

České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická  
Katedra Telekomunikační techniky

***Technická podpora a kvalita  
služeb v plošně rozprostřených  
síťových odvětvích***

Disertační práce

**Ing. Jiří Holeček**

Praha, únor 2018

Doktorský studijní program: P 2612 Elektrotechnika a  
informatika

Studijní obor: 2601V013 Telekomunikační technika

Školitel: Ing. Zdeněk Brabec, CSc.

## ***Poděkování***

Děkuji vedoucímu své disertační práce Ing. Zdeňku Brabcovi, CSc. za pomoc, věnovaný čas i trpělivost, přínosné nápady a cenné připomínky, které vedly ke zlepšení práce. Dále bych rád poděkoval svým rodičům a přátelům za morální podporu.

# ***Čestné prohlášení***

Prohlašuji, že jsem svou disertační práci vypracoval samostatně a v předložené práci důsledně citoval použitou literaturu.

Praha dne 27.2.2018

.....

# Anotace

V síťových odvětvích, jako je energetika, plynárenství a také telekomunikace, je potřeba na územích pokrytých infrastrukturou vykonávat práce a to jak plánované, tak i neplánované. Úkony jsou vykonávány technickými specialisty s různými odbornostmi, kteří se pohybují v prostoru a v čase tak, aby v konečném důsledku byly dodrženy sjednané úrovně poskytovaných služeb a to při vynaložení co nejnižších nákladů. Řízení pohybu technických specialistů tak, aby byla dodržena na celém území pokrytém infrastrukturou sjednaná úroveň poskytovaných služeb a vynaloženy minimální náklady, je prováděno v reálném čase. Jedná se o náročnou optimalizační úlohu, která je vykonávána rozsáhlými specializovanými systémy.

V dizertační práci je řešena problematika modelování a simulací systémů pro řízení osádek v terénu v síťových odvětvích s cílem ukázat závislost kvality poskytované služby a nákladů na poskytování dané služby.

Modely, které byly v práci vytvořeny, byly postaveny nad rozsáhlým souborem dat získaných z reálného prostředí poskytovatele síťových služeb.

V teoretickém úvodu je popsán současný stav v oblasti řízení osádek v terénu, popsány aspekty dohody o úrovni poskytovaných služeb (SLA), vybrané ukazatele spolehlivosti využívaných v prostředí poskytovatele síťových služeb a základy teorie hromadné obsluhy, které jsou v práci využívány.

Dále je specifikováno blokové schéma typického systému pro řízení osádek v terénu, popsány jednotlivé bloky a určeny vstupní parametry modelu. Následně byla určena a ověřena statistická rozdělení jednotlivých vstupních toků simulačního modelu a dob jejich zpracování.

Byl představen jednoduchý plánovač pro přiřazování prací jednotlivým osádkám, jehož vnitřní logika byla popsána a s jehož výstupy byly konfrontovány výstupy simulačního modelu pro ověření jeho správnosti.

Ověřený simulační model byl rozšířen o neplánované události – poruchy v síti a na jeho základě byly určeny náklady vztažené k nejnižší nasimulované hodnotě pro jednotlivé úrovně dostupnosti služby.

Z typických dohod o úrovni poskytovaných služeb byly určeny v praxi nejčastěji používané hodnoty dostupnosti služby.

Mezi jednotlivými typickými hodnotami SLA byly určeny násobky/podíly nákladů na jejich dosažení a ty byly srovnány s předpokladem lineárního nárůstu nákladů.

Významné výsledky uvedené v disertační práci byly publikovány.

## ***Klíčová slova***

síťová odvětví; telekomunikace; dohoda o úrovni poskytovaných služeb; SLA; kvalita služby; QoS; náklady; dostupnost; simulace; model; plánování; workforce management; optimalizace;

# Abstract

In network industries such as energy, gas and telecommunications, it is necessary to carry out work, both scheduled and unscheduled on infrastructure-covered areas. The tasks are carried out by technical specialists with different skills, who move in space and time in order to guarantee that agreed levels of service are respected, at the lowest cost possible. The management of the movement of technical specialists in order to ensure the level of services provided at the minimum costs on the infrastructure covered area is done in real time. It is a challenging optimization task that is carried out by large specialized systems.

The thesis deals with the modeling and simulation of workforce management systems in network industries in order to demonstrate the dependence between the quality of the service provided and the cost of providing the service.

Models that were created in the thesis were based on an extensive set of data obtained from real-world network service provider.

The theoretical introduction describes the current state of art in workforce management systems, the aspects of the SLA, the selected reliability indicators used in the network service provider environment, and the basics of queueing theory that are used in the work.

Further, a block diagram of a typical workforce management system is specified, individual blocks are described and the input parameters of the model are determined. Subsequently, the statistical distributions of the individual input flows of the simulation model and the time of their processing were determined and verified.

A simple scheduler for assigning work orders to crews, whose internal logic was described and whose outputs were confronted with the outputs of the simulation model to verify its accuracy was presented.

Verified simulation model has been extended to unscheduled events - faults in the network and on its basis costs related to the lowest value for each simulated levels of service availability were determined.

The most commonly used service availability values in practice were identified from typical service level agreements.

Among typical SLAs values, multiples / shares of the cost of achieving these have been determined and compared with the assumption of a linear increase in costs.

Significant results presented in the thesis were published.

## **Key words**

Network industry; Telecommunications; Service Level Agreement; SLA; Quality of Service; QoS; Costs; Availability; Simulation; Model; Workforce Management; Optimization;

# Obsah

<b>ANOTACE</b> .....	<b>4</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>5</b>
<b>OBSAH</b> .....	<b>6</b>
<b>1 ÚVOD</b> .....	<b>8</b>
1.1    DEFINICE PROBLÉMU .....	8
1.2    CÍLE DIZERTAČNÍ PRÁCE .....	8
1.3    STRUKTURA DIZERTAČNÍ PRÁCE .....	8
<b>2 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY</b> .....	<b>10</b>
2.1    SYSTÉMY PRO ŘÍZENÍ PRACOVNÍCH SIL.....	10
2.1.1    Historický vývoj .....	10
2.2    PROCESNÍ ŘÍZENÍ .....	12
2.3    DOHODA O ÚROVNI POSKYTOVANÝCH SLUŽEB .....	12
2.3.1    Aktéři a základní definice .....	12
2.3.2    Produkty a služby .....	16
2.3.3    Service Level Agreement.....	18
2.3.4    Měření.....	21
2.4    UKAZATELE SPOLEHLIVOSTI DODÁVKY ELEKTRICKÉ ENERGIE .....	23
2.4.1    Systém Average Interruption Duration Index – SAIDI .....	23
2.4.2    System Average Interruption Frequency Index – SAIFI .....	23
2.4.3    Customer Average Interruption Duration Index – CAIDI.....	23
2.5    DÍLČÍ ZÁVĚR .....	23
<b>3 ZVOLENÉ METODY ZPRACOVÁNÍ</b> .....	<b>24</b>
3.1    METODIKA ZPRACOVÁNÍ.....	24
3.2    TEORIE HROMADNÉ OBSLUHY .....	25
3.2.1    Zdroje požadavků.....	26
3.2.2    Vstupní tok.....	26
3.2.3    Proces obsluhy .....	27
3.2.4    Vztah mezi procesy .....	28
3.2.5    Provozní zatížení.....	29
3.2.6    Kendallova klasifikace obsluhových systémů.....	29
3.3    DÍLČÍ ZÁVĚR .....	30
<b>4 STATICKÝ MODEL SYSTÉMU PRO ŘÍZENÍ OSÁDEK V TERÉNU</b> .....	<b>31</b>
4.1    BLOKOVÉ SCHÉMA TYPICKÉHO SYSTÉMU PRO ŘÍZENÍ PRACOVNÍCH SIL .....	31
4.2    URČENÍ PARAMETRŮ MODELU .....	33
4.2.1    Vstupní parametry .....	33
4.2.2    Výstupní parametry .....	34
4.3    STATISTICKÉ URČENÍ PARAMETRŮ MODELU .....	42
4.3.1    Kolmogorovův – Smirnovův test.....	42

4.3.2	Andersonův – Darlingův test .....	42
4.3.3	Test Chí-kvadrát .....	43
4.3.4	Nalezené parametry modelu .....	43
4.3.5	Rozdělení Beta.....	44
4.3.6	Weibullovo rozdělení .....	45
4.4	DÍLČÍ ZÁVĚR .....	46
<b>5</b>	<b>SIMULAČNÍ MODEL.....</b>	<b>47</b>
5.1	SIMULAČNÍ NÁSTROJ .....	47
5.2	POPIS SIMULAČNÍHO MODELU .....	47
5.3	OVĚŘENÍ SIMULAČNÍHO MODELU .....	48
5.4	DOPLNĚNÍ A URČENÍ DALŠÍCH VSTUPNÍCH PARAMETRŮ .....	48
5.4.1	Parametry modelu určené z ukazatelů spolehlivosti dodávky elektrické energie ...	48
5.5	ROZŠÍŘENÍ DYNAMICKÉHO MODELU O NEPLÁNOVANÉ VÝPADKY .....	49
5.6	DÍLČÍ ZÁVĚR .....	50
<b>6</b>	<b>ANALÝZA SIMULAČNÍHO MODELU S NÁVAZNOSTÍ NA SLA.....</b>	<b>52</b>
6.1	VÝSTUPY SIMULAČNÍHO MODELU .....	52
6.2	ANALÝZA VÝSTUPNÍCH DAT.....	53
6.3	KLÍČOVÉ PARAMETRY TYPIZOVANÝCH SLA SMLUV.....	55
6.4	URČENÍ ZÁVISLOSTI KVALITY SLUŽBY A NÁKLADŮ NA JEJÍ ZAJIŠTĚNÍ DLE TYPIZOVANÝCH SMLUV SLA .....	56
6.5	DÍLČÍ ZÁVĚR .....	59
<b>7</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>60</b>
7.1	VÝSTUPY PRÁCE .....	60
7.2	VYUŽITÍ PRO PRAXI A BUDOUCÍ PRÁCE .....	61
	<b>SEZNAM ZKRATEK.....</b>	<b>62</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>64</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>65</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>66</b>
	<b>VYBRANÉ PUBLIKACE AUTORA .....</b>	<b>70</b>
	PUBLIKACE VZTAHUJÍCÍ SE K TÉMATU DISERTAČNÍ PRÁCE .....	70
	Publikace v recenzovaných časopisech .....	70
	Publikace ve sbornících konferencí evidovaných ve Web of Science .....	70
	Publikace ve sbornících mezinárodních konferencí .....	70
	PUBLIKACE NEVZTAHUJÍCÍ SE K TÉMATU DISERTAČNÍ PRÁCE.....	70
	Publikace ve sbornících konferencí evidovaných ve Web of Science .....	70
	Publikace ve sbornících mezinárodních konferencí .....	71
	Ostatní publikace.....	71
	PROJEKTY .....	73
	Vlastní.....	73
	Spolupráce na projektech.....	73

# 1 Úvod

## 1.1 Definice problému

V síťových odvětvích, jako je energetika, plynárenství a také telekomunikace, je potřeba na územích pokrytých infrastrukturou vykonávat úkony a to jak plánované, tak i neplánované. Úkony jsou vykonávány technickými specialisty s různými odbornostmi, kteří se pohybují v prostoru a v čase tak, aby v konečném důsledku byly dodrženy sjednané úrovně poskytovaných služeb a to při vynaložení co nejnižších nákladů. Řízení pohybu technických specialistů je prováděno v reálném čase. Jedná se o náročnou optimalizační úlohu, která je vykonávána rozsáhlými specializovanými systémy.

Pro zákazníka je klíčovým ukazatelem dostupnost poskytovaných služeb. V oblasti informačních a komunikačních technologií se sjednává dohoda o úrovni poskytovaných služeb (anglicky Service Level Agreement), která stanovuje jasná a podrobná pravidla, za jakých je služba poskytována, včetně nákladů vynaložených na jejich dodržení resp. sankcí při jejich nedodržení.

## 1.2 Cíle dizertační práce

V současné době se v mnoha odvětvích prosazuje koncept just-in-time, mnoho poskytovatelů vyděluje podpůrné služby mimo svoji hlavní činnost, nejčastěji formou outsourcingu. Jedním z prvních síťových oborů, kde toto bylo vykonáváno, jsou telekomunikace. To vyžaduje správné nastavení smluvních vztahů mezi poskytovatelem a zákazníkem služby a definování úrovně služby SLA. Předkládaná dizertační práce si klade za hlavní cíl ukázat závislost kvality poskytované služby na nákladech na její zajištění.

Tento hlavní cíl se dělí na dílčí cíle:

1. Tvorbu statického modelu procesů systému pro řízení pracovních sil na základě reálných dat.
2. Určení statistických parametrů simulačního modelu.
3. Získání závislosti kvality služby na nákladech na poskytování dané služby.
4. Definování (získání) typizovaných smluv SLA.
5. Určení závislosti kvality služby a nákladů na její dodržení dle typizovaných smluv SLA.

## 1.3 Struktura dizertační práce

Dizertační práce je rozdělena do čtyř logicky propojených celků, jak je zobrazeno v Obr. 1.

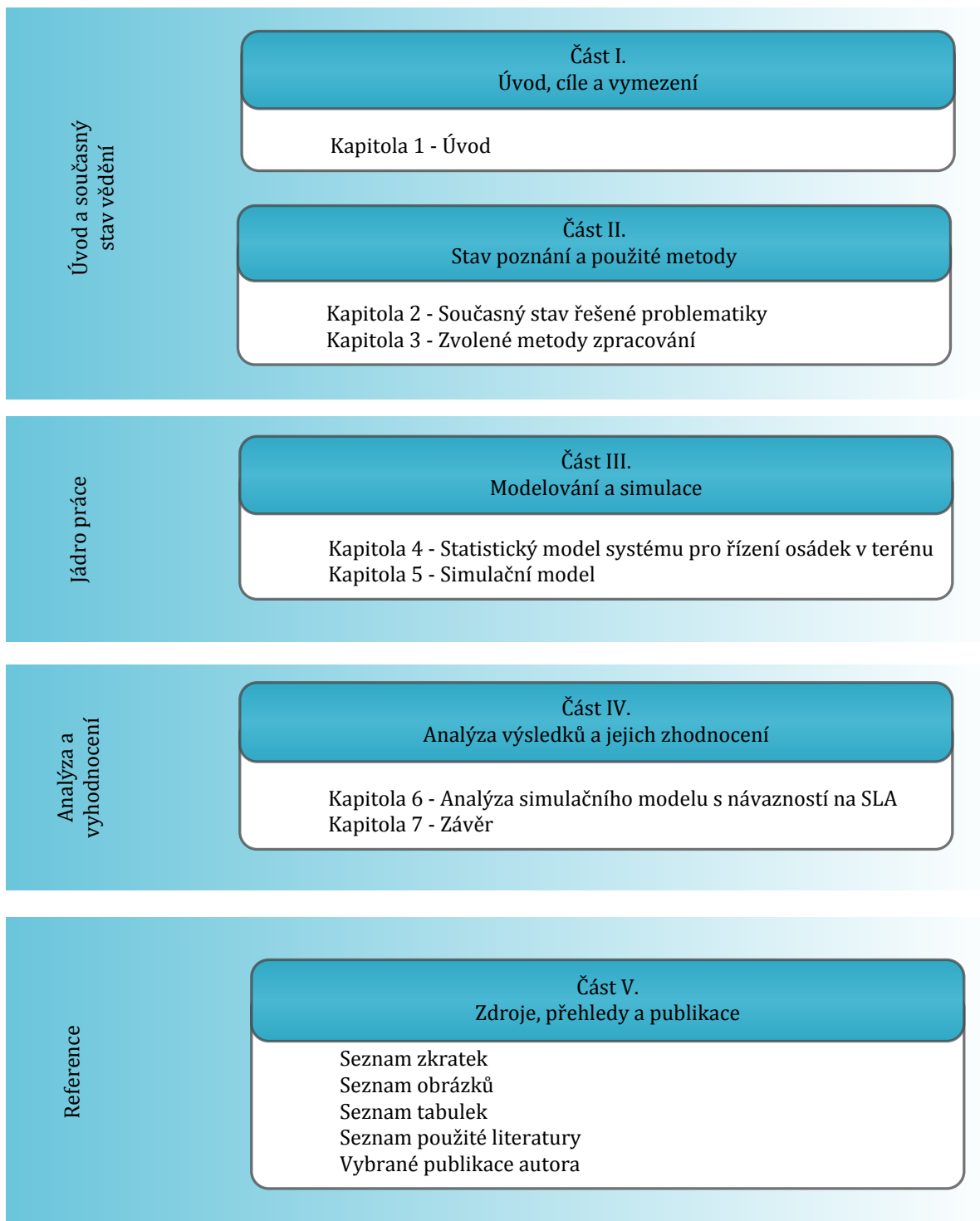
V prvním celku je představen úvod do problematiky, cíle práce, její struktura, popsán současný stav řešené problematiky a zvolené metody zpracování tématu.



