

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Katedra telekomunikační techniky

Simulace a analýza provozu multiservisního
zákaznického centra

Květen 2017

Diplomant: Bc. Lukáš Novotný
Vedoucí práce: Ing. Petr Hampl, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem zadanou diplomovou práci zpracoval sám s přispěním vedoucího práce a používal jsem pouze literaturu v práci uvedenou. Dále prohlašuji, že nemám námitek proti půjčování nebo zveřejňování mé diplomové práce nebo její části se souhlasem katedry.

Datum 26. 5. 2017

.....

podpis diplomanta

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Novotný** Jméno: **Lukáš** Osobní číslo: **392825**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra telekomunikační techniky**
Studijní program: **Komunikace, multimédia a elektronika**
Studijní obor: **Sítě elektronických komunikací**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Simulace a analýza provozu multiservisního zákaznického centra

Název diplomové práce anglicky:

Simulation and analysis of multi-service customer centre

Pokyny pro vypracování:

V praxi využívaná moderní zákaznická centra poskytují mnoho různých typů služeb. Požadavky stejného typu služby jsou pak zpracovávány kompetentní skupinou operátorů. Vytvořte simulační model zákaznického centra z pohledu teorie hromadné obsluhy umožňující stanovit klíčové charakteristiky systému z hlediska GoS jednotlivých typů služeb. Pro tvorbu modelu použijte simulační prostředí OMNeT++.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Gross, D.; Harris, C. M.: Fundamentals of queuing theory. Third Edition. New York, London: J. Wiley and Sons, 1998. 439 p. ISBN 0-471-17083-6.
- [2] Iversen, V.B.: Teletraffic Engineering and Network Planning. Geneva: ITC in cooperation with ITU-D SG2, May 2010.
- [3] Stollatz, R.: Performance Analysis and Optimization of Inbound Call Centers. New York, Berlin: 2016. Springer-Verlag. 219 p. ISBN 3-540-00812-8.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Petr Hampel Ph.D., katedra telekomunikační techniky FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **08.02.2017**

Termín odevzdání diplomové práce: **26.05.2017**

Platnost zadání diplomové práce: **30.09.2018**

Podpis vedoucí(ho) práce

Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

Podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Anotace:

Tato diplomová práce se zabývá simulací a analýzou multiservisního zákaznického centra. Simulační model umožňuje vyhodnocovat simulační scénáře pro jeden nebo více typů služeb, jimž byl přiřazen určitý počet operátorů. Část práce je věnována porovnání modelu multiservisního centra s obsluhovým systémem s čekáním. Simulační scénáře dále pokrývají případy, kdy má centrum pouze jeden typ služby. V takovéto situaci ji umí obsluhovat všichni operátoři. Ostatní simulační scénáře analyzují model s více typy služeb.

Klíčová slova: Call centrum, ACW, SBR

Summary:

This thesis deals with simulation and analysis of multi-service customer center. Simulation model allows to evaluate simulation's scenarios for one or more types of services, to whom has been assigned certain number of operators. Part of this thesis devoted to comparison of multi-service center and classical queueing system. Simulation scenarios also covers cases, in which center has only one type service. In this situation all operators can take care of that service. Rest of simulation scenarios analyze model with more types of services.

Index Terms: Call centrum, ACW, SBR

Obsah

1. Úvod	4
2. Teorie call center	5
2.1. Typy call center	5
2.2. Struktura call centra	6
2.3. Topologie call center	8
3. Popis simulačního modelu	12
3.1. Parametry a sledované veličiny simulačního modelu	12
3.2. Topologie simulačního modelu	13
4. Analýza simulačního modelu s jednou skupinou agentů	16
4.1. Chování modelu v závislosti na změně λ	16
4.2. Chování modelu v závislosti na změně α	17
4.3. Chování modelu v závislosti na změně μ	21
4.4. Chování modelu v závislosti na změně N	22
5. Porovnání simulačního modelu se systémem $M/M/S/N$	25
5.1. Analytický model systému $M/M/S/N$	25
5.2. Rozdíly mezi systémem s čekáním a simulací call centra	26
5.3. Rozdíly způsobené dobou obsluhy	27
5.4. Rozdíly způsobené zdržením v IVR	27
5.5. Rozdíly způsobené změnou pravděpodobnosti p	31
6. Analýza simulačního modelu s více skupinami agentů	32
6.1. Chování modelu v závislosti na změně λ	32
6.2. Chování modelu v závislosti na změně počtu skupin s identickými parametry	36
6.3. Chování modelu v závislosti na změně N a S	37
7. Závěr	41
Reference	43

Seznam zkratek a symbolů

ACW	After Call Work
GoS	Grade of Service
ICM	Intelligent Contact Management
IVR	Interactive Voice Response
NoC	Network on Chip
PBX	Private Branch Exchange
PCT1	Pure Chance Traffic No 1
PG	Peripheral Gateway
PSTN	Public Switched Telephone Network
SaaS	Software as a Service
VoIP	Voice over IP
VRU	Voice Response Unit
α	intenzita obsluhy v administrativní době
μ	intenzita obsluhy v interaktivní části
λ	intenzitu příchozích požadavků
θ	intenzita obsluhy IVR
B	pravděpodobnost ztráty
C_p	počet nabízených požadavků
C_s	počet obslužených požadavků
C_{sA}	počet požadavků obslužených agenty
C_{sIVR}	počet požadavků obslužených v IVR
C_w	počet všech požadavků, které čekaly
C_z	počet ztracených požadavků
$E[W]$	střední hodnota doby čekání vztažené k obsluženým požadavkům
$E[W_0]$	střední hodnota doby čekání vztažené k nabízeným požadavkům
$E[W_W]$	střední hodnota doby čekání vztažené k čekajícím požadavkům
G	počet skupin
N	počet obsluhových linek
$P(W > t)$	pravděpodobnost čekání déle než t vztažená k obsluženým požadavkům
$P(W_0 > t)$	pravděpodobnost čekání déle než t vztažená k nabízeným požadavkům
$P(W_W > t)$	pravděpodobnost čekání déle než t vztažená k čekajícím požadavkům
S	počet agentů ve skupině
t_a	administrativní doba
t_{ivr}	doba zpracování v IVR
t_{os}	doba obsluhy v interaktivní části
t_p	doba mezipříchodového intervalu
Z	počet zdrojů

Seznam tabulek

4.1. Porovnání B v případech σ a τ	19
4.2. Porovnání $E[W]$ v případech σ a τ	20
4.3. Porovnání $P(W > 120 s)$ v případech σ a τ	20

Seznam obrázků

2.1. Struktura call centra	6
2.2. Průchod požadavku call centrem	7
2.3. Statické SBR	8
2.4. Dynamické SBR	9
2.5. Topologie Cisco - IVR před ACD	9
2.6. Topologie Cisco - IVR za ACD	10
2.7. Topologie Avaya	11
3.1. Topologie simulačního modelu	14
3.2. Proces průchodu hovoru modelem call centra	15
4.1. Pravděpodobnost ztráty B v závislosti na intenzitě příchodu hovoru	16
4.2. Doby čekání $E[W_W]$ a $E[W]$ v závislosti na intenzitě příchodu hovoru	17
4.3. Pravděpodobnost ztráty B v závislosti na α	18
4.4. Doby čekání $E[W_W]$ a $E[W]$ v závislosti na α	19
4.5. Pravděpodobnost ztráty B v závislosti na intenzitě obsluhy	21
4.6. Doby čekání $E[W_W]$ a $E[W]$ v závislosti na intenzitě obsluhy	22
4.7. Pravděpodobnost ztráty B v závislosti na změně počtu obsluhových linek	23
4.8. Doba čekání $E[W]$ v závislosti na změně počtu obsluhových linek	24
4.9. Doba čekání $E[W_W]$ v závislosti na změně počtu obsluhových linek	24
5.1. Topologie systému s čekáním $M/M/S/N$	27
5.2. Pravděpodobnost ztráty B v závislosti na λ a μ	28
5.3. Doba čekání $E[W]$ v závislosti na λ a μ	28
5.4. Pravděpodobnost ztráty B v závislosti na λ a t_I	29
5.5. Detail pravděpodobnosti ztráty B v závislosti na λ a t_I	30
5.6. Doba čekání $E[W]$ v závislosti na λ a t_I	30
5.7. Pravděpodobnost ztráty B v závislosti na λ a p	31
5.8. Doba čekání $E[W]$ v závislosti na λ a p	32
6.1. Pravděpodobnost ztráty B v závislosti na λ_1 s exponenciálním rozložením	33
6.2. Pravděpodobnost ztráty B v závislosti na λ_1 s různými rozloženými	34
6.3. Doba čekání $E[W]$ v závislosti na λ_1 s exponenciálním rozložením	34
6.4. $P(W > 120 s)$ v závislosti na λ_1 s exponenciálním rozložením	35
6.5. Doba čekání $E[W]$ v závislosti na λ_1 s různými rozloženými	35

6.6. $P(W > 120 s)$ v závislosti na λ_1 s různými rozloženími	36
6.7. Pravděpodobnost ztráty B v závislosti na změně počtu skupin	37
6.8. Doba čekání $E[W]$ v závislosti na změně počtu skupin	38
6.9. Pravděpodobnost čekání $P(W > 120 s)$ v závislosti na změně počtu skupin .	38
6.10. Pravděpodobnost ztráty B v závislosti na změně počtu S	39
6.11. Doba čekání $E[W]$ v závislosti na změně počtu S	39
6.12. Pravděpodobnost čekání $P(W > 120 s)$ v závislosti na změně počtu S	40

1. Úvod

Tato práce se zabývá simulací a analýzou multiservisního zákaznického centra. Následující kapitoly pojednávají jak o klasifikaci jednotlivých typů multiservisních center, tak i o analýze vybraného konkrétního typu. Představeny jsou řešení od dodavatelů Cisco a Avaya.

K sestavení simulačního modelu bylo použito open-source prostředí OMNeT++. Jedná se rozšiřitelný, modulární simulátor diskrétních událostí založený na programovacím jazyce C++. Používá se především k simulování sítí v širším slova smyslu. Může se jednat o paketové sítě, NoC, nebo systémy s čekáním. Právě posledního zmíněného využívá tato práce.

Většina práce je věnována analýze různých simulačních scénářů. Tyto scénáře jsou komponovány za účelem sledování chování simulačního modelu v závislosti na měnících se vstupních parametrech. Pod pojmem samotné analýzy se rozumí sledování významných veličin a chování výše zmíněného modelu v ustáleném stavu.

Analytická část této práce je rozdělena do tří kapitol. Kapitola 4 se zabývá analýzou modelu s jedním typem služby. Následuje část věnována porovnání simulačního modelu s jedním typem služby s klasickým obsluhovým systémem s čekáním. Je zde řešena otázka, zda lze použít tento matematicky řešený systém pro modelování multiservisního centra. Nakonec jsou analyzovány případy modelu konfigurovaném pro více typů služeb. V závěru je zahrnuto v jakých případech se vyplatí provozovat call centrum s jedním nebo více typy služeb.

2. Teorie call center

Call centrum můžeme definovat jako místo, kde se shromažďují požadavky za účelem obsluhy. Pod pojmem požadavek se rozumí telefonický hovor, e-mail, SMS zpráva, fax, aj. Obsluhou požadavku se rozumí její odbavení příslušným způsobem. Obsluha může být jak manuální, tak automatická. V této kapitole jsou rozebrány typy call center, jejich struktura a způsob fungování.

2.1. Typy call center

Call centra lze dělit podle několika kategorií. První z nich je směr volání. V tomto případě rozlišujeme call centra:

- Příchozí (někdy také nazývána servisní)
- Odchozí
- Kombinace výše uvedených

V servisních call centrech kontaktují zákazníci call centrum za účelem poskytnutí služby. Poté jsou propojeni s IVR¹ (*Interactive Voice Response*), ve kterém je přednastavena skupina nejčastěji požadovaných služeb zákazníků a interaktivní průvodce postupy, které je třeba provést k jejich poskytnutí. V případě, že poskytnutí služby nemohlo být uspokojeno pomocí IVR, čeká zákazník, dokud se neuvolní agent schopný poskytnout požadovanou službu. Odchozí call centra jsou opakem výše uvedeného. Agenti zde kontaktují zákazníky a zprostředkovávají jim jednu z nabízených služeb. V případě, že zákazník má o službu zájem, agent zařídí kroky k jejímu poskytnutí, jinak pokračuje v kontaktu dalšího zákazníka. Tato call centra jsou snadněji říditelná a dají se daleko snadněji dimenzovat právě kvůli skutečnosti, že proces začátku komunikace je plně pod kontrolou agentů [1].

V praxi se používá i kombinace obou typů. V takovémto call centru se agenti primárně chovají jako v případě servisního call centra, kdy jsou kontaktováni jednotlivými zákazníky. V době kdy, nejsou agenti maximálně zaneprázdněni obsluhou kontaktujících, začnou se chovat jako v případě odchozího call centra a kontaktují zákazníky sami [1].

Rozlišování služeb poskytovaných call centrem patří mezi další způsoby jejich dělení. Druhů v této kategorii lze zmínit celou škálu, např.:

- Informační
- Transakční
- Prodejní
- aj.

V neposlední řadě lze call centra dělit na:

- Dedikovaná
- Virtuální

Dedikovaná call centra jsou fyzické lokality (např. kanceláře). V případě virtuálních call center nejsou jednotliví agenti v jedné lokalitě, ale vykonávají svou práci pomocí SaaS (*Software as a Service*). Jedná se o způsob hostování aplikace pro obsluhu call center. Aplikace je

¹Někdy také nazýván VRU (*Voice Response Unit*)

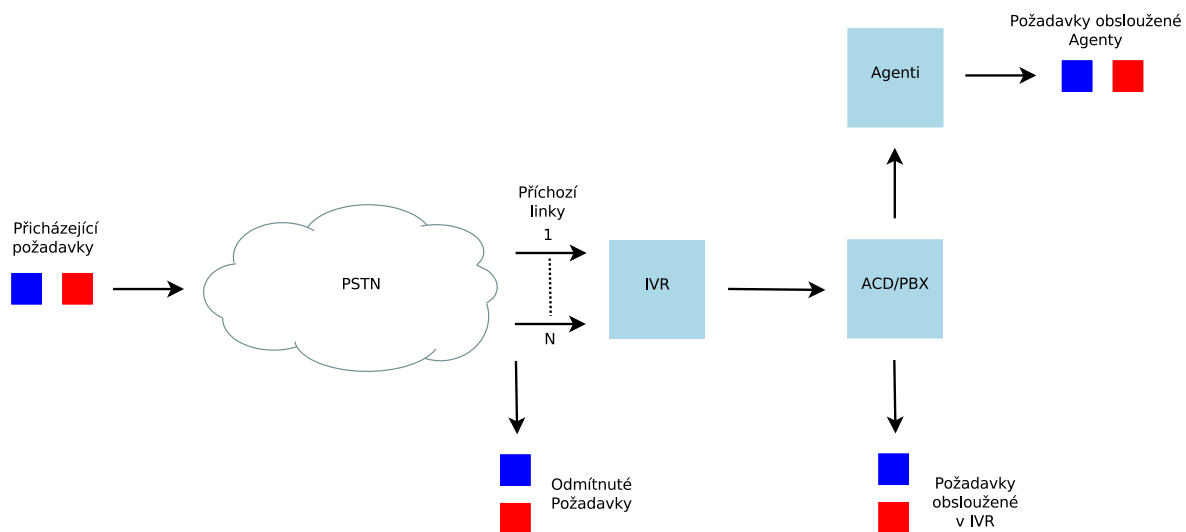
agentům dostupná prostřednictvím internetu. Agent si pronajímá zařízení od zprostředkovatele v jeho datovém centru. Agent se připojuje na toto zařízení přes klasickou PSTN (*Public Switched Telephone Network*) nebo VoIP (*Voice over IP*). Tato metoda umožňuje agentům pracovat z domova. Provozovatel call centra zase ušetří na nákladech za pronájem a vybavení prostor.

2.2. Struktura call centra

Call centrum lze dělit na několik funkčních bloků. Příchozí požadavky těmito bloky procházejí, jsou tudíž předem daným způsobem směrovány a obsluhovány. Mezi základní bloky patří:

- ACD (*Automatic Call Distribution system*)
- IVR (*Interactive Voice Response*)
- Agent

Různí provozovatelé call center mají různé uspořádání těchto bloků. Funkce těchto bloků se však zpravidla nemění. Nyní bude následovat popis průchodu požadavku call centrem podle topologie na obrázku 2.1. Na této topologii je založen i simulační model, jehož analýzou se tato práce zabývá.



Obr. 2.1: Struktura call centra

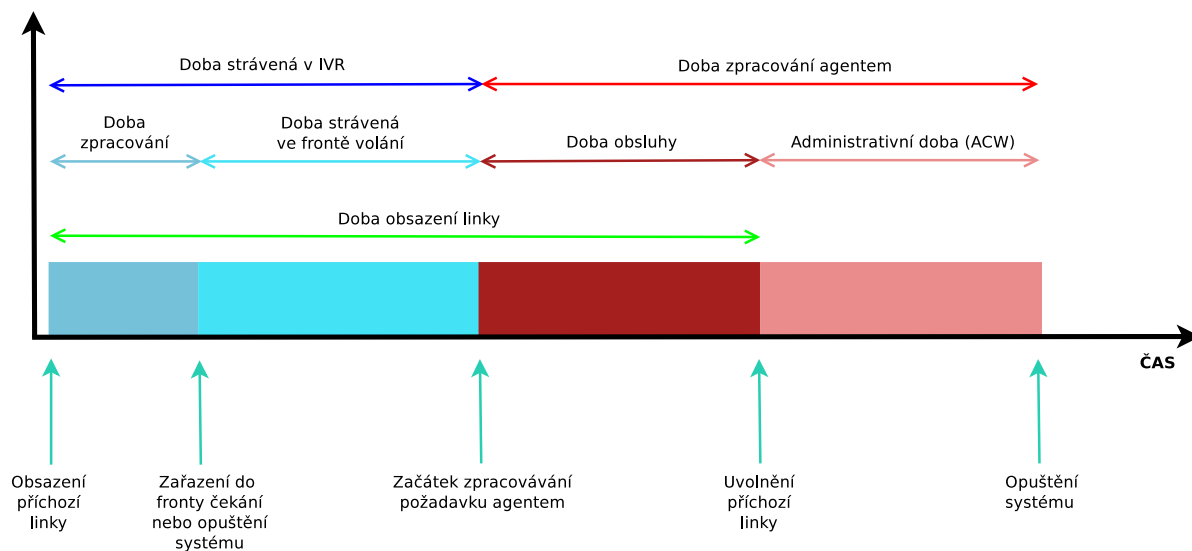
Proud přicházejících požadavků je stochastickým procesem. V případě simulace se předpokládá, že jde o proud požadavků PCT1 (*Pure Chance Traffic No. 1*). To znamená, že uvažujeme nekonečný počet zákazníků kontaktujících call centrum. Požadavky přicházejí náhodně rozprostřeny v čase a jsou vzájemně nezávislé. Navíc je rozdělení doby mezi příchody po sobě jdoucích hovorů exponenciální [2].

V okamžiku příchodu se požadavek dostane do modulu IVR. Zde nastane jeden ze tří případů:

- Požadavek je přijat k dalšímu zpracování
- Požadavek je odmítnut
- Požadavek čeká

Zde je potřeba se blíže seznámit s IVR. V tomto modulu je požadavek (příchozí hovor) [1] odmítnut pouze v případě, že je fronta volání plná, a tudíž jsou všechny příchozí linky obsazeny. V opačném případě je požadavek dále zpracováván. První kontakt se zákazníkem je zajištěn pomocí skupiny přednastavených zpráv a voleb, jejichž účelem je identifikace typu požadavku. V IVR je následovně rozhodnuto, jak požadavek odbavit. Může se tak stát automaticky pomocí skupiny nejčastěji používaných služeb. V tomto případě dojde k přepojení do modulu ACD². Tento modul může být součástí PBX *Private Branch Exchange*, neboli pobočkové ústředny. Po přepojení je hovor, v případě že byl obslužen v IVR, ukončen. V případě, že si zákazník nevybral ze skupiny nejčastěji používaných služeb, je požadavek přeměrován na jednoho z volných agentů³. Pakliže agent není volný, je požadavek zařazen do fronty čekání. O jeho pořadí ve frontě volání ho zpravidla informuje IVR. Dále je průběžně informován o odhadovaném času, který ještě musí počkat, než přijde řada na jeho obsluhu.

Agent odbaví požadavek za nějaký časový úsek, označme jej dobou obsluhy. Po tuto dobu je příchozí linka blokována a samotný agent není volný k přijímání dalších požadavků. Po uplynutí doby obsluhy je uvolněna příchozí linka, avšak samotný agent je stále nedostupný. Děje se tak z důvodu provedení dodatečných kroků nutných k realizaci služby, jež byla požadována (např. zanesení hodnot do databáze, zřízení tarifu, atd.). Časový úsek během něhož jsou tyto kroky provedeny se nazývá administrativní doba, *wrap-up time* nebo také ACW (*After Call Work*). Proces průchodu požadavku Call centrem je zobrazen na obrázku 2.2.



