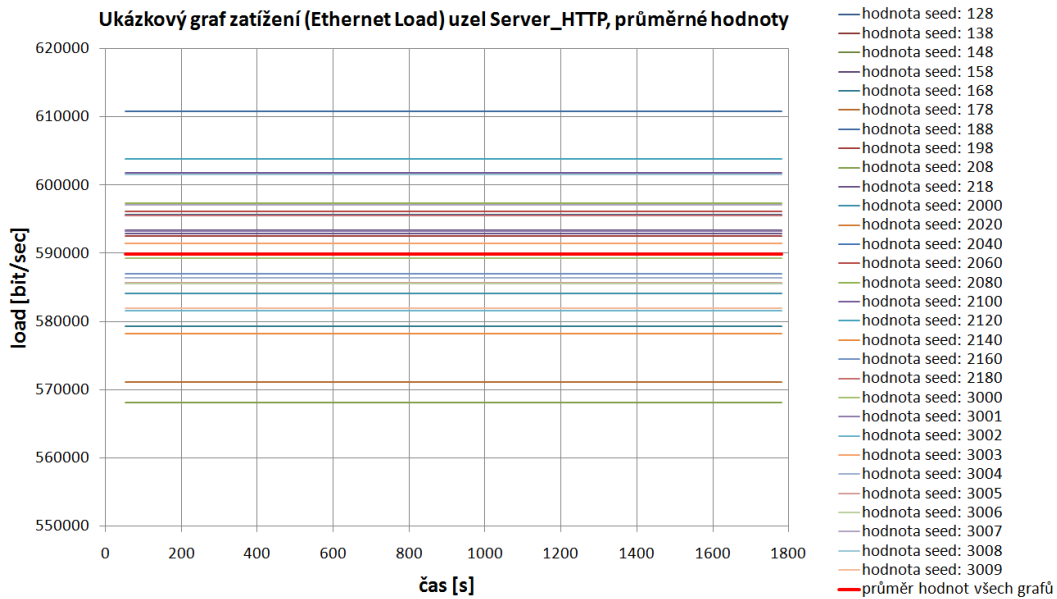
Hodnoty seed byly vybrány z různých rozsahů, aby bylo vidět, že přesné hodnoty na věrohodnost výsledků nemají značný vliv. Pro stanovení věrohodnosti hraje hlavní roli počet běhů simulace. Na grafech Obr. 6.1 a Obr. 6.2 je ukázán rozdíl mezi 10 běhy simulace a 30 běhy simulace. (Z důvodu přehlednosti na zmíněných obrazech jsou průběhy zprůměrovány. Popis postupu je uveden v následujícím textu.)

Tab. 6.3: Počet běhu simulace, nastavené hodnoty seed

Číslo běhu	Hodnota seed	Číslo běhu	Hodnota seed	Číslo běhu	Hodnota seed
1	128	11	2000	21	3000
2	138	12	2020	22	3001
3	148	13	2040	23	3002
4	158	14	2060	24	3003
5	168	15	2080	25	3004
6	178	16	2100	26	3005
7	188	17	2120	27	3006
8	198	18	2140	28	3007
9	208	19	2160	29	3008
10	218	20	2180	30	3009



Obr. 6.1: Graf zatížení v uzlu Server_HTTP zobrazení průměrných hodnot (10 průběhů)



Obr. 6.2: Graf zatížení v uzlu Server_HTTP zobrazení průměrných hodnot (30 průběhů)

6.1 Popis použité analýzy

V další části bude popsán postup analýzy v pěti krocích.

Potřebné údaje k provedení analýzy

Aby bylo možné analyzovat výsledky, je zapotřebí exportovat výstupní data z OM. Dále byly použity výpočty popsané v kapitole 2.2.2 tj.:

Aritmetický průměr:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (6.1)$$

je součet znaků x , děleno jejich počtem n .

Rozsah:

$$d = x_{\max} - x_{\min} \quad (6.2)$$

Je rozdíl mezi největší (x_{\max}) a nejmenší (x_{\min}) hodnotou.

6.1.1 Krok č.1

V prvním kroku bylo provedeno průměrování jednotlivých průběhů statistiky tj. průběhů různými hodnotami seed. Při výpočtu byly vynechány počáteční hodnoty jednotlivých charakteristik, protože tyto hodnoty byly ovlivněny náběhem systému. Níže je ukázkový výpočet průměrné hodnoty průběhu (hodnota seed = 188).

Ukázkový výpočet:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{\text{Poř. číslo}} \sum_{i=1}^{\text{Poř. číslo}} \text{Hodnota vzorku}_i = \frac{1}{97} \cdot 59251229,33 =$$

$$= 610837,4158 \text{ bit/sec} \quad (6.3)$$

Poř. číslo a Hodnota vzorku – jsou hodnoty uvedené v Tab.6.4

Průměrná hodnota průběhu (hodnota seed = 188) je 610837,4158 bit/sec. Podobně byly provedeny výpočty pro všechny průběhy s hodnotami seed uvedené v Tab. 6.3.

6.1.2 Krok č.2

Na Obr. 6.1 a Obr. 6.2 je vyznačena červenou barvou střední hodnota vypočtená z průměrných hodnot všech průběhů. Při výpočtu byl použit vztah 6.1, kde hodnoty x byly průměrné hodnoty průběhu a hodnota n byl počet těch průběhů tj. 30. Na grafech (Obr. 6.1 a Obr. 6.2) je vidět, že v případě většího počtu průběhů, je graf hustší kolem střední hodnoty.

Tab. 6.4: Hodnoty průběhu (seed = 188) z exportovaných dat z OM, graf zatížení (Ethernet Load)

Poř. číslo	Čas (s)	Hodnota vzorku (bit/sec)	Poř. číslo	Čas (s)	Hodnota vzorku (bit/sec)
1	54	483495.5556	50	936	590581.3333
2	72	763031.1111	51	954	657716.8889
3	90	666297.3333	52	972	543501.3333
4	108	578062.2222	53	990	911161.7778
5	126	377784.8889	54	1008	592363.1111
6	144	560220.8889	55	1026	652781.7778
7	162	670025.7778	56	1044	715534.2222
8	180	569996.4444	57	1062	601626.6667
9	198	706977.7778	58	1080	508542.6667
10	216	557835.5556	59	1098	581271.1111
11	234	694617.7778	60	1116	392133.3333
12	252	521811.5556	61	1134	816090.2222
13	270	646869.7778	62	1152	419867.1111
14	288	653274.2222	63	1170	687544.4444
15	306	537034.6667	64	1188	414430.6667
16	324	415349.7778	65	1206	672436.8889
17	342	658154.6667	66	1224	766691.5556

Poř. číslo	Čas (s)	Hodnota vzorku (bit/sec)	Poř. číslo	Čas (s)	Hodnota vzorku (bit/sec)
18	360	672187.1111	67	1242	662599.1111
19	378	476703.5556	68	1260	617712.4444
20	396	725768.4444	69	1278	516908.4444
21	414	664719.5556	70	1296	740528.4444
22	432	379737.3333	71	1314	487952.8889
23	450	428431.1111	72	1332	736558.2222
24	468	595037.7778	73	1350	655295.1111
25	486	592165.3333	74	1368	700982.2222
26	504	678003.1111	75	1386	626634.6667
27	522	378532.4444	76	1404	580403.1111
28	540	550333.7778	77	1422	569603.5556
29	558	668391.5556	78	1440	763798.2222
30	576	535878.2222	79	1458	528171.5556
31	594	693466.6667	80	1476	696799.5556
32	612	598031.5556	81	1494	489272
33	630	624050.6667	82	1512	673660.8889
34	648	637104.4444	83	1530	665624
35	666	445676.8889	84	1548	460924
36	684	566094.6667	85	1566	699748.8889
37	702	703467.1111	86	1584	803039.5556
38	720	560743.5556	87	1602	625084.8889
39	738	506850.2222	88	1620	641668.4444
40	756	683981.3333	89	1638	599474.6667
41	774	717285.7778	90	1656	639139.1111
42	792	618512.8889	91	1674	668655.1111
43	810	588091.1111	92	1692	519521.7778
44	828	468154.6667	93	1710	751159.1111
45	846	663402.6667	94	1728	594529.3333
46	864	403339.1111	95	1746	656920.4444
47	882	820511.5556	96	1764	796497.7778
48	900	598016.8889	97	1782	566635.5556
49	918	687940			

6.1.3 Krok č.3 – Výpočet maximální odchylky

Maximální odchylku v případě této analýzy je třeba chápat jako rozdíl průběhů s největší/nejmenší průměrnou hodnotou od střední hodnoty vypočtené z průměrných hodnot všech průběhů. Pro zjištění maximální a minimální hodnoty ze všech hodnot byly použity funkce MAX() a MIN() v programu Microsoft Office EXCEL.