V druhém celku je popsána tvorba statického a simulačního modelu, včetně určení všech potřebných vstupních pravděpodobnostních rozdělení.

V třetím celku je provedena analýza výsledků simulaci a vyvození závěrů.

V posledním celku jsou uvedeny reference na použitou literaturu, seznamy tabulek, obrázků a zkratk použitých v práci. Dále je zde uveden seznam publikací a projektů autora práce.



Obr. 1 Struktura disertační práce

## 2 Současný stav řešené problematiky

### 2.1 Systémy pro řízení pracovních sil

Řízení pracovních sil, anglicky Work Force Management (dále také WFM) je dynamicky se rozvíjející oblastí, jejímž cílem je systémová podpora činnosti osádek, tak aby byly efektivně využity a bylo dosaženo optimálních (nikoliv nezbytně nejnižších) nákladů.

V telekomunikacích a dalších síťových odvětvích je řízení pracovních sil zaměřeno zejména na přiřazení správných osádek, tj. osádek se správnými znalostmi, na správné místo ve správný čas. Tím se WFM liší od tradičního plánování, které je postaveno jen na časových posloupnostech jednotlivých prací a nezohledňuje místo výkonu práce. Tento přístup se postupně vyvinul do integrované, poptávkou řízené formy, která zahrnuje požadavky na znalosti a schopnosti osádek, na jejichž základech optimalizuje plánování prací. Kromě výše zmíněných dvou požadavků může WFM také sloužit k:

- předpovídání potřebné pracovní zátěže a požadovaných osádek,
- začlenění osádek do procesu plánování,
- řízení pracovní doby a účetnictví,
- analýze a sledování celého procesu.

#### 2.1.1 Historický vývoj

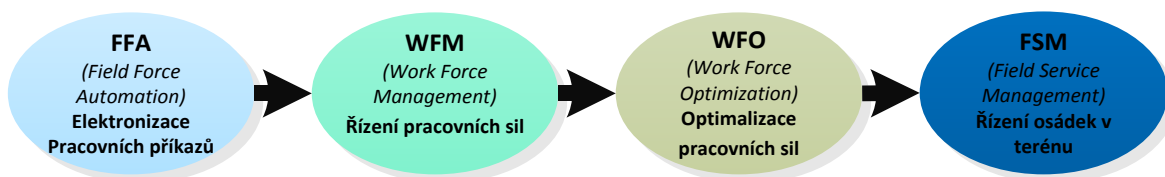
Cílem oboru řízení pracovních sil – WFM (Work Force Management) je zvýšit efektivnost řízení podniků. Tento obor se postupně vyvíjel.

V minulosti, byla podpora činnosti firem vykonávána pomocí manuálních administrativních procesů, které byly pracné a velmi nákladné. S rozvojem výpočetní techniky začaly být pro podporu využívány počítače a postupně vznikaly a vyvíjely se ve specializované účelově zaměřené podpůrné systémy.

Mezi nejvyužívanější patří:

- Provozní podpůrné systémy – OSS (Operations Support Systems) systémy, které jsou primárně využívány pro dohled a řízení sítí. [1]
- Systémy pro řízení vztahů se zákazníky – CRM (Customer Relationships Systems) systémy – slouží pro podporu řízení vztahů se zákazníky a to včetně získání, skladování a analýzy dat. [2]
- Systémy pro podporu obchodních činností společnosti – BSS (Business Support Systems) systémy – typické aktivity vykonávané BSS systémy jsou účtování za služby, správa produktů, správa zákazníků.
- Systémy pro plánování podnikových zdrojů – ERP (Enterprise Resource Planning) systémy, kterými podniky integrují všechny nebo většinu oblastí své činnosti, jako je řízení výroby, logistika, distribuce, finance, plánování, skladové hospodářství, logistika, prodej, marketing, finance. [3]

WFM systémy jsou podskupinou ERP systémů. Se zvyšujícím se tlakem na efektivitu je pozornost stále věnována lidskému faktoru. Řízení pracovních sil se stává důležitým strategickým prvkem v řízení podniku v mnoha průmyslových odvětvích. Vývoj systémů pro řízení pro řízení pracovních sil je naznačen na Obr. 2 a popsán v dalším textu.



Obr. 2 Vývoj systémů pro řízení pracovních sil

### **Field Force Automation**

Elektronizace pracovních příkazů (Field Force Automation) – FFA – je prvním krokem k elektronizaci a automatizaci řízení osádek v terénu. Jedná se o umožnění vyplňování pracovních příkazů a dalších formulářů v elektronické podobě osádkami přímo v terénu za použití PDA, případně notebooků nebo jiných specializovaných zařízení.

Data potřebná pro vykonávání pracovního příkazu i data zaznamenaná osádkou v terénu mohou být synchronizována s centrálními servery okamžitě (v případě dostupného datového spojení) nebo dávkově, např. na začátku a konci směny, při výskytu osádky v dosahu datové konektivity, v určitých časových intervalech a podobně.

V této etapě vývoje probíhá veškeré plánování a optimalizace ručně nebo za pomoci specializovaných nástrojů na dispečerských pracovištích. Největším přínosem je tedy eliminace mezikroku přepisování z pracovních příkazů a dalších formulářů z papírové formy do elektronických systémů umožněním přímého zápisu do těchto systémů.

### **Work Force Management**

Řízení pracovních sil (Work Force Management) – WFM – zahrnuje všechny aktivity potřebné pro efektivní využití pracovní síly.

Podle [1] je Work Force Management systém určený pro maximalizaci využití osádky tak, aby byly optimálně naplněny provozní potřeby společnosti. Klíčovým prvkem Work Force Management systémů je plánování – scheduling. Toho je dosaženo na základě historických dat, jako jsou doby trvání jednotlivých úkolů, rozložení úkolů ve dnech, měsících, letech a další, v závislosti na druhu a typu průmyslu. Mnoho systémů umožňuje kromě automatického plánování i manuální. Vypočítané předpokládané hodnoty jsou dále převedeny na jednotlivé pracovní příkazy pro osádky pomocí různých specifických algoritmů a optimalizací založených na teorii obsluhových systémů.

Pro dosažení optimálního využití lidských zdrojů musí být do plánovacího procesu zahrnuto mnoho klíčových informací, mezi ně patří současné a budoucí požadavky na personální zajištění, četnost a rozmístění špiček v požadavcích, dostupnosti, pohotovosti a dovolené osádek, jejich kvalifikační předpoklady, zákonná omezení a opatření, rozpočtová omezení a další.

## **Work Force Optimization**

Optimalizace pracovních sil (Work Force Optimization) – WFO – přináší nad rámec WFM možnosti optimalizace pracovních sil a provozní efektivity na základě analýzy dat pomocí specializovaných softwarových nástrojů. Data potřebná k analýzám, jako jsou informace o poloze, doba potřebná pro vykonávání jednotlivých pracovních úkolů apod., jsou získávána z mobilních zařízení, kterými jsou osádky v terénu vybaveny.

Podle [5] jsou softwarová řešení pro optimalizaci pracovních sil složena z technologií pro řízení výkonosti, e-learningu, analytických nástrojů, řízení kvality a řízení pracovních sil a na vyšší úrovni pak strategické plánování, monitoring, hodnocení a další.

## **Field Service Management**

Řízení osádek v terénu (Field Service Management) – FSM – je v současné době poslední generací systémů pro řízení osádek v terénu. Podle [6] FSM zahrnuje zajištění servisních požadavků v terénu (prostřednictvím vzdáleného monitorování nebo jinými prostředky, plánovaných preventivních kontrol nebo detekcí poruchy zákazníky), plánování a optimalizace osádek, dispečink, skladové hospodářství, a procesní podporu interakce s osádkami v terénu.

V praxi se pro všechny vývojové stupně často používá souhrnný název Work Force Management, proto i v této práci bude pod názvy Work Force Management, Řízení osádek v terénu a zkratkou WFM vždy myšlen poslední vývojový stupeň těchto systémů.

## **2.2 Procesní řízení**

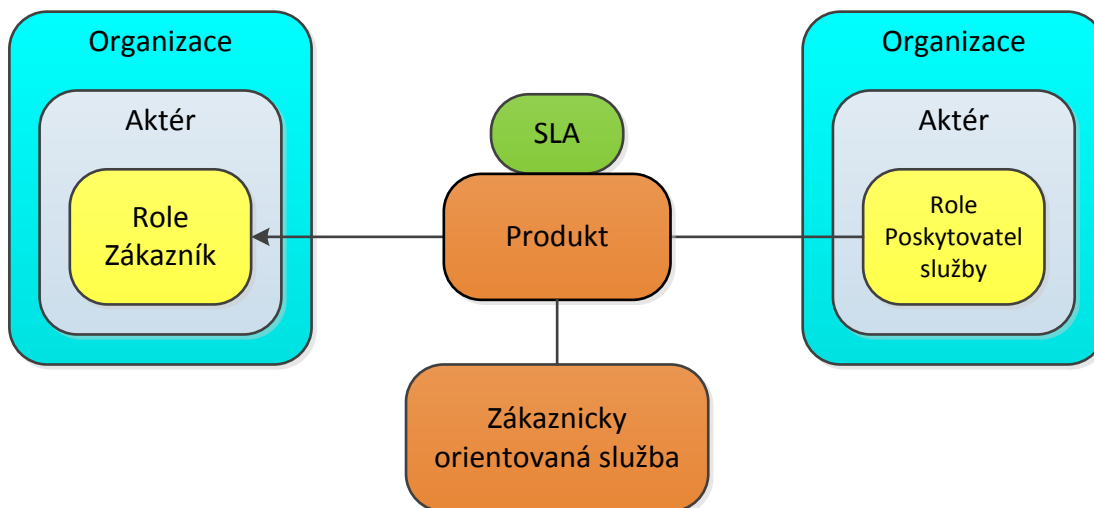
S termínem procesní řízení se v dnešní době lze setkat zejména v ekonomických a manažerských disciplínách, ale je třeba zdůraznit, že procesní řízení lze rozložit do několika rozdílných úrovní, z nichž některé se dotýkají čistě jen technického a technologického popisu, jak postupovat v konkrétních situacích. Počet těchto úrovní a jejich detailnost není definována a záleží na konkrétní aplikaci procesního řízení. [8]

## **2.3 Dohoda o úrovni poskytovaných služeb**

Dohoda o úrovni poskytnutých služeb (anglicky Service Level Agreement), dále také SLA) je sjednaná obchodní smlouva mezi zákazníkem a poskytovatelem služby. [7]

### **2.3.1 Aktéři a základní definice**

Na Obr. 3 jsou uvedeny některé z klíčových prvků SLA, které budou dále upřesněny a používány.



Obr. 3 Klíčové prvky SLA [9]

### **Definice pojmů**

Service Level Agreement (SLA) je v nejobecnější rovině zpravidla formálně sjednaná obchodní smlouva mezi dvěma Organizacemi, kde jedna organizace vystupuje v Roli Poskytovatele služby (SP) a druhá v Roli zákazníka. SLA popisuje společné chápání všech aspektů Produktu a vymezuje role a odpovědnosti obou Organizací od objednání produktu až po ukončení transakce. SLA může zahrnovat mnoho aspektů konkrétního produktu, jako jsou výkonnostní cíle, postupy péče o zákazníka, fakturaci, vymezení poskytování služby, atd. Primárním účelem SLA je spíše specifikace závazků o úrovni poskytovaných služeb, než specifikace vlastního produktu. V důsledku toho je problematika nastavování SLA zaměřena na vytvoření rámce pro určení kvality a výkonnostních faktorů, tedy pro stanovení vhodné úrovně poskytovaných služeb (Service Level Specification – SLS), včetně nastavování Prahových hodnot SLS.

### **Organizace**

V rámci správy SLA se obecně jedná o subjekt, jako je jedna právnická osoba (podnik či instituce); jednotlivec či domácnost; skupina lidí, jako je například nějaká sociální skupina.

### **Aktér**

Aktérem je buď Organizace, nebo její část, která vykonává činnost (Roli), vztahující se k určité oblasti, jako je například správa SLA. Pojem Aktér se používá pro modelování konceptu zastupování části organizace zapojené do SLA. Každá SLA a související procesy mohou být obecně popsány pomocí pojmů Aktér a Role, které Aktéři vykonávají. Při správě SLA je úkolem Aktéra v rámci organizace organizovat všechny činnosti související se správou SLA a to pro jeden nebo více produktů (viz kapitola 2.3.2). Jeden Aktér může mít více Rolí, v menších Organizacích však může existovat jeden Aktér se všemi Rolemi. Pokud jsou v rámci Organizace (např. mezi obchodními jednotkami) uzavřeny OLA (viz definice dále), pak musí být v rámci této organizace více Aktérů. Jakýkoliv vztah SLA vztah musí mít dva Aktéry. V nejjednodušším případě SLA Aktéry jsou subjekty, které vykonávají buď Roli Poskytovatele služeb (SP) nebo Roli zákazníka, kteří si vzájemně poskytují / přejímají produkt (službu).

## *Role*

Role je soubor činností a odpovědností vykonávaných Aktérem.

Role spojené s Aktéry SLA jsou:

- Poskytovatel služeb (SP),
- Zákazník,
- Uživatel,
- Integrátor.

### ***Role Poskytovatel služeb (SP)***

Aktér s Rolí Poskytovatel služeb (SP) dodává více instancí produktů různým Aktérům s Rolí Zákazník. Nicméně Role Poskytovatel služeb (SP) má na starosti („vlastní“) pouze jednu nabídku produktů. Pokud je oddělení Organizace zodpovědné za více nabídek produktů, pak toto oddělení bude Aktérem s několika Rolemi Poskytovatel služeb (SP), s jednou pro každý produkt. Je možné, že titíž lidé, nebo skupiny v rámci tohoto oddělení budou provádět různé Role.

Role SP je úzce spojena s Rolí „Integrátor“ (viz definice níže). Jsou odděleny (jako Role), aby byly jasnější popisy a také, aby se oddělily prodejní funkce (Role Poskytovatel služeb (SP)) od implementačních funkcí (Role Integrátor).