Obr. 2.2: Průchod požadavku call centrem

Servisní call centra musí obvykle zvládat různé typy požadavků. Kvůli této skutečnosti mohou být agenti call centra rozděleni do skupin podle schopností řešení daného úkolu. Tento princip se mimo jiné označuje SBR (*Skill Based Routing*) [1]. Nejčastěji se používají následující implementace:

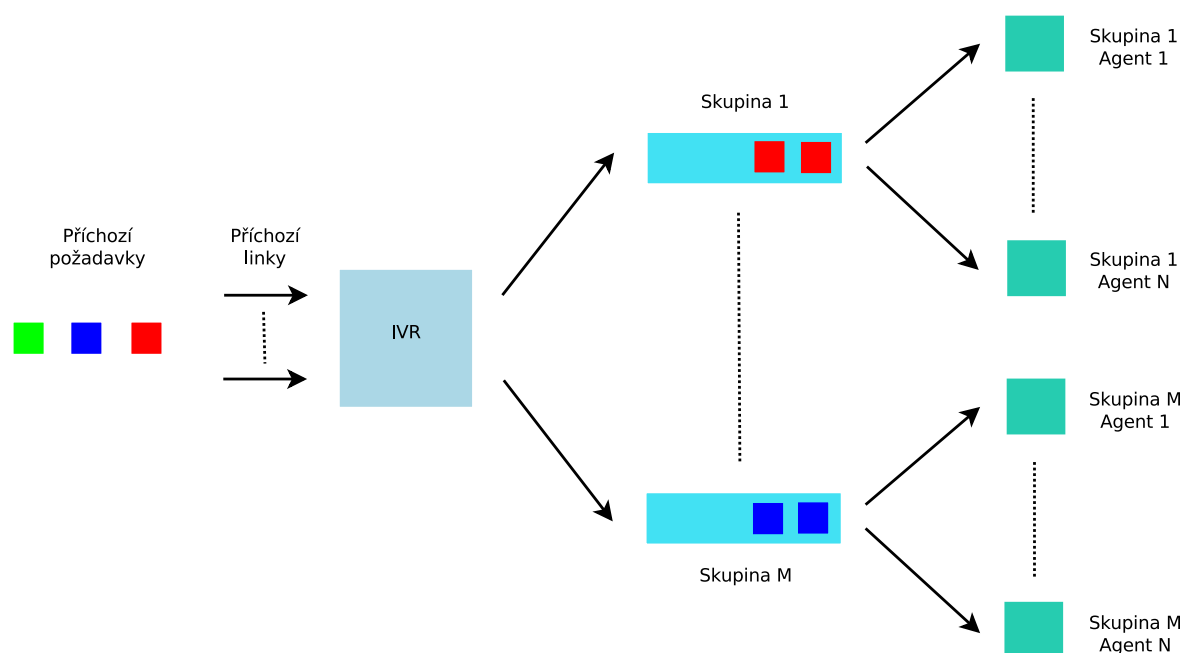
- Statické SBR
- Dynamické SBR

Statické SBR přerozděluje příchozí požadavky do front podle jejich druhu. Požadavek z každé fronty může být obslužen pouze skupinou agentů náležející této frontě (viz. obrázek 2.3). Tento způsob je málo efektivní, neboť je náchylný k přetížení právě jedné skupiny, za-

²ACD může přiřazovat jednotlivé hovory specializovaným skupinám agentů

³Nyní uvažujeme call centrum bez agentů rozdělených do skupin podle schopností řešit určité typy požadavků.

tímco kapacita ostatních může být nevyužita. Tento způsob řešení se využívá spíše u menších call center.



Obr. 2.3: Statické SBR

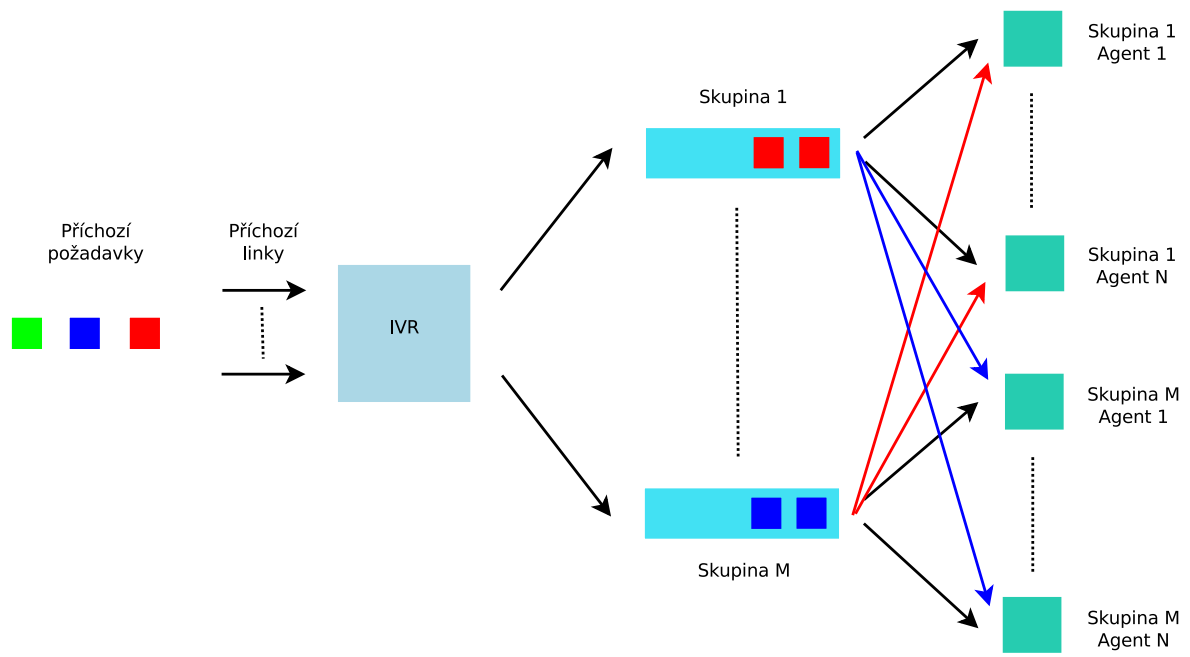
Daleko flexibilnějším způsobem řešení je dynamické SBR (viz. obrázek 2.4). Funguje jako statické SBR, avšak místo aby byl určitý typ požadavku odbaven pouze dedikovanou skupinou agentů, je naopak vybrán agent s nejvíce potřebnými schopnostmi pro řešení úkolu (v tomto výběru hraje roli i dostupnost agenta). Za výběr nejvhodnějšího agenta je zodpovědný ACD.

Toto řešení umožňuje daleko efektivnější využití kapacity call centra. Nevýhodou jsou vysoké nároky na schopnosti a znalosti agentů. V případě, že každý agent musí být schopen (i když s rozdílnou efektivitou a v rozdílném časovém úseku) zpracovat jakýkoliv požadavek, je třeba vynaložit prostředků na školení těchto agentů.

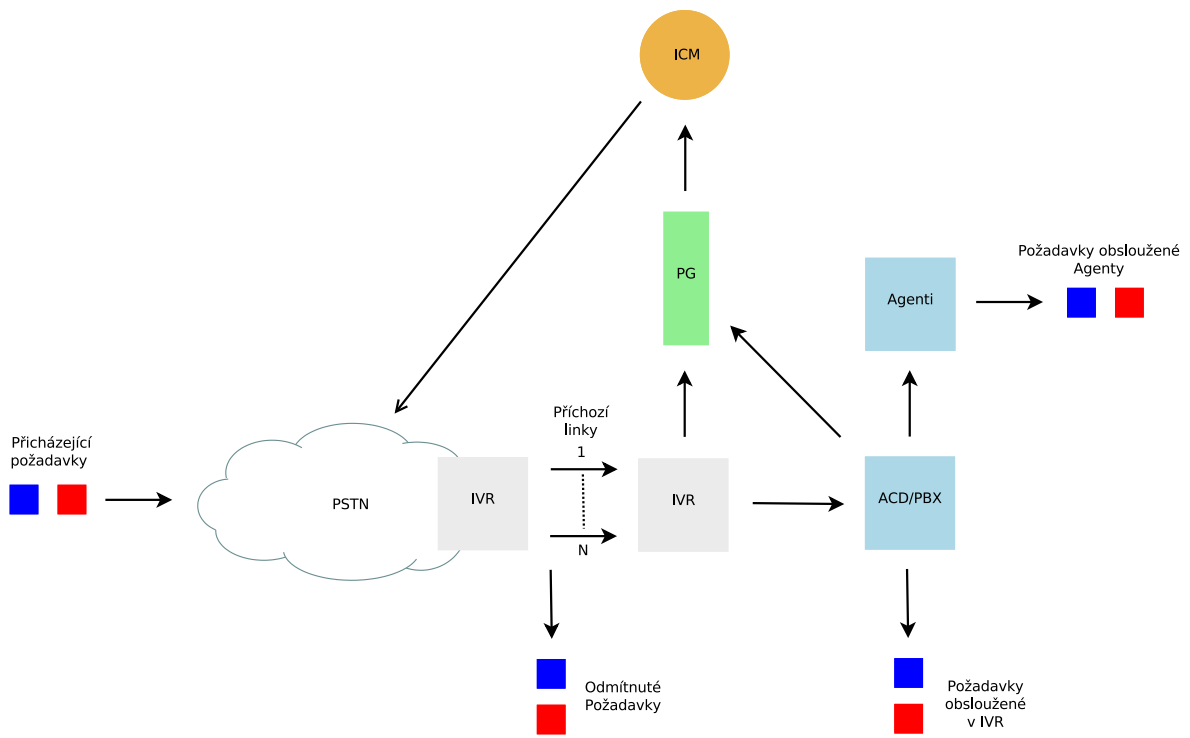
2.3. Topologie call center

Různí poskytovatelé mají různá řešení topologie call center. Nadnárodní společnost Cisco Systems, Inc. má několik variací. Na obrázku 2.5 lze vidět variantu s podobným uspořádáním jako v případě zobrazeném na obrázku 2.1. Modul IVR je zde předřazen modulu ACD. Proces průchodu požadavku call centrem je podobný jako v případě popsaném v kapitole 2.2 s několika rozdíly. Prvním z nich je pozice modulu IVR. Jednou z možností je, že modul IVR je součástí vlastního call centra. V jiné variantě může být poskytnut poskytovatelem telefonní služby. V tomto případě je hovor vždy propojen do IVR. Nemusí tedy docházet k ukončení hovoru z důvodu obsazení všech linek vedoucích do call centra, neboť hovor je do něj propojen pouze v případě, že zákazník vyžaduje interakci s agentem. V případě, že jsou všechny linky obsazené, je hovor zařazen do fronty čekání. Pakliže se hovor dostane do modulu ACD, je standardně přepojen na příslušného agenta nebo přeměrován do jiného call centra⁴. Druhá z možností nastane, pokud v call centru nenabízí zákazníkovi uspokojivé řešení, které však může být poskytnuto agentem v call centru jiném. Toto přeměrování se děje pomocí modulu PG (*Peripheral Gateway*). Toto zařízení je v podstatě bridge k jiné aplikaci. V tomto případě k Unified ICM (*Intelligent Contact Management*), které sdružuje správu kontaktů a směrování hovoru [3].

⁴Toto přeměrování může provést i modul IVR, v případě, že je součástí call centra

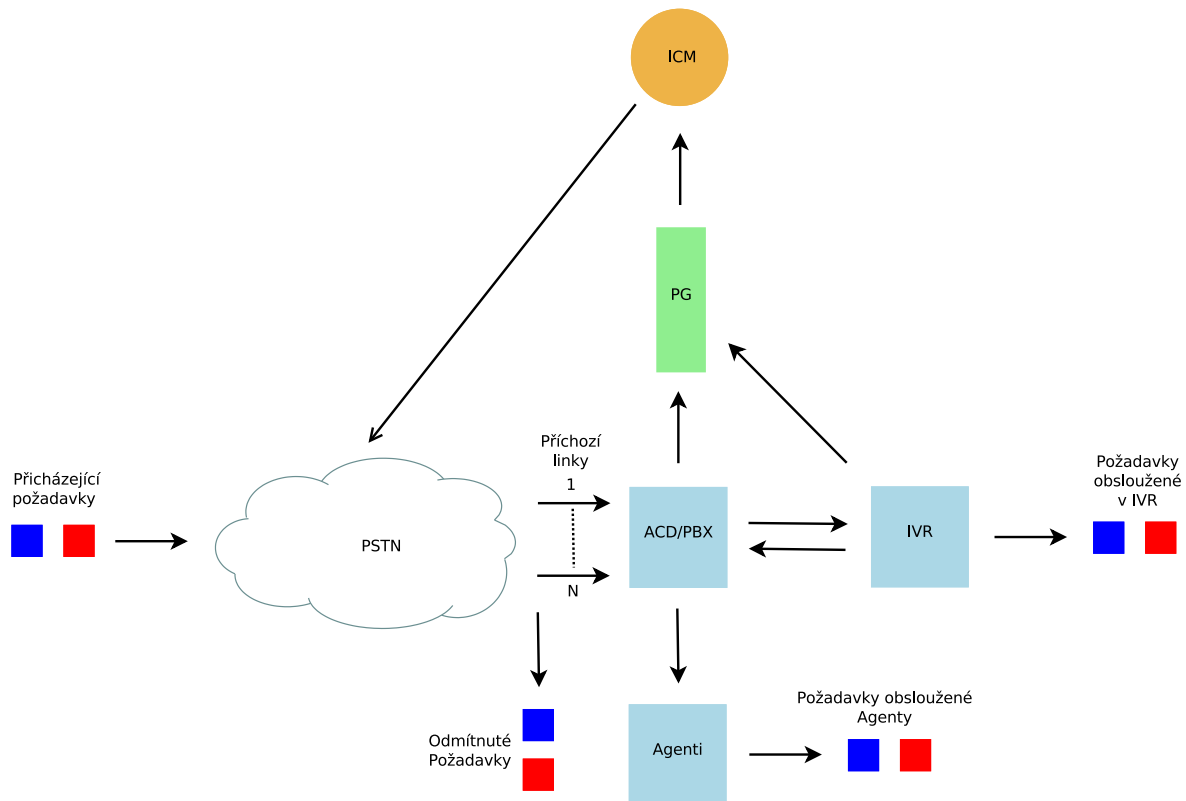


Obr. 2.4: Dynamické SBR



Obr. 2.5: Topologie Cisco - IVR před ACD

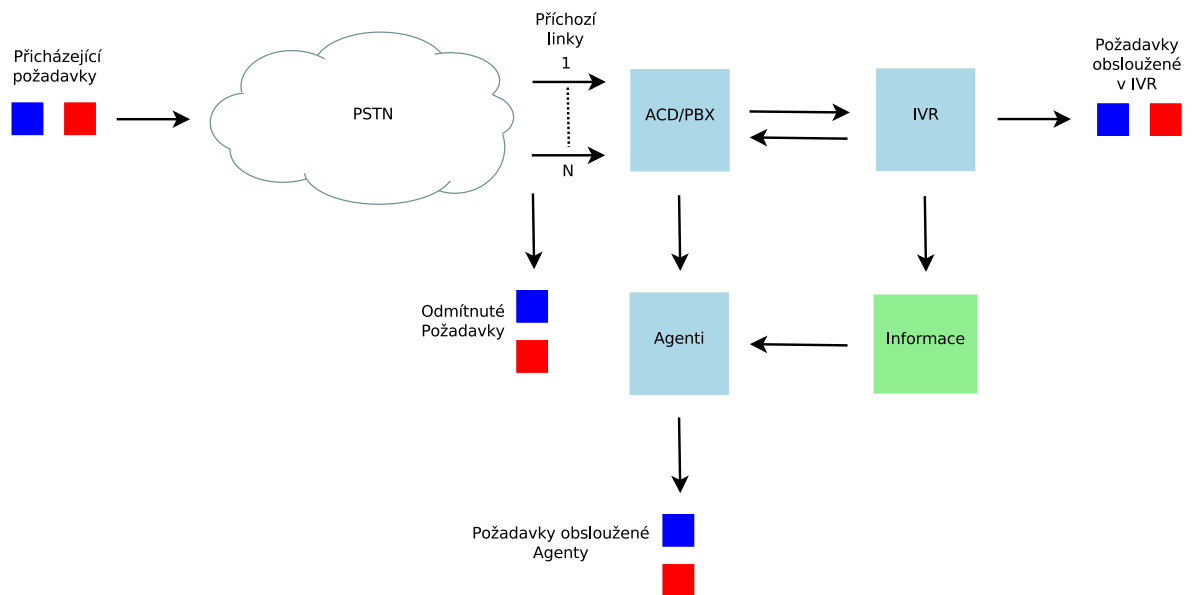
Další možností v portfoliu výše zmíněné společnosti je zařadit modul ACD před IVR (viz. obrázek 2.6). Hovory se v tomto případě připojují z PSTN na ACD, kde jsou směrovány na IVR. V případě, že IVR nenabídne zákazníkovi uspokojivé řešení, je hovor buď přeměrován zpět na ACD a přepojen na příslušného agenta, nebo přeměrován do jiného call centra⁵. Proces přeměrování probíhá následovně. IVR pošle žádost o novou destinaci pro určitý hovor na PG. Žádost je přeposlána na Unified ICM, který pošle novou destinaci pro daný hovor zpět na modul PG. Ten následně přepoše tuto informaci na IVR. IVR následně signalizuje ACD příkaz k přeposlání na specifikovanou destinaci [3].



Obr. 2.6: Topologie Cisco - IVR za ACD

Podobnou topologii call centra, jako na obrázku 2.6, můžeme najít i u společnosti Avaya Inc. (viz. obrázek 2.7) V případě této implementace se ACD i IVR chovají stejně jako v případě variant u společnosti Cisco Inc. Software této firmy navíc nabízí aplikaci, která simultánně zobrazí informace o volajícím zákazníkovi, jako využívané služby, tarify, stav konta, apod. Nezobrazuje číslo volaného [4].

⁵Toto přeměrování může provést i modul ACD



Obr. 2.7: Topologie Avaya

3. Popis simulačního modelu

V této kapitole je popsán simulační model call centra. Najdeme zde definici zadávaných parametrů a sledovaných veličin tohoto simulačního modelu. Dále též logickou topologii call centra a jeho procesního diagramu. Simulační program byl sestaven v prostředí OMNeT++ verze 4.6. Pro konkrétní implementaci byla využita knihovna *queueinglib*. Zdrojové kódy jsou k dispozici k nahlédnutí u vedoucího práce.

3.1. Parametry a sledované veličiny simulačního modelu

Průměrný počet nabízených požadavků za jednotku času je dále v textu označován jako intenzita příchodu s označením λ

$$\lambda = \frac{1}{t_p}, \quad (3.1)$$

kde t_p je střední hodnota časového intervalu, za který je systému nabídnut jeden hovor. Intenzita obsluhy v IVR značená θ je definována

$$\theta = \frac{1}{t_I}, \quad (3.2)$$

kde t_I představuje průměrnou dobu obsluhy v modulu IVR. Intenzitu obsluhy v interaktivní části μ definujeme jako počet hovorů, které agent obslouží v interaktivní fázi za jednotku času

$$\mu = \frac{1}{t_{os}}, \quad (3.3)$$

kde t_{os} je průměrná doba obsluhy v interaktivní části agentem. Jde tedy o čas, po který agent hovoří s volajícím. Intenzita obsluhy v administrativní době α je definována jako počet hovorů obslužených agentem během ACW za jednotku času

$$\alpha = \frac{1}{t_a}, \quad (3.4)$$

kde t_a je určuje průměrnou hodnotu administrativní doby. Mezi měřené charakteristiky patří pravděpodobnost ztráty hovoru. Tuto můžeme definovat následovně

$$B = \frac{C_z}{C_p} = 1 - \frac{C_s}{C_p}, \quad (3.5)$$

kde C_p je průměrný počet příchozích hovorů za simulační úsek délky t_{sim} . Veličina C_p je sbírána přímo v simulačním modelu, ale je možné ji určit také ze vztahu

$$C_p = \lambda t_{sim}, \quad (3.6)$$

kde t_{sim} je délka simulačního úseku. Počet všech obslužených hovorů je dán vztahem

$$C_s = C_{s_{IVR}} + C_{s_A} = \lambda(1 - B)t_{sim}, \quad (3.7)$$

kde $C_{s_{IVR}}$ je průměrný počet hovorů obslužených v IVR a C_{s_A} je průměrný počet obslužených hovorů agenty. Tyto dvě veličiny jsou sbírány v simulačním modelu.