6.1.4 Krok č.4

V tomto kroku je popis určení rozsahu, aby v dalších částech bylo možné použít maximální možnou odchylku (100 %) od střední hodnoty vypočtené z průměrných hodnot všech průběhů. Výpočet rozsahu byl proveden podle vztahu (6.2).

Ukázkový výpočet (použité hodnoty byly zvoleny ze statistiky s 30 průběhy)

$$x_{\max} = 610837,4158 \text{ bit/sec}$$

$$x_{\min} = 568059,7388 \text{ bit/sec}$$

kde x_{\max} je hodnota průběhu s největší průměrnou hodnotou a x_{\min} je hodnota průběhů s nejmenší průměrnou hodnotou.

Výpočet rozsahu

$$d = x_{\max} - x_{\min} = 610837,4158 - 568059,7388 = 42777,677 \text{ bit/sec} \quad (6.4)$$

Tato hodnota ($d = 42777,6770 \text{ bit/sec}$) byla považována za stoprocentní odchylku. Pro analýzu statistik s různým počtem průběhů bylo třeba hodnoty přepočítat.

6.1.5 Krok č.5

Jelikož byl zkoumán symetrický rozsah (vzhledem k střední hodnotě), byly hodnoty vyděleny dvěma a následně přičteny k střední hodnotě a odečteny od střední hodnoty.

Ukázkový výpočet odchylek:

$$\begin{aligned} 30 \% \text{ maximální odchylky (resp. rozsahu } d) &= \text{maximální odchylka (resp. rozsah } d) \cdot 0,3 = \\ &= 42777,677 \cdot 0,3 = 12833,3031 \text{ bit/sec} \end{aligned} \quad (6.5)$$

Symetrizace rozsahu:

$$30 \text{ procent maximální odchylky} / 2 = 6416,6516 \text{ bit/sec}$$

$$\text{horní hranice } 30\% \text{ odchylky} = \text{průměrná hodnota všech průběhů} + 6416,6516 \text{ bit/sec}$$

$$\text{spodní hranice } 30\% \text{ odchylky} = \text{průměrná hodnota všech průběhů} - 6416,6516 \text{ bit/sec}$$

Stejný výpočet se provádí pro další rozsahy (35, 40, . . . , 90, 95 procent rozsahu d). Do tabulky Tab. 6.5 na základě těchto výpočtů byly dopsány procentuální hodnoty průběhů dopadajících do zmíněných intervalů (jaká část ze všech průběhů dopadá do vypočteného intervalu).

6.2 Vyhodnocení výsledků shrnutých v tabulce Tab. 6.5

Tabulka obsahuje různé barevné značení, červenou, žlutou, zelenou ve dvou odstínech.

Červeně zabarvená část reprezentuje počet běhů, které nestačí pro věrohodné výsledky (na Obr. 6.3 jsou to např. části vyznačeny černými elipsami). V případě dvou běhů je třeba si uvědomit, že jeden běh reprezentuje 50 procent z celkového množství běhů, tj. pouze jediný běh má zásadní vliv na důvěryhodnost, což může vést ke špatným úsudkům. V případě deseti běhů je situace již poměrně lepší, ale jeden běh stále reprezentuje 10 procent z celkového množství, což je stále příliš značná část na to, aby se dalo posoudit, jestli jsou výsledky věrohodné.

Žlutá barva značí počet běhů, ve kterých jeden běh reprezentuje méně než 10 procent z celkového množství, přičemž v případě 20 běhů se jedná o 5 procent. V této části na řádku „14 běhů“ je vidět, že dojde k překročení 70 procentní hranice z celkového množství průběhů (jeden běh reprezentuje 7,14 procent) již při 35 procent maximální odchylky, což by se dalo považovat za důvěryhodné, kdyby na řádcích 15, 16, 17, 18 běhů (jeden běh v každém případě reprezentuje menší procentuální hodnotu z celkového množství než u 14 běhů) nebyl opět pokles (na Obr. 6.3 jsou to části vyznačeny červenými elipsami).

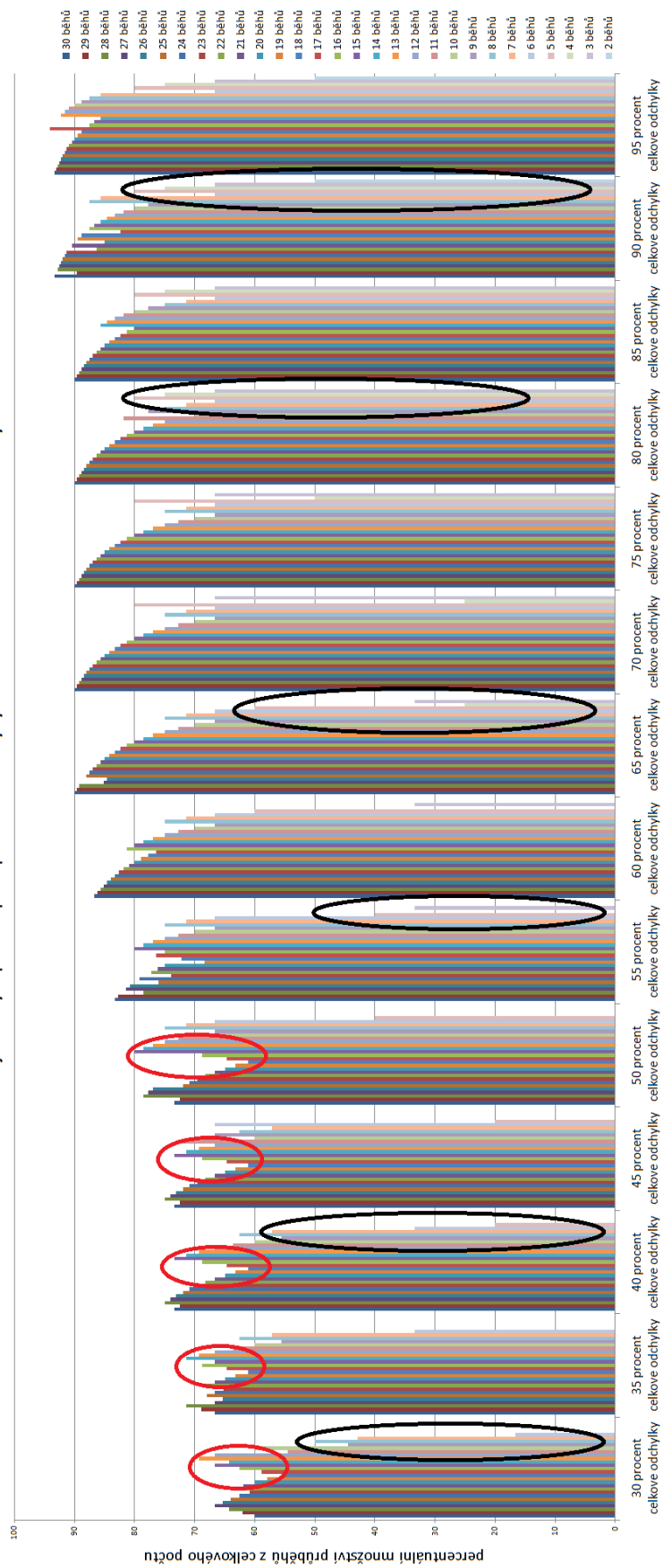
V části zabarvené zeleně jeden běh reprezentuje menší část než 5 procent z celkového množství běhů. V této části se dají výsledky považovat za dostatečně věrohodné. Z tabulky byl vyhledán bod (hodnota), kde dojde k překročení 70 procentní hranice. Dále bylo zjištěno, že v případě 24 běhů porovnáním s předchozími tj. 21, 22, 23 běhy (kde k překročení 70 procent z celkového počtu běhů dojde v místě 55 procent rozsahu d) dojde dřív, již v místě 40 procent rozsahu d . Při hodnotě 24 běhů jeden běh reprezentuje 4,17 procent z celkového množství běhů. Od této hodnoty platí, že čím víc běhů, tím věrohodnější výsledky, avšak od 27 běhů se hodnoty v tabulce (ve směru řádků) od sebe ve značné míře neliší a ani z časového hlediska není vhodné udělat více běhů. Doporučený počet běhů pro získání věrohodných výsledků tj. 24 až 27 běhů je označen jiným odstínem zelené barvy.