### ***Role Zákazník***

Role Zákazník (převážně Aktér Zákazník) je zodpovědný za nákup více typů produktů, které odpovídají jedné produktové nabídce.

Proto je každá Role Zákazník vztažena na jednu produktovou řadu.

Další Role může být zodpovědná za porovnání různých nabídek produktů na trhu, ale Role Zákazník nakupuje výrobky pouze jedné produktové řady.

Nabídka produktů se může týkat více Rolí Zákazník napříč několika Aktéry, ale nanejvýš jedné pro daného Aktéra.

Role zákazník (od jednoho Aktéra) je spojena pouze s jednou Rolí Poskytovatel služeb (SP) (od jiného Aktéra).

A naopak, Role Poskytovatel služeb (SP) může být přiřazena k více rolím Zákazník.

Obvykle Aktér Zákazník může nakupovat více produktů, a proto může mít více Rolí Zákazník.

### ***Role Uživatel***

Uživatel je spotřebitel (organizace, osoba nebo zařízení), který legitimním způsobem využívá služby, poskytované jako součást produktu.

Uživatel není nutně Zákazník.

Zákazník by měl být subjekt odpovědný za smluvní vztahy s rozhodovací pravomocí změnit nebo přerušit službu.

Role Uživatel odpovídá uživatelské činnosti a povinnostem, a je přijímána Aktérem.

V důsledku toho se může být Role Zákazník spojena s více Rolemi Uživatel, jak v rámci téhož Aktéra, tak v oddělených Aktérech.

Aktér může představovat subjekt s více uživateli, a proto může mít více Rolí Uživatel.

### Role Integrátor

Role integrátor je vykonávána Aktérem, který má pro určitý produkt Roli Poskytovatel služeb (SP), ale při jejím dodávání se musí spoléhat na jiné Poskytovatele služeb (SP) s cílem zajistit tento produkt svým zákazníkům. To znamená, že Aktér Poskytovatel služeb (SP) může mít více Rolí Integrátor.

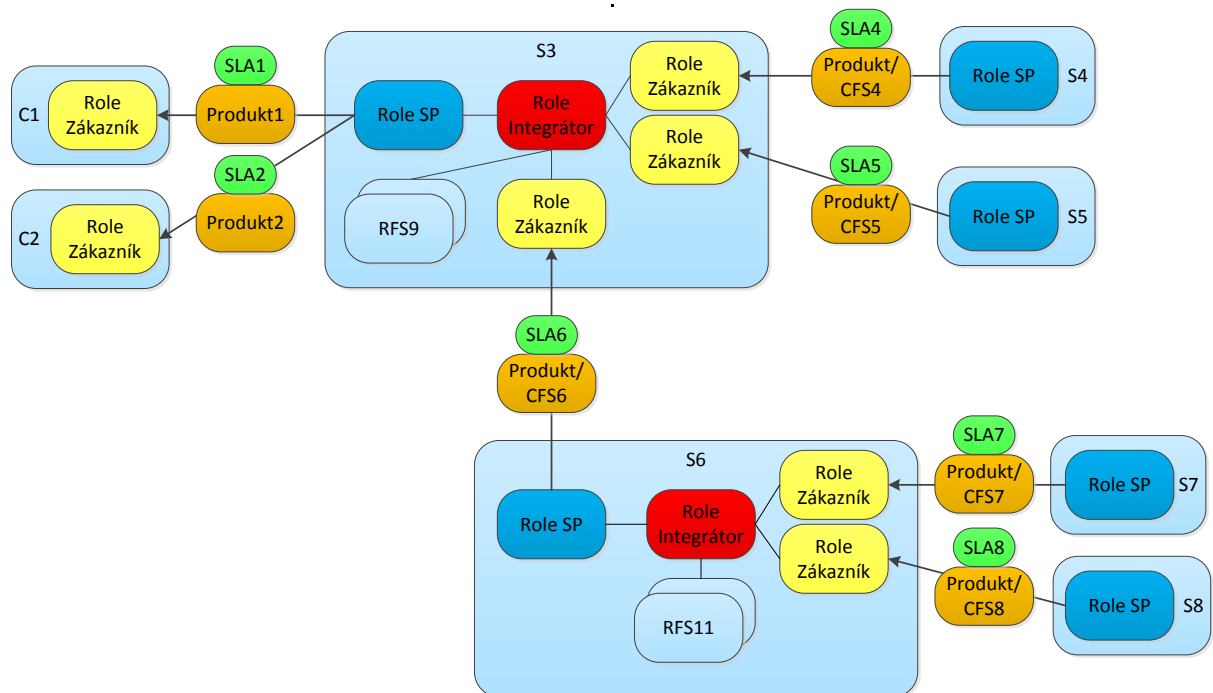
To také znamená, že Aktér s Rolí Integrátor může také mít Roli Zákazník pro produkty poskytované jeho subdodavateli. Tyto Role jsou vzájemně nezávislé.

V této souvislosti je užitečné uvést ještě dva pojmy:

- CFS – Customer Facing Service (Zákaznický orientovaná služba)
- RFS – Resource Facing Service (Zdrojově orientovaná služba)

Role integrátor tvořená kombinací vnitřních RFS (Zdrojově orientovaná služba) a externí CFS (Zákaznický orientovaná služba) je vůči zákazníkovi dodávána jako produkt.

Na Obr. 4 jsou na příkladu znázorněny vazby při komplexní dodávce služeb:



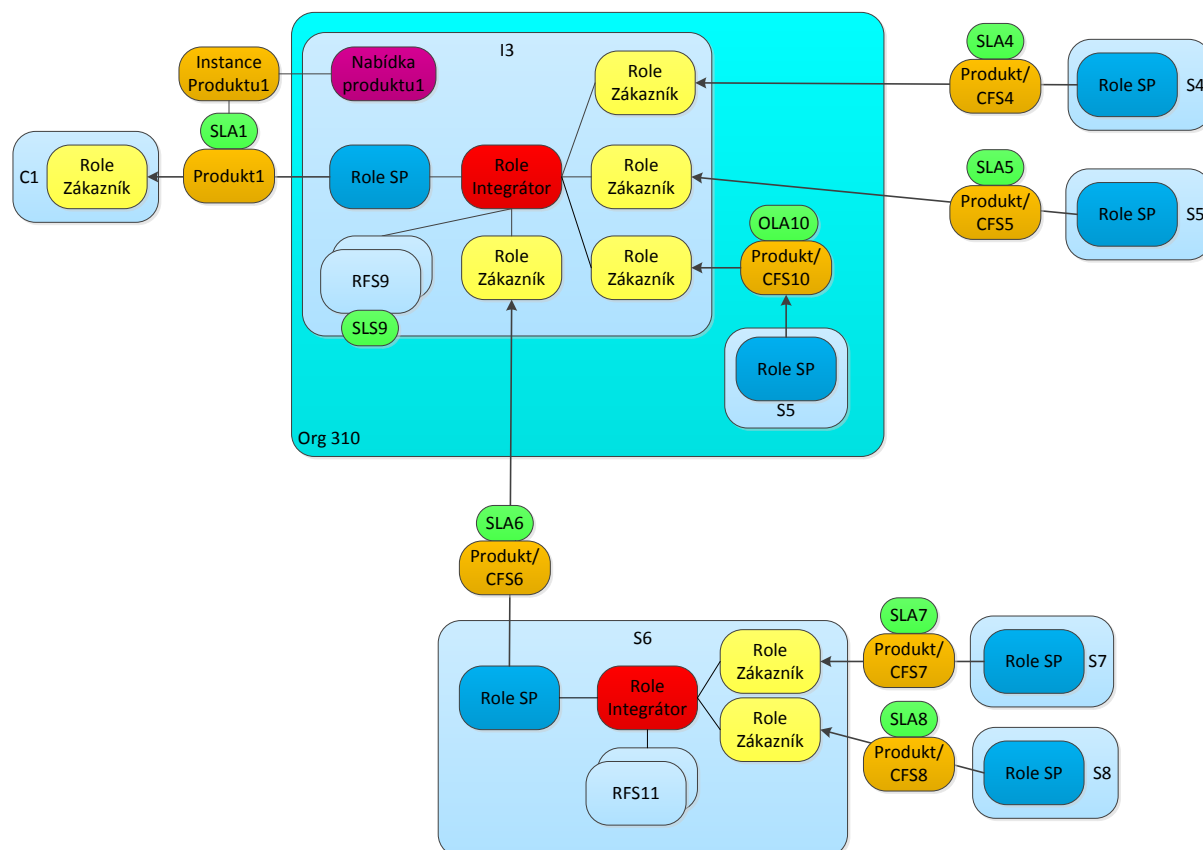
Obr. 4 Příklad znázornění vazeb při komplexní dodávce služeb [9]

Dvěma finálním zákazníkům (C1 a C2) je integrátorem dodávána služba S3 tvořená integrací služeb S4 a S5 a S6, přičemž služba S6 je dodávána integrátorem, který integruje služby S7 a S8. Z příkladu je patrné, že celá soustava musí být ošetřena osmi SLA.

## 2.3.2 Produkty a služby

Východiskem pro definici SLA a jejich aktérů je koncepce výrobků a služeb. Tato část se zaměří na tyto pojmy a také budou diskutovány související pojmy.

Obr. 5 ukazuje další podrobnější příklad produktů, služeb a složení služeb, což je popsáno v následující kapitole. Jedná se o rozšíření příkladu na Obr. 4



Obr. 5 Přehled produktů a služeb [9]

### Definice pojmů

Definice následujících pojmů je převzata z rámce eTOM. eTOM (enhanced Telecom Operations Map) [11], [12] je procesně orientovaný referenční rámec definovaný pro telekomunikační sektor. Popisuje oblast obchodních procesů poskytovatele telekomunikačních služeb a definuje klíčové prvky a jejich vzájemnou interakci. [13]

Rámec eTOM uvádí následující definici produktů a služeb [14]:

#### Produkt

„Produkt je to, co subjekt (dodavatel) nabízí nebo poskytuje jinému subjektu (zákazníkovi). Produkt může obsahovat služby, zpracovaný materiál, software nebo hardware nebo jakékoliv jejich kombinace. Produkt může být hmotný (např. zboží) nebo nehmotný (např. koncepce) nebo jejich kombinace. Avšak produkt vždy obsahuje složku služeb.“



### *Služba*

„Služby jsou vyvinuty Poskytovatelem služeb (SP) za účelem prodeje v rámci Produktů. Stejná služba může být ve více produktech, v různých baleních, s různými cenami, atd.“.

To znamená, že produkty jsou entity, které jsou prodávány Zákazníkům, a služby jsou entity, které jsou vytvořeny Poskytovateli služeb (SP) a jsou zahrnuty do Produktů.

Z hlediska správy SLA je SLA proto připojeno k Produktu, který je realizován jako jedna nebo více Zákaznický orientovaných služeb (CFS – Customer Facing Service).

Specifikace produktu je k dispozici jako jedna nebo více produktových nabídek.

Specifikace Produktu a Produktová nabídka popsují Produkty, které jsou jednotlivými instancemi nabízených Produktů získaných Zákazníky. Nabídka Produktů je entita nabízená na Trh Poskytovatelem služeb (SP).

### *Hierarchie Produktů*

Hierarchie Produktů popisuje závislosti mezi komponentami Produktu, a tím určuje závislosti mezi SLA. Zaměřuje na to, jak jsou Produkty sestavené ze základních služeb. Role Integrátor je odpovědná za specifikaci a správu SLA v závislosti na Hierarchii Produktů.

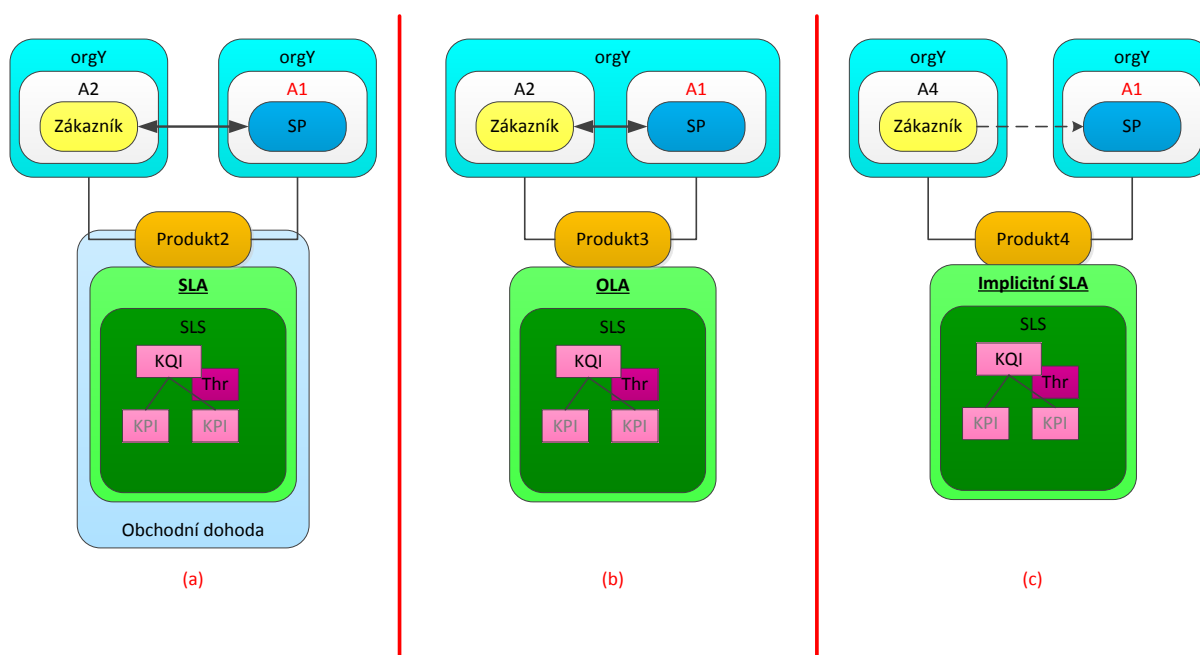
*Customer Facing Service – CFS (zákaznický orientovaná služba) a Resource Facing Service – RFS (zdrojově orientovaná služba)*

Zákaznický orientovaná služba (CFS) je součástí výrobku. Naproti tomu zdrojově orientovaná služba (RFS) je transparentní pro zákazníka, a její úlohou je podpora zákaznický orientované služby. Proto CFS a RFS koncepce závisí na vztahu Zákazníka a Poskytovatele služby (SP) a nejsou absolutní (služba, bez kontextu, nemůže být označena za CFS nebo RFS).

### *Katalog produktů*

Procesní rámec SID [10] definuje Katalog produktů jako "seznam nabízených Produktů k prodeji, s cenami a popisem, například ve formě knihy nebo na webu. Katalogy produktů mohou být použity pro jednotlivé Zákazníky při objednávání a mohou být použity v rámci jednoho či více distribučních kanálů.