Průměrný počet všech odmítnutých hovorů C_z za simulační úsek délky t_{sim} . Tato veličina je rovněž přímo sbírána ze simulačního modelu. Analogicky ji lze vypočítat jako

$$C_z = \lambda B t_{sim} \quad (3.8)$$

Následuje popis dob čekání. Ve všech jejích variacích, zmíněných v této simulaci, jde o průměr celkové sumy všech dob, které pročekaly všechny hovory ve frontě čekání vztáženou k určitému počtu hovorů. Tato celková doba T_w je tedy určena

$$T_w = \sum_{i=1}^{C_w} t_{w_i}, \quad (3.9)$$

kde C_w je počet hovorů za simulační úsek délky t_{sim} , které čekaly na obsluhu a t_{w_i} je doba čekání i -tého hovoru. Doby čekání se v této práci vztahují ke třem druhům požadavků, a to C_p , C_w , C_s . Mezi těmito veličinami platí následující relace

$$C_w < C_s < C_p \quad (3.10)$$

Střední hodnota doby čekání vztažená k obsluženým hovorům $E[W]$

$$E[W] = \frac{T_w}{C_s}, \quad (3.11)$$

kde W je doba čekání hovoru, který je přijat do Call Centra (není ztracen). Střední hodnota doby čekání vztažená k nabízeným hovorům $E[W_0]$

$$E[W_0] = \frac{T_w}{C_p}, \quad (3.12)$$

kde W_0 je doba čekání libovolného nabízeného hovoru. Střední hodnota doby čekání vztažená k čekajícím hovorům $E[W_W]$

$$E[W_W] = \frac{T_w}{C_w}, \quad (3.13)$$

kde W_W je doba čekání hovoru. Doba čekání ztraceného hovoru se považuje za nulovou, stejně jako u požadavku, který je obslužen bez čekání [2].

Další důležitou veličinou, která se v případě call center měří, je $P(W > t)$. Jedná se pravděpodobnost, podle které hovor čekal ve frontě déle než t . Stejně jako doby čekání se i tyto pravděpodobnosti vztahují ke třem druhům požadavků a to C_p , C_w , C_s . Pravděpodobnost čekání déle než t vztažená k obsluženým požadavkům $P(W > t)$

$$P(W > t) = \frac{C_w(W > t)}{C_s}, \quad (3.14)$$

kde $C_w(W > t)$ je počet hovorů, které čekaly ve frontě volání déle než t . Pravděpodobnost čekání déle než t vztažená k čekajícím požadavkům $P(W_W > t)$

$$P(W_W > t) = \frac{C_w(W > t)}{C_w} \quad (3.15)$$

Pravděpodobnost čekání déle než t vztažená k čekajícím požadavkům $P(W_0 > t)$

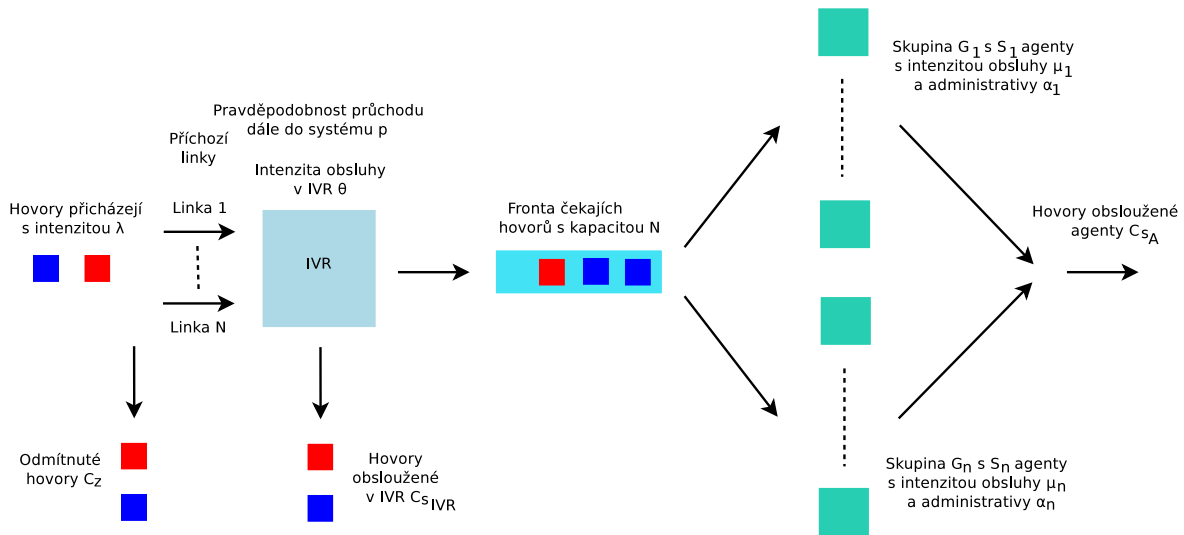
$$P(W_0 > t) = \frac{C_w(W > t)}{C_p} \quad (3.16)$$

3.2. Topologie simulačního modelu

Simulační model byl sestaven podle obrázku 2.3. Jedná se tedy o statické SBR. Pro lepší ilustraci byl sestaven obrázek 3.1, na kterém je jsou lépe zobrazeny toky požadavků v modelu. Fronta pro čekající hovory je společná pro více skupin a její kapacita je rovná počtu příchozích linek (okruhů) N . Z tohoto důvodu byla zvolena tato abstrakce.

Hovory přicházejí do systému s danou intenzitou. Ta je určena parametrem λ . Lze ho definovat jako průměrný počet požadavků, které přijdou do systému během jednotkového intervalu. Jedná se tedy o exponenciálně⁶ rozloženou náhodnou veličinu se střední hodnotou $1/\lambda$. Příchozí hovor je přijat do systému, pokud je alespoň jedna linka v okamžiku jeho příchodu volná. V případě, že takováto linka neexistuje, je hovor odmítnut a spolu s ostatními takovými hovory tvoří tok odmítnutých (ztracených) požadavků. Počet odmítnutých hovorů

⁶toto rozložení se používá zpravidla pro aplikace v telekomunikacích



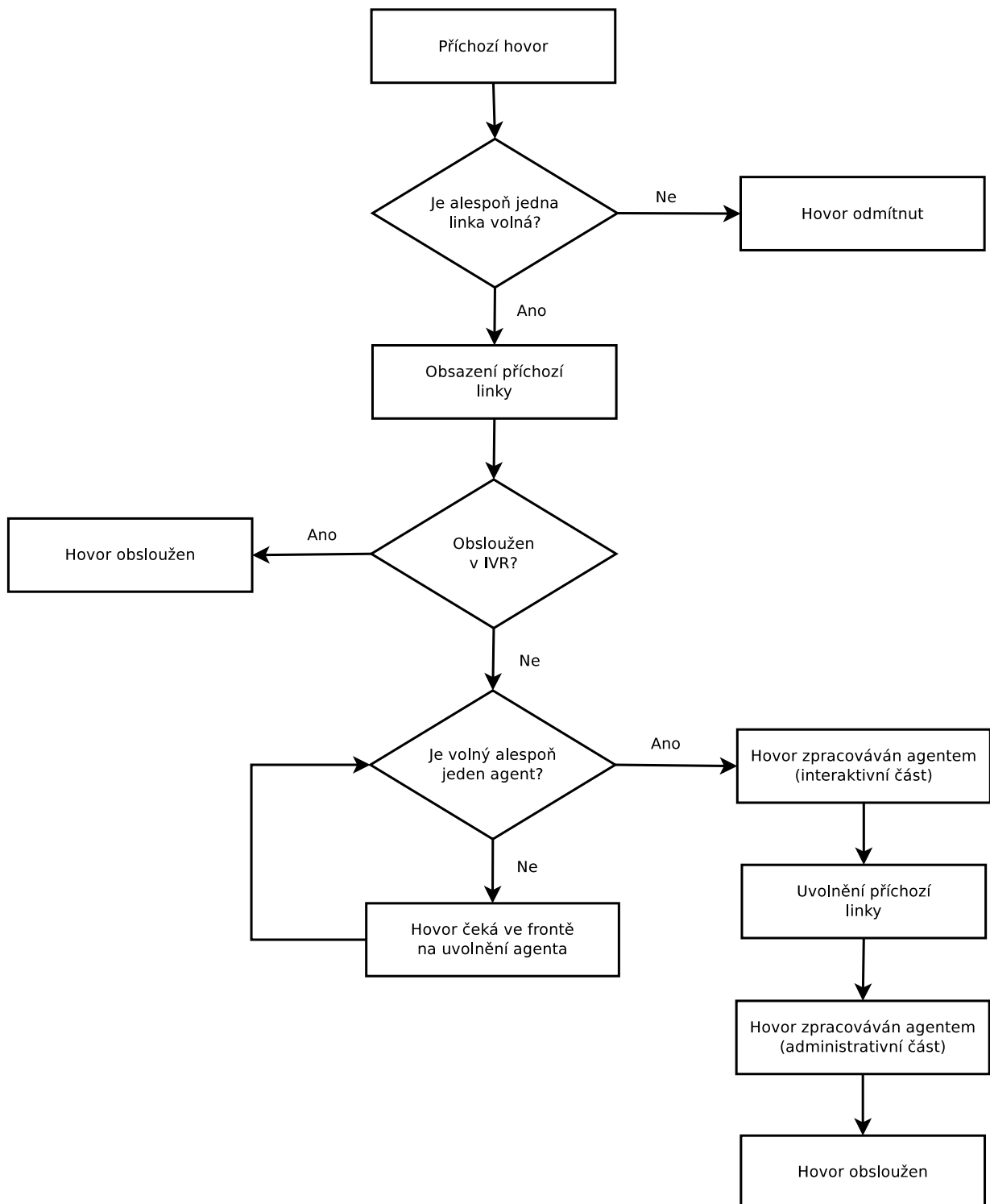
Obr. 3.1: Topologie simulačního modelu

je značen C_z . Pakliže je některá z linek volná, hovor pokračuje ke zpracování do modulu IVR. Zde má požadavek pravděpodobnost $1 - p$ být obslužen. Pokud se tak stane, spadá hovor do toku hovorů, jejichž obsluha byla dokončena v IVR. Na obrázku 3.1 vidíme počet těchto hovorů pod proměnnou $C_{s_{IVR}}$. Jestliže hovor nebyl obslužen v IVR, pokračuje dále do systému. V každém případě se ale v IVR hovor zdrží nějakou dobu. Tato je aproximována exponenciálně rozloženou náhodnou veličinou s parametrem θ . Tento parametr tedy reprezentuje intenzitu obsluhy modulu IVR a je definován vztahem (3.2). Po opuštění IVR nastávají dva případy.

- Alespoň jeden agent z cílové skupiny volný, je mu přiřazen hovor ke zpracování.
- Hovor je zařazen do fronty čekání. V této frontě zůstane tak dlouho, dokud se některý z agentů v požadované skupině neuvolní.

Počet čekajících hovorů je reprezentován veličinou C_w . Nakonec však v obou z výše zmíněných případech doputuje hovor k agentovi, jenž ho odbaví. Děje se tak ve dvou fázích. Prvním z nich je interaktivní část, kdy agent hovoří přímo s volajícím. Po tomto časový interval je blokována i příchozí linka⁷. Tato doba je modelována parametrem μ neboli intenzitou obsluhy (agenta) v interaktivní části. Jedná se opět o náhodnou veličinu (definována vztahem (3.3)). Následovně je linka uvolněna, neboť volající hovor ukončí. Agent však uvolněn není, neboť se zabývá dořešením požadavku vzniklého hovorem. Parametr α určuje intenzitu obsluhy v administrativní době. Definicí této představuje vztah (3.4). Oba intervaly jsou opět zpravidla aproximovány náhodnou veličinou s exponenciálním rozložením s příslušnou střední hodnotou. Nakonec je hovor obslužen a spadá do počtu obslužených hovorů C_{s_A} . Součet C_{s_A} a $C_{s_{IVR}}$ tvoří počet obslužených hovorů C_s . Proces průchodu požadavku modelem call centra je detailněji rozebrán na obrázku 3.2 [5].

⁷Příchozí linka je stále obsazena volajícím



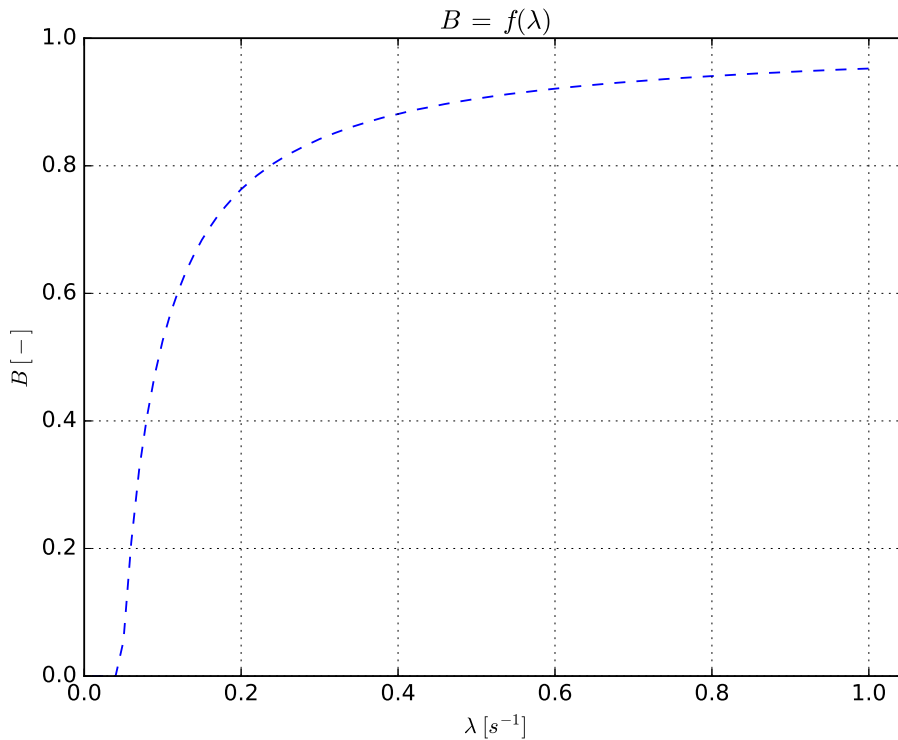
Obr. 3.2: Proces průchodu hovoru modelem call centra

4. Analýza simulačního modelu s jednou skupinou agentů

V této kapitole jsou popsány a statisticky zpracovány výsledky ze simulace call centra. Simulační model byl sestaven podle obrázku 3.1 s procesním diagramem 3.2. Výsledky analýzy jsou zpracovány formou grafů či tabulek. Uvedeny jsou střední hodnoty, které jsou počítány z n simulačních úseků. Pro tyto hodnoty je vypočítán 95% interval spolehlivosti. V případě grafů jsou konfigurovatelné veličiny vypsány pod grafy spolu s jejich hodnotami. Ty jsou zpravidla voleny tak, aby byl odsimulován průběh při malém i velkém vytížení systému.

4.1. Chování modelu v závislosti na změně λ

Tato podkapitola popisuje chování modelu call centra v případě, že se mění počet požadavků přicházejících za jednotku času, jinými slovy se mění intenzita příchozího zatížení.

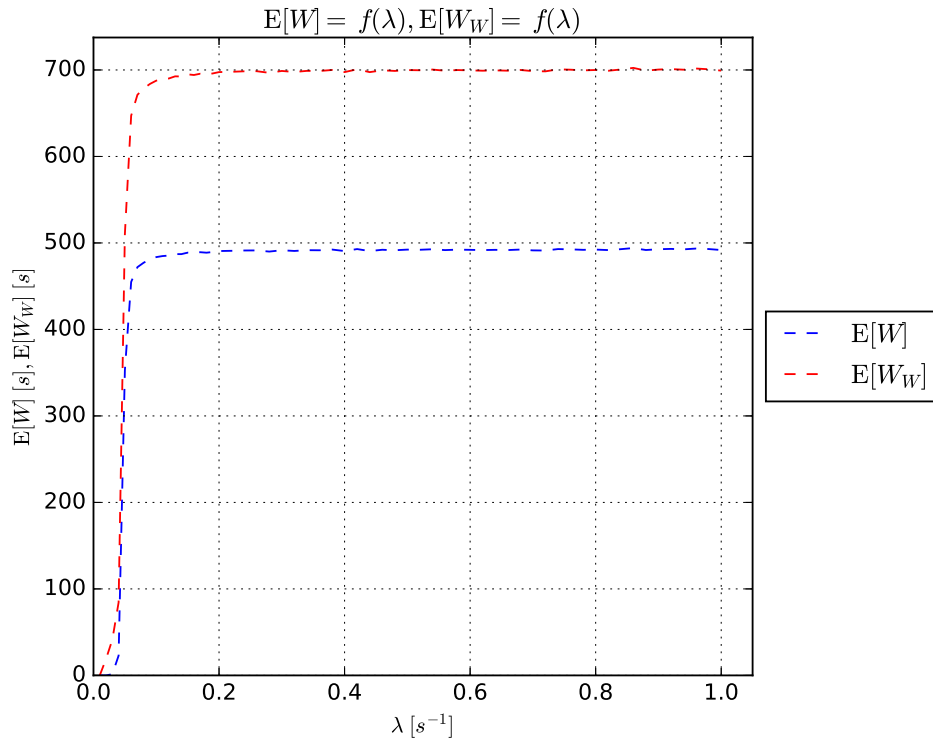


Obr. 4.1: Pravděpodobnost ztráty B v závislosti na intenzitě příchozího hovorů

$$Z = 1, \theta = 1,09 \text{ min}^{-1}, N = 30, G = 1, S = 10, \mu = 0,5 \text{ min}^{-1}, \alpha = 0,33 \text{ min}^{-1}, p = 0,7$$

Na obrázku 4.1 lze vidět závislost pravděpodobnosti ztráty hovorů v závislosti na vzrůstající intenzitě příchozího hovorů. Tedy počet volajících se zvyšuje se vzrůstající hodnotou λ . Z grafu lze vyzorovat, že pravděpodobnost ztráty roste se vzrůstající hodnotou λ . Při vyšších hodnotách λ konverguje pravděpodobnost ztráty k hodnotě jedna. Tedy, čím více je příchozích hovorů, tím roste pravděpodobnost ztráty. Z průběhu dob čekání (viz. obrázek 4.2) lze vyzorovat podobnou závislost jako v případě ztráty. Hodnota doby čekání vztažená k obsluženým hovorům je vždy menší než hodnota doby čekání vztažená k hovorům, jež skutečně čekaly na obslužení agenty. Důvodem rozdílu je fakt, že všechny hovory, jež čekaly byly obsluženy, ale ne každý obslužený hovor čekal. Poté kolem hodnoty intenzity příchozího $\lambda = 0,09 \text{ s}^{-1}$ se průběh začíná prudce ohýbat. Obecně průměrné hodnoty dob čekání rostou. Důvodem je stále vyšší počet příchozích požadavků. Do systému se jich tedy dostává čím

dál více. Současně se jich i více ztrácí, jinými slovy zvedá se výkon systému na úkor ztrát. Fronta čekání má však omezenou kapacitu. Z tohoto důvodu pozorujeme od určité hodnoty λ monotonní průběh $E[W]$ a $E[W_W]$.



Obr. 4.2: Doby čekání $E[W_W]$ a $E[W]$ v závislosti na intenzitě příchodu hovoru

$$Z = 1, \theta = 1,09 \text{ min}^{-1}, N = 30, G = 1, S = 10, \mu = 0,5 \text{ min}^{-1}, \alpha = 0,33 \text{ min}^{-1}, p = 0,7$$

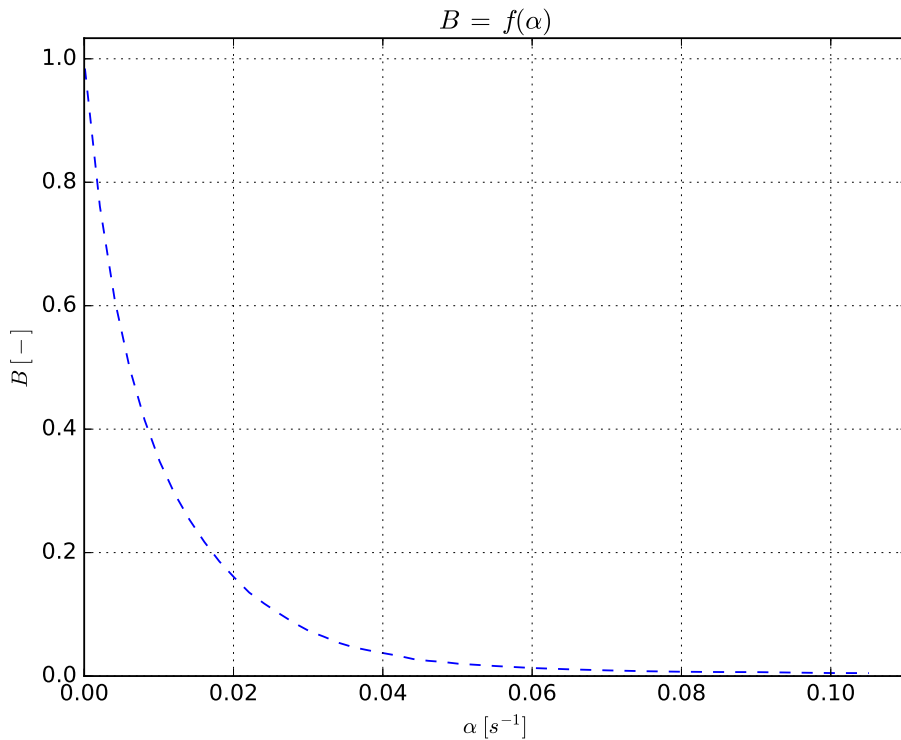
4.2. Chování modelu v závislosti na změně α

Tento scénář popisuje chování simulace v závislosti na změnách intenzity obsluhy v administrativní době α . Administrativní doba je modelována simulačním parametrem t_a . Po délku trvání administrativní doby není na rozdíl od doby obsluhy hovoru blokována příchozí linka. Na rozdíl od případu popsaném v kapitole 4.1 pravděpodobnost ztráty (viz. obrázek 4.3) klesá se zvyšující se α . Na obrázku 4.3 jsou vidět limitní stavy simulačního modelu call centra. Jak stav, ve kterém je systém přetížen ($B \approx 0,9$), tak stav, v němž je B téměř zanedbatelná. Pravděpodobnost ztráty klesá v důsledku kratšího obsazení agentů řešením požadavku. V momentě, kdy žádný volný agent není, má požadavek možnost počkat ve frontě. Místo ve frontě čekání bude pro požadavek vždy, pokud nebyl odmítnut při příchodu do call centra. Je tedy zřejmé, že s prodloužením administrativní doby t_a pravděpodobnost ztráty systému stoupá. Doby čekání (viz. obrázek 4.4) mají charakter nepřímé úměrnosti a se zvětšující se hodnotou α hodnoty $E[W]$ a $E[W_W]$ klesají. $E[W_W]$ klesá pomaleji, protože stále méně požadavků čeká. V konečném důsledku se zkracuje průměrný kumulativní čas T_w , který celkem pročekaly požadavky ve frontě v simulačním úseku délky t_{sim} spolu s průměrným počtem čekajících požadavků C_w .