Na grafech níže je vidět grafická interpretace tabulky Tab. 6.5. Obr. 6.3 ukazuje veškeré hodnoty z tabulky a Obr. 6.4 výběr z tabulky.

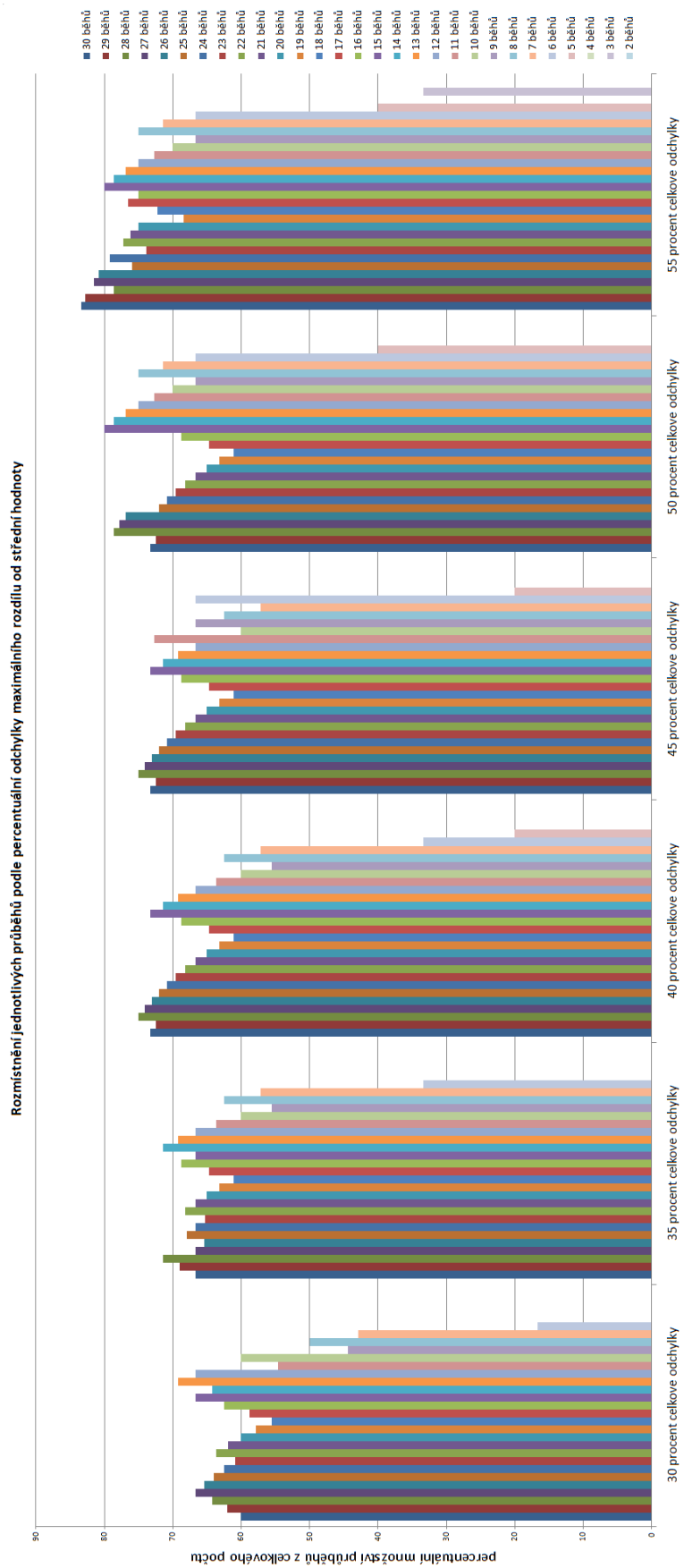
Tab. 6.5: Množství průběhu dopadajících do určitých intervalů

	30 % z celkové odchylky	35 % z celkové odchylky	40 % z celkové odchylky	45 % z celkové odchylky	50 % z celkové odchylky	55 % z celkové odchylky	60 % z celkové odchylky	65 % z celkové odchylky	70 % z celkové odchylky	75 % z celkové odchylky	80 % z celkové odchylky	85 % z celkové odchylky	90 % z celkové odchylky	95 % z celkové odchylky
30 běhů	60.00	66.6667	73.3333	73.3333	73.3333	83.3333	86.6667	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	93.3333	93.3333
29 běhů	62.069	68.9655	72.4138	72.4138	72.4138	82.7586	86.2069	89.6552	89.6552	89.6552	89.6552	89.6552	89.6552	93.1035
28 běhů	64.2857	71.4286	75.00	75.00	78.5714	78.5714	85.7143	89.2857	89.2857	89.2857	89.2857	89.2857	92.8571	92.8571
27 běhů	66.6667	66.6667	74.0741	74.0741	77.7778	81.4815	85.1852	85.1852	88.8889	88.8889	88.8889	88.8889	92.5926	92.5926
26 běhů	65.3846	65.3846	73.0769	73.0769	76.9231	80.7692	84.6154	84.6154	88.4615	88.4615	88.4615	88.4615	92.3077	92.3077
25 běhů	64.00	68.00	72.00	72.00	72.00	76.00	84.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	92.00	92.00
24 běhů	62.50	66.6667	70.8333	70.8333	70.8333	79.1667	83.3333	87.50	87.50	87.50	87.50	87.50	91.6667	91.6667
23 běhů	60.8696	65.2174	69.5652	69.5652	69.5652	73.913	82.6087	86.9565	86.9565	86.9565	86.9565	86.9565	91.3044	91.3044
22 běhů	63.6364	68.1818	68.1818	68.1818	68.1818	77.2727	81.8182	86.3636	86.3636	86.3636	86.3636	86.3636	86.3636	90.9091
21 běhů	61.9048	66.6667	66.6667	66.6667	66.6667	76.1905	80.9524	85.7143	85.7143	85.7143	85.7143	85.7143	90.4762	90.4762
20 běhů	60.00	65.00	65.00	65.00	65.00	75.00	80.00	85.00	85.00	85.00	85.00	85.00	85.00	90.00
19 běhů	57.8947	63.1579	63.1579	63.1579	63.1579	68.4211	78.9474	84.2105	84.2105	84.2105	84.2105	84.2105	89.4737	89.4737
18 běhů	55.5556	61.1111	61.1111	61.1111	61.1111	72.2222	77.7778	83.3333	83.3333	83.3333	83.3333	83.3333	88.8889	88.8889
17 běhů	58.8235	64.7059	64.7059	64.7059	64.7059	76.4706	76.4706	82.3529	82.3529	82.3529	82.3529	82.3529	82.3529	94.1177
16 běhů	62.50	68.75	68.75	68.75	68.75	75.00	81.25	81.25	81.25	81.25	81.25	81.25	87.50	87.50
15 běhů	66.6667	66.6667	73.3333	73.3333	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	86.6667	86.6667
14 běhů	64.2857	71.4286	71.4286	71.4286	78.5714	78.5714	78.5714	78.5714	78.5714	78.5714	78.5714	85.7143	85.7143	85.7143
13 běhů	69.2308	69.2308	69.2308	69.2308	76.9231	76.9231	76.9231	76.9231	76.9231	76.9231	76.9231	84.6154	84.6154	92.3077
12 běhů	66.6667	66.6667	66.6667	66.6667	75.00	75.00	75.00	75.00	75.00	75.00	75.00	83.3333	83.3333	91.6667
11 běhů	54.5455	63.6364	63.6364	72.7273	72.7273	72.7273	72.7273	72.7273	72.7273	72.7273	81.8182	81.8182	81.8182	90.9091
10 běhů	60.00	60.00	60.00	60.00	70.00	70.00	70.00	70.00	70.00	70.00	70.00	80.00	80.00	90.00
9 běhů	44.4444	55.5556	55.5556	66.6667	66.6667	66.6667	66.6667	66.6667	66.6667	66.6667	77.7778	77.7778	77.7778	88.8889
8 běhů	50.00	62.50	62.50	62.50	75.00	75.00	75.00	75.00	75.00	75.00	75.00	75.00	87.50	87.50
7 běhů	42.8571	57.1429	57.1429	57.1429	71.4286	71.4286	71.4286	71.4286	71.4286	71.4286	71.4286	71.4286	85.7143	85.7143
6 běhů	16.6667	33.3333	33.3333	66.6667	66.6667	66.6667	66.6667	66.6667	66.6667	66.6667	66.6667	66.6667	66.6667	66.6667
5 běhů	0.00	0.00	20.00	20.00	40.00	40.00	60.00	60.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00
4 běhů	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	25.00	25.00	50.00	75.00	75.00	75.00	75.00
3 běhů	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	33.3333	33.3333	33.3333	66.6667	66.6667	66.6667	66.6667	66.6667	66.6667
2 běhů	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	50.00	50.00