### 2.3.3 Service Level Agreement



Obr. 6 Ilustrace SLA různých typů [9]

#### Definice pojmů uvedených na obrázku

##### KPI a KQI

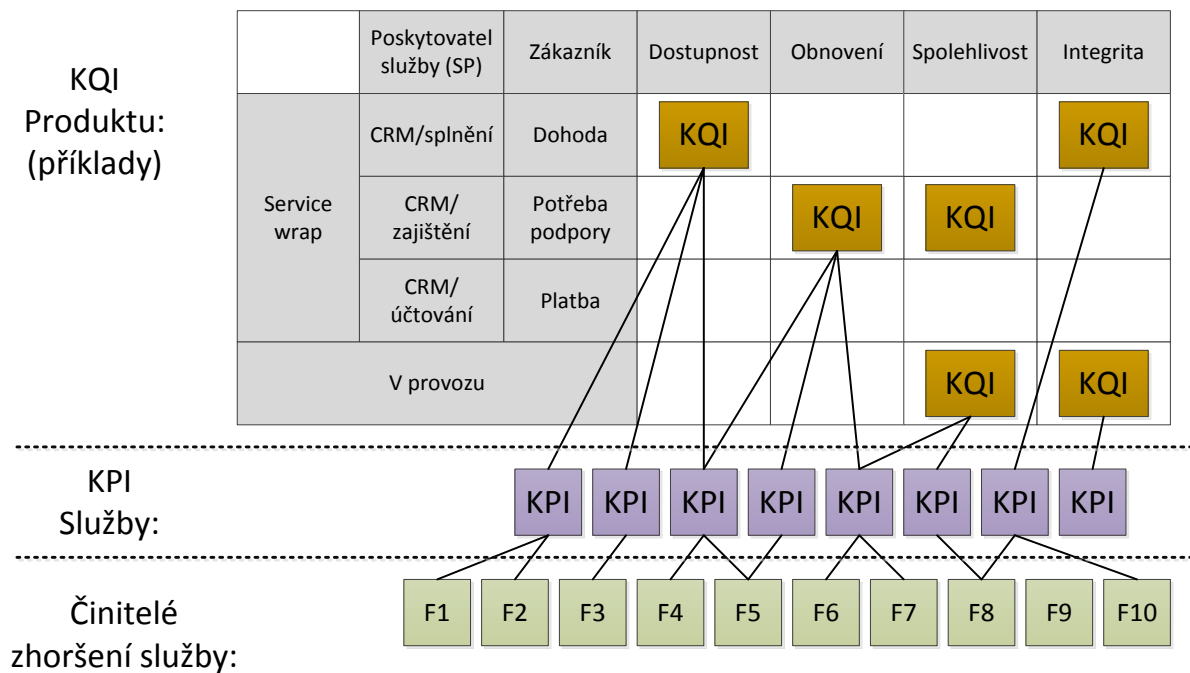
- KPI – metrika odrážející některé aspekty výkonu jednoho nebo více zdrojů (včetně dodavatelských zdrojů nebo služeb), která se měří buď přímo, nebo může být definována hierarchicky. KPI je smysluplná pro Poskytovatele služby (SP), ale ne nutně pro Zákazníka.
- KQI – metrika odrážející některé aspekty výkonu Produktu, z hlediska zákazníka. KQI je obvykle vyjádřena jako procento zákazníků, zdrojů nebo telekomunikačních entit (např.: volání nebo relace), které splňuje určitou úroveň kvality. KQI je přehledová metrika jednoduchá na pochopení, bez technického slangu specifického pro Poskytovatele služby (SP). V KQI bývají agregovány různé KPI, střední vypočtené hodnoty (obvykle z KPI), další KQI (od jednoho nebo od více Poskytovatelů služeb (SP)) a výsledky přímých měření. KQI nemusí nutně odpovídat jednomu nebo více měřicím bodům.

KQI se proto používají k měření **vlastností Produktu**, přičemž KPI jsou používány k měření výkonnosti **služby**. Správa SLA se netýká jen KQI (který je k dispozici pro zákazníky), ale také mapováním KPI do KQI (vnitřní proces Poskytovatele služeb (SP)).

##### Činitel zhoršení služby (Service Impairment Factor)

Činitel zhoršení služby je základním činitelem, který musí být zahrnut do výpočtu KPI nebo do měření. Činitelé zhoršení služby mohou, ale také nemusí, být měřitelné individuálně a nebývají používány jako KPI.

Ilustrace hierarchie kvalitativních ukazatelů je na Obr. 7.



Obr. 7 Ilustrace hierarchie kvalitativních ukazatelů [9]

### SLS – Service Level Specification (Specifikace úrovně služeb)

SLA definuje Parametry SLS, tj. co je třeba měřit, jak, kde a kdy, je třeba měřit, stejně jako dohodnuté výkonové hodnoty (Prahové hodnoty SLS), které je třeba dosáhnout pro naplnění smluvního SLA. SLA také popisuje, které procesy měření a vykazování se používají a co je třeba udělat, když prahové hodnoty nejsou splněny.

SLS je množina všech Parametrů SLS (v našem případě je KQI Parametr SLS), které je třeba měřit, a všechny Prahové hodnoty SLS, které jsou specifikací skutečných hodnot, kterých má být dosaženo pro dosažení předepsaných parametrů SLS.

### Prahové hodnoty SLS

Měly by být vyjádřeny pomocí konkrétních hodnot, nebo rozsahů hodnot. Každý Parametr SLS může mít rozdílné číselné vyjádření dobrého či špatného výkonu. Pro přehlednost by měla být každá Prahová hodnota SLS být doplněna informací o směru přechodu (z dobré hodnoty na špatnou), a tím ukázat, na které straně prahové hodnoty nebo rozsahu hodnot jsou špatné hodnoty měření výkonnosti

Specifikace produktu může mít více SLS, například za předem definovaných úrovní služeb, jako je např. „Gold“, „Silver“ či „Bronze“. Pro nabídku produktu se zpravidla používá pouze jedno SLS.

### Vyjadřování SLS

SLS se vyjadřuje alespoň jedním parametrem a alespoň jednou hodnotou Prahovou hodnotou SLS. Kvantifikuje očekávanou hodnotu Parametru/ů SLS.

Ve většině případů vyjadřování SLS, je k jednomu Parametru SLS uváděna odpovídající Prahová hodnota SLS.

V SLA, jsou Parametry SLS tvořeny výhradně KQI, ale SLA (a SLS) mohou popisovat KPI používané pro výpočet KQI. Prahové hodnoty SLS definované v SLA by měly odkazovat pouze na KQI.

#### *SO – Service Objectives (Cíle služby)*

SO (Cíle služby) jsou používány v podnikatelské, finanční či marketingové oblasti. Je to oblast mimo SLA, ale je třeba brát je v úvahu při stanovování SLA. Pokud je SLA ovlivňováno Cíly služby (SO) může docházet ke zvyšování efektivnosti podniku, a tím ke snižování cen a v konečném důsledku ke zvyšování spokojenosti a loajality zákazníků. Odpovídající Parametry SLS a Prahové hodnoty by proto měly být definovány tak, aby odrážely SO. Každá strana (jak Poskytovatel služby (SP), tak i Zákazník) mohou mít vlastní SO.

#### *OLA – Operational Level Agreement (Dohoda o úrovni provozních služeb)*

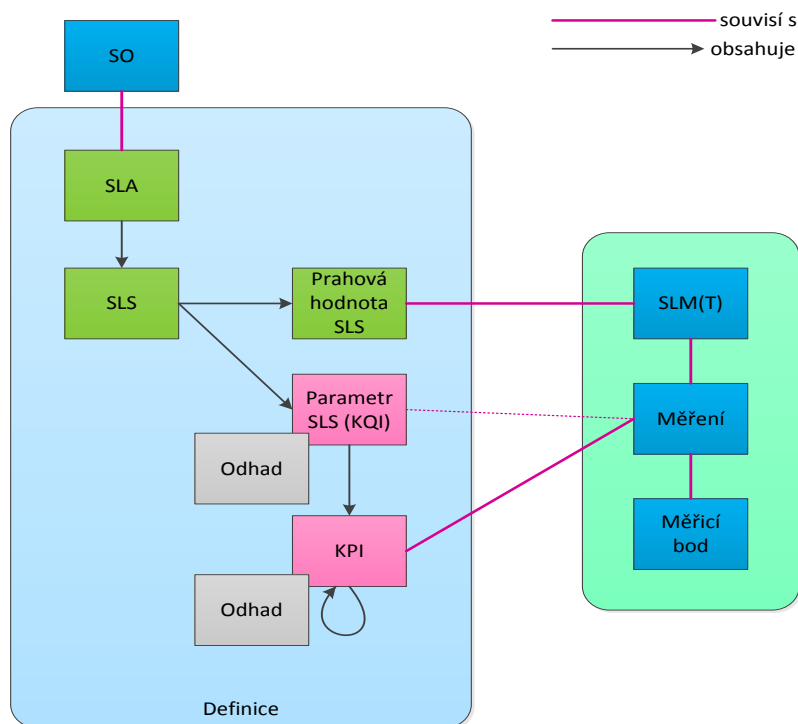
Termín OLA (nebo také interní SLA, či SLA Poskytovatele služeb (SP)) je v praxi běžně používán. Je podobný SLA, ale je používán v jiném kontextu. Termín SLA je používán v souvislosti s obchodní dohodou, zatímco termín OLA se používá v kontextu vnitřní dohody, případně bez finanční sankce, pokud dojde k porušení. OLA a SLA jsou specifikovány podobně (pomocí SLS).

#### *Implicitní SLA*

Implicitní SLA používá stejný formát specifikace jako SLA nebo OLA, ale není formalizováno dohodou (ať už obchodní nebo interní). Jedná se o jednostranný cíl vnitřně specifikovaný Poskytovatelem služby (SP), jehož cílem je dosažení určité úrovně kvality pro služby, odpovídající názoru Poskytovatele služby (SP) na to Zákazníkově očekávání.

Mohou být případy, kdy Poskytovatel služby (SP) nabízí SLA pro některé aspekty služby, ale ne všechny aspekty, které by mohly být pokryty implicitní SLA. Například by SLA mohlo pokrývat problematiku oprav a dostupnosti, zatímco implicitní SLA by se mohla týkat problematiky výkonu služby.

## 2.3.4 Měření



Obr 8 Pojmy používané pro měření SLA [9]

### Vysvětlení pojmů

#### Odhad

Přesná definice vychází ze statistiky (hodnota vypočítaná ze vzorku tak, aby popisovala stejnou hodnotou celou populaci), zde je pojem odhad rozšířen následovně: hodnota získaná určitým způsobem, u které se očekává, že bude poměrně blízko ke skutečné hodnotě metriky, pokud by se měřila přímo, a pokud by přímé měření bylo možné a neovlivňovalo by měřený subjekt.

V rámci správy SLA řízení, jsou měření prvků sítě (jako vstupy), považovány za přímé měření, bez ohledu na to, zda jsou použity odhady v prvcích sítě nebo měřicí sondy. Odhad je použitý k výpočtu KQI (nebo střední hodnoty KQI) z několika KPI.

#### Měřicí bod

Měřicí bod je fyzická nebo logická hranice, kde může být metoda Odhadu využita k změření metriky. Ne každá metrika je přidružena k měřicímu bodu. Měřicí bod může být spojen s bodem, ve kterém je prvek služby přístupný (často nazývaný Service Point Access – SAP).

#### Měření úrovně služby v čase $T$ ( $SLM(T)$ ) – (Service Level Measurement v čase $T$ )

Pro daný Parametr SLS, měření mohou být získány v Měřicím bodě v čase  $t$ , pomocí Odhadů. Pro danou SLS, jsou naměřené hodnoty všech Parametrů SLS v čase  $t$  souhrnně nazývány Service Level Measurement (SLM) v čase  $t$ , nebo  $SLM(T)$ . Odhady Parametrů SLS mohou používat předchozí okamžitá měření (KQI jsou definována jako souhrny změřených hodnot v průběhu času).

### *SLA Události*

V rámci sledování SLA mohou být některé kategorie události z různých zdrojů považovány za vstupy pro určování SLA Událostí.

Události mohou být shromažďovány ze systémů monitorování SLA, ze systémů pro správu poruch (např. chybová hlášení), ze systémů péče o zákazníky (fyzické stížnosti od zákazníka), od správce sítě (trouble ticket), atd.

SLA Událost je definována pouze ve vztahu k porušení pravidel SLA: Parametry SLS překračují Prahové hodnoty SLS.

SLA Událost má definovány čtyři stavy:

- Událost Vytvořena: událost byla přijata ze zdroje (došlo k překročení Prahové hodnoty), byla odfiltrována a bylo rozhodnuto vytvořit SLA Událost.
- Událost Zamítnuta: událost byla přijata z externího zdroje (zákazník, dodavatel), hlášení bylo vyhodnoceno jako neplatné a bylo rozhodnuto o zamítnutí.
- Událost Vymazána: situace byla znovu ohodnocena, k porušení SLA už nedochází.
- Událost Uzavřena: událost byla ošetřena, zamítnutí či vymazání bylo projednáno mezi Poskytovatelem služeb (SP) a Zákazníkem a rozhodnutí o uzavření bylo přijato oběma stranami.

Existuje ještě další stav pro stav „Událost Vytvořena“: v případě existence více Prahových hodnot SLS tyto vytvářejí další Prahovou hodnotu SLS – její překročení odráží závažnost porušování.

Stav SLA Událostí je udržován co nejaktuálnější, historie přechodu stavů může být uchovávána po určitou dobu, která může být stanovena v SLA nebo v SLA rámcové smlouvě.

Produktové metriky odvozené z metrik CFS (Zákaznický orientovaná služba) se zaměřují na vlastnosti produktu a způsobu jakým je produkt používán zákazníky.

Metriky Zákazníků / zkušenosti Uživatelů jsou obtížněji měřitelné, ale jsou nejdůležitější v obchodním vztahu. Proto jsou hlavními kandidáty na KQI. Některé Odhady spojují metriky CFS / RFS (Zákaznický / Zdrojově orientované služby) s metrikami Zákaznické / Uživatelské Zkušenosti.

Subjektivní vnímání je obtížně kvantifikovatelné, ale oblast Zákaznické / Uživatelské Zkušenosti je stále zlepšována, stále více metrik z oblasti vnímání bude postupně analyzováno, a odpovídající ohodnocení bude validováno, nově definované metriky budou moci být použity jako KQI v SLA.

Řízení SLA překonává všechny tyto rozměry a zaměřuje se na metriky KQI z pohledu Zákazníka / Uživatele.

## 2.4 Ukazatele spolehlivosti dodávky elektrické energie

V oblasti distribuce elektrické energie se dále pracuje s ukazateli SAIDI, SAIFI a CAIDI.

### 2.4.1 Systém Average Interruption Duration Index – SAIDI

Ukazatel SAIDI [15] udává průměrnou dobu trvání nedodávky elektrické energie a je určen vztahem

$$SAIDI = \frac{\sum t_i N_i}{N_T} \quad (1)$$

kde  $N_i$  je počet odběratelů postižených  $i$ -tým přerušením dodávky,  $t_i$  je doba trvání  $i$ -tého přerušení a  $N_T$  je celkový počet odběratelů. Jednotkou SAIDI je obvykle minuta, měřené období je obvykle 1 kalendářní rok.

### 2.4.2 System Average Interruption Frequency Index – SAIFI

Ukazatel SAIFI [15] udává průměrnou četnost přerušení dodávky elektrické energie a je určen vztahem

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_i N_i}{N_T} \quad (2)$$

kde  $N_i$  je počet odběratelů postižených  $i$ -tým přerušením dodávky,  $\lambda_i$  je počet přerušení a  $N_T$  je celkový počet odběratelů.