Pro ilustraci jsou uvedeny tabulky 4.1, 4.2 a 4.3, které porovnávají vybrané charakteristiky ve dvou případech. V prvním (nazveme jej σ) uvažujeme intenzitu administrativy jako samostatnou veličinu. Naopak v případě druhém (s označením τ) je zahrnuta do intenzity obsluhy. Tabulky uvádějí absolutní hodnotu měřených veličin a jejich relativní rozdíly ΔB , $\Delta E[W]$ a $\Delta P(W > 120 \text{ s})$ vztahený k případu σ . Případy se liší následovně:

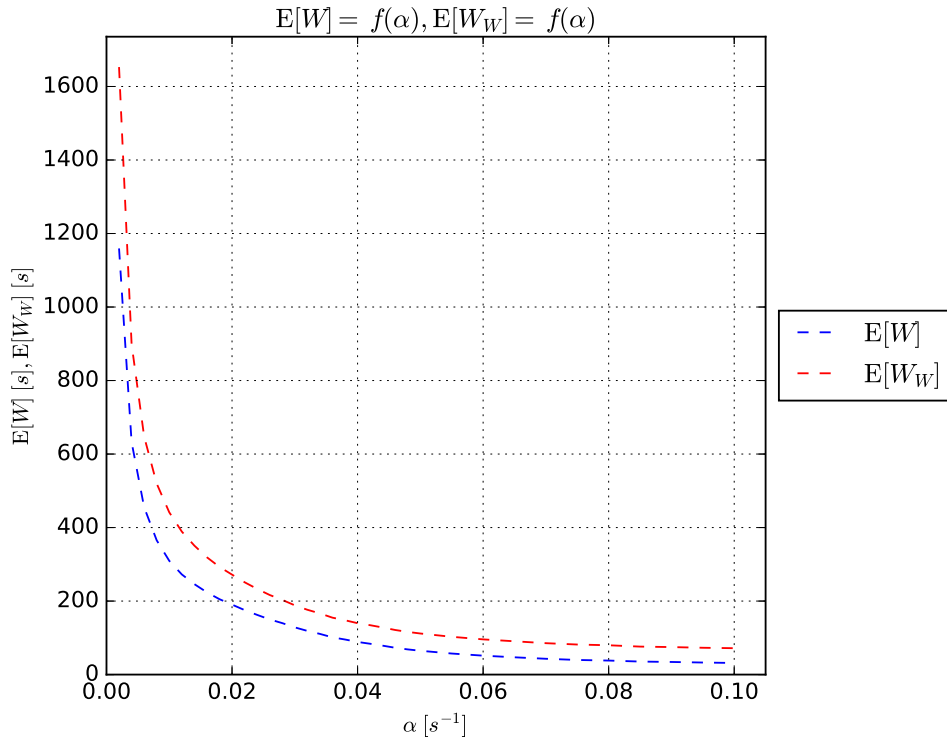
$$\begin{aligned} \sigma : t_a &= 2 \text{ min}, t_{os} = 1 \text{ min} \\ \tau : t_a &= 0 \text{ min}, t_{os} = 3 \text{ min} \end{aligned} \tag{4.1}$$

Ze sledovaných hodnot by se mohlo zdát, že se zvětšujícím se zatížením rozdíl obou případů, označovaných jako ΔB a $\Delta P(W > 120 \text{ s})$, konvergují k nule. Zdání ale klame, tento trend je silně ovlivněn pravděpodobností ztráty. Tato při přetížení systému silně ovlivňuje počet obslužených požadavků, s čímž je nutné počítat. Hodnoty $\Delta E[W]$ jsou taktéž silně ovlivněny pravděpodobností ztráty. Tato srovnání dokazují, že ACW má značný vliv na dimenzování call center. Pokud bychom tento jev nezahrnuli, bylo by call centrum nad-dimenzované. Mělo by tedy zbytečně velký počet obsluhujících agentů nebo příchozích linek, což se projeví na finanční stránce provozování call centra.



Obr. 4.3: Pravděpodobnost ztráty B v závislosti na α

$$Z = 1, \theta = 1,09 \text{ min}^{-1}, N = 30, G = 1, S = 10, \mu = 0,5 \text{ min}^{-1}, \lambda = 6 \text{ min}^{-1}, p = 0,7$$



Obr. 4.4: Doby čekání $E[W_W]$ a $E[W]$ v závislosti na α

$Z = 1, \theta = 1,09 \text{ min}^{-1}, N = 30, G = 1, S = 10, \mu = 0,5 \text{ min}^{-1}, \lambda = 6 \text{ min}^{-1}, p = 0,7$

Tab. 4.1: Porovnání B v případech σ a τ

λ [min^{-1}]	$B \sigma$ [-]	$B \tau$ [-]	ΔB [%]
0,062	0,0002 \pm 0,0001	0,0021 \pm 0,0006	759,51
0,067	0,0006 \pm 0,0003	0,0053 \pm 0,0005	795,54
0,071	0,0039 \pm 0,0007	0,0149 \pm 0,0026	280,38
0,077	0,0216 \pm 0,0016	0,0382 \pm 0,0025	76,25
0,083	0,0605 \pm 0,0025	0,0786 \pm 0,0028	29,81
0,091	0,1275 \pm 0,0047	0,1379 \pm 0,0032	8,12
0,100	0,2081 \pm 0,0031	0,2116 \pm 0,0051	1,70
0,111	0,2881 \pm 0,0045	0,2889 \pm 0,0041	0,26
0,125	0,3683 \pm 0,0019	0,3649 \pm 0,0024	0,90
0,143	0,4466 \pm 0,0020	0,4501 \pm 0,0024	0,78
0,167	0,5250 \pm 0,0017	0,5259 \pm 0,0027	0,18
0,200	0,6042 \pm 0,0013	0,6035 \pm 0,0021	0,11
0,250	0,6851 \pm 0,0009	0,6829 \pm 0,0011	0,32
0,333	0,7628 \pm 0,0007	0,7624 \pm 0,0016	0,05
0,500	0,8418 \pm 0,0006	0,8417 \pm 0,0005	0,01
1,000	0,9207 \pm 0,0003	0,9209 \pm 0,0003	0,02

$Z = 1, \theta = 1 \text{ min}^{-1}, N = 30, G = 1, S = 10, p = 0,7$

Tab. 4.2: Porovnání $E[W]$ v případech σ a τ

λ [min^{-1}]	$E[W] \sigma$ [s]	$E[W] \tau$ [s]	$\Delta E[W]$ [%]
0,062	19,2307 \pm 1,2689	22,1744 \pm 1,3744	15,31
0,067	29,6509 \pm 1,4916	31,3685 \pm 1,2151	5,79
0,071	56,2438 \pm 3,3926	50,5452 \pm 2,9837	10,13
0,077	106,8510 \pm 4,2461	75,5671 \pm 2,4663	29,28
0,083	160,1630 \pm 2,9249	101,3695 \pm 1,5103	36,71
0,091	207,2185 \pm 3,6367	127,4839 \pm 1,7747	38,48
0,100	235,6907 \pm 1,1986	148,6767 \pm 2,1221	36,92
0,111	248,8352 \pm 2,0673	161,7447 \pm 1,3722	35,00
0,125	257,6962 \pm 1,0779	170,5263 \pm 0,7711	33,83
0,143	262,7120 \pm 1,0885	178,3085 \pm 1,0044	32,13
0,167	265,4064 \pm 0,8659	181,1344 \pm 1,2752	31,75
0,200	268,2069 \pm 0,8385	183,6011 \pm 1,1071	31,54
0,250	272,3392 \pm 0,9309	186,1215 \pm 0,9636	31,66
0,333	273,1120 \pm 0,8256	188,3847 \pm 1,6752	31,02
0,500	274,7177 \pm 0,9351	190,2945 \pm 0,7627	30,73
1,000	275,2642 \pm 1,3615	191,6461 \pm 1,0429	30,38

$$Z = 1, \theta = 1 \text{ min}^{-1}, N = 30, G = 1, S = 10, p = 0,7$$

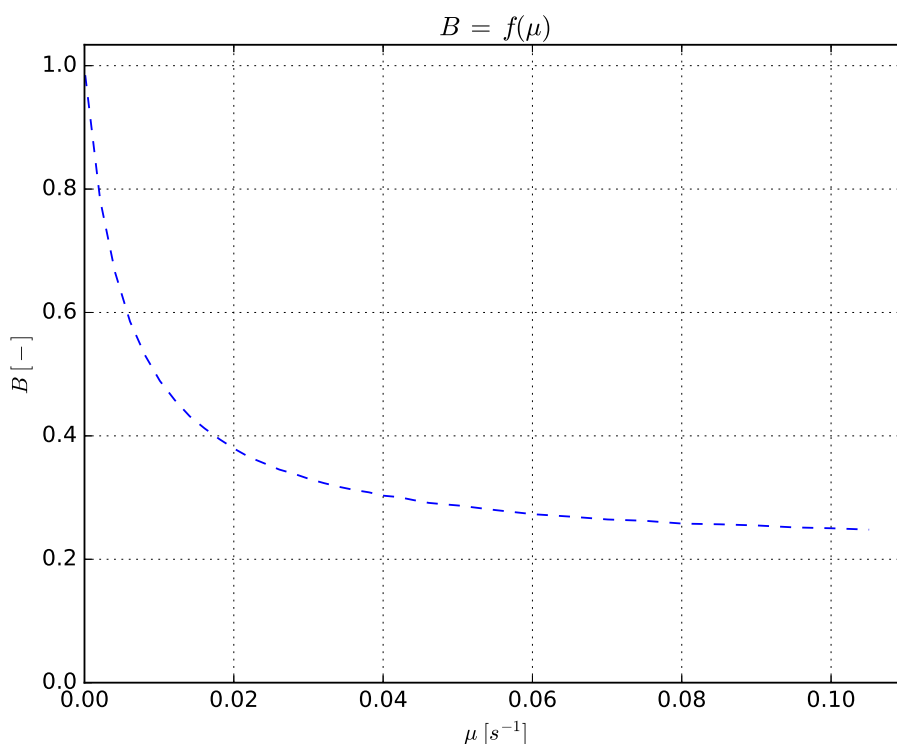
Tab. 4.3: Porovnání $P(W > 120 \text{ s})$ v případech σ a τ

λ [min^{-1}]	$P(W > 120 \text{ s}) \sigma$ [-]	$P(W > 120 \text{ s}) \tau$ [-]	$\Delta P(W > 120 \text{ s})$ [%]
0,062	0,0487 \pm 0,0055	0,0651 \pm 0,0060	33,62
0,067	0,0867 \pm 0,0072	0,0992 \pm 0,0061	14,40
0,071	0,1872 \pm 0,0128	0,1781 \pm 0,0126	4,89
0,077	0,3681 \pm 0,0143	0,2822 \pm 0,0100	23,33
0,083	0,5341 \pm 0,0077	0,3917 \pm 0,0076	26,65
0,091	0,6469 \pm 0,0069	0,4997 \pm 0,0070	22,75
0,100	0,6915 \pm 0,0013	0,5838 \pm 0,0069	15,58
0,111	0,6981 \pm 0,0010	0,6290 \pm 0,0039	9,90
0,125	0,7003 \pm 0,0003	0,6546 \pm 0,0028	6,52
0,143	0,7009 \pm 0,0003	0,6719 \pm 0,0019	4,13
0,167	0,7011 \pm 0,0001	0,6776 \pm 0,0018	3,35
0,200	0,7010 \pm 0,0001	0,6829 \pm 0,0013	2,58
0,250	0,7012 \pm 0,0001	0,6867 \pm 0,0006	2,07
0,333	0,7013 \pm 0,0001	0,6882 \pm 0,0011	1,86
0,500	0,7013 \pm 0,0001	0,6903 \pm 0,0009	1,57
1,000	0,7012 \pm 0,0002	0,6908 \pm 0,0012	1,49

$$Z = 1, \theta = 1 \text{ min}^{-1}, N = 30, G = 1, S = 10, p = 0,7$$

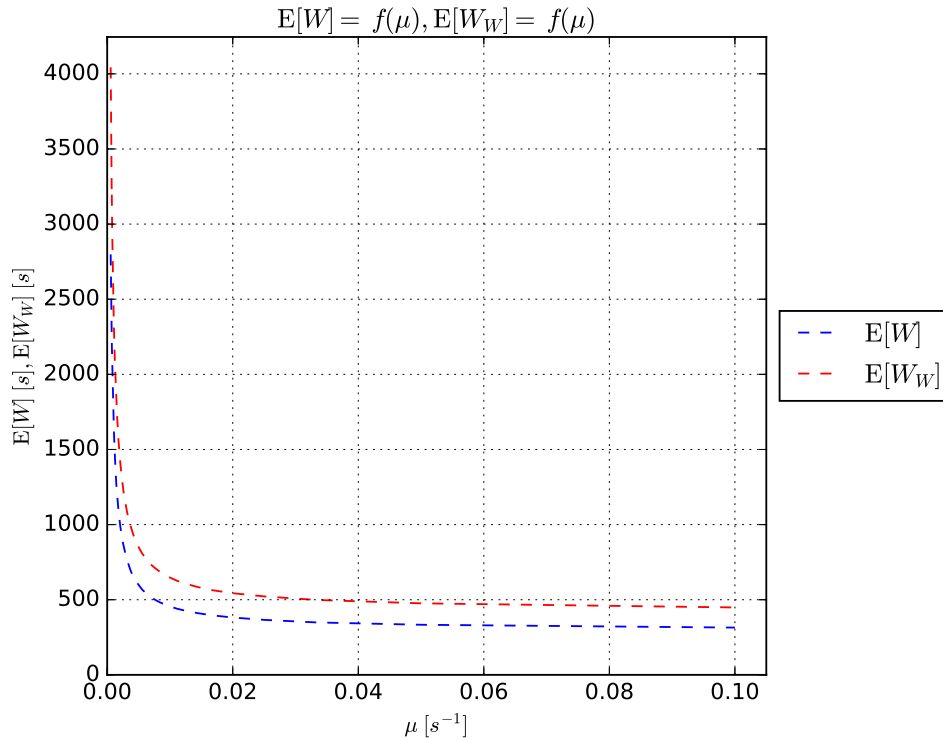
4.3. Chování modelu v závislosti na změně μ

Doba obsluhy v interaktivní části je časový interval, po který volající interaguje s agentem. Intenzita obsluhy v interaktivní části μ je průměrný počet takto odbavených hovorů za jednotku času. Na rozdíl od administrativní doby je po dobu obsluhy blokována příchozí linka (viz. obr. 2.2). Na obrázku 4.5 je zobrazen křivka průběhu pravděpodobnosti ztráty. Průběh je podobný křivce z obrázku 4.3, avšak konverguje k nule podstatně pomaleji. Tato skutečnost je dána výše zmíněným faktem blokování linky. Příchozí hovor je tedy zahozen i v případě, že má možnost čekat, neboť všechny linky jsou obsazeny. Doby čekání (viz. obrázek 4.6) dodržují charakter nepřímé úměrnosti jako v kapitole 4.2, avšak opět jako v případě B neklesají k nule. Tento jev je způsoben delší dobou obsazení vedení požadavkem, z čehož plyne menší počet čekajících požadavků C_w , právě v důsledku volných míst k čekání. Hovor bude ale vždy nějakou dobu čekat z důvodu existence administrativní doby. Oba výše zmíněné grafy mapují v první fázi chování systému při přetížení.



Obr. 4.5: Pravděpodobnost ztráty B v závislosti na intenzitě obsluhy

$$Z = 1, \theta = 1,09 \text{ min}^{-1}, N = 30, G = 1, S = 10, \alpha = 0,33 \text{ min}^{-1}, \lambda = 6 \text{ min}^{-1}, p = 0,7$$



Obr. 4.6: Doby čekání $E[W_W]$ a $E[W]$ v závislosti na intenzitě obsluhy

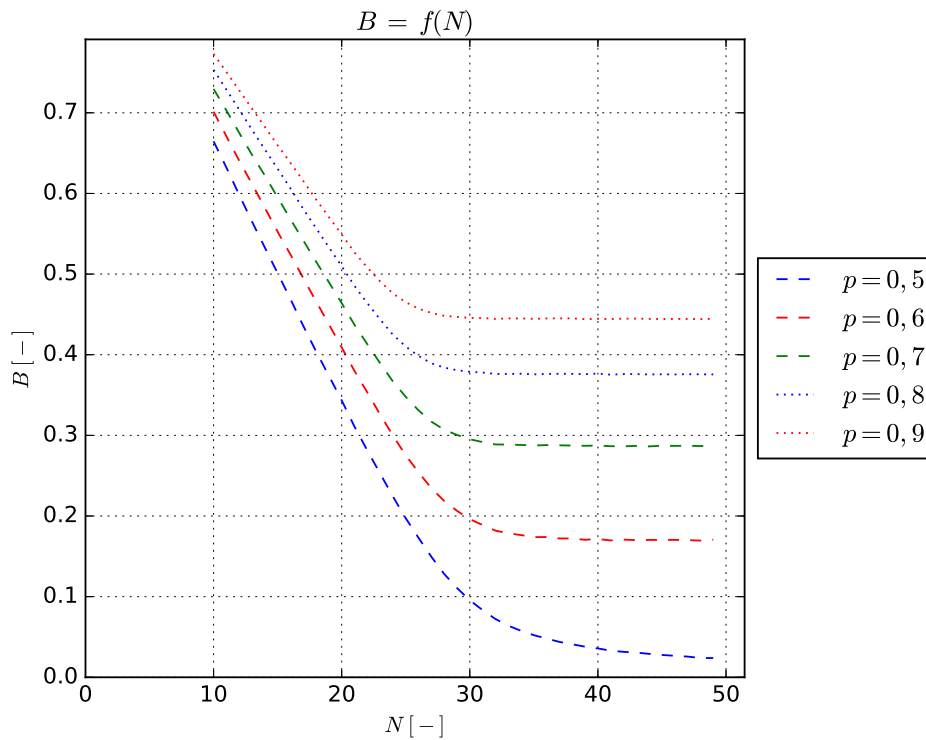
$$Z = 1, \theta = 1,09 \text{ min}^{-1}, N = 30, G = 1, S = 10, \alpha = 0,33 \text{ min}^{-1}, \lambda = 6 \text{ min}^{-1}, p = 0,7$$

4.4. Chování modelu v závislosti na změně N

Vedení nebo také okruhy přímo určují maximální možný počet na agenta čekajících nebo agentem obsluhovaných požadavků v Call Centru. Se změnou počtu přípojných okruhů se mění i počet míst čekání a tím i pravděpodobnost, že požadavek bude čekat. Tento fakt se odráží jak na ztrátě, tak středních hodnotách dob čekání. Grafy na obrázcích 4.7, 4.8 a 4.9 jsou parametrizovány pro různé pravděpodobnosti p v intervalu od 0,5 až 0,9 s krokem 0,1. Tato pravděpodobnost určuje, zda bude obsluha příchozího hovoru ukončena agentem nebo IVR. Na obrázku 4.7 vidíme průběh ztráty s postupně se zvětšujícím počtem přípojných okruhů N . Pro simulaci byl zvolen rozsah počtu linek v intervalu od deseti do padesáti s krokem jedna. Graf ukazuje, že s rostoucí pravděpodobností p roste pravděpodobnost ztráty příchozích požadavků. Důvodem je větší zatížení agentů, k nimž se dostane více požadavků. Ti nedokáží požadavky odbavovat se stejnou rychlostí jako IVR. Všimněme si rozdílu mezi $t_I = 55$ s (čas, po který IVR požadavek zpracovává), $t_{os} = 120$ s a $t_a = 180$ s. Nejenže v případě zpracování požadavku agentem je linka obsazena déle $t_I < t_{os}$, navíc je třeba zahrnout i administrativní dobu. Po tento čas agent nepřijímá další požadavky ke zpracování. Linka je však uvolněna, čímž je umožněno vstoupit dalšímu přicházejícímu požadavku do obsluhy v modulu IVR. S rostoucím počtem linek křivky pravděpodobnosti ztráty klesají a od určité hodnoty N si udržují konstantní ráz. Tomuto trendu předchází ohyb, který se posunuje vlevo s rostoucím p . Konstantní část představuje situaci, kdy počet linek je již dostatečný a ke ztrátě dochází vlivem nedostatku agentů. V tomto stavu jsou zaplněny všechny příchozí linky, jsou obsazena všechna místa pro čekání a agenti neustále zpracovávají požadavky. Ztráta se nemění, protože sice roste počet čekajících, intenzita obsluhy μ však nikoli. Můžeme si všimnout, že rozteče mezi jednotlivými křivkami (výrazněji patrné v konstantních částech) se zkracují, jak roste pravděpodobnost průchodu požadavku k agentům.