Rozmístění jednotlivých průběhů podle percentuální odchylky maximálního rozdílu od střední hodnoty



Obr. 6.3: Rozmístění průběhů podle odchylky od střední hodnoty

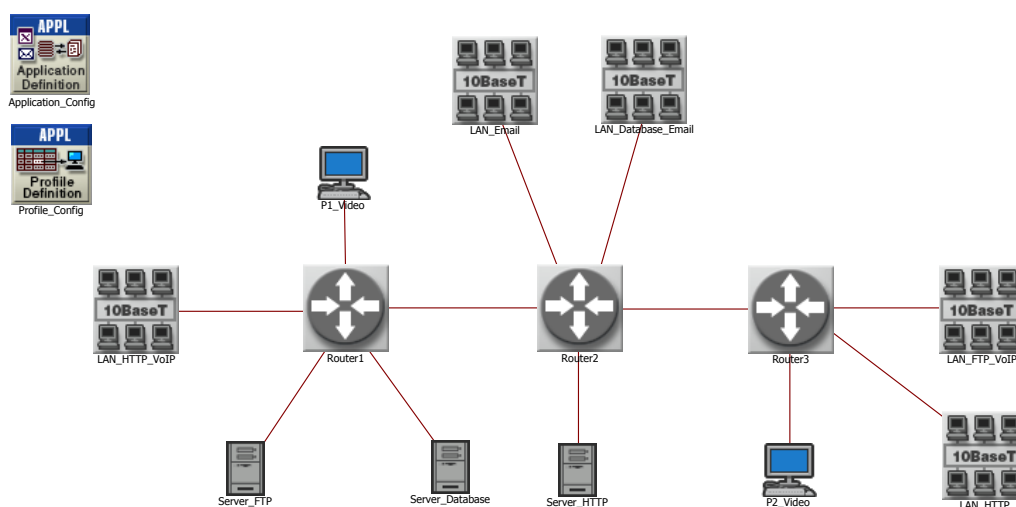


Obr. 6.4: Rozmístění průběhů podle odchylky od střední hodnoty (zvětšená část grafu)

7 OVĚŘENÍ VLIVU VELIKOSTI SIMULAČNÍHO SCÉNÁŘE NA DOSAŽENÉ VÝSLEDKY

7.1 Rozšíření scénáře

Vytvořený scénář byl duplikován a následně modifikován dle Obr. 7.1. Byly přidány uzly **LAN_Email**, **LAN_Database_Email**, **P1_Video**, **P2_Video**, **Server_Database** a spojeny linkou 10BaseT. Pojmenování uzlů souhlasí s tím, jaká služba byla v daném uzlu nastavena. Popis přidávaných služeb je shrnut níže.



Obr. 7.1: Rozšířený scénář

Služby byly nastaveny v **Application_Config**, viz Tab. 7.1a byly přiřazeny profily do **Profile_Config** viz Tab. 7.2 Po nastavení scénáře byly vybrány sledované statistiky, viz Tab. 7.3 a nastaven počet běhů simulace pomocí seed hodnot viz Tab. 7.4.

Tab. 7.1: Popis přidávaných služeb do rozšířeného scénáře

Typ služby	Jméno (Name)	Popis (Description)
Databáze	Database	High Load
Elektronická pošta	Email	Medium Load
Video konference	Video	Low Resolution Video

Tab. 7.2: Popis nastavení přidanych služeb v Profile_Config

Jméno profilu	Jméno aplikace	Start Time Offset (seconds)	Operation Mode	Start Time (seconds)
Database	Database	constant(5)	Simultaneous	constant(50)
Email	Email	constant(5)	Simultaneous	constant(50)
Video	Video	constant(5)	Simultaneous	constant(50)

Tab. 7.3: Vybrané statistiky

Global Statistic	Ethernet	Delay (sec)
Node Statistic	Ethernet	Delay (sec)
		Load (bit)
		Load (bit/sec)
Link Statistics	point-to-point	throughput (bit/sec)->
		throughput (bit/sec)<-
		utilization ->
		utilization <-

Tab. 7.4: Počet běhů simulace, nastavené hodnoty seed

Číslo běhu	Hodnota seed	Číslo běhu	Hodnota seed	Číslo běhu	Hodnota seed
1	500	11	1600	21	10010
2	510	12	1700	22	10011
3	520	13	1800	23	10012
4	530	14	1900	24	10013
5	540	15	2000	25	10014
6	550	16	2100	26	10015
7	560	17	2200	27	10016
8	570	18	2300	28	10017
9	580	19	2400	29	10018
10	590	20	2500	30	10019

7.2 Analýza výsledků

Analýza výsledků byla provedena podobně, jak bylo popsáno v předchozí kapitole. Byla vybrána statistika Ethernet_Delay v uzlu P1_Video a throughput (bits/sec) mezi uzly Router2 a Router1. Z důvodu nárůstu potřebného času k provedení simulace rozšířených scénářů byl nastaven maximální počet běhů na 30.

Provedené změny v scénářích:

- Byly přidány služby popsané v tabulce Tab. 7.1 a sledovaná statistika byla zatížena v uzlu Server_HTTP. Výsledky jsou v tabulce Tab. 7.5
- Byly změněny hodnoty seed podle tabulky Tab. 7.4, sledované statistiky byly Ethernet_Delay v uzlu P1_Video a throughput (bits/sec) mezi uzly Router2 a Router1. Výsledky analýzy viz Tab. 7.6 a Tab. 7.7.
- Byl změněn počet komunikujících stanic v uzlech LAN_HTTP_VoIP, LAN_HTTP, LAN_FTP_VoIP, LAN_Database_Email a LAN_Email na 10, sledované statistiky byly stejné jako v předchozím bodě. Výsledky jsou v tabulce Tab. 7.8 a Tab. 7.9.
- Byla změněna doba trvání simulace (při počtu komunikujících stanic v zmíněných uzlech byl 10) na 60 min. Sledované statistiky zůstaly Ethernet_Delay v uzlu P1_Video a throughput (bits/sec) mezi uzly Router2 a Router1. Výsledky jsou v tabulce Tab. 7.10 a Tab. 7.11.
- Ve scénáři z předchozího bodu byly změněny hodnoty seed. Výsledky jsou v tabulce Tab. 7.12 a Tab. 7.13.

V předchozí kapitole bylo zkoumáno, kolik běhů je dostatečných, aby bylo možné výsledky prohlásit za věrohodné. Jako doporučený a dostatečný byl stanoven počet 24 až 27 běhů. Dále bylo určeno, že nad 20 běhů jeden běh reprezentuje změnu 5 procent a méně z celkového množství běhů. Z tohoto důvodu tato kapitola obsahuje výsledky v rozsahu od 20 do 30 běhů. Výsledky byly shrnuty do tabulky Tab. 7.6 a Tab. 7.7. V tabulce Tab. 7.5 jsou výsledky analýzy původního scénáře z důvodu možnosti porovnání.