### 2.4.3 Customer Average Interruption Duration Index – CAIDI

Ukazatel CAIDI [15] představuje průměrnou délku trvání jednoho výpadku dodávky elektrické energie koncovému zákazníkovi. Pro výpočet platí vztah:

$$CAIDI = \frac{\sum t_i N_i}{\sum \lambda_i N_i} = \frac{SAIDI}{SAIFI} \quad (3)$$

kde  $N_i$  je počet odběratelů postižených  $i$ -tým přerušením dodávky,  $t_i$  je doba trvání  $i$ -tého přerušení a  $\lambda_i$  je počet přerušení. Jednotkou ukazatele CAIDI je minuta.

## 2.5 Dílčí závěr

V této kapitole jsou podrobně popsány klíčové prvky, se kterými bude v této práci dále pracováno – Systémy pro řízení pracovních sil, Procesní řízení, Dohoda o úrovni poskytovaných služeb a základní ukazatele spolehlivosti dodávky elektrické energie SAIDI, SAIFI a CAIDI.

Poznatky z této kapitoly byly publikovány v:

VODRÁŽKA, J., et al. *Zavedení SLA pro klíčové služby*. Praha: PREdistribuce, a.s.. 2013, na které se autor spolupodílel jako člen řešitelského kolektivu.

## 3 Zvolené metody zpracování

### 3.1 Metodika zpracování

Vědecká metodika je posloupnost nebo sada činností a procesů využívaná při vědeckém výzkumu, jejímž cílem je získat nové nebo ověřit stávající znalosti pomocí pozorování a dedukce dosud známých poznatků.

Vědeckou metodiku lze popsat pomocí 5 kroků:

1. Pozorování a popis skutečnosti
2. Formulace problému
3. Příprava hypotéz
4. Předvídání – dedukce z hypotéz
5. Ověření souladu skutečnosti s předpovědí

V průběhu řešení definovaného problému bylo využito několika vědeckých postupů, jimiž byly posloupně realizovány výzkumné cíle.

Výzkumné postupy lze dle kritérií metod dělit na:

- Teoretické
  - Induktivní – usuzování z jednotlivého na obecné, nebo přesněji řečeno jde o poznání, které vychází z empiricky zjištěných faktů a dospívá k obecným závěrům.
  - Deduktivní – vyvozování nových tvrzení z již existujících premis při zachování logiky,
- Empirické – experiment, měření, pozorování,
- Ostatní – heuristika, atd.

V této práci byly využity postupy empirické i teoretické. Při tvorbě modelu bylo využito empiricky získaných dat, na jejichž základě byl vyřčen obecný závěr. Ten byl dále experimentem potvrzen. Tento popis odpovídá induktivnímu postupu řešení vědeckého problému.

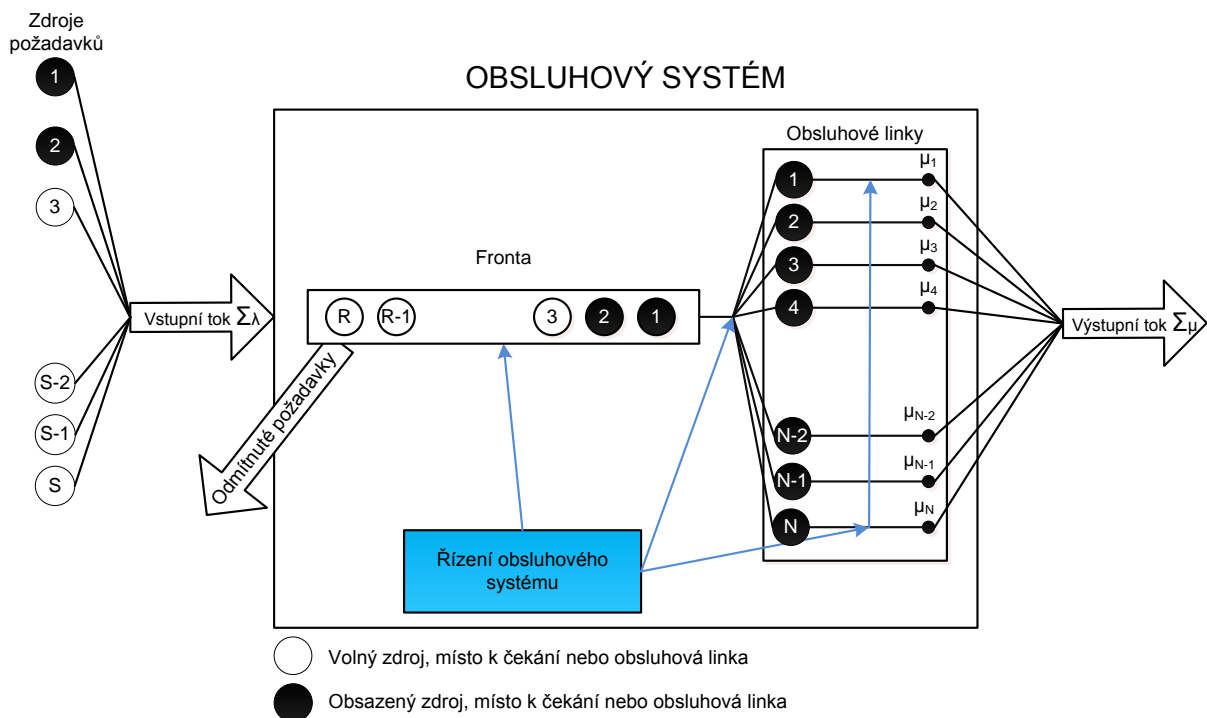
Řetězec kroků a úvah vedoucí ke splnění deklarovaných cílů zahrnoval:

1. Tvorbu statického modelu procesů systému pro řízení pracovních sil na základě reálných dat.
2. Určení statistických parametrů simulačního modelu s využitím teorie hromadné obsluhy.
3. Ověření správnosti simulačního modelu.
4. Rozšíření simulačního modelu o neplánované události.
5. Získání závislosti kvality služby na nákladech na poskytování dané služby.
6. Definování (získání) typizovaných smluv SLA.
7. Určení závislosti kvality služby a nákladů na její dodržení dle typizovaných smluv SLA.



## 3.2 Teorie hromadné obsluhy

Základním prvkem z teorie hromadné obsluhy je obsluhový systém. Jedná se o topologické uspořádání obsluhových linek a míst k čekání, které má za úkol zajistit obsluhu požadavků, způsob, jakým požadavky přicházejí k obsluze a pravidla pro obsluhu [16]. Obsluhovým systémem v telekomunikacích může být například ústředna, která spojuje hovory účastníků, call centrum, které vyřizuje dotazy volajících zákazníků nebo přepínač, který posílá pakety v síti na místo jejich určení. Schéma obsluhového systému je na Obr. 9.



Obr. 9 Schéma obsluhového systému [17]

Podle počtu míst na čekání jsou rozlišovány tři druhy obsluhových systémů:

- obsluhové systémy se ztrátou, které nemají žádná místa na čekání, tj.  $R = 0$ ,
- obsluhové systémy s čekáním, které mají nekonečný počet míst k čekání, tj.  $R = \infty$ . Příchozí požadavky čekají ve frontě tak dlouho, dokud nejsou zpracovány, nebo dobrovolně neopustí frontu,
- obsluhové systémy smíšené, které mají konečný kladný počet míst na čekání, tj.  $0 < R < \infty$ . Příchozí požadavek je odmítnut v případě, že přijde v okamžiku, kdy jsou obsazeny všechny obsluhové linky a všechna místa pro čekání. Obvyklým jevem je, že požadavek odejde z fronty v důsledku netrpělivosti (v případě Call Center či telefonních ústředěn) nebo ji opustí nuceně, pokud překročí systémem omezenou dobu čekání, případně jiné omezení.

Obsluhové systémy lze dále dělit na obsluhové systémy s úplnou dostupností, které umožňují obsluhu libovolného požadavku libovolnou volnou obsluhovou linkou, a obsluhové linky s neúplnou dostupností, kde určitý požadavek může být obslužen jen

omezenou skupinou z obsluhových linek – u WFM systémů je omezujícím parametrem např. geografická příslušnost, kvalifikace osádky, její technické vybavení apod.

Stav obsluhového systému (obvykle se značí  $j$ ) je soubor proměnných popisujících systém v různých časových okamžicích. Stav obsluhového systému je dán momentálním vytížením míst k čekání ve frontě a vytížením obsluhových linek.

U obsluhového systému jsou rozlišovány různé režimy fronty – FIFO (First In First Out), LIFO (Last In First Out) a RANDOM. Tyto režimy mohou být dále ovlivněny prioritou požadavků.

Priority se dělí na silnou a slabou:

- u obsluhových systémů se slabou neboli nepřerušující prioritou jsou požadavky s vyšší prioritou ve frontě nadřazeny požadavkům s nižší prioritou a jsou obslouženy vždy po uvolnění obsluhové linky. Obsluha požadavků s nižší prioritou, které jsou obsluhovány v okamžiku příchodu požadavku s vyšší prioritou, tedy není přerušena,
- u obsluhových systémů se silnou neboli přerušující prioritou je v okamžiku příchodu požadavku s vyšší prioritou obsluha požadavků s nižší prioritou přerušena a nahrazena obsluhou požadavku s vyšší prioritou. Požadavek, jehož obsluha byla přerušena, buď opustí obsluhový systém, aniž by byl obsloužen – ztratí se, nebo je znovu zařazen do fronty a jeho obsluha buď pokračuje od místa přerušování, nebo se opakuje od začátku.

Uvedené systémy s prioritou pracují se stálou prioritou příchozích požadavků. Existují ale i obsluhové systémy, u kterých se prioritita může dynamicky měnit podle předem definovaných parametrů, jako je např. délka doby, kterou příchozí požadavek stráví čekáním ve frontě apod.

### 3.2.1 Zdroje požadavků

Zdroje požadavků leží mimo vlastní obsluhový systém. Zdroj může generovat požadavky jednotlivě, nebo po skupinách konstantní, nebo proměnlivé délky. Časový odstup mezi vznikem požadavků ve zdroji je buď konstantní, nebo proměnné délky.

### 3.2.2 Vstupní tok

Vlastnosti vstupního toku jsou ovlivněny několika parametry. Vstupní tok může mít buď stochastický charakter, pokud jsou okamžiky příchodu požadavků náhodné, nebo pravidelný charakter, když jsou intervaly mezi příchody konstantní.

Vstupní tok je charakterizován počtem současně příchozích požadavků, rozdělením dob mezi příchody a jejich vzájemnou závislostí. Podle vlastností délky intervalů mezi příchody požadavků se rozlišují tyto typy vstupních toků:

- toky regenerativní mají intervaly mezi příchody vzájemně nezávislé,
- toky rekurentní jsou podmnožinou toků regenerativních, u kterých mají délky intervalů mezi příchody stejné pravděpodobnostní rozdělení se stejnými parametry,

- toky Poissonovské jsou toky rekurentní s exponenciálním rozdělením délky intervalů mezi příchody.

Vstupní tok lze dále dělit podle hromadění požadavků v krátkém časovém intervalu na tok ordinární a neordinární. Ordinární tok je tok, pro který platí

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P_{k>1}(\Delta t)}{\Delta t} = 0 \quad (4)$$

kde  $P_{k>1}(\Delta t)$  je pravděpodobnost výskytu více než jednoho požadavku ve velmi krátkém intervalu  $\Delta t$ .

Podle pojetí náhodného příchodu požadavků lze toky rozdělit na dva typy [16]. První typ je tok označovaný jako PCT1 z anglického Pure Chance Traffic. Tento typ toku je charakterizovaný předpokladem, že požadavky přicházejí do systému ze zdrojů, jejichž počet se blíží nekonečnu. Jednotlivé zdroje produkují požadavky jen zřídka a vliv obsazení zdroje je proto zanedbatelný a neovlivňuje tak parametry vstupního toku.

Tok PCT2 naproti tomu nezanedbává vliv obsazení zdroje, neboť předpokládá konečný počet zdrojů. Je neregenerativní a nerekurentní a vliv konečného počtu zdrojů se příznivě projevuje na kvalitě obsluhy, protože ve chvíli, kdy je obsluhový systém plný požadavků, dojde k poklesu počtu volných zdrojů a intenzita vstupního toku klesne. Čím je počet zdrojů vyšší, tím je tento efekt menší.

### 3.2.3 Proces obsluhy

Procesy obsluhy lze podle jejich charakteru rozdělit do dvou skupin. Procesy, které mají charakter toku určitých událostí, jsou značeny písmenem  $X$  a nabývají postupně hodnot  $0, 1, \dots, n$  s tím, že každý další výskyt události inkrementuje stav. Písmenem  $x$  jsou označovány procesy charakterizující stav obsazení, tedy počet požadavků přítomných v obsluhovém systému v daném okamžiku. Tento počet se může v průběhu času zvyšovat i snižovat podle toho, jestli přicházejí a do obsluhového systému jsou přijímány nové požadavky, nebo požadavky, které v obsluhovém systému končí obsluhu či odcházejí bez obsluhy [16].

$X_p(t)$  označuje výskyt požadavků vstupujících přímo do obsluhového systému, kde jsou obslouženy obsluhovými linkami, nebo čekají ve frontě, dokud na ně nepříjde řada.

Počet požadavků v systému se náhodně mění s časem a lze ho charakterizovat stochastickým procesem, který se nazývá proces obsluhy a značí se  $x_S(t)$ , a jeho stavy jsou omezeny počtem možných požadavků v systému  $j = 0, 1, \dots, N + R$ .

Dalším z procesů v obsluhovém systému je proces vlastní obsluhy  $x_Y(t)$ , který odpovídá počtu současně obsazených obsluhových linek. U obsluhových systémů se ztrátou a bez fronty je tento proces shodný s procesem obsluhy  $x_S(t)$ . Pokud se systém v procesu vlastní obsluhy dostane do stavu, kdy jsou všechny obsluhové linky využity obsluhou požadavků, tj. stav  $j = N$ , je systém ve stavu blokování. Pokud je obsluhový systém se ztrátou, je v tomto stavu nově přichodící požadavek ztracen. Celková doba, po kterou je

za dobu pozorování systému systém ve stavu blokování se nazývá nebezpečná doba  $t_E$  a je dána střední hodnotou doby trvání stavu  $j = N$ .

Nebezpečná doba je dána vztahem:

$$t_E = m \cdot t_B \quad (5)$$

kde průměrná doba současného obsazení obsluhových linek  $t_B$  odpovídá:

$$t_B = \frac{t_1 + t_2 + \dots + t_m}{m} \quad (6)$$

tedy průměru z počtu  $m$  případ, ve kterých během doby pozorování došlo ke stavu blokování po doby  $t_1$  až  $t_m$ .

Pro obsluhové systémy s čekáním a smíšené obsluhové systémy se uvažuje i proces čekajících požadavků ve frontě  $x_F(t)$ . Potom platí:

$$x_S(t) = x_F(t) + x_Y(t) \quad (7)$$

Zavedením tohoto procesu a jeho souvislosti s procesem obsluhy je možné popsat smíšené systémy a systémy s čekáním. Proces čekajících požadavků ve frontě se nepodílí na procesu obsluhy, existuje pro zvýšení kapacity systému a pro lepší využití obsluhových linek za přijatelně dlouhé doby čekání.

Obsluhové linky jsou charakterizovány svým počtem a střední hodnotou doby obsazení  $t_{oS}$ . Místo střední doby obsluhy je někdy výhodné charakterizovat obsluhu v obsluhové lince intenzitou obsluhy:

$$\mu = 1/t_{oS} \quad (8)$$

tj. průměrným počtem obslužených požadavků jednou obsluhovou linkou při nepřetržitém chodu obsluhy [16].