Jak je patrné z obrázků 4.8 a 4.9 střední hodnoty dob čekání $E[W]$ a $E[W_W]$ rostou

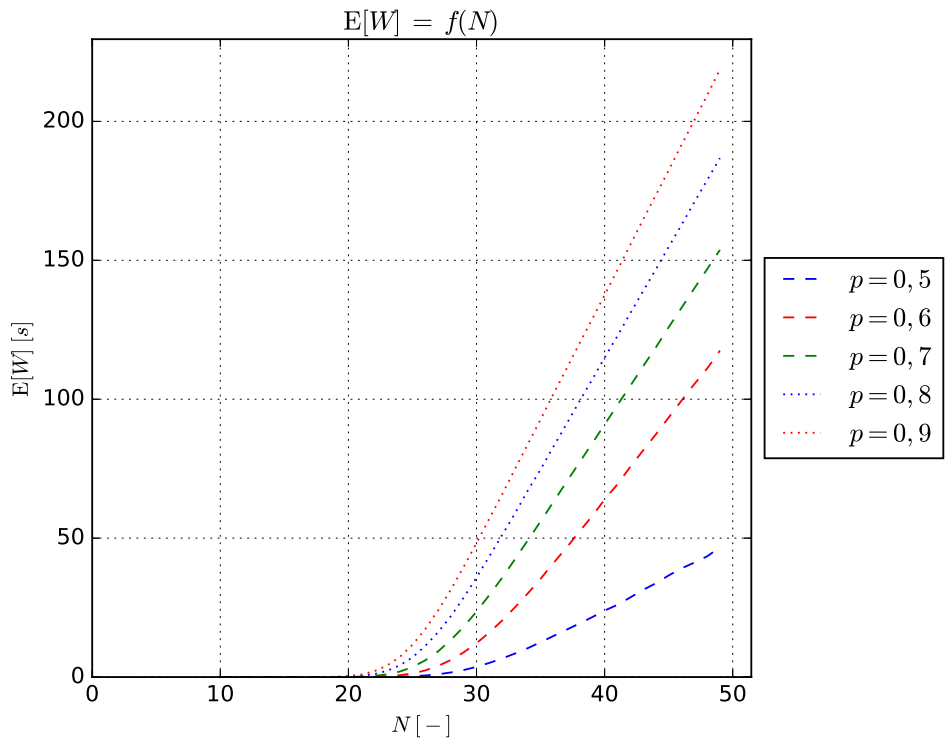
v závislosti na pravděpodobnosti p . Neboli čím větší pravděpodobnost průchodu požadavku k agentovi tím doba čekání roste rychleji. Tato skutečnost vyplývá ze stále se zvyšujícího počtu míst na čekání. To přímo vede k růstu celkově pročekané doby. Zaměříme se nyní na dobu čekání vztaženou ke všem obsluženým požadavkům (viz. obrázek 4.8). Všimněme si počtu linek, při kterém začíná tato veličina náhle růst. Hodnota koresponduje s počtem linek z obrázku 4.7 zobrazujícího ztrátu. V tomto bodě začíná ohyb a následuje přechod do konstantního průběhu. Jelikož se ztráta v intervalu začínajícího tímto bodem nemění a obsluhových linek (a tudíž míst k čekání) je stále víc, $E[W]$ roste rychleji.



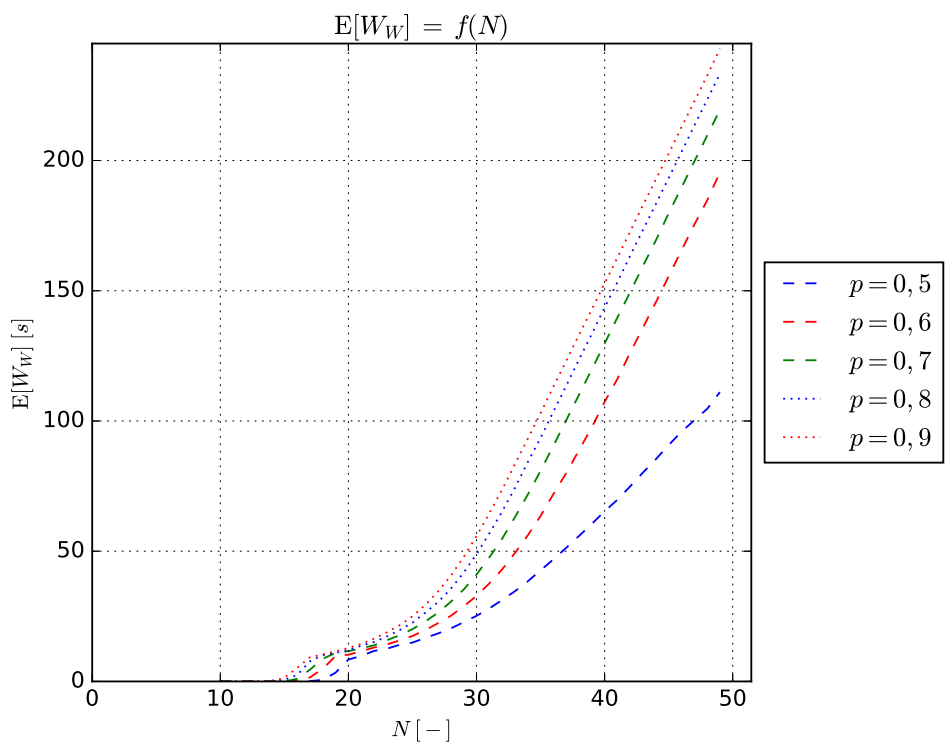
Obr. 4.7: Pravděpodobnost ztráty B v závislosti na změně počtu obsluhových linek

$$Z = 1, \theta = 1,09 \text{ min}^{-1}, S = 30, G = 1, \mu = 0,33 \text{ min}^{-1}, \alpha = 0,5 \text{ min}^{-1}, \lambda = 12 \text{ min}^{-1}$$

Podobný trend lze sledovat u doby čekání vztažené požadavkům, které skutečně čekaly (viz. obr. 4.9). Můžeme pozorovat, že křivky se zvedají nad nulovou hodnotu dříve než v případě $E[W]$. To je dáno tím, že počet obslužených je vždy větší než počet čekajících. Celková kumulovaná doba čekání pro danou hodnotu N a p však zůstává stejná. Výsledek (3.11) resp. (3.13) je zřejmý z přiložených grafů 4.8 a 4.9.



Obr. 4.8: Doba čekání $E[W]$ v závislosti na změně počtu obsluhových linek
 $Z = 1, \theta = 1,09 \text{ min}^{-1}, S = 30, G = 1, \mu = 0,33 \text{ min}^{-1}, \alpha = 0,5 \text{ min}^{-1}, \lambda = 12 \text{ min}^{-1}$



Obr. 4.9: Doba čekání $E[W_W]$ v závislosti na změně počtu obsluhových linek
 $Z = 1, \theta = 1,09 \text{ min}^{-1}, S = 30, G = 1, \mu = 0,33 \text{ min}^{-1}, \alpha = 0,5 \text{ min}^{-1}, \lambda = 12 \text{ min}^{-1}$

5. Porovnání simulačního modelu se systémem $M/M/S/N$

Tato práce se dále zabývá porovnáním simulačního modelu call centra s obsluhovým systémem s čekáním. Obsluhový systém lze definovat jako topologické uspořádání obsluhových linek a míst k čekání na obsluhu. Dále pak způsob, jakým požadavky k obsluze přicházejí, a také pravidla, podle nichž jsou obsluhovány [2]. Uvedme analogii s výše simulovaným call centrem. V tomto případě jsou obsluhovými linkami agenti a místa k čekání jsou příchozí linky. Konkrétní obsluhový systém, jenž využijeme pro srovnání lze dle Kendallovy klasifikace označit jako $M/M/S/N$. Kde jednotlivé znaky znamenají:

- první M znamená exponenciální rozložení doby příchodu,
- druhé M představují exponenciální rozložení doby obsluhy,
- S je označení pro počet agentů,
- N určuje počet míst pro čekání požadavků,

5.1. Analytický model systému $M/M/S/N$

Pro tento model není sestaven simulační model, neboť ho lze řešit analyticky. Nejprve je nutné zadefinovat veličiny, pomocí nichž lze výše zmíněný systém popsat. Intenzitu obsluhy μ opět definujeme jako průměrný počet obslužených požadavků za jednotku času jedním agentem za předpokladu nepřetržitého chodu této obsluhy, tedy

$$\mu = \frac{1}{t_{os}}, \quad (5.1)$$

kde t_{os} je střední hodnota doby obsluhy.

Podobně jako intenzitu obsluhy, lze určit vstupního toku příchozích požadavků

$$\lambda = \frac{1}{t_p}, \quad (5.2)$$

kde t_p je časový interval mezi jednotlivými po sobě jdoucími příchody požadavků.

Nabízené zatížení je definováno jako průměrný počet požadavků přicházejících do systému během střední hodnoty doby obsluhy

$$A = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{t_{os}}{t_p} \quad (5.3)$$

Odvození řešení pro stacionární pravděpodobnosti stavů lze nalézt např. v [2]. Nejprve je však třeba si uvědomit počet stavů. Požadavky, za předpokladu že nebyly systémem odmítnuty, mohou čekat nebo být obsluhovány. Počet stavů systému by se tedy mohl zdát být $S + N$. Musíme však ještě vzít v úvahu případ, kdy je obsluhový systém prázdný, tedy počet stavů je roven $S + N + 1$. Jednotlivé stacionární pravděpodobnosti stavů se vypočítají následovně [2]

$$p_j = \begin{cases} \frac{A^j}{j!} p_0, & 0 < j < S \\ \frac{A^S}{S!} p_0 \left(\frac{A}{S}\right)^{j-S}, & S \leq j \leq N, \end{cases} \quad (5.4)$$

kde j představuje tzv. stav systému a p_j je jeho pravděpodobnost. Ve vztahu figuruje také p_0 . S touto pravděpodobností je systém prázdný. Všimněme si dále, že vztah je rozdělen na dvě části. Jedna je pro stavy, v nichž jsou požadavky zpracovávány. Druhá představuje pravděpodobnosti stavů, ve kterých požadavky čekají.

Pravděpodobnost stavu p_0 ze vztahu (5.4) vypočítáme pomocí následující rovnice

$$p_0 = \left[\sum_{j=0}^S \frac{A^j}{j!} + \frac{A^S}{S!} \sum_{j=S+1}^{S+N} \left(\frac{A}{S} \right)^{j-S} \right]^{-1} \quad (5.5)$$

Vztahy (5.4) a (5.5) figurují ve výpočtech ostatních charakteristik systému $M/M/S/N$. Ztráta výše zmíněného obsluhového systému je určena hodnotou pravděpodobnosti posledního stavu⁸, v němž je všech S agentů a všechna místa pro čekání N obsazena, tedy

$$B = p_{S+N} \quad (5.6)$$

Střední hodnotu všech čekajících požadavků (v případě call centra hovorů čekajících na obslužení) lze určit za pomoci vztahu

$$E[X_f] = \sum_{j=S+1}^{S+N} (j-S)p_j = \sum_{i=1}^N i p_{S+i} \quad (5.7)$$

Průměrný počet čekajících požadavků (Littlův vztah) lze využít při výpočtu středních hodnot dob čekání $E[W]$ a $E[W_W]$. Střední hodnota doby čekání vztažená k obsluženým požadavkům je

$$E[W] = \frac{E[X_f]}{\lambda(1-B)} \quad (5.8)$$

Dále pak střední hodnota čekání vztažená k čekajícím požadavkům

$$E[W_W] = \frac{E[W]}{P(W > 0)}, \quad (5.9)$$

kde $P(W > 0)$ je pravděpodobnost, že požadavek bude čekat a vypočítá se pomocí vztahu

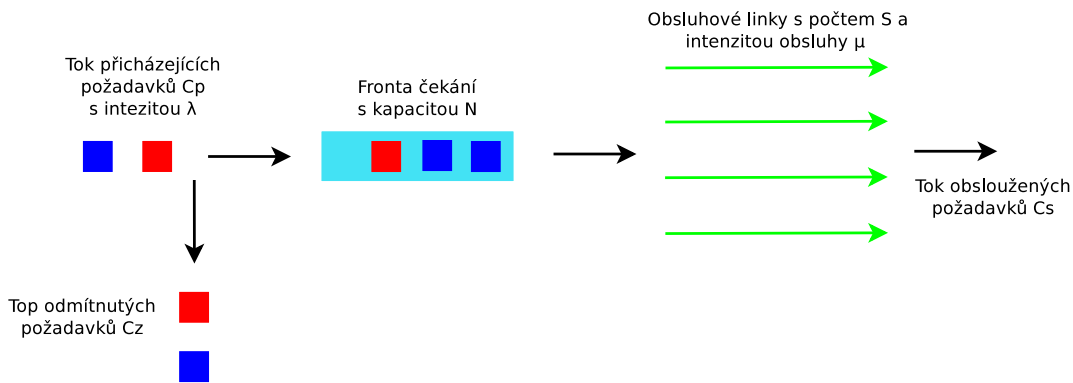
$$P(W > 0) = \frac{1}{1-B} \sum_{j=1}^N p_{S+j-1} \quad (5.10)$$

5.2. Rozdíly mezi systémem s čekáním a simulací call centra

Systém s čekáním je oproti simulovanému call centru jednodušší. Jeho topologii vidíme na obrázku 5.1. Oproti simulačnímu modelu call centra z obrázku 3.1 vidíme absenci parametrů p , θ a α . V případě terminologie call centra se t_a svými vlastnostmi ztotožňuje s t_{os} systému $M/M/S/N$. Důvod této korekce je následující. Pokud si vzpomeneme na simulační model call centra z kapitoly 3, zjistíme, že agent a příchozí linka jsou obsazeny i v době zpracovávání hovoru. U klasického systému s čekáním tomu tak není.

V systému $M/M/S/N$ neexistuje tok požadavků obslužených v IVR. Za předpokladu, že požadavek není odmítnut (stane se v případě zaplnění systému) pokračuje požadavek dále do systému. Je tedy obslužen nebo zařazen do fronty a obslužen. Systém dále nerozlišuje jednotlivé skupiny agentů (v tomto případě linek). Srovnání bude tedy provedeno pro call centrum s jednou skupinou.

⁸Platí pouze pro Markovovské modely.



Obr. 5.1: Topologie systému s čekáním $M/M/S/N$

5.3. Rozdíly způsobené dobou obsluhy

Následující simulační scénář zobrazuje srovnání simulace call centra se systémem $M/M/S/N$ a vliv doby obsluhy (míněno z pohledu terminologie call centra) na vybrané vlastnosti systému. Za předpokladů:

$$p = 1, \theta = \infty, \mu = \infty \quad (5.11)$$

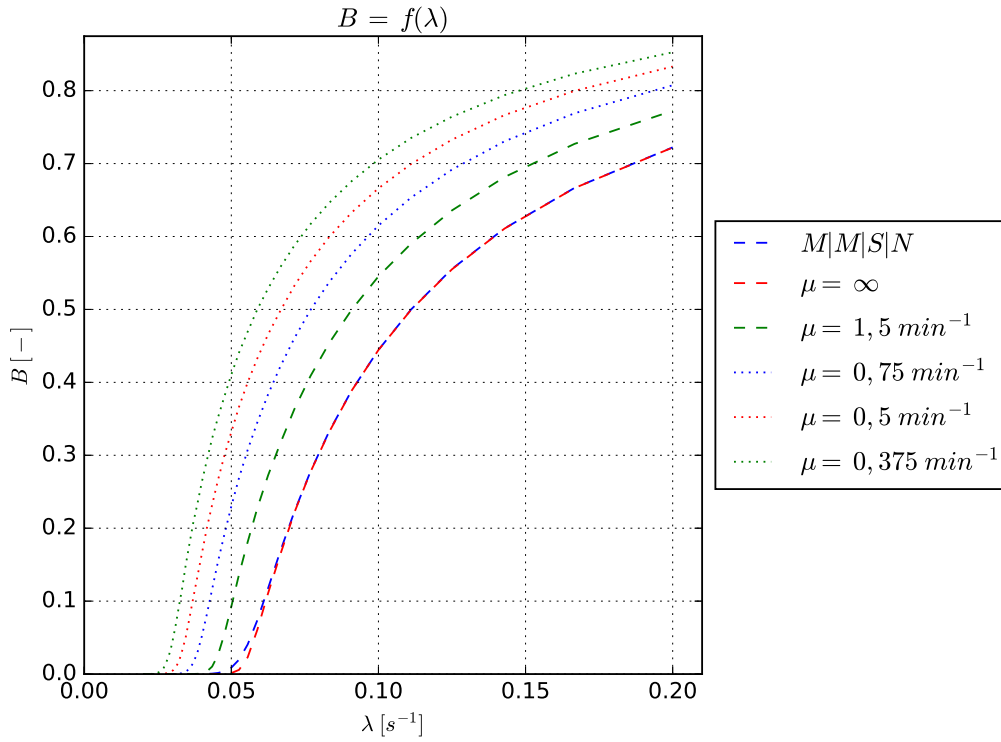
by se měly charakteristiky průběhů rovnat. Na obrázku 5.2 vidíme průběh ztráty obou systémů. Výše zmíněné podmínky (5.11) jsou dodrženy. Výjimkou je μ , jež je v grafu parametrizovaná. Pro μ rovnající se nekonečnu se křivka ztráty kryje s analytickým řešením modelu systému s čekáním. Pokud je snižován parametr μ , posunují se křivky ztráty vlevo (neboli pravděpodobnost ztráty se zvyšuje). Děje se tak z důvodu, že příchozí vedení (analogií v $M/M/S/N$ je počet míst k čekání N) je sice po uplynutí doby obsluhy uvolněno, agent (obsluhová linka S v $M/M/S/N$) však nikoli. Další hovor tedy přijde, avšak nemá agenta, jenž by ho obsloužil. Místo k čekání také není volné. Hovor je tedy odmítnut a pravděpodobnost ztráty roste.

Dále je v této kapitole vyobrazena doba čekání $E[W]$. Na obrázku 5.3 vidíme, že má podobný charakter jako B na obrázku 5.2. Tato veličina roste s t_{os} , neboť agent je déle vytížen, a tudíž roste i doba čekání jednotlivých hovorů.