V tabulkách Tab. 7.5 až Tab. 7.13 jsou vyznačeny přibližně totožné hodnoty. Je vidět, že v případě rozšířených scénářů byly dosaženy hodnoty v rozsahu o 5 až 20 procent větším než v případě původního scénáře. To znamená, že průběhy v rozšířených scénářích byly v některých případech rozloženy víc rovnoměrně. Dále je také vidět, že v případě většího počtu běhů (více seed hodnot v jedné simulaci) jsou vyznačené hodnoty ve sloupcích zarovnané, naopak při menších počtech jsou víc rozházené. Tato skutečnost potvrzuje předpoklad, že větší počet běhů dá věrohodnější výsledky.

V některých tabulkách jsou vyznačené červenou barvou určité položky. Je to z důvodu, že mezi vyznačenými položkami a položkami vedle (směrem doprava) je značný rozdíl tj. je tam více průběhů (3 průběhy a víc) hodně blízko k sobě. Tento jev může nastat buď v případě, že náhodné posloupnosti generované na základě hodnoty seed jsou hodně blízko k sobě, nebo když zvolený krok (v tomto případě 5 procent mezi odchylkami) je příliš velký.

Lze tedy vyslovit, že přidání dalších služeb, rozšíření scénáře, změna doby trvání simulace a změna seed hodnot působilo změny ve výsledcích analýzy. Tyto výsledky byly shrnuty celkem do osmi tabulek. Ve dvou tabulkách (Tab. 7.8 a Tab. 7.11) je vidět, že vyznačené hodnoty dosahují 60 až 65 procent z celkového rozsahu. V případě tabulky Tab. 7.8 porovnáním s tabulkou Tab. 7.6 je vidět, že rozdíl byl způsoben změnou v počtu komunikujících stanic v určitých uzlech. Druhou tabulku (Tab. 7.11) je možné porovnat s tabulkami Tab. 7.9 a Tab. 7.13. V prvním případě (Tab. 7.9) byl rozdíl mezi scénáři doba trvání simulace. Způsobená změna byla 5 až 10 procent z celkové odchylky. V druhém případě (Tab. 7.13) byly v scénářích použité rozdílné hodnoty seed a byly dosaženy o 15 až 20 procent lepší výsledky. Tento případ podporuje tvrzení z kapitoly 2.4, že se dá hodnoty seed tak nevhodně volit, aby měly záporný vliv na věrohodnost výsledků.

Z osmi zkoumaných a zdokumentovaných rozšířených a změněných scénářů v šesti případech nebyly změny dostatečně značné, aby ohrozily věrohodnost výsledků. Rozložení běhů podle tabulek bylo hustší blízko průměrné hodnoty všech běhů, při 30 procent z celkové odchylky byly dosaženy hodnoty od 40 až do 60 procent ze všech průběhů. V zbylých dvou případech byly tyto hodnoty ve stejném místě (při 30 procent z celkové odchylky) jenom kolem 30 až do 40 procent. V takových případech již může být věrohodnost výsledků ohrožena a je doporučeno provést simulaci s větším počtem průběhů.

Tab. 7.5: Výsledky analýzy původního scénáře (statistika zatížení v uzlu Server_HTTP)

	30 % z celkové odchylky	35 % z celkové odchylky	40 % z celkové odchylky	45 % z celkové odchylky	50 % z celkové odchylky	55 % z celkové odchylky	60 % z celkové odchylky
30 běhů	60.00	66.6667	73.3333	73.3333	73.3333	83.3333	86.6667
29 běhů	62.069	68.9655	72.4138	72.4138	72.4138	82.7586	86.2069
28 běhů	64.2857	71.4286	75.00	75.00	78.5714	78.5714	85.7143
27 běhů	66.6667	66.6667	74.0741	74.0741	77.7778	81.4815	85.1852
26 běhů	65.3846	65.3846	73.0769	73.0769	76.9231	80.7692	84.6154
25 běhů	64.00	68.00	72.00	72.00	72.00	76.00	84.00
24 běhů	62.50	66.6667	70.8333	70.8333	70.8333	79.1667	83.3333
23 běhů	60.8696	65.2174	69.5652	69.5652	69.5652	73.913	82.6087
22 běhů	63.6364	68.1818	68.1818	68.1818	68.1818	77.2727	81.8182
21 běhů	61.9048	66.6667	66.6667	66.6667	66.6667	76.1905	80.9524
20 běhů	60.00	65.00	65.00	65.00	65.00	75.00	80.00
	65 % z celkové odchylky	70 % z celkové odchylky	75 % z celkové odchylky	80 % z celkové odchylky	85 % z celkové odchylky	90 % z celkové odchylky	95 % z celkové odchylky
30 běhů	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	93.3333	93.3333
29 běhů	89.6552	89.6552	89.6552	89.6552	89.6552	89.6552	93.1035
28 běhů	89.2857	89.2857	89.2857	89.2857	89.2857	92.8571	92.8571
27 běhů	85.1852	88.8889	88.8889	88.8889	88.8889	92.5926	92.5926
26 běhů	84.6154	88.4615	88.4615	88.4615	88.4615	92.3077	92.3077
25 běhů	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	92.00	92.00
24 běhů	87.50	87.50	87.50	87.50	87.50	91.6667	91.6667
23 běhů	86.9565	86.9565	86.9565	86.9565	86.9565	91.3044	91.3044
22 běhů	86.3636	86.3636	86.3636	86.3636	86.3636	86.3636	90.9091
21 běhů	85.7143	85.7143	85.7143	85.7143	85.7143	90.4762	90.4762
20 běhů	85.00	85.00	85.00	85.00	85.00	85.00	90.00

Tab. 7.6: Výsledky analýzy rozšířeného scénáře (statistika zpoždění, Ethernet_Delay v uzlu P1_Video)

	30 % z celkové odchylky	35 % z celkové odchylky	40 % z celkové odchylky	45 % z celkové odchylky	50 % z celkové odchylky	55 % z celkové odchylky	60 % z celkové odchylky
30 běhů	50.00	53.3333	56.6667	63.3333	63.3333	73.3333	73.3333
29 běhů	51.7241	55.1724	55.1724	62.069	68.9655	72.4138	72.4138
28 běhů	53.5714	53.5714	60.7143	64.2857	64.2857	75.00	75.00
27 běhů	51.8519	51.8519	59.2593	62.963	62.963	74.0741	74.0741
26 běhů	53.8462	53.8462	57.6923	57.6923	65.3846	65.3846	73.0769
25 běhů	52.00	60.00	60.00	64.00	64.00	68.00	80.00
24 běhů	54.1667	58.3333	58.3333	62.50	62.50	66.6667	75.00
23 běhů	56.5217	56.5217	60.8696	60.8696	69.5652	69.5652	78.2609
22 běhů	59.0909	63.6364	63.6364	68.1818	68.1818	72.7273	81.8182
21 běhů	57.1429	61.9048	61.9048	66.6667	66.6667	76.1905	80.9524
20 běhů	65.00	65.00	70.00	70.00	80.00	80.00	85.00
	65 % z celkové odchylky	70 % z celkové odchylky	75 % z celkové odchylky	80 % z celkové odchylky	85 % z celkové odchylky	90 % z celkové odchylky	95 % z celkové odchylky
30 běhů	73.3333	83.3333	93.3333	93.3333	93.3333	93.3333	93.3333
29 běhů	75.8621	86.2069	93.1035	93.1035	93.1035	93.1035	93.1035
28 běhů	82.1429	89.2857	89.2857	92.8571	92.8571	92.8571	92.8571
27 běhů	81.4815	88.8889	88.8889	92.5926	92.5926	92.5926	92.5926
26 běhů	80.7692	84.6154	88.4615	92.3077	92.3077	92.3077	92.3077
25 běhů	84.00	84.00	84.00	88.00	92.00	92.00	96.00
24 běhů	83.3333	83.3333	83.3333	87.50	87.50	95.8333	95.8333
23 běhů	82.6087	82.6087	86.9565	86.9565	91.3044	91.3044	95.6522
22 běhů	81.8182	81.8182	81.8182	86.3636	86.3636	90.9091	95.4546
21 běhů	80.9524	80.9524	80.9524	85.7143	85.7143	95.2381	95.2381
20 běhů	85.00	85.00	85.00	85.00	90.00	90.00	90.00