Dalším z toků je tok ztracených požadavků. Tento stochastický proces, značený  $X_Z(t)$  je tvořen požadavky, které byly ztraceny ať už v důsledku vlastního odchodu ze systému, nebo proto, že vstoupily od obsluhového systému ve stavu blokování.

Posledním tokem je tok obslužených požadavků  $X_O(t)$ , tj. těch požadavků, které byly úspěšně obsluženy systémem. Tento tok je charakterizován rozdělením dob mezi okamžiky ukončení obsluhy požadavků a jejich vzájemnou statistickou závislostí.

### 3.2.4 Vztah mezi procesy

Vztah mezi jednotlivými výše popsány procesy lze obecně zapsat ve formě rovnice (9). Stav fronty a vlastní obsluhy v okamžiku začátku sledování ( $t = 0$ ) spolu s požadavky, které přijdou za pozorovanou dobu  $t$ , se musí rovnat stavu fronty a vlastní obsluhy a počtu obslužených a ztracených požadavků za dobu  $t$  [16]:

$$x_F(0) + x_Y(0) + X_P(t) = x_F(t) + x_Y(t) + X_O(t) + X_Z(t) \quad (9)$$

Rovnice (9) popisuje smíšený systém. U systému se ztrátou lze z rovnice vypustit stav fronty a u systému s čekáním proces ztracených požadavků.

Pro zjednodušení problému se stochastickým charakterem toků a s tím spojenou časovou proměnností se zavádí stav statistické rovnováhy. To znamená, že je proces obsluhy  $x_s(t)$  stacionární a rozdělení náhodné veličiny  $x_s(t)$  tedy zůstává stejné pro všechna  $t$ . Za stavu statistické rovnováhy je průměrný počet příchozích požadavků roven průměrnému počtu obslužených požadavků:

$$\lambda_j \cdot p_j = \mu_{j+1} \cdot p_{j+1} \quad (10)$$

### 3.2.5 Provozní zatížení

Provozní zatížení lze vyjádřit jako objem zatížení zpracovaný v určitém časovém období nebo jako výkon. Objem zatížení je střední hodnota úhrnné doby obsazení všech obsluhových linek během definovaného časového intervalu [20]. Výkon je průměrný počet obsazených obsluhových linek  $Y$ . Ve stacionárním procesu lze výkon vnímat i jako objem zatížení za jednotku času nebo jako průměrný počet požadavků obslužený za střední dobu obsluhy  $t_{0S}$ .

S provozním zatížením souvisí další veličiny. První z nich je nabídka  $A$ , která je definována jako průměrný počet nabízeného zatížení za střední dobu obsluhy a je vyjádřena vztahem:

$$A = \lambda \cdot t_{0S} \quad (11)$$

Ztracené provozní zatížení, zvané zbytek  $M$  udává průměrný počet ztracených požadavků za střední dobu obsluhy:

$$M = \lambda_Z \cdot t_{0S} \quad (12)$$

Pravděpodobnost ztráty  $B$  je poměr průměrného počtu ztracených požadavků za dobu  $t$  a průměrného počtu nabízených požadavků za stejnou dobu:

$$B = \frac{E[X_Z(t)]}{E[X_P(t)]} \quad (13)$$

Vzájemné vztahy mezi veličinami definovanými v této kapitole pak jsou:

$$Y = A \cdot (1 - B) \quad (14)$$

$$M = A \cdot B \quad (15)$$

$$A = Y + M \quad (16)$$

Výkon  $Y$ , nabídka  $A$  i zbytek  $M$  jsou bezrozměrné, v telekomunikacích dle zvyků značené bezrozměrnou jednotkou zvanou Erlang (erl). Obsluhová linka pracuje s výkonem 1 erl, když je trvale obsazena po dobu  $t$  za dobu pozorování  $t$ .

### 3.2.6 Kendallova klasifikace obsluhových systémů

V padesátých letech minulého století definoval D. G. Kendall klasifikaci pro popis obsluhových systémů ve formě  $A/B/N$  (význam jednotlivých písmen je vysvětlen dále).

Pouze tři prvky pro popis celého obsluhového systému nestačily, proto byly postupně doplňovány až na dnešních šest prvků [18]:

$$A/B/N/R/S/X$$

Význam jednotlivých písmen v Kendallově klasifikaci je:

- A distribuční funkce intervalů mezi příchody,
- B distribuční funkce doby obsluhy,
- N počet obsluhových linek,
- R maximální počet požadavků v systému nebo pouze počet míst pro čekající,
- S počet zdrojů požadavků (zákazníků), neuvádí se pokud je nekonečný,
- X režim fronty.

Distribuční funkce  $F(x)$  pro popis intervalů mezi příchody a doby obsluhy je charakterizována především střední hodnotou  $E[x]$  a rozptylem  $D[x]$ .

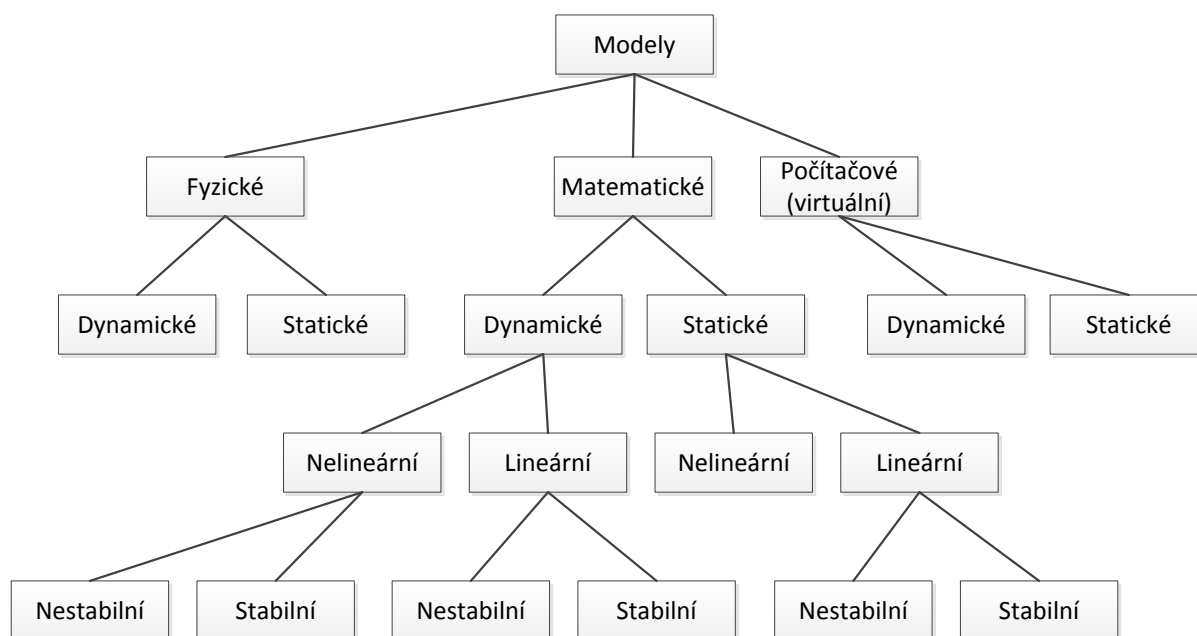
### 3.3 Dílčí závěr

V této kapitole byly obecně popsány vědecké metody využité v této práci a ve zkratce byly uvedeny základy teorie hromadné obsluhy, které byly využity při návrhu dynamického simulačního modelu.

## 4 Statický model systému pro řízení osádek v terénu

Model je množina předpokladů nebo aproximací popisujících reálný systém. Je sestaven na základě nashromážděných informací a měl by umožnit ověření správnosti faktů, provádění předpovědí a jejich verifikaci. Významným faktorem popisujícím model je jeho validita, tj. jak přesně popisuje modelovaný systém. Validita modelu se ověřuje jeho simulací a porovnáním výsledků s reálnými hodnotami.

Modely se obecně dělí na matematické, fyzické (v oblasti procesního modelování nepoužívané) a počítačové/virtuální, které se dále dělí na statické a dynamické (simulační).



Obr. 10 Dělení modelů [19]

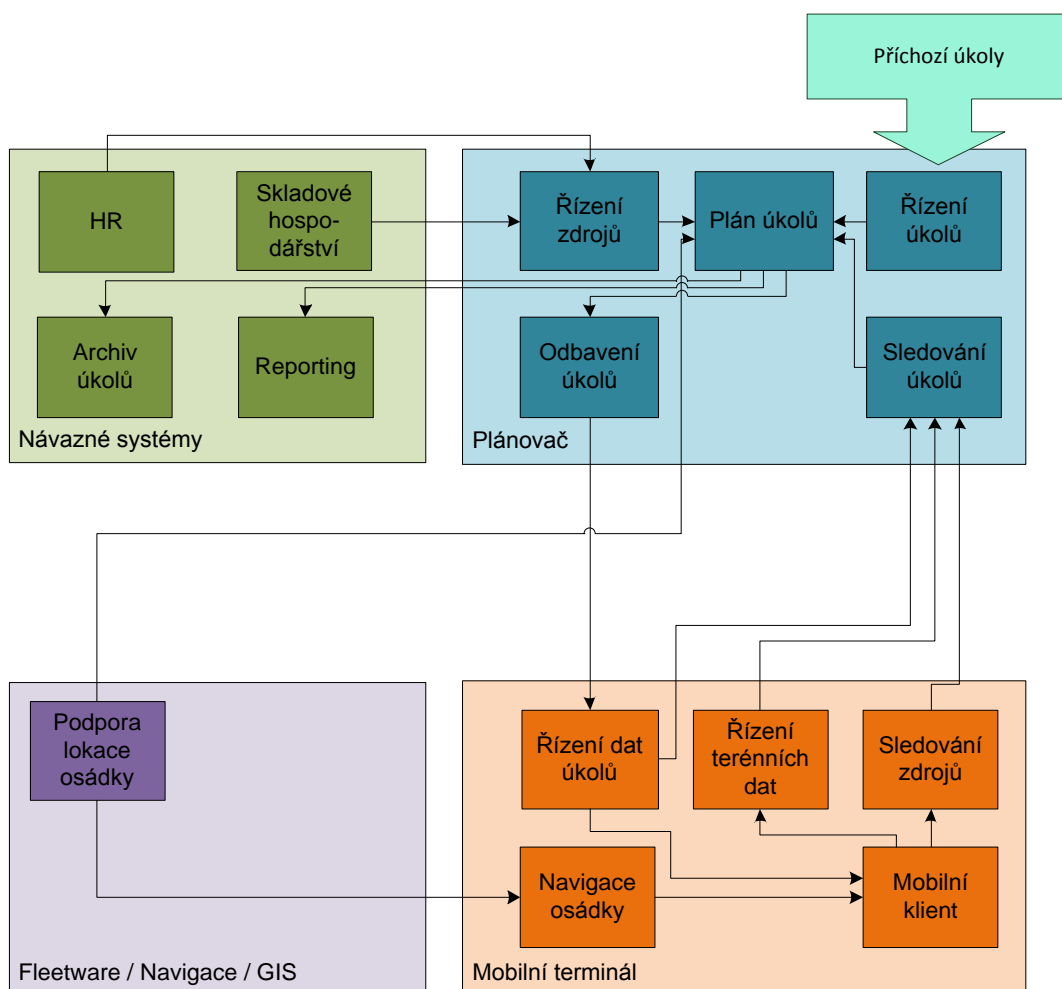
Statický model popisuje typy objektů a jejich vzájemné vztahy.

### 4.1 Blokové schéma typického systému pro řízení pracovních sil

Typický systém pro řízení pracovních sil (zobrazený na Obr. 11) se obecně sestává ze čtyř základních bloků – funkčních jednotek.

Klíčovým blokem je Plánovač, ve kterém je prováděno plánování jednotlivých úkolů podle požadavků, jejich přiřazení jednotlivým osádkám, optimalizace činností těchto osádek na základě předdefinovaných parametrů, kvalifikace osádek, jejich

technickému zabezpečení. Dalšími parametry v optimalizaci mohou být např. ujetá vzdálenost, doba strávená přesuny mezi jednotlivými místy výkonu činnosti, plnění zákonných a smluvní podmínek (např. SLA), přednostní obsluha klíčových zákazníků a další.



Obr. 11 Blokové schéma typického systému pro řízení pracovních sil

Blok Mobilní terminál zahrnuje veškeré činnosti, které osádka potřebuje v terénu pro úspěšné splnění přiřazených úkolů – navigace na místo výkonu práce, seznam pracovních příkazů, evidence materiálu, který má osádka u sebe, formuláře pro zadokumentování plnění (a splnění) úkolu a další.

Blok Návazné systémy obsahuje systémy, které nejsou přímou součástí plánování a optimalizace, ale jsou potřebné pro jejich činnost. Tyto systémy poskytují informace o kvalifikačních předpokladech osádek, jejich směnách, dovolených a pohotovostech, udržují informace o stavech materiálu v jednotlivých stavech tak, aby ten bylo možné distribuovat na jednotlivá výjezdní místa, aby byly osádky vybaveny vším materiálem, který se předpokládá, že ke splnění daného pracovního příkazu bude potřeba. Mezi návazné systémy lze zařadit i systémy pro monitoring a reporting splněných pracovních příkazů a archivaci dokončených pracovních příkazů.



Posledním blokem je Fleetware / Navigace / GIS. Tento blok v sobě obsahuje jednak správu a údržbu vozového parku, mapové a navigační podklady a případná další data spojená s vozovým parkem a přesuny na místa výkonu práce.

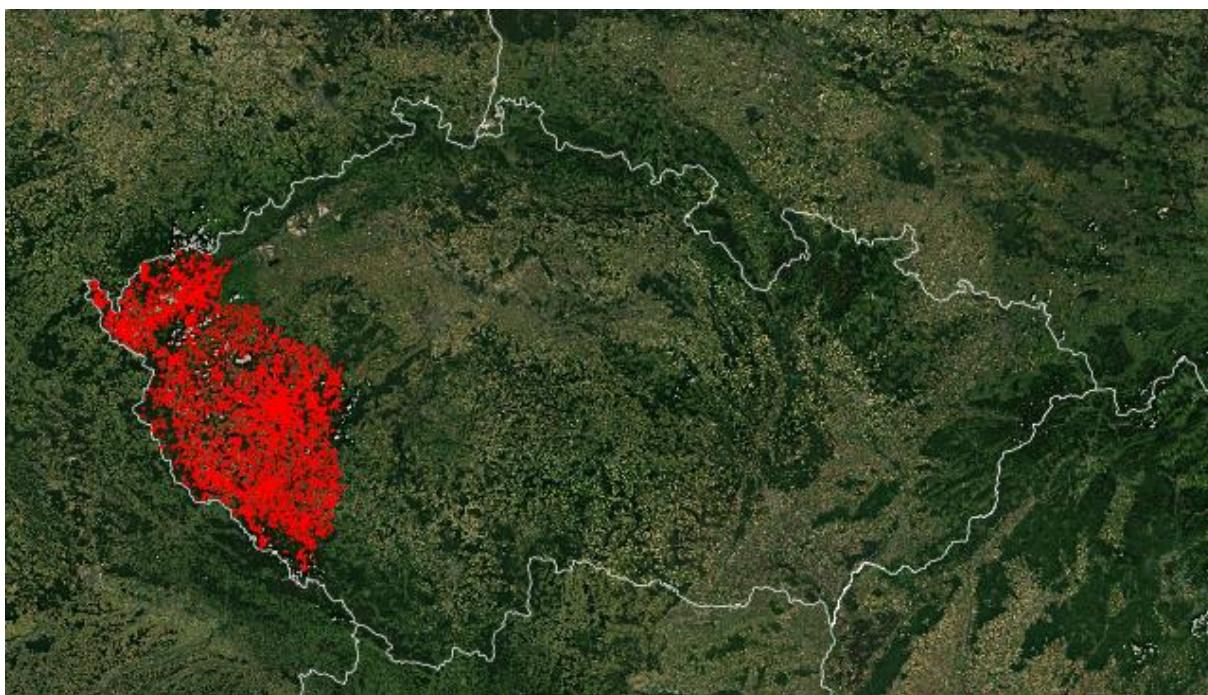
## 4.2 Určení parametrů modelu

Parametry modelu byly získány statistickým zpracováním reálných dat poskytnutých jednou z velkých energetických společností.