5.4. Rozdíly způsobené zdržením v IVR

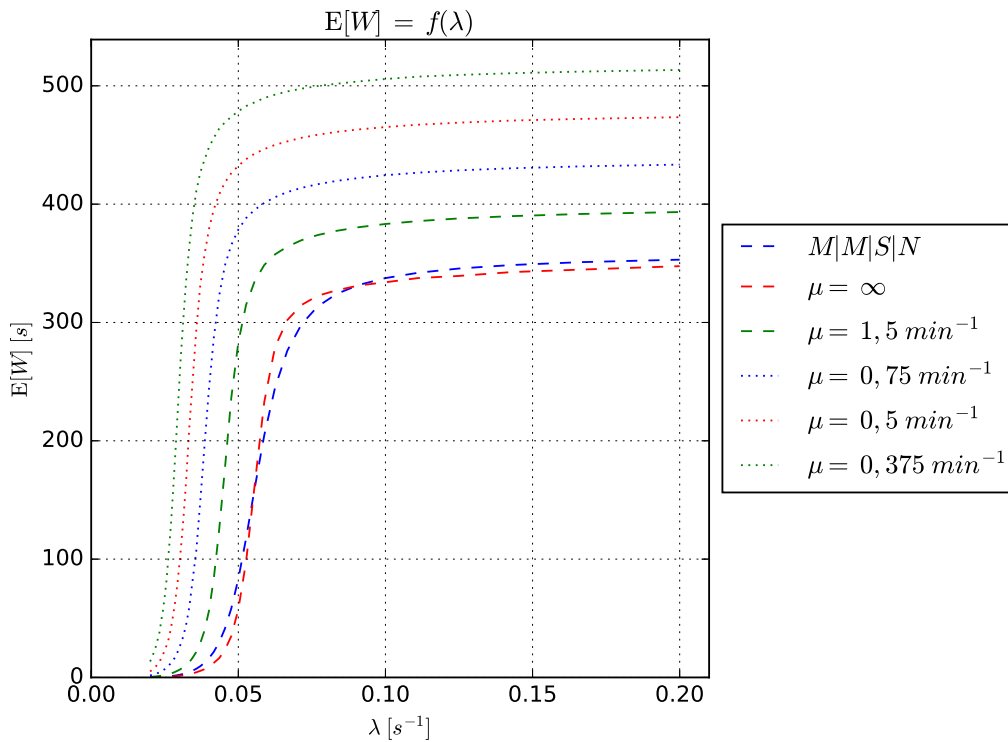
Jak bylo uvedeno dříve, systém $M/M/S/N$ se od simulace call centra liší v parametrech t_I , p a t_{os} . V této podkapitole se zaměříme na zdržení požadavku v IVR. Tento parametr nemá vliv na zatížení agentů ani na obsazení míst k čekání. Zavádí pouze latenci před přijetím požadavku agentem nebo zařazením do fronty čekajících. Má tedy vliv na délku obsazení linky.

Na obrázku 5.4 můžeme pozorovat průběh pravděpodobnosti ztráty B . Opět jsou dodrženy podmínky (5.11) s výjimkou t_I , který je parametrizován. Jak vidíme, křivky pravděpodobností ztrát se zdánlivě kryjí. Toto překrytí způsobuje zatížení systému, v němž lze pozorovat pravděpodobnost ztráty nad 0,15. Při vyšších zatíženích než je toto, má obsazení linky vlivem t_I na pravděpodobnost ztráty zanedbatelný účinek. Při nižším zatížení už lze rozdíly pozorovat. Pro tento účel je vygenerován graf na obrázku 5.5. Zde je zobrazen detail z 5.4 pro λ v intervalu $\langle 0; 0,07 \rangle$. Je vidět, že pravděpodobnost ztráty B se posunuje k vyšším hodnotám s rostoucí dobou obsluhy v IVR. Se vzrůstající intenzitou příchodu požadavků se křivky blíží k sobě.



Obr. 5.2: Pravděpodobnost ztráty B v závislosti na λ a μ

$Z = 1, \theta = \infty, S = 10, G = 1, \alpha = 0,33 \text{ min}^{-1}, p = 1, N = 20$



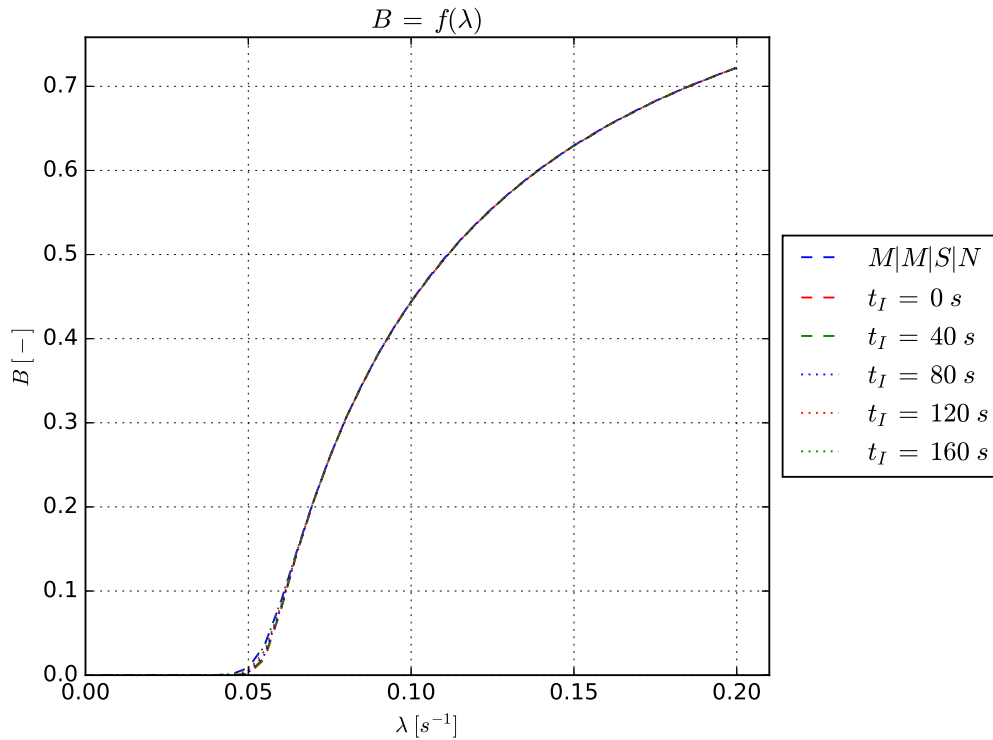
Obr. 5.3: Doba čekání $E[W]$ v závislosti na λ a μ

$Z = 1, \theta = \infty, S = 10, G = 1, \alpha = 0,33 \text{ min}^{-1}, p = 1, N = 20$

U dob čekání závislých na tomto parametru můžeme na obrázku 5.6 vidět jejich klesající charakter. Toto je způsobeno skutečností, že se vzrůstající dobou obsluhy v IVR vzroste počet požadavků obsazujících příchozí okruhy a tím je zmenšena délka fronty a tedy:

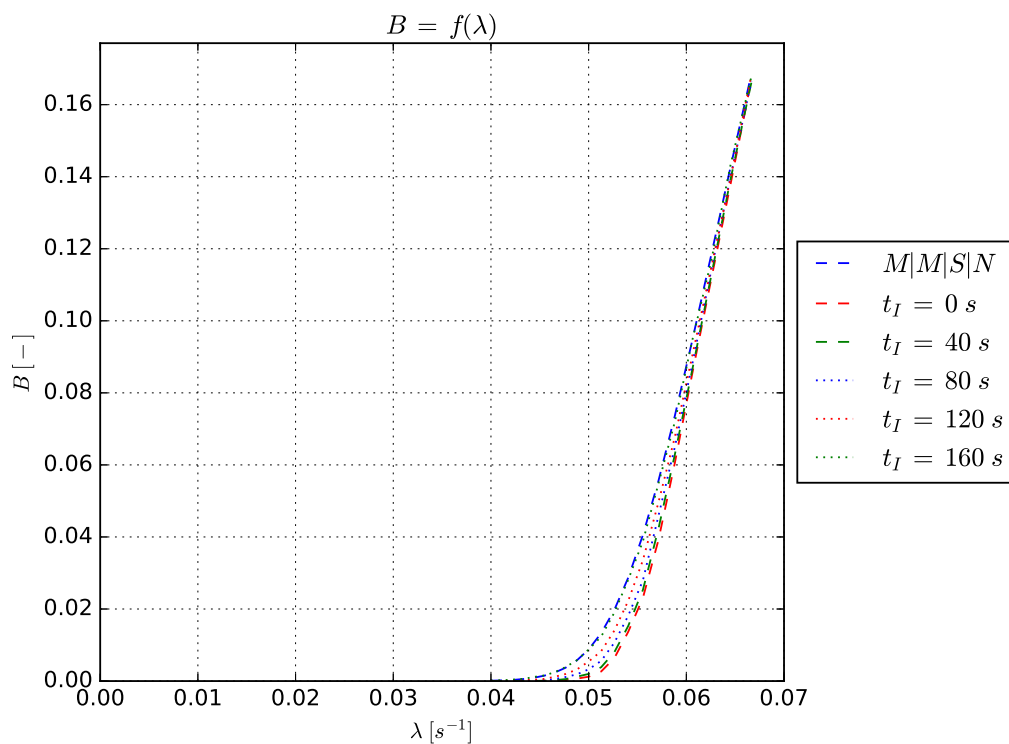
$$T_w = T'_w - t_I, \quad (5.12)$$

kde T'_w je původní doba čekání bez vlivu IVR, tedy v případě jednoduššího modelu $M/M/S/N$. Znovu se podívejme na obrázek 5.6, konkrétně na část, kde mají křivky konstantní část. Zjistíme, že rozestupy mezi sousedními průběhy se v této části grafu rovnají právě rozdílu jejich t_I



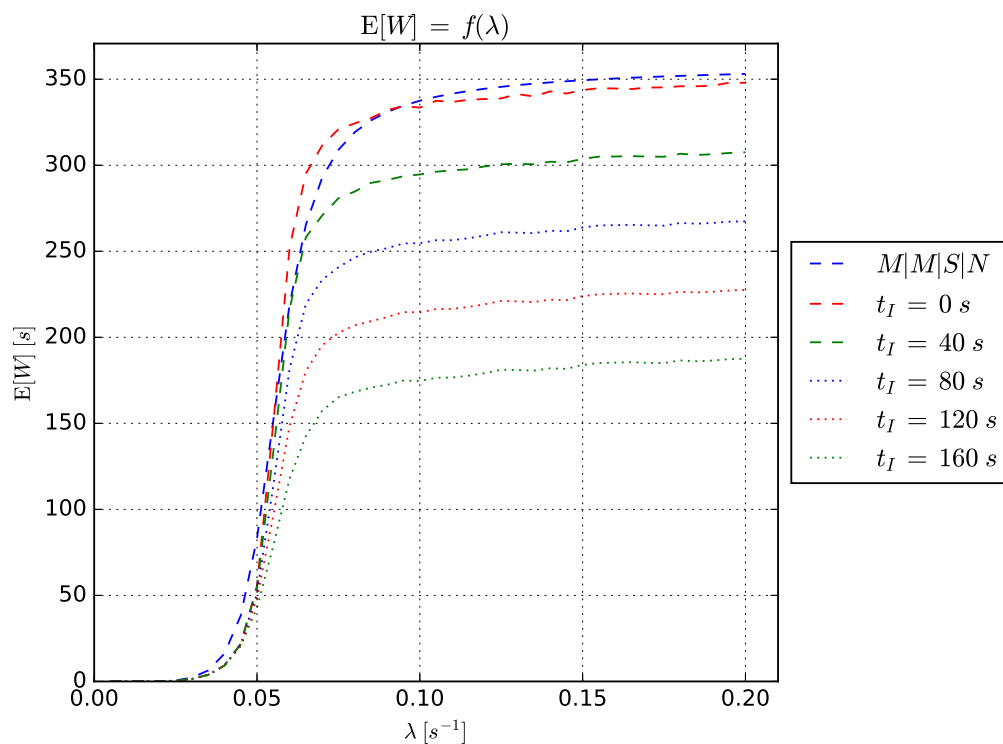
Obr. 5.4: Pravděpodobnost ztráty B v závislosti na λ a t_I

$$Z = 1, \mu = \infty, S = 10, G = 1, \alpha = 0,33 \text{ min}^{-1}, p = 1, N = 20$$



Obr. 5.5: Detail pravděpodobnosti ztráty B v závislosti na λ a t_I

$Z = 1, \mu = \infty, S = 10, G = 1, \alpha = 0,33 \text{ min}^{-1}, p = 1, N = 20$



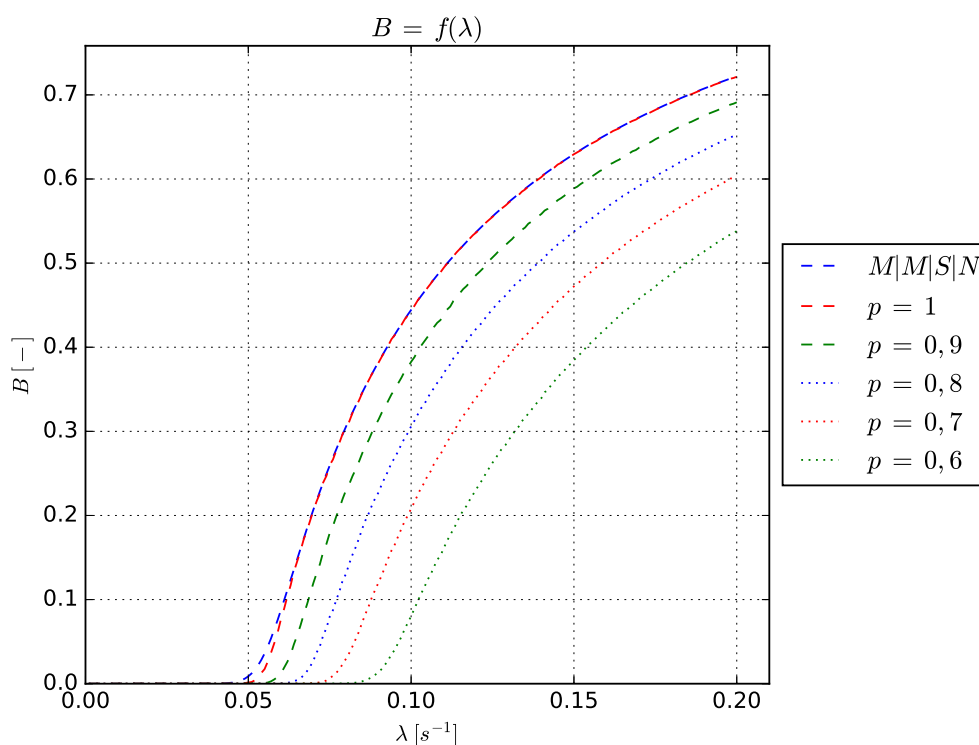
Obr. 5.6: Doba čekání $E[W]$ v závislosti na λ a t_I

$Z = 1, \mu = \infty, S = 10, G = 1, \alpha = 0,33 \text{ min}^{-1}, p = 1, N = 20$

5.5. Rozdíly způsobené změnou pravděpodobnosti p

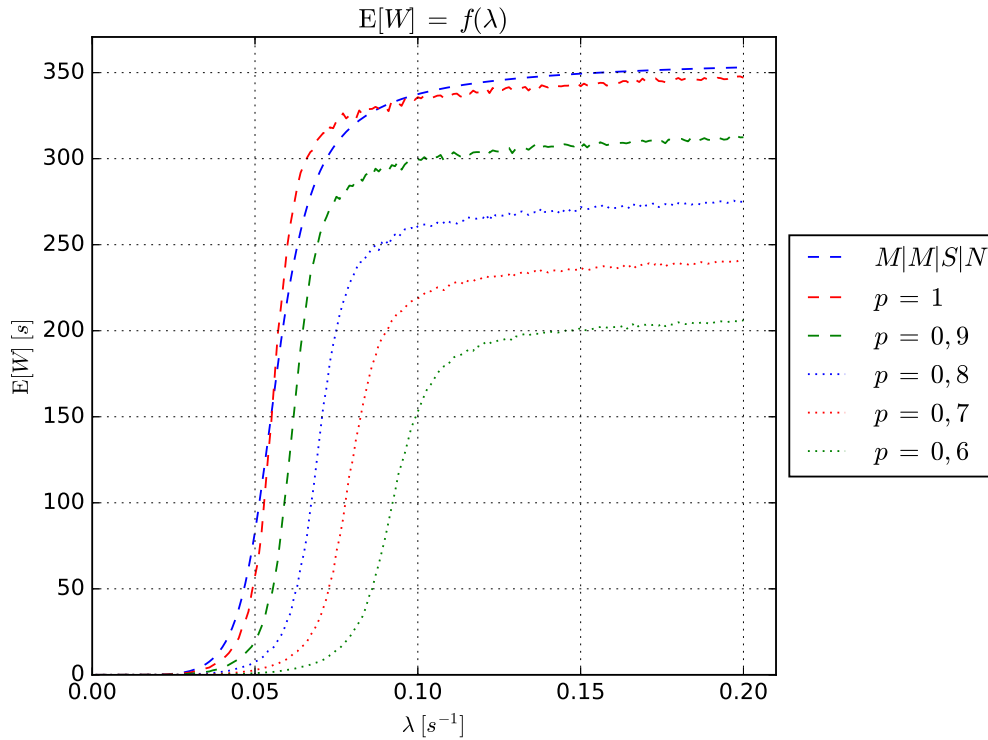
V této podkapitole je rozebrán vliv p na charakter pravděpodobnosti ztráty a doby čekání. Ostatní vstupní hodnoty (5.11) jsou dodrženy. Parametr p určuje pravděpodobnost, se kterou je příchozí hovor obslužen agenty. S pravděpodobností $p = 1$ je pak obslužen v IVR. Podle obrázku 5.7 je zřejmé, že B roste se zvětšujícím se p . Na vině je vyšší vytíženost agentů, jejichž μ a λ zůstávají konstantní. Pokud tedy je obsluha větší části hovorů ukončena v IVR, zatížení agentů se zmenší a B klesá. IVR obsluhuje hovory rychleji než agent. V tomto extrémním případě s intenzitou $\theta = \infty$.

Doba čekání $E[W]$ na obrázku 5.8 dodržuje stejný trend růstu jako pravděpodobnost ztráty B , a to ze stejných důvodů.



Obr. 5.7: Pravděpodobnost ztráty B v závislosti na λ a p

$$Z = 1, \mu = \infty, S = 10, G = 1, \alpha = 0,33 \text{ min}^{-1}, \theta = \infty, N = 20$$



Obr. 5.8: Doba čekání $E[W]$ v závislosti na λ a p

$$Z = 1, \mu = \infty, S = 10, G = 1, \alpha = 0,33 \text{ min}^{-1}, \theta = \infty, N = 20$$

6. Analýza simulačního modelu s více skupinami agentů

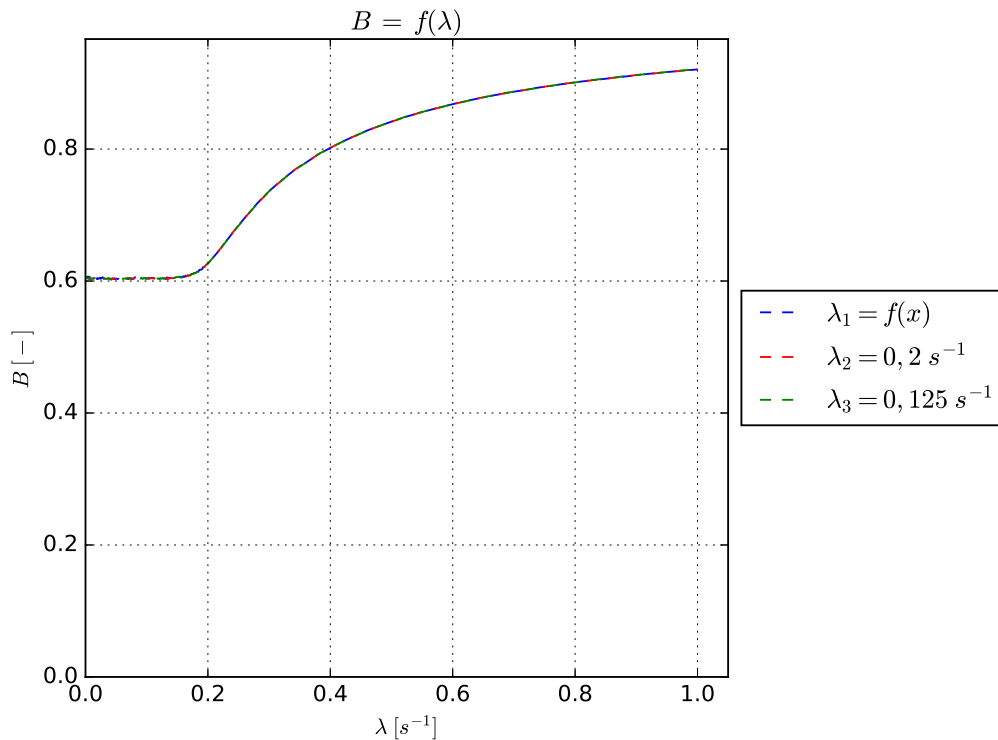
Tato kapitola popisuje chování simulačního modelu call centra v konfiguraci s více než jednou skupinou agentů. Grafy mají stejný formát jako v kapitole 4. Je nutné podotknout, že se jedná o call centrum typu *SBR* (Skill Based Routing). U každé skupiny se řada vstupních parametrů simulace liší, tyto nazýváme parametry skupiny, jiné však zůstávají pro všechny skupiny stejné. Nazvěme je parametry call centra:

- parametry skupiny: $\lambda_i, S_i, \mu_i, \alpha_i$
- parametry call centra: p, θ, N

6.1. Chování modelu v závislosti na změně λ

V následujících scénářích jsou porovnávány vlastnosti jednotlivých skupin. Tyto skupiny se vzájemně ovlivňují. V tomto scénáři je sledováno chování na základě změny parametru λ_1 , neboli změně intenzity příchodu prvního toku. Hodnoty λ pro druhé dva toky jsou konstantní. Vždy se jedná o exponenciálně rozložené náhodné veličiny. Na obrázku 6.1 vidíme průběh ztráty této konfigurace systému. Pravděpodobnost ztráty roste se zvětšujícím se λ_1 . Nejprve je průběh konstantní. Změna nastává v oblasti bodu $\lambda = 0,2 \text{ s}^{-1}$. Od tohoto bodu pravděpodobnost ztráty $B = B_1 = B_2 = B_3$ dále roste, protože systém je více ovlivňován tokem λ_1 . První skupina s S_1 agenty od této hodnoty intenzity začíná v systému převládat na úkor zbývajících toků. Tento jev přímo způsobuje vzrůst pravděpodobnosti ztráty B . Křivky všech toků (skupin) se kryjí. Rovnost pravděpodobností ztrát je způsobena exponenciálním charakterem všech tří toků. Na vstupu existuje sice více vstupních toků, avšak několik poissonových toků lze aproximovat jedním poissonovým tokem představujícím jejich součet.