Tab. 7.7: Výsledky analýzy rozšířeného scénáře (statistika propustnosti mezi uzly Router2 a Router1)

	30 % z celkové odchylky	35 % z celkové odchylky	40 % z celkové odchylky	45 % z celkové odchylky	50 % z celkové odchylky	55 % z celkové odchylky	60 % z celkové odchylky
30 běhů	60.00	60.00	66.6667	66.6667	66.6667	70.00	80.00
29 běhů	58.6207	58.6207	65.5172	65.5172	65.5172	68.9655	79.3103
28 běhů	60.7143	67.8571	67.8571	67.8571	67.8571	71.4286	75.00
27 běhů	59.2593	66.6667	66.6667	66.6667	66.6667	70.3704	74.0741
26 běhů	57.6923	65.3846	65.3846	65.3846	65.3846	69.2308	73.0769
25 běhů	56.00	68.00	68.00	68.00	72.00	72.00	76.00
24 běhů	58.3333	66.6667	66.6667	66.6667	66.6667	70.8333	75.00
23 běhů	65.2174	65.2174	69.5652	69.5652	69.5652	73.913	73.913
22 běhů	59.0909	72.7273	72.7273	72.7273	72.7273	72.7273	81.8182
21 běhů	61.9048	71.4286	71.4286	71.4286	71.4286	71.4286	76.1905
20 běhů	60.00	70.00	70.00	70.00	70.00	70.00	75.00
	65 % z celkové odchylky	70 % z celkové odchylky	75 % z celkové odchylky	80 % z celkové odchylky	85 % z celkové odchylky	90 % z celkové odchylky	95 % z celkové odchylky
30 běhů	83.3333	86.6667	86.6667	90.00	90.00	96.6667	96.6667
29 běhů	86.2069	86.2069	86.2069	89.6552	89.6552	96.5517	96.5517
28 běhů	82.1429	85.7143	85.7143	89.2857	92.8571	96.4286	96.4286
27 běhů	81.4815	85.1852	85.1852	85.1852	96.2963	96.2963	96.2963
26 běhů	80.7692	84.6154	84.6154	84.6154	96.1539	96.1539	96.1539
25 běhů	80.00	80.00	84.00	88.00	92.00	96.00	96.00
24 běhů	79.1667	79.1667	83.3333	83.3333	95.8333	95.8333	95.8333
23 běhů	78.2609	82.6087	82.6087	86.9565	86.9565	95.6522	95.6522
22 běhů	81.8182	81.8182	81.8182	81.8182	95.4546	95.4546	95.4546
21 běhů	80.9524	80.9524	80.9524	85.7143	90.4762	95.2381	95.2381
20 běhů	80.00	80.00	80.00	90.00	90.00	95.00	95.00

Tab. 7.8: Výsledky analýzy rozšířeného scénáře (statistika Ethernet_Delay v uzlu P1_Video, počet komunikujících stanic ve vybraných uzlech 10)

	30 % z celkové odchylky	35 % z celkové odchylky	40 % z celkové odchylky	45 % z celkové odchylky	50 % z celkové odchylky	55 % z celkové odchylky	60 % z celkové odchylky
30 běhů	36.6667	36.6667	43.3333	53.3333	56.6667	56.6667	70.00
29 běhů	37.931	37.931	44.8276	55.1724	55.1724	58.6207	65.5172
28 běhů	39.2857	39.2857	50.00	53.5714	53.5714	60.7143	64.2857
27 běhů	37.037	37.037	48.1481	51.8519	51.8519	59.2593	62.963
26 běhů	34.6154	34.6154	46.1538	50.00	50.00	57.6923	61.5385
25 běhů	36.00	36.00	48.00	52.00	52.00	56.00	68.00
24 běhů	33.3333	33.3333	45.8333	50.00	50.00	54.1667	66.6667
23 běhů	34.7826	39.1304	43.4783	52.1739	52.1739	56.5217	65.2174
22 běhů	36.3636	45.4545	45.4545	50.00	59.0909	63.6364	72.7273
21 běhů	38.0952	42.8571	42.8571	42.8571	57.1429	61.9048	71.4286
20 běhů	35.00	40.00	45.00	55.00	55.00	60.00	65.00
	65 % z celkové odchylky	70 % z celkové odchylky	75 % z celkové odchylky	80 % z celkové odchylky	85 % z celkové odchylky	90 % z celkové odchylky	95 % z celkové odchylky
30 běhů	73.3333	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	96.6667
29 běhů	75.8621	86.2069	89.6552	89.6552	89.6552	93.1034	93.1034
28 běhů	82.1429	82.1429	89.2857	89.2857	92.8571	92.8571	92.8571
27 běhů	81.4815	81.4815	88.8889	88.8889	88.8889	92.5926	92.5926
26 běhů	80.7692	80.7692	88.4615	88.4615	88.4615	92.3077	92.3077
25 běhů	72.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	96.00
24 běhů	70.8333	83.3333	87.50	87.50	87.50	91.6667	91.6667
23 běhů	82.6087	82.6087	82.6087	86.9565	91.3043	91.3043	91.3043
22 běhů	72.7273	81.8182	81.8182	86.3636	90.9091	90.9091	95.4545
21 běhů	71.4286	76.1905	80.9524	85.7143	90.4762	90.4762	95.2381
20 běhů	85.00	85.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00

Tab. 7.9: Výsledky analýzy rozšířeného scénáře (statistika propustnosti mezi uzly Router2 a Router1, počet komunikujících stanic ve vybraných uzlech 10)

	30 % z celkové odchylky	35 % z celkové odchylky	40 % z celkové odchylky	45 % z celkové odchylky	50 % z celkové odchylky	55 % z celkové odchylky	60 % z celkové odchylky
30 běhů	36.6667	43.3333	50.00	53.3333	60.00	66.6667	76.6667
29 běhů	41.3793	44.8276	48.2759	51.7241	58.6207	72.4138	82.7586
28 běhů	39.2857	42.8571	46.4286	50.00	57.1429	75.00	82.1429
27 běhů	37.037	40.7407	51.8519	51.8519	59.2593	70.3704	85.1852
26 běhů	38.4615	42.3077	50.00	50.00	53.8462	73.0769	84.6154
25 běhů	36.00	40.00	52.00	56.00	64.00	72.00	80.00
24 běhů	37.50	45.8333	50.00	62.50	70.8333	70.8333	79.1667
23 běhů	34.7826	43.4783	47.8261	60.8696	69.5652	69.5652	78.2609
22 běhů	36.3636	45.4545	50.00	68.1818	72.7273	72.7273	77.2727
21 běhů	38.0952	42.8571	47.619	66.6667	71.4286	76.1905	76.1905
20 běhů	40.00	45.00	50.00	65.00	70.00	75.00	75.00
	65 % z celkové odchylky	70 % z celkové odchylky	75 % z celkové odchylky	80 % z celkové odchylky	85 % z celkové odchylky	90 % z celkové odchylky	95 % z celkové odchylky
30 běhů	83.3333	90.00	90.00	90.00	90.00	96.6667	96.6667
29 běhů	89.6552	93.1034	93.1034	93.1034	93.1034	93.1034	96.5517
28 běhů	89.2857	92.8571	92.8571	92.8571	92.8571	92.8571	96.4286
27 běhů	88.8889	92.5926	92.5926	92.5926	92.5926	92.5926	96.2963
26 běhů	88.4615	92.3077	92.3077	92.3077	92.3077	92.3077	96.1538
25 běhů	88.00	92.00	92.00	92.00	92.00	96.00	96.00
24 běhů	87.50	87.50	91.6667	91.6667	95.8333	95.8333	95.8333
23 běhů	86.9565	86.9565	91.3043	91.3043	95.6522	95.6522	95.6522
22 běhů	77.2727	86.3636	86.3636	90.9091	95.4545	95.4545	95.4545
21 běhů	76.1905	80.9524	85.7143	95.2381	95.2381	95.2381	95.2381
20 běhů	75.00	80.00	85.00	95.00	95.00	95.00	95.00