### 4.2.1 Vstupní parametry

Soubor vstupních dat byl tvořen požadavky na splnění pracovních příkazů (dále také PP), které měly být naplánovány jednotlivým osádkám, tak aby bylo splněno co nejvíce PP, PP byly plněny ve správný časový interval, na správném místě a s minimálními náklady.

Každý PP byl zařazen do jedné ze čtyř priorit, které určovaly buď maximální čas, který může uplynout mezi vstupem PP do systému a jeho fyzickým vykonáním (priority 0, 1, 2), nebo určovaly přesný časový interval, kdy musí být daný PP vyřešen (priorita A).



Obr 12 Geografické rozložení pracovních příkazů

Dalším vstupem byl seznam 107 osádek, které mohou dané PP řešit.

Tab. 1 Počty pracovních příkazů

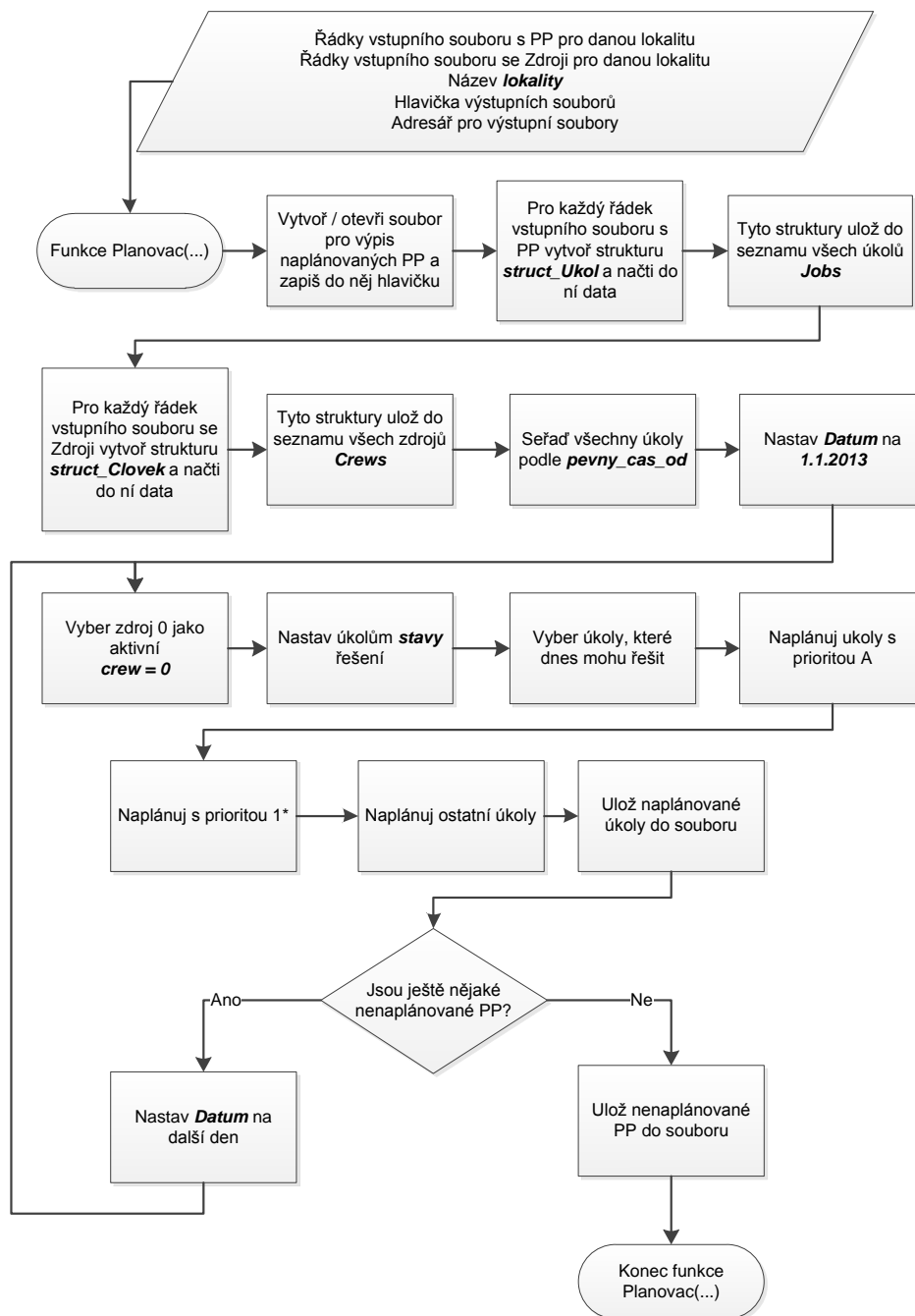
Priorita A	10 971
Priorita 0	19 514
Priorita 1	10 610
Priorita 2	3 603
Celkem	44 698

## 4.2.2 Výstupní parametry

Očekávané výstupy – naplánované PP nebyly získány, bylo proto nutné vstupní data zpracovat a rozplánovat PP jednotlivým osádkám. Za tímto účelem vznikl jednoduchý plánovač, který je popsán v následující kapitole, a jehož výstupy sloužily k určení výstupních parametrů modelu.

### Plánovač

#### Popis plánování



Obr 13 Popis plánování

### Určení optimální cesty

Pro určení optimální cesty mezi jednotlivými místy výkonu PP slouží GPS souřadnice jednotlivých PP. Ze všech míst PP v daném dni je vytvořena optimální = nejkratší cesta, po níž se technici pohybují. Délka cesty je určena jako doba, za kterou osádka překoná vzdálenost dvou bodů na kouli určenou dvěma GPS souřadnicemi (jedná se tedy o vzdálenost vzdušnou čarou). Pro snazší přepočítání byla určena rychlost cestování na 60 km/hod, pro dobu cestování tedy platí, že 1 km cesty odpovídá 1 minutě času. Výpočet vzdálenosti je nezávislý na ostatním plánování.

### Plánování úkolů s prioritou A

Z úkolů na daný den jsou vyfiltrovány úkoly s prioritou A – které jsou seřazeny podle svého začátku. Každý úkol je nejprve naplánován 1. zdroji.

Každý takový úkol je přiřazen zdroji – osádce tak, aby se nekryl s jinými (už naplánovanými úkoly). Pokud zdroj nemá volný časový slot pro přiřazení úkolu, pokusí se přiřadit PP další osádce, dokud není PP přiřazen, nebo není učiněn pokus o přiřazení každé osádce, viz Obr. 15.

### Plánování úkolů s prioritou 1

Pro každý zdroj jsou zjištěny časové intervaly, kdy je nevyužit, které se následně zaplňují PP. Každý úkol je nejprve naplánován 1. zdroji. Každý takový úkol je přiřazen zdroji – osádce tak, aby se nekryl s jinými (už naplánovanými úkoly). Pokud zdroj nemá volný časový slot pro přiřazení úkolu, pokusí se přiřadit PP další osádce, dokud není PP přiřazen, nebo není učiněn pokus o přiřazení každé osádce.

Při plánování lze nalézt 4 možnosti umístění PP do pracovního plánu osádky, viz Obr. 14:

- Možnost 1: časové okno v pracovním plánu osádky začíná na začátku jeho pracovní doby a končí na konci jeho pracovní doby.
- Možnost 2a: časové okno v pracovním plánu osádky začíná na konci naplánovaného PP a končí na konci jeho pracovní doby.
- Možnost 2b: časové okno v pracovním plánu osádky začíná na začátku jeho pracovní doby a končí nějakým naplánovaným PP.
- Možnost 2c: časové okno v pracovním plánu osádky začíná na konci jednoho naplánovaného PP a končí začátkem jiného naplánovaného PP.



Obr. 14 Možnosti umístění pracovního příkazu do pracovního plánu osádky

Řešení možnosti 1, viz Obr. 16:

1. Z nalezené cesty je vybráno první místo a nalezeny všechny úkoly v daném místě.

2. Ze všech možných kombinací PP je nalezena taková, která se nejvíce přiblíží vyplnění volného časového intervalu.
3. PP z této kombinace jsou přiřazeny zdroji.
4. Pokud je celý (původně volný) interval zaplněn, začne se plánovat PP pro další zdroj.
5. Pokud ne, posune se v nalezené cestě na další místo, najdou se všechny úkoly v tomto místě a pokračuje se bodem 2.

Řešení možnosti 2a, viz Obr. 17:

1. V nalezené cestě je vybráno místo, ve kterém se vykonává poslední naplánovaný PP před volným intervalem a cesta se posune tak, aby začínala v daném místě.
2. V prvním místě a jsou nalezeny všechny nenaplánované úkoly.
3. Ze všech možných kombinací PP je nalezena taková, která se nejvíce přiblíží vyplnění volného časového intervalu.
4. PP z této kombinace jsou přiřazeny zdroji, tak že první nalezený PP bude poslední a bude se „vracet v čase“ k začátku pracovní doby.
5. Pokud je celý (původně volný) interval zaplněn, začnou se plánovat PP pro další zdroj.
6. Pokud ne, posune se v nalezené cestě na další místo, naleznou se všechny úkoly v tomto místě a pokračuje se bodem 2.

Řešení možnosti 2b, viz Obr. 18:

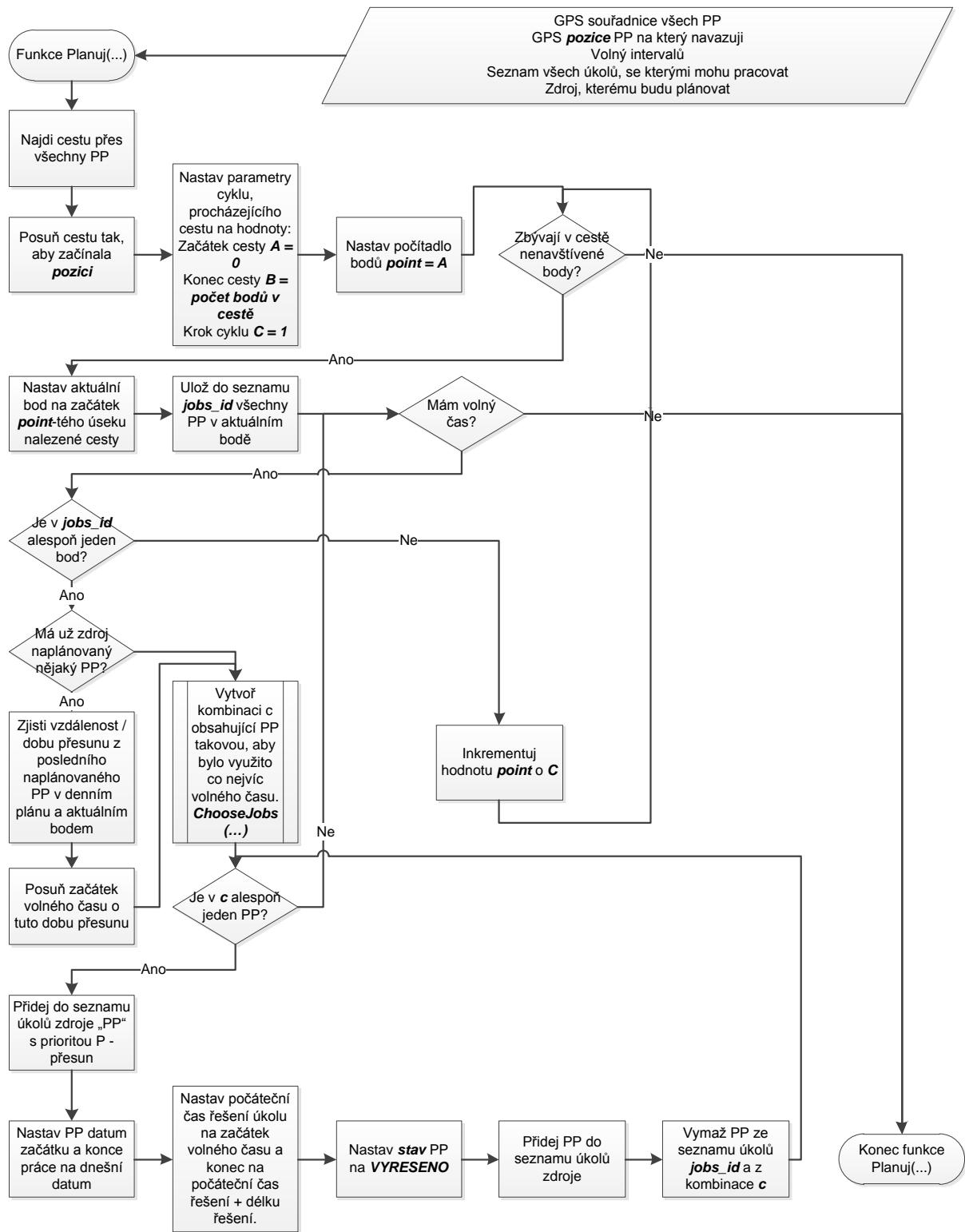
1. V nalezené cestě je vybráno místo, ve kterém se vykonává první naplánovaný PP po volném a cesta je posunuta tak, aby začínala v daném místě.
2. V prvním místě jsou nalezeny všechny nenaplánované úkoly.
3. Ze všech možných kombinací PP je nalezena taková, která se nejvíce přiblíží vyplnění volného časového intervalu.
4. PP z této kombinace jsou přiřazeny zdroji, v nalezeném pořadí.
5. Pokud je celý (původně volný) interval zaplněn, začnou se plánovat PP pro další zdroj.
6. Pokud ne, posune se v nalezené cestě na další místo, naleznou se všechny úkoly v tomto místě a pokračuje se bodem 2.