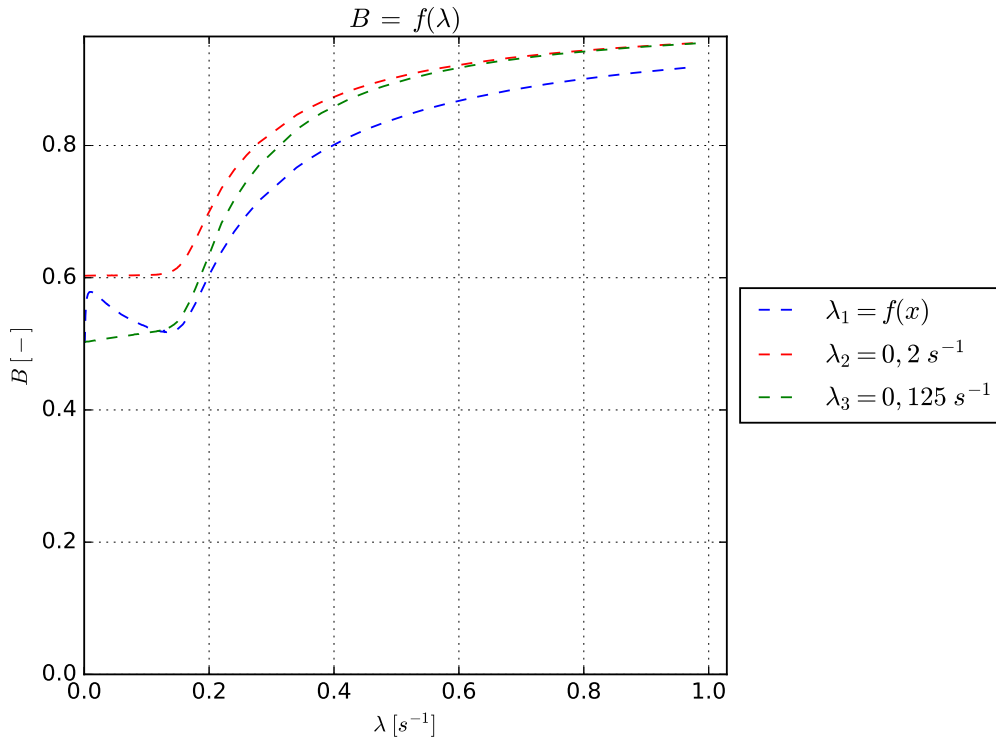
Simulační scénář na tomto obrázku je totožný se scénářem z obrázku 6.1 s výjimkou použité distribuční funkce pro intenzity příchodu toků. Požadavky prvního, resp. třetího toku přicházejí deterministicky tj. pravidelné příchody každých 5 s, resp. 8 s.



$$Z = 3, t_I = 60 \text{ s}, S_1 = S_2 = S_3 = 10, \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = 0,33 \text{ min}^{-1}, \\ \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 0,498 \text{ min}^{-1}, p = 0,7, N = 30, G = 3$$

Obr. 6.1: Pravděpodobnost ztráty B v závislosti na λ_1 s exponenciálním rozložením

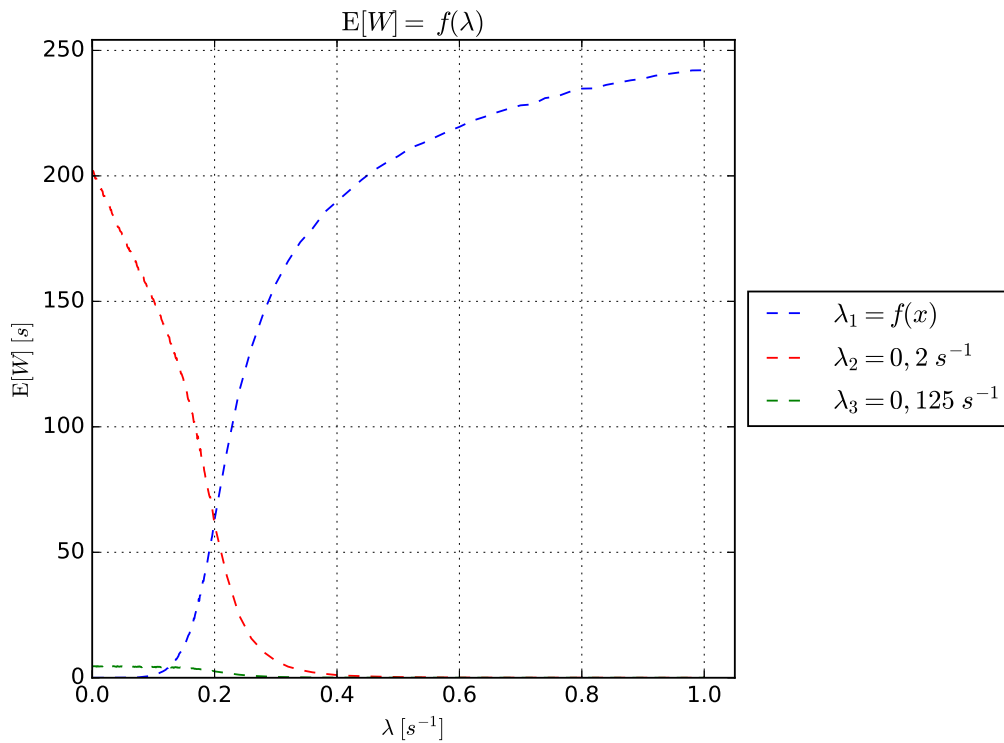
Korespondující doby čekání jsou vyneseny na obrázcích 6.3 ($E[W]$ k B na 6.1) a 6.5 ($E[W]$ k B na 6.2). Na rozdíl od pravděpodobnosti ztráty na 6.1 nejsou doby čekání totožné, ale liší se. $E[W]$ třetího toku s rostoucím zatížením v prvním toku konverguje k nule. Podobný trend vidíme i pro druhý tok. Rozdílem je jen vyšší počáteční hodnota a strmost poklesu. Oba tyto průběhy se takto chovají kvůli vzrůstající ztrátovosti hovorů v systému, která je stejná pro všechny toky (viz. obr. 6.1). Ve skupinách dva a tři tedy není mnoho požadavků, která by mohli čekat. Ztrátovost se týká také prvního toku, avšak se zvyšující se λ_1 zaručuje dostatek čekajících hovorů. Z tohoto důvodu $E[W]$ třetí skupiny roste. Analogicky se chová pravděpodobnost čekání požadavku déle než 2 minuty $P(W > 120 \text{ s})$ na obrázku 6.4 a 6.6.



$$Z = 3, t_I = 60 s, S_1 = S_2 = S_3 = 10, \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = 0,33 \text{ min}^{-1},$$

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 0,498 \text{ min}^{-1}, p = 0,7, N = 30, G = 3$$

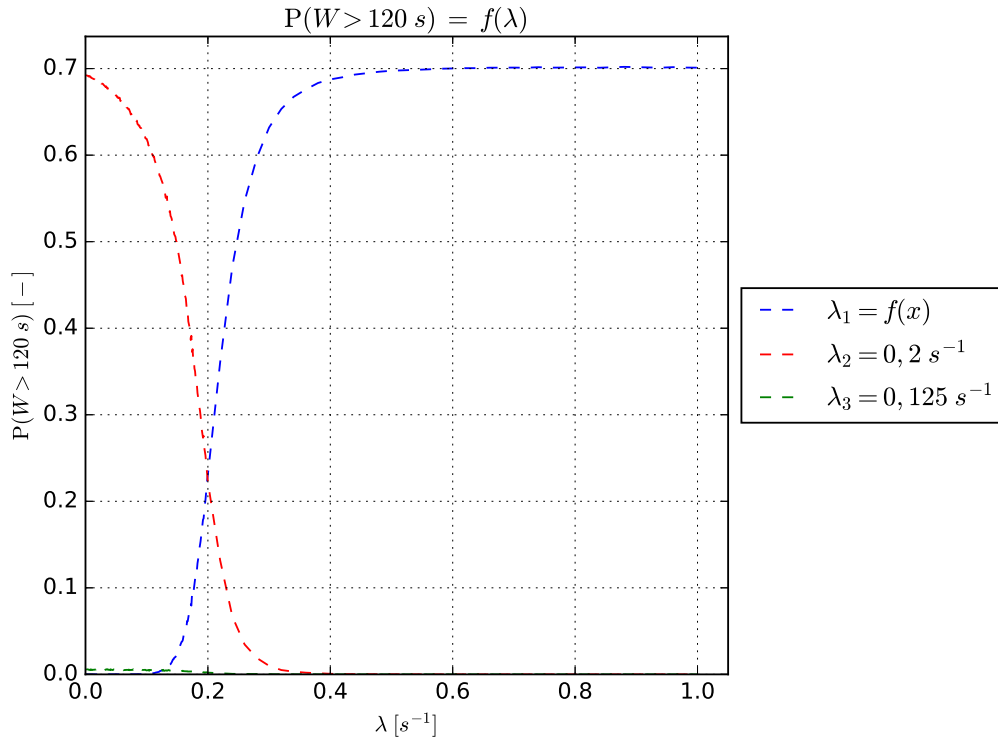
Obr. 6.2: Pravděpodobnost ztráty B v závislosti na λ_1 s různými rozloženími



$$Z = 3, t_I = 60 s, S_1 = S_2 = S_3 = 10, \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = 0,33 \text{ min}^{-1},$$

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 0,498 \text{ min}^{-1}, p = 0,7, N = 30, G = 3$$

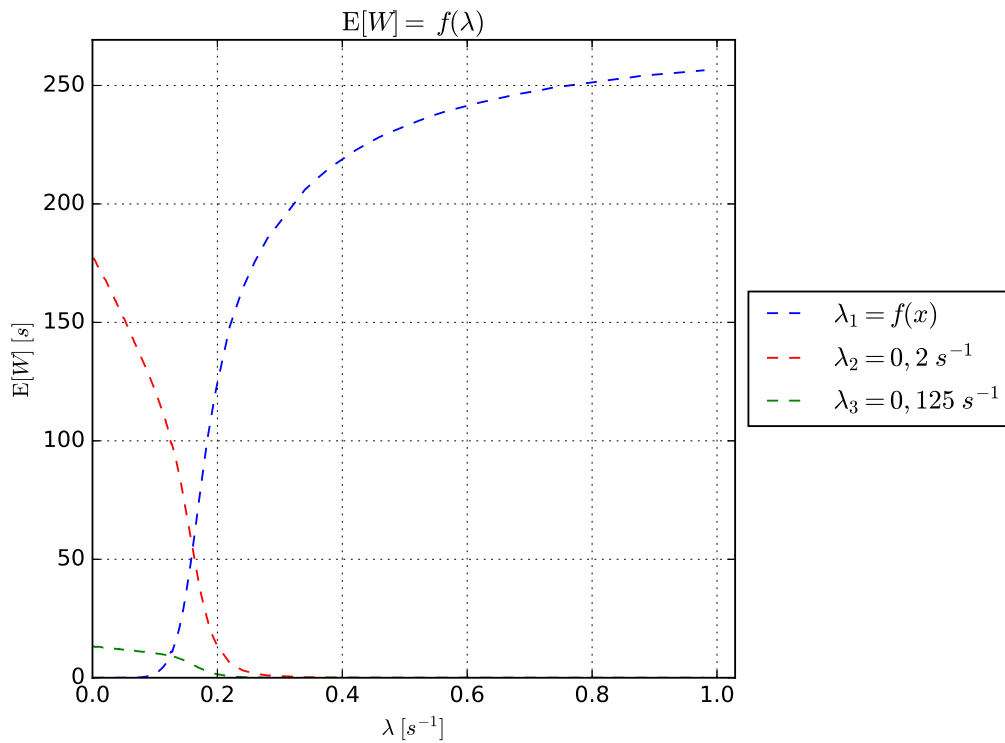
Obr. 6.3: Doba čekání $E[W]$ v závislosti na λ_1 s exponenciálním rozložením



$$Z = 3, t_I = 60 \text{ s}, S_1 = S_2 = S_3 = 10, \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = 0,33 \text{ min}^{-1},$$

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 0,498 \text{ min}^{-1}, p = 0,7, N = 30, G = 3$$

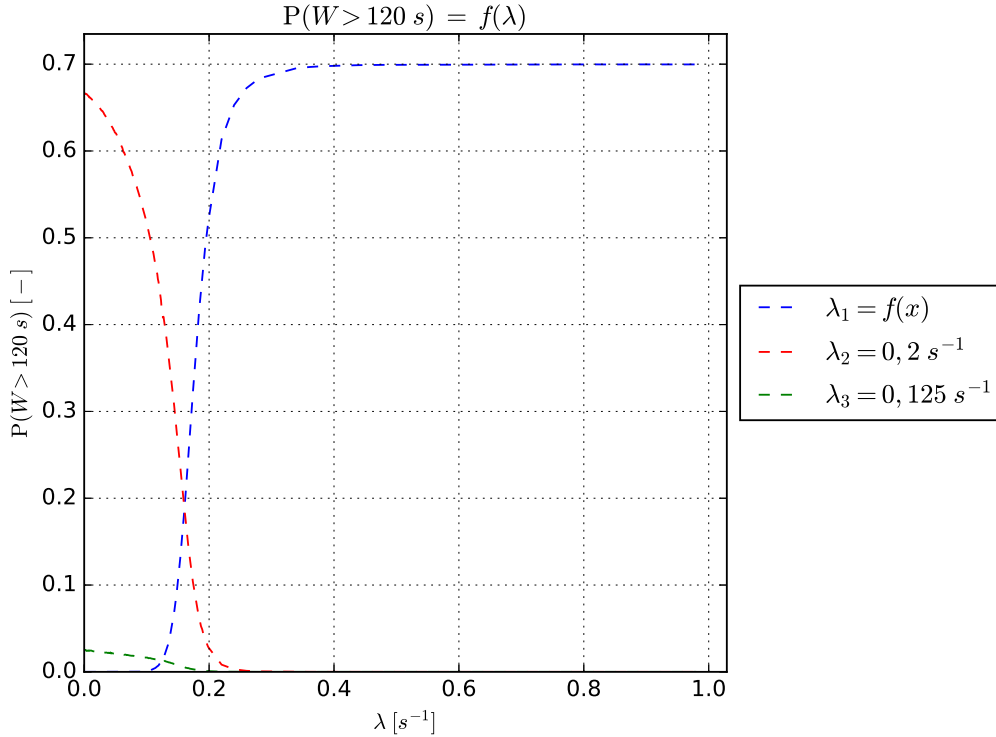
Obr. 6.4: $P(W > 120 \text{ s})$ v závislosti na λ_1 s exponenciálním rozložením



$$Z = 3, t_I = 60 \text{ s}, S_1 = S_2 = S_3 = 10, \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = 0,33 \text{ min}^{-1},$$

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 0,498 \text{ min}^{-1}, p = 0,7, N = 30, G = 3$$

Obr. 6.5: Doba čekání $E[W]$ v závislosti na λ_1 s různými rozloženými



$$Z = 3, t_I = 60 \text{ s}, S_1 = S_2 = S_3 = 10, \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = 0,33 \text{ min}^{-1}, \\ \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 0,498 \text{ min}^{-1}, p = 0,7, N = 30, G = 3$$

Obr. 6.6: $P(W > 120 \text{ s})$ v závislosti na λ_1 s různými rozloženími

6.2. Chování modelu v závislosti na změně počtu skupin s identickými parametry

Tento simulační scénář ukazuje call centrum s proměnným počtem skupin agentů specializovaných na určitý typ požadavků. Skupiny mají identické parametry. Důvodem je možnost zpětného porovnání se scénáři zmíněných v kapitole 4.

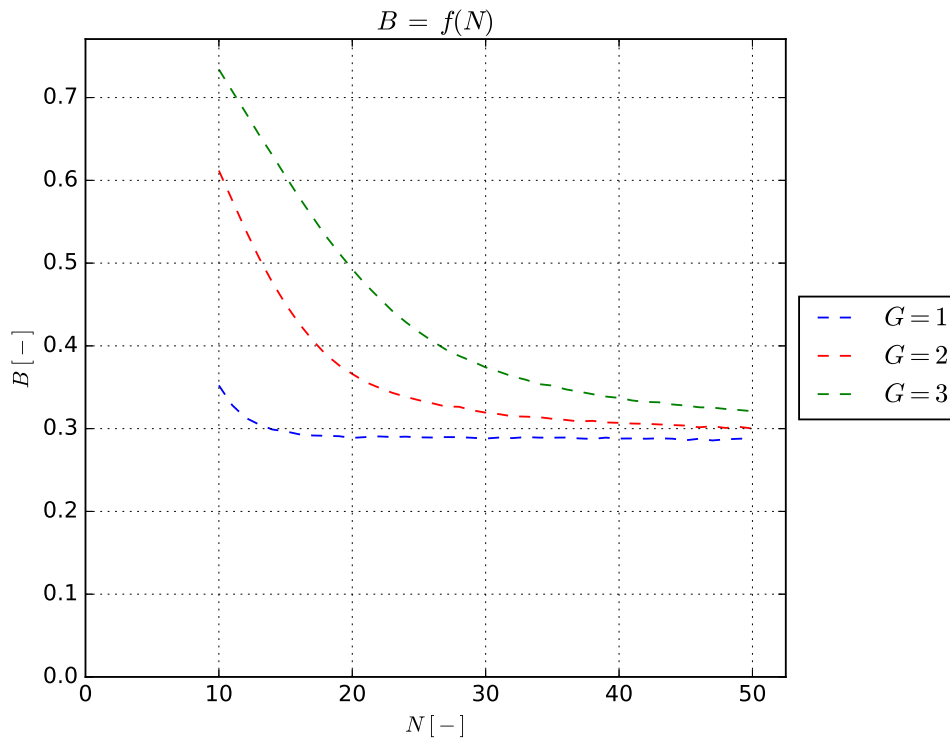
Jak už víme z kapitoly 6.1, pravděpodobnost ztráty pro všechny skupiny agentů je identická, pokud jsou na vstupu simulačního modelu call centra poissonovské toky. Na obrázku 6.7 je vidět pravděpodobnost ztráty B pro konfiguraci call centra s počtem skupin $G = 1$, $G = 2$ a $G = 3$. Jako nezávislá proměnná veličina je použit počet příchozích okruhů. Z grafu vidíme, že i když přidáváme identické skupiny, B se zvyšuje, protože zvyšujeme zatížení systému. Pravděpodobnost ztráty se postupně blíží stejné hodnotě, to je však dáno přibývajícím počtem linek.