Tab. 7.10: Výsledky analýzy rozšířeného scénáře (statistika Ethernet_Delay v uzlu P1_Video, počet komunikujících stanic ve vybraných uzlech 10, čas simulace 60 min)

	30 % z celkové odchylky	35 % z celkové odchylky	40 % z celkové odchylky	45 % z celkové odchylky	50 % z celkové odchylky	55 % z celkové odchylky	60 % z celkové odchylky
30 běhů	43.3333	43.3333	53.3333	60.00	60.00	70.00	70.00
29 běhů	41.3793	55.1724	55.1724	55.1724	68.9655	72.4138	75.8621
28 běhů	46.4286	46.4286	57.1429	64.2857	64.2857	71.4286	71.4286
27 běhů	44.4444	44.4444	55.5556	62.963	62.963	66.6667	70.3704
26 běhů	42.3077	42.3077	53.8462	61.5385	61.5385	65.3846	69.2308
25 běhů	44.00	44.00	60.00	64.00	64.00	68.00	72.00
24 běhů	41.6667	41.6667	58.3333	62.50	62.50	66.6667	70.8333
23 běhů	39.1304	43.4783	52.1739	60.8696	65.2174	65.2174	69.5652
22 běhů	36.3636	40.9091	54.5455	54.5455	63.6364	63.6364	68.1818
21 běhů	33.3333	38.0952	47.619	52.381	61.9048	61.9048	66.6667
20 běhů	40.00	40.00	40.00	45.00	65.00	65.00	65.00
	65 % z celkové odchylky	70 % z celkové odchylky	75 % z celkové odchylky	80 % z celkové odchylky	85 % z celkové odchylky	90 % z celkové odchylky	95 % z celkové odchylky
30 běhů	80.00	80.00	80.00	86.6667	90.00	93.3333	93.3333
29 běhů	75.8621	79.3103	82.7586	82.7586	93.1034	93.1034	93.1034
28 běhů	78.5714	78.5714	78.5714	85.7143	89.2857	92.8571	92.8571
27 běhů	77.7778	77.7778	77.7778	88.8889	88.8889	92.5926	92.5926
26 běhů	76.9231	76.9231	76.9231	88.4615	88.4615	92.3077	92.3077
25 běhů	72.00	76.00	84.00	84.00	88.00	88.00	96.00
24 běhů	70.8333	75.00	83.3333	83.3333	87.50	87.50	95.8333
23 běhů	69.5652	78.2609	78.2609	78.2609	86.9565	91.3043	91.3043
22 běhů	68.1818	77.2727	77.2727	77.2727	81.8182	90.9091	90.9091
21 běhů	66.6667	76.1905	76.1905	76.1905	85.7143	90.4762	90.4762
20 běhů	70.00	75.00	75.00	80.00	85.00	90.00	90.00

Tab. 7.11: Výsledky analýzy rozšířeného scénáře (statistika propustnosti mezi uzly Router2 a Router1, počet komunikujících stanic ve vybraných uzlech 10, čas simulace 60 min)

	30 % z celkové odchylky	35 % z celkové odchylky	40 % z celkové odchylky	45 % z celkové odchylky	50 % z celkové odchylky	55 % z celkové odchylky	60 % z celkové odchylky
30 běhů	30.00	40.00	43.3333	56.6667	60.00	63.3333	73.3333
29 běhů	31.0345	37.931	48.2759	55.1724	58.6207	62.069	68.9655
28 běhů	32.1429	35.7143	53.5714	53.5714	53.5714	60.7143	67.8571
27 běhů	29.6296	44.4444	48.1481	55.5556	59.2593	66.6667	66.6667
26 běhů	26.9231	42.3077	50.00	53.8462	57.6923	61.5385	65.3846
25 běhů	32.00	36.00	56.00	56.00	60.00	64.00	68.00
24 běhů	29.1667	37.50	54.1667	54.1667	58.3333	62.50	66.6667
23 běhů	30.4348	34.7826	52.1739	52.1739	56.5217	60.8696	65.2174
22 běhů	31.8182	36.3636	50.00	54.5455	59.0909	59.0909	63.6364
21 běhů	28.5714	38.0952	52.381	52.381	57.1429	57.1429	61.9048
20 běhů	30.00	40.00	50.00	55.00	55.00	60.00	70.00
	65 % z celkové odchylky	70 % z celkové odchylky	75 % z celkové odchylky	80 % z celkové odchylky	85 % z celkové odchylky	90 % z celkové odchylky	95 % z celkové odchylky
30 běhů	80.00	80.00	83.3333	83.3333	90.00	93.3333	93.3333
29 běhů	75.8621	79.3103	82.7586	82.7586	93.1034	93.1034	93.1034
28 běhů	75.00	82.1429	82.1429	89.2857	89.2857	92.8571	92.8571
27 běhů	74.0741	77.7778	85.1852	88.8889	88.8889	88.8889	96.2963
26 běhů	73.0769	76.9231	84.6154	88.4615	88.4615	88.4615	96.1538
25 běhů	76.00	84.00	84.00	84.00	88.00	92.00	92.00
24 běhů	75.00	79.1667	83.3333	87.50	87.50	91.6667	91.6667
23 běhů	73.913	78.2609	82.6087	82.6087	86.9565	91.3043	91.3043
22 běhů	72.7273	77.2727	81.8182	86.3636	86.3636	90.9091	95.4545
21 běhů	71.4286	76.1905	80.9524	85.7143	85.7143	90.4762	90.4762
20 běhů	75.00	80.00	80.00	80.00	90.00	90.00	90.00

Tab. 7.12: Výsledky analýzy rozšířeného scénáře (statistika Ethernet_Delay v uzlu P1_Video, počet komunikujících stanic ve vybraných uzlech 10, čas simulace 60 min)

	30 % z celkové odchylky	35 % z celkové odchylky	40 % z celkové odchylky	45 % z celkové odchylky	50 % z celkové odchylky	55 % z celkové odchylky	60 % z celkové odchylky
30 běhů	50.00	50.00	60.00	73.3333	80.00	80.00	80.00
29 běhů	51.7241	55.1724	62.069	75.8621	79.3103	79.3103	79.3103
28 běhů	50.00	60.7143	60.7143	67.8571	75.00	78.5714	78.5714
27 běhů	48.1481	59.2593	59.2593	62.963	74.0741	77.7778	77.7778
26 běhů	53.8462	61.5385	61.5385	61.5385	73.0769	76.9231	80.7692
25 běhů	52.00	64.00	64.00	68.00	76.00	80.00	80.00
24 běhů	54.1667	58.3333	66.6667	79.1667	83.3333	83.3333	83.3333
23 běhů	52.1739	56.5217	65.2174	78.2609	82.6087	82.6087	82.6087
22 běhů	50.00	54.5455	63.6364	77.2727	81.8182	81.8182	81.8182
21 běhů	47.619	52.381	61.9048	76.1905	80.9524	80.9524	80.9524
20 běhů	45.00	50.00	50.00	60.00	80.00	85.00	85.00
	65 % z celkové odchylky	70 % z celkové odchylky	75 % z celkové odchylky	80 % z celkové odchylky	85 % z celkové odchylky	90 % z celkové odchylky	95 % z celkové odchylky
30 běhů	83.3333	83.3333	86.6667	90.00	90.00	90.00	90.00
29 běhů	82.7586	86.2069	89.6552	89.6552	89.6552	89.6552	89.6552
28 běhů	85.7143	85.7143	89.2857	89.2857	89.2857	89.2857	89.2857
27 běhů	81.4815	85.1852	88.8889	88.8889	88.8889	88.8889	88.8889
26 běhů	80.7692	88.4615	88.4615	88.4615	88.4615	88.4615	88.4615
25 běhů	80.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00
24 běhů	87.50	87.50	87.50	91.6667	91.6667	91.6667	91.6667
23 běhů	86.9565	86.9565	86.9565	91.3043	91.3043	91.3043	91.3043
22 běhů	86.3636	86.3636	86.3636	90.9091	90.9091	90.9091	90.9091
21 běhů	85.7143	85.7143	85.7143	90.4762	90.4762	90.4762	90.4762
20 běhů	85.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	95.00

Tab. 7.13: Výsledky analýzy rozšířeného scénáře (statistika propustnosti mezi uzly Router2 a Router1, počet komunikujících stanic ve vybraných uzlech 10, čas simulace 60 min)

	30 % z celkové odchylky	35 % z celkové odchylky	40 % z celkové odchylky	45 % z celkové odchylky	50 % z celkové odchylky	55 % z celkové odchylky	60 % z celkové odchylky
30 běhů	56.6667	66.6667	70.00	73.3333	80.00	80.00	83.3333
29 běhů	55.1724	65.5172	68.9655	72.4138	79.3103	79.3103	82.7586
28 běhů	57.1429	64.2857	67.8571	71.4286	78.5714	78.5714	78.5714
27 běhů	62.963	62.963	70.3704	74.0741	77.7778	77.7778	81.4815
26 běhů	61.5385	65.3846	69.2308	73.0769	76.9231	76.9231	80.7692
25 běhů	60.00	64.00	68.00	76.00	76.00	76.00	80.00
24 běhů	58.3333	66.6667	70.8333	70.8333	75.00	75.00	79.1667
23 běhů	56.5217	65.2174	69.5652	69.5652	73.913	73.913	78.2609
22 běhů	59.0909	63.6364	68.1818	68.1818	72.7273	72.7273	77.2727
21 běhů	57.1429	61.9048	66.6667	71.4286	71.4286	76.1905	76.1905
20 běhů	45.00	60.00	60.00	65.00	70.00	75.00	75.00
	65 % z celkové odchylky	70 % z celkové odchylky	75 % z celkové odchylky	80 % z celkové odchylky	85 % z celkové odchylky	90 % z celkové odchylky	95 % z celkové odchylky
30 běhů	83.3333	86.6667	90.00	93.3333	93.3333	93.3333	96.6667
29 běhů	82.7586	86.2069	89.6552	93.1034	93.1034	93.1034	96.5517
28 běhů	82.1429	85.7143	89.2857	92.8571	92.8571	92.8571	96.4286
27 běhů	81.4815	85.1852	88.8889	88.8889	92.5926	92.5926	96.2963
26 běhů	84.6154	84.6154	88.4615	88.4615	92.3077	92.3077	92.3077
25 běhů	84.00	84.00	84.00	88.00	92.00	92.00	92.00
24 běhů	79.1667	83.3333	87.50	87.50	91.6667	91.6667	95.8333
23 běhů	78.2609	82.6087	86.9565	86.9565	91.3043	91.3043	95.6522
22 běhů	81.8182	81.8182	86.3636	86.3636	90.9091	90.9091	90.9091
21 běhů	80.9524	80.9524	80.9524	85.7143	90.4762	90.4762	90.4762
20 běhů	80.00	80.00	85.00	85.00	85.00	85.00	85.00

8 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo seznámení s prostředím OPNET Modeler, prostudovat různá nastavení a zaměřit se na možnost definice automatizovaného běhu sekvence několika simulací. Poznatky byly zdokumentovány v první kapitole.

Dalším úkolem bylo prostudování používaných metod statistické analýzy věrohodnosti výsledků simulací. Popis základních pojmů matematické analýzy a úvod do věrohodnosti statistických vlastností se nacházejí v druhé kapitole. V této kapitole se nachází popis použití konfidenčních intervalů při zpracovávání výsledků simulací v OPNET Modeler.

V rámci praktické části bylo cílem vytvoření simulačního modelu LAN sítě v OPNET Modeler. V původním scénáři byly nastaveny 3 různé služby a několik sledovaných statistik, které jsou popsány včetně nastavení parametrů modelu a nastavení parametrů spouštění simulace v třetí kapitole.

Po simulaci vytvořeného scénáře bylo zadání zaměřeno na možnosti zobrazení výsledných statistik v prostředí OM. Rozdělení statistik podle typu a popis možností zobrazení spolu s ukázkovými grafy, charakteristikami se nacházejí ve čtvrté kapitole.

Dalším úkolem bylo napsat návrh způsobů a forem zobrazení základních statistik analyzovaného provozu a sledovaných statistik, návrh byl realizován podle poznatků ze čtvrté kapitoly a je zdokumentován v páté kapitole.

Pro stanovení potřebného počtu běhů simulace byla popsána analýza v šesté kapitole. Původní scénář byl změněn, počet sledovaných statistik byl zredukován, jelikož v této části práce již nebylo zapotřebí tak velký počet jako v případě čtvrté kapitoly. Postup provedené analýzy byl shrnut do pěti kroků. Vyhodnocení dosažených výsledků bylo napsáno podle tabulky s výsledky získaných z modifikovaného scénáře.

V poslední části práce byl zkoumán vliv velikosti simulačního scénáře na věrohodnost výsledků simulace. Původní scénář byl modifikován několikrát: byly změněny hodnoty seed, byl změněn počet komunikujících stanic, byla změněna doba trvání simulace a byly přidány další služby. Tyto změny a tabulky s výsledky z různých scénářích byly popsány v sedmé kapitole.

LITERATURA

- [1] *Chemonet.hu*[online]. 2002 [cit. 2011-10-29]. A matematikai statisztika elemei. Dostupné z URL:<<http://www.kfki.hu/chemonet/hun/eloado/stat/index.html>>.
- [2] LAMOŠ, František a Rastislav POTOCKÝ. *Pravdepodobnosť a matematická štatistika: štatistické analýzy*. 1. vydanie. Bratislava: Alfa, 1989, 344 s. ISBN 80-05-00115-0.
- [3] McCABE, J. *Network Analysis, Architecture, and Design*. San Francisco: Morgan Kaufmann, 2007, ISBN 978-0123704801.
- [4] MELOUN, Milan a Jiří MILITKÝ. *Statistická analýza experimentálných dat*. 2. upravené a rozšírené vydání. Praha: Academia, 2004. ISBN 80-200-1254-0.
- [5] MOLNÁR, K., ZEMAN, O., SKOŘEPA, M. *Moderní síťové technologie, Laboratorní cvičení* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací, 2008. 101 s. Dostupné z URL: <http://www.utko.feec.vutbr.cz/~molnar/mmos/MMOS_lab.pdf>.
- [6] OBÁDOVICS, J. GY. *Matematika*. 13. vyd. Budapest: Scolar, 1994, 816 s. ISBN 963 04 4802 5.
- [7] OPNET Technologies, OPNET Modeler Product Documentation Release 16.0, 2010.
- [8] POTFAY, A. *Simulace směrovacího protokolu OLSR v prostředí OPNET Modeler*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací, 2011. 64 s. Vedoucí práce byl Ing. Pavel Vajsar, Dostupné z URL: <https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=40303>.
- [9] REIMAN, I. *Matematika*. Budapest: Műszaki könyvkiadó, 1992, 608 s. ISBN 963 10 8578 3.
- [10] RIEČAN, B., LAMOŠ, F., LENÁRT, C. *Pravdepodobnosť a matematická štatistika*. 1. vydanie. Bratislava: Alfa, 1984. 320 s.
- [11] RIEČANOVÁ, Zdena et al. *Numerické metody a matematická štatistika*. 1. vydanie. Bratislava: Alfa, 1987, 496 s. ISBN 063-559-87 NMA.
- [12] SOLT, GY. *Valószínűségszámítás*. 7. vyd. Budapest: Műszaki könyvkiadó, 1995, 265 s. ISBN 963 16 0569 8.

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

CDF – Cumulative Distribution Function

DES – Discrete Event Simulation

FTP – File Transfer Protokol

HTML – Hyper Text Markup Language

HTTP – Hyper Text Transfer Protocol

LAN – Local Area Network

OM – OPNET Modeler

PCM – Pulse-code Modulation

PDF – Probability Density Function

PMF – Probability Mass Function

TCP – Transmission Control Protocol

UDP – User Datagram Protocol

VoIP – Voice over Internet Protocol

XML – Extensible Markup Language