Porovnejme nyní pravděpodobnosti ztráty pro tento simulační scénář s případem z kapitoly 4.4. Mezi parametry jednotlivých skupin platí následující vztahy. Symboly bez indexu korespondují s celkovými intenzitami, resp. počty agentů, jako v kapitole 4. Symboly s indexem představují intenzity, resp. počty agentů jednotlivých skupin.

$$\begin{aligned} \lambda &= \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 \\ S &= S_1 + S_2 + S_3 \\ \alpha &= \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 \\ \mu &= \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 \end{aligned} \tag{6.1}$$

Charakteristiky call centra jsou identické. Pokud porovnáme průběh pravděpodobnosti ztráty pro tři skupiny z grafu na obrázku 6.7 s průběhem pro $p = 0,7$ z obrázku 4.7 zjistíme, že pravděpodobnost ztráty B je posunuta k vyšším hodnotám. Z tohoto hlediska vyplývá, že je

výhodnější mít jednu velkou skupinu agentů, kteří umějí zvládnout všechny typy požadavků, než menší specializované skupiny. Tato skutečnost samozřejmě platí za dodržení (6.1). V reálném případě by specializovaní agenti měli vyšší α a μ .



$$\theta = 1,09 \text{ min}^{-1}, S_1 = S_2 = S_3 = 10, \lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = 4 \text{ min}^{-1}, \\ \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = 0,33 \text{ min}^{-1}, \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 0,5 \text{ min}^{-1}, p = 0,7$$

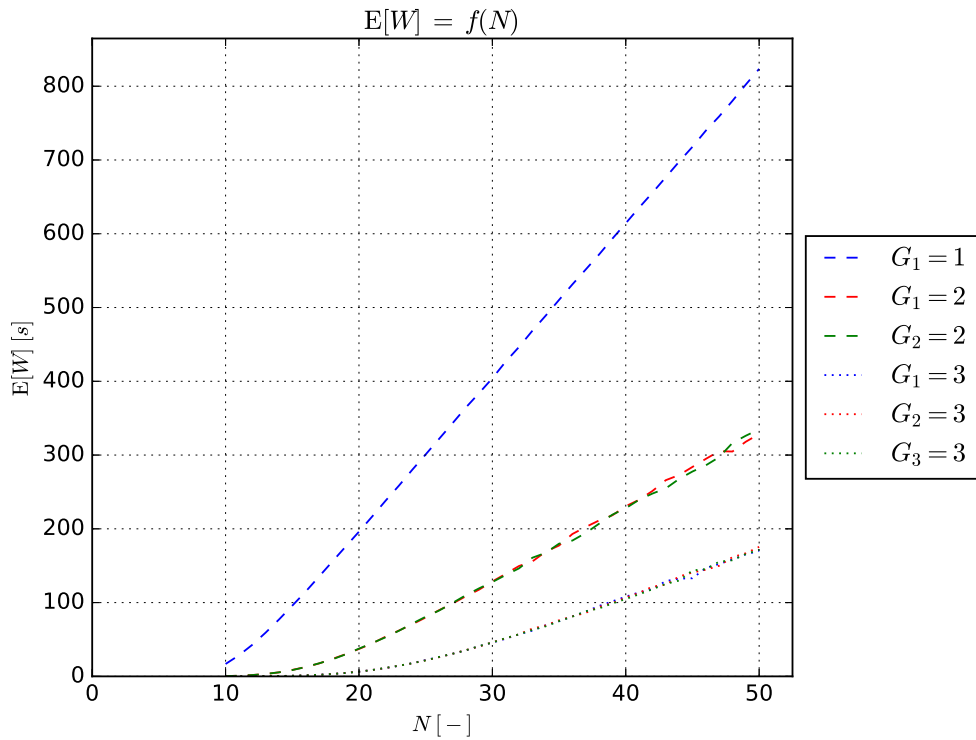
Obr. 6.7: Pravděpodobnost ztráty B v závislosti na změně počtu skupin

Stejné chování lze pozorovat i při porovnání dob čekání z obrázku 4.8 a 6.8. $E[W]$ je však na rozdíl od B s přibývajícím počtem skupin nižší. Stejně se chová pravděpodobnost čekání déle než 120 sekund.

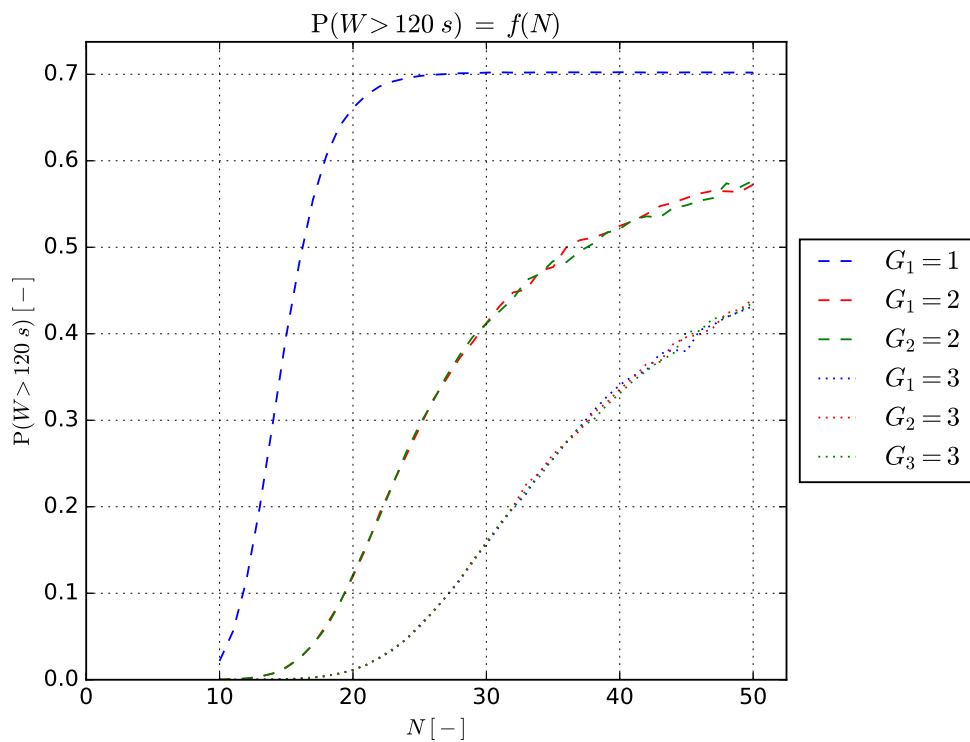
6.3. Chování modelu v závislosti na změně N a S

V tomto simulačním scénáři se dvěma skupinami se budeme kompenzovat nízkou intenzitou administrativy počtem agentů. První skupina má stálý počet agentů $S_1 = 10$ a intenzitu obsluhy v administrativní době $\alpha_1 = 0,5 \text{ min}^{-1}$. Naopak S_2 se mění v rozsahu od deseti do padesáti agentů s krokem dva. Zároveň s každými dvěma agenty se zvyšuje počet linek o jedna. Tímto krokem uměle zmenšujeme ztrátu systému, abychom měli dostatek obslužených požadavků. Jelikož pravděpodobnost ztráty obou skupin je totožná, nebude nás v tomto případě zajímat. Soustředíme se na dobu čekání $E[W]$ a pravděpodobnost čekání $P(W > 120 \text{ s})$ Jak lze vypočítat z obrázku 6.11, abychom při dané pravděpodobnosti ztráty kompenzovali rozdíl střední hodnoty doby čekání při $\Delta\alpha = \alpha_1 - \alpha_2 = 0,38 \text{ min}^{-1}$ musíme mít v druhé skupině o přibližně 20 agentů více. Podobná situace nastává v případě pravděpodobnosti $P(W > 120 \text{ s})$ na obrázku⁹ 6.12.

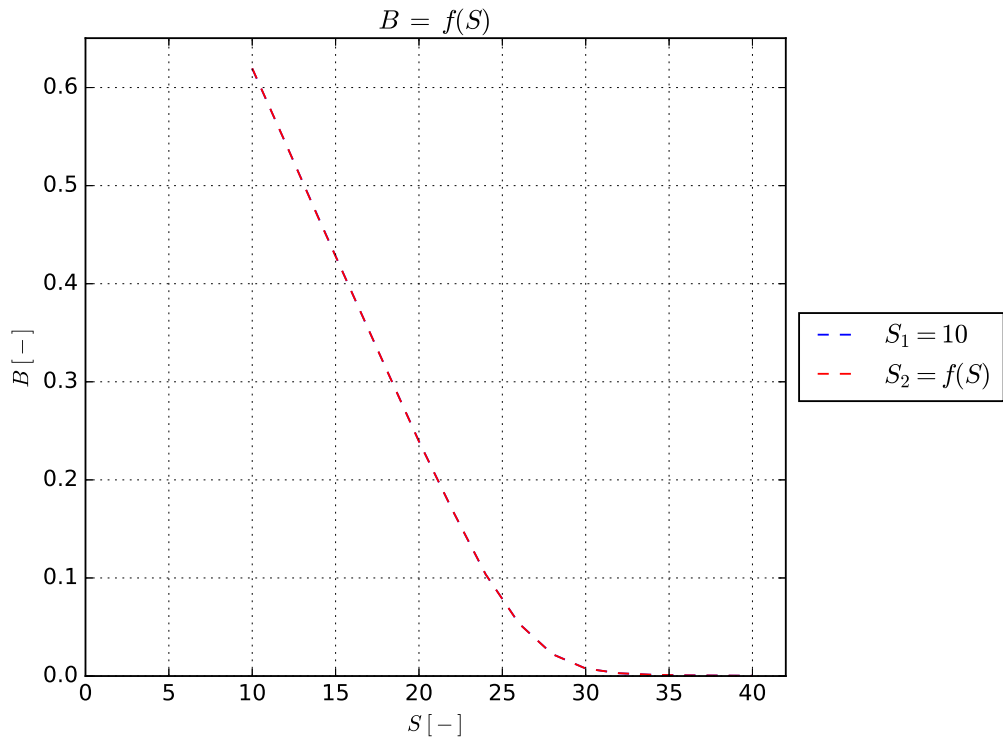
⁹Průsečíky se obou grafů nejsou ve stejném bodě



Obr. 6.8: Doba čekání $E[W]$ v závislosti na změně počtu skupin



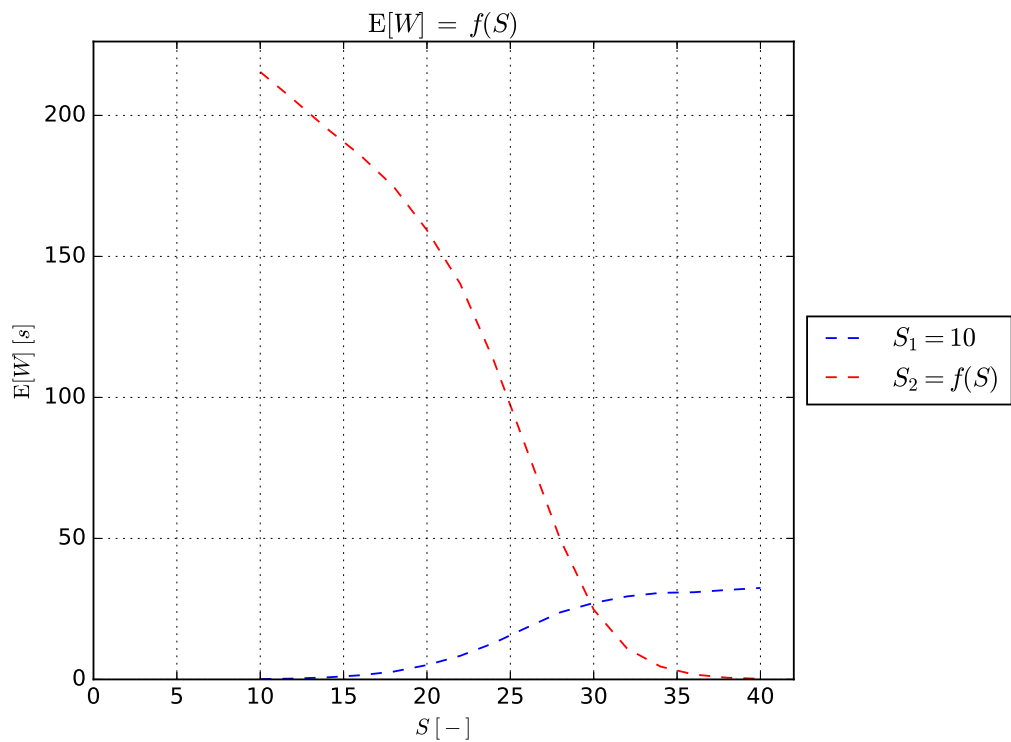
Obr. 6.9: Pravděpodobnost čekání $P(W > 120 \text{ s})$ v závislosti na změně počtu skupin



$$\theta = 1,09 \text{ min}^{-1}, \lambda_1 = \lambda_2 = 4 \text{ min}^{-1}, \mu_1 = \mu_2 = 1 \text{ min}^{-1}, G = 2,$$

$$N = 10 + (S_2 - 10)/2, \alpha_1 = 0,5 \text{ min}^{-1}, \alpha_2 = 0,12 \text{ min}^{-1}, p = 0,7$$

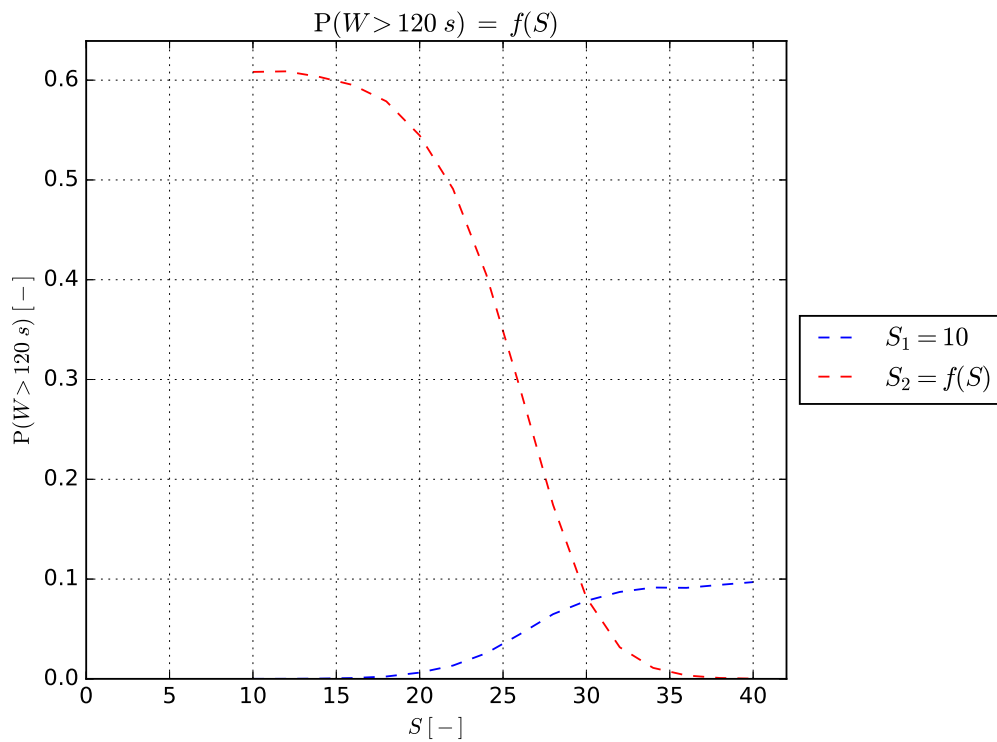
Obr. 6.10: Pravděpodobnost ztráty B v závislosti na změně počtu S



$$\theta = 1,09 \text{ min}^{-1}, \lambda_1 = \lambda_2 = 4 \text{ min}^{-1}, \mu_1 = \mu_2 = 1 \text{ min}^{-1}, G = 2,$$

$$N = 10 + (S_2 - 10)/2, \alpha_1 = 0,5 \text{ min}^{-1}, \alpha_2 = 0,12 \text{ min}^{-1}, p = 0,7$$

Obr. 6.11: Doba čekání $E[W]$ v závislosti na změně počtu S



Obr. 6.12: Pravděpodobnost čekání $P(W > 120 s)$ v závislosti na změně počtu S

7. Závěr

Součástí této práce bylo sestavit simulační model zákaznického centra a vyhodnotit vybrané charakteristiky tohoto systému z hlediska GoS. Simulační model umožňuje dedikovat jednotlivé skupiny operátorů různým typům služeb. Pro sestavení jádra zmíněného modelu bylo použito simulační prostředí OMNeT++. Analytická část modelu využívá programovacího jazyka Python.

V prvních kapitolách byly rozebrány typy multiservisních center a jejich chování. Byla zde popsána řešení od dodavatelů Cisco a Avaya. Jsou zde vysvětleny základní pojmy a funkce multiservisního centra. Analýza modelu založená na statickém Skill-Based Routing call centru.

V kapitole 4 je analyzován model s jedním typem služeb. Můžeme zde pozorovat závislost sledovaných veličin na škále vstupních parametrů. Změnou intenzity vstupního toku bylo měněno zatížení systému. V každém případě při zmenšení, resp. zvětšení tohoto parametru sledované veličiny jako pravděpodobnost ztráty příchozího volání i jeho průměrná doba čekání klesají, resp. rostou. Další skutečnost, jež je zde popsána, je praktický rozdíl mezi intenzitou obsluhy a intenzitou obsluhy v administrativní době. Z přiložených grafů je patrné, že intenzita obsluhy má na pravděpodobnost ztráty a doby čekání větší vliv než intenzita obsluhy v administrativní době. Přiložené tabulky demonstrují rozdíl dvou zvolených případů. V prvním jsou doba obsluhy a administrativní doba samostatné parametry. V tom druhém je doba administrativy součástí doby obsluhy. Z porovnání plyne, že zahrnutí administrativy do doby obsluhy není možné, neboť způsobuje značné nesrovnalosti ve sledovaných veličinách. Pokud bychom postupovali podle druhého případu, bylo by call centrum značně předimenzované. Toto by se negativně projevilo na provozních nákladech multiservisního centra. Další scénář zmíněný v této kapitole zahrnuje vliv pravděpodobnosti průchodu hovoru k operátorům. Pokud se tato pravděpodobnost zvyšuje, zhoršují se i vlastnosti modelu. Z tohoto důvodu je výhodnější, aby co největší škálu služeb, poskytovaných multiservisním centrem, odbavovalo IVR.

Další kapitola popisuje porovnání simulačního modelu se systémem s čekáním $M/M/S/N$. Tento systém je řešen analyticky a od simulačního modelu multiservisního centra se v některých ohledech liší. Konkrétní rozdíl je v absenci určitých parametrů. Pro účel porovnání byly zavedeny omezující podmínky, jež se snaží eliminovat vliv takovýchto parametrů. V simulačních scénářích řešených v této kapitole je vždy jedna z těchto podmínek porušena a je sledován její vliv na rozdíl vybraných veličin. Zajímavý je vliv zdržení v IVR. Oproti ostatním má minimální vliv na pravděpodobnost ztráty (je vidět pouze při nižších zatíženích). Z hlediska dob čekání zavádí při vyšším zatížení další zpoždění způsobené zpracováváním v IVR. Z této kapitoly také vyplývá, že systém $M/M/S/N$ nelze použít k modelování reálných multiservisních center.

Předposlední kapitola pojednává o analýze modelu s více typy služeb. Každé této službě je přiřazena jedna skupina agentů. Z provedené analýzy modelu s třemi skupinami operátorů je patrné, že pravděpodobnost ztráty je ve všech skupinách stejná. Toto platí pouze pokud jsou všechny vstupní toky modelovány náhodnými veličinami s exponenciálním rozložením. V následujícím případě jsou dva z těchto tří vstupních toků charakterizovány pravidelnými příchody a lze vypočítat, že pravděpodobnost ztráty jednotlivých toků není stejná. Doby čekání jednotlivých toků se vzájemně ovlivňují. Pokud je jedna skupina operátorů podstatně více zatížen než ostatní, volající v této skupině čeká déle. Z pozorování v této kapitole také vyplývá, že je výhodnější mít jednu skupinu operátorů, která dokáže odbavit jakýkoli typ požadavku, než mít více specializovaných skupin operátorů. Toto platí, pokud uvažujeme stejnou dobu obsluhy a administrativní dobu ve všech skupinách. Nevýhodou tohoto přístupu jsou větší investice do zaškolení (vzdělávání) operátorů. Další simulační scénář popisuje možnost kompenzace vysokých hodnot sledovaných veličin v důsledku nízké intenzity obsluhy v administrativní době zvýšením počtu operátorů. Tento případ ukazuje možnost vyrovnání tohoto

rozdílu z hlediska dob čekání. Na konkrétním případě závisí, jestli se tato kompenzace vyplatí z hlediska poměru ceny a výkonu provozu multiservisního centra.

Všechny simulační scénáře popsané v této práci zahrnovaly změnu jednoho nebo dvou vstupních parametrů modelu. Ostatní parametry byly konstantní, popř. náhodné veličiny s konstantní střední hodnotou. Pro multiservisní centrum s jednou skupinou agentů je nutné zadat devět parametrů. S každou další skupinou o je třeba zadat o čtyři parametry více. V případě stanovení úplného chování modelu by bylo nutné uvažovat minimálně devítirozměrný prostor všech řešení.

Tuto práci lze rozšířit o další simulační scénáře. Například lze do simulačního modelu implementovat možnost rezignace volajícího. Jako další rozšíření se nabízí umožnění přelivu. Jde o schopnost jedné skupiny operátorů převzít část zátěže jiných skupin. To by bylo možné pouze v případě nevytížení jedné skupiny a přetížení druhé.

Reference

- [1] Stefano Armenia, Alessandro Pietro Saullo and Habib Sedehi *Dynamic Skill Based Routing: a System Dynamics approach to a Policy Definition in Call Center Management*.
- [2] Křížovský, F., Kříž, P. Šťastný, M, Vaněk, N. *Provozní zatížení v telekomunikacích*
- [3] Cisco Systems, Inc. *Pre-installation Planning Guide for Cisco Unified ICM Enterprise, Release 11.0* 170 West Tasman Drive San Jose, CA 95134-1706 USA, 2015
- [4] Avaya Inc. *Avaya Call Center, Automatic Call Distribution (ACD) Guide, Release 3.1* 07-300478, February 2006
- [5] Raik Stolletz *Performance Analysis and Optimization of Inbound Call Centers* Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2003
- [6] Thompson, James M., Gross, Donald, Harris, Carl M., Shortle, John F. *Fundamentals of Queueing Theory* John Wiley & Sons, August 2011