Řešení možnosti 2c, viz

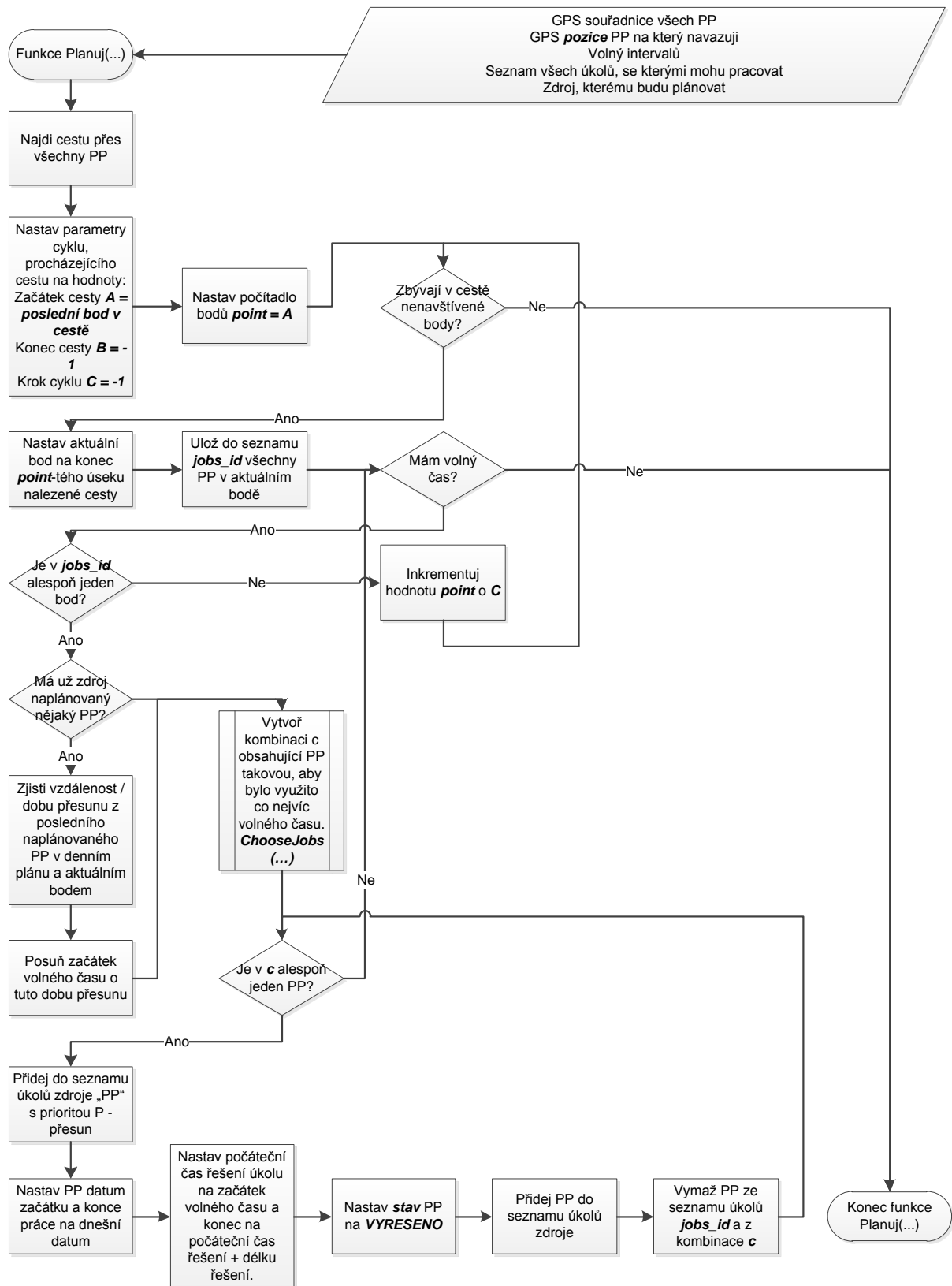
Obr. 19:

1. V nalezené cestě je vybráno místo, ve kterém se vykonává poslední naplánovaný PP před volným intervalem a cesta je posunuta tak, aby začínala v daném místě.
2. Protože není zřejmé, v jakém místě skončí plánování, volný interval je zkrácen o dobu nutnou k přesunu z prvního PP po konci volného intervalu do nejvzdálenějšího místa.
3. V prvním místě cesty jsou nalezeny všechny nenaplánované úkoly
4. Ze všech možných kombinací PP je nalezena taková, která se nejvíce přiblíží vyplnění volného časového intervalu.
5. PP z této kombinace jsou přiřazeny zdroji, v nalezeném pořadí.
6. Pokud je celý (původně volný) interval zaplněn, začnou se plánovat PP pro další zdroj.

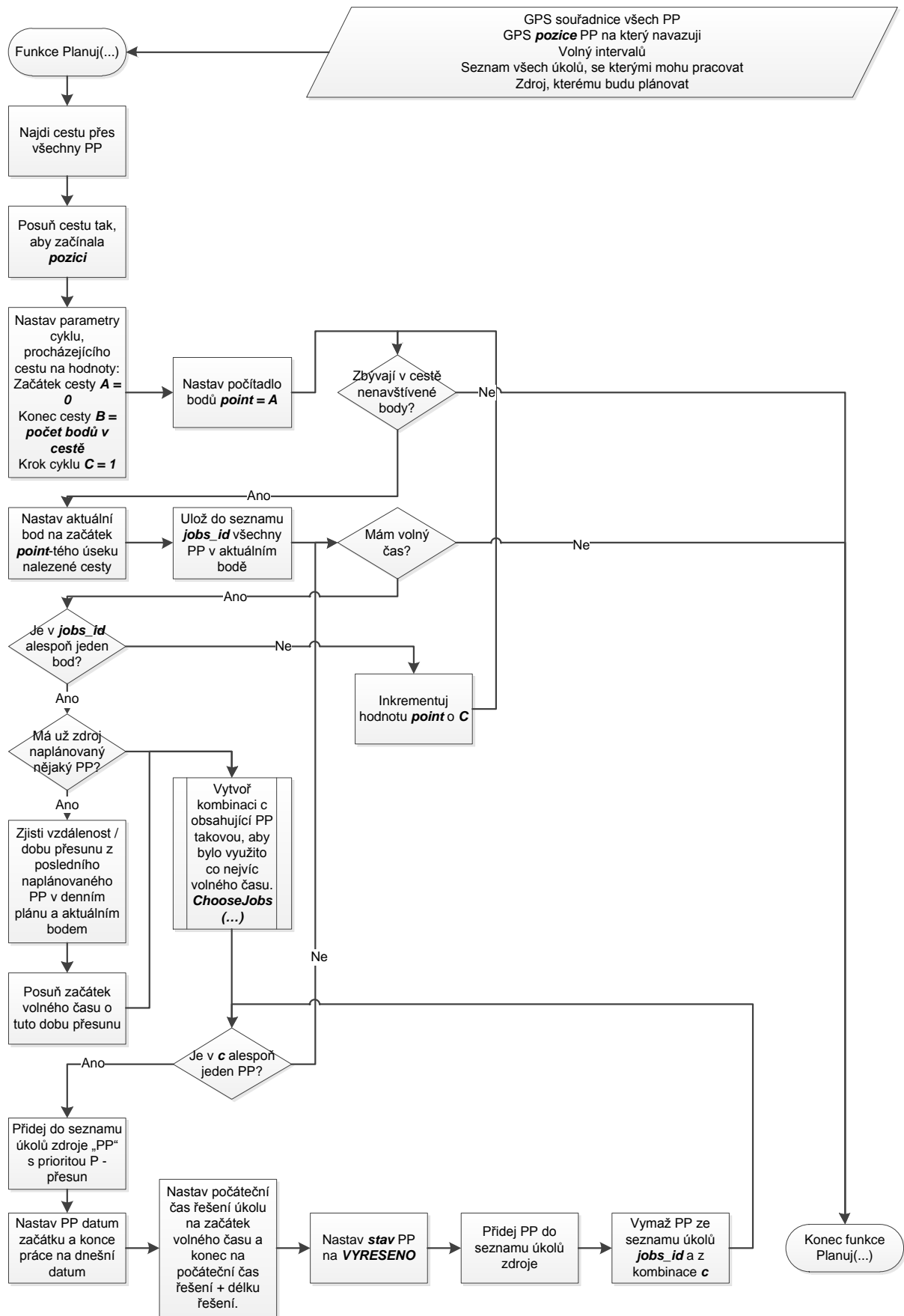




Obr. 16 Plánování úkolů – Možnost 1

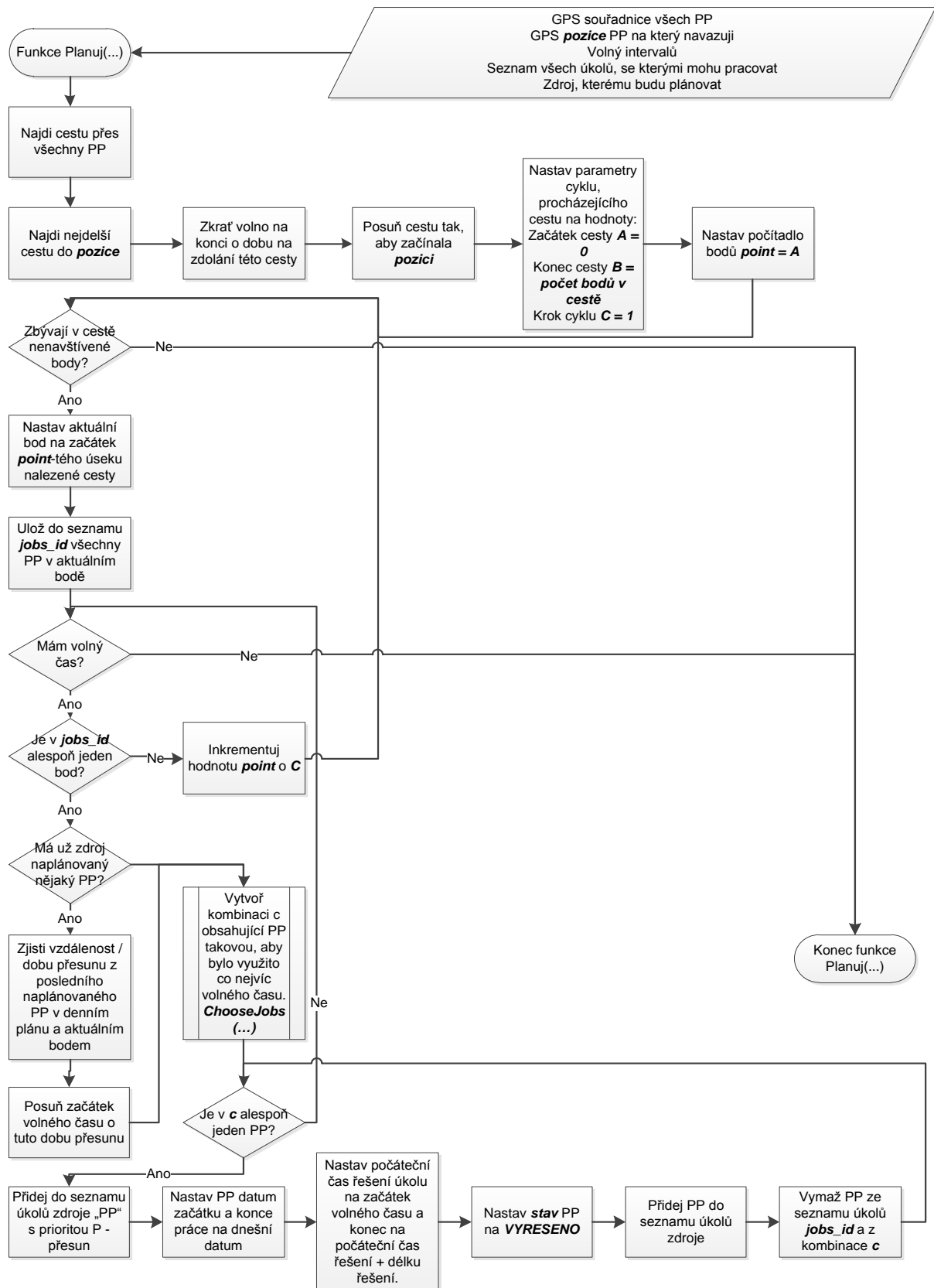


Obr. 17 Plánování úkolů – Možnost 2a



Obr. 18 Plánování úkolů – Možnost 2b





Obr. 19 Plánování úkolů – Možnost 2c

### Plánování úkolů s ostatními prioritami

Postup je stejný jako u plánování úkolů s prioritou 1.

## 4.3 Statistické určení parametrů modelu

Na základě výstupních dat výše popsaného plánovače byla určena rozložení příchodů požadavků PP jednotlivých priorit.

Ke hledání nejvhodnější funkce popisující jednotlivé náhodné veličiny byly použity tři testy:

- Kolmogorovův-Smirnovův [24],
- Andersonův-Darlingův [25],
- Chí-kvadrát [25]

a byla hledána nejlepší shoda mezi vstupními daty modelu a 13 statistickými rozděleními, které umožňuje využít simulační nástroj (rozdělení Beta, spojitě rozdělení, diskrétní rozdělení, Erlangovo rozdělení, exponenciální rozdělení, rozdělení Gamma, Johnsonovo rozdělení, logaritmicko-normální rozdělení, normální rozdělení, Poissonovo rozdělení, trojúhelníkové rozdělení, rovnoměrné rozdělení a Weibullovo rozdělení).

### 4.3.1 Kolmogorovův – Smirnovův test

Kolmogorovův – Smirnovův test je statistická metoda umožňující testovat, zda dvě jednorozměrné náhodné proměnné pocházejí ze stejného pravděpodobnostního rozdělení, případně zda jedna jednorozměrná náhodná proměnná má předpokládané rozdělení.

Pro náhodnou proměnnou  $X$  a vzorek  $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  je náhodné rozdělení definováno vztahem (17),

$$F_x(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I(x_i \leq x) \quad (17)$$

Kde  $I$  je indikační funkce, pro kterou platí  $I = 1$ , je-li podmínka pravdivá a  $I = 0$ , pokud není.

Statistické vyhodnocení Kolmogorova – Smirnovova testu je definováno jako (18).

$$D_x = \sup |F_x(x) - F(x)| \quad (18)$$

kde  $\sup$  je supremum množiny a  $F(x)$  je teoretické kumulativní rozložení rozdělení, které je testováno.

### 4.3.2 Andersonův – Darlingův test

Andersonův – Darlingův test využívá faktu, že existuje dané hypotetické rozdělení a je předpoklad, že náhodná data, která vycházejí z tohoto rozdělení, mohou být transformována do rovnoměrného rozdělení. Transformovaný vzorek dat pak může být testován na jeho rovnoměrnost pomocí vzdálenostního testu. Statistika tohoto testu je definována vztahem (19).

$$A^2 = -n - \sum_{i=1}^n \frac{(2i-1)}{n} \cdot [\ln F(X_i) + \ln(1 - F(x_{n-i+1}))] \quad (19)$$

Hypotéza ohledně pravděpodobnostního rozdělení je zamítnuta v případě, že statistika  $A^2$  je větší než kritická hodnota teoretického rozdělení.

### 4.3.3 Test Chí-kvadrát

Test Chí-kvadrát je založen na tom, že náhodnou veličinu s multinomickým rozdělením lze transformovat na veličinu mající přibližně rozdělení chí kvadrát. Testovací statistika je definována vzorcem (20).

$$X^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (20)$$

Kde  $O_i$  je pozorovaná frekvence pro množinu  $i$  a  $E_i$  je očekávaná frekvence pro množinu  $i$ .

$$E_i = N(F(Y_u) - F(Y_l)) \quad (21)$$

Kde  $N$  je počet vzorků,  $F$  je kumulativní distribuční funkce pro testované rozdělení,  $Y_u$  je horní limit třídy  $i$  a  $Y_l$  je dolní limit třídy  $i$ .

### 4.3.4 Nalezené parametry modelu

Vstupní data byla po aplikaci výše popsaných testů popsána pomocí statistických rozložení shrnutých v Tab. 2 a Tab. 3.

Tab. 2 Rozdělení příchodů vstupních toků

Tok	Rozdělení	Vzorec
Priorita A	Beta( $\beta$ , $\alpha$ )	0.999 + 364 * Beta (1.3, 1.19)
Priorita 0	Beta( $\beta$ , $\alpha$ )	0.999 + 343 * Beta (0.651, 1.08)
Priorita 1	Beta( $\beta$ , $\alpha$ )	0.999 + 364 * Beta (1.21, 1.48)
Priorita 2	Beta( $\beta$ , $\alpha$ )	4 + 360 * Beta (1.65, 1.51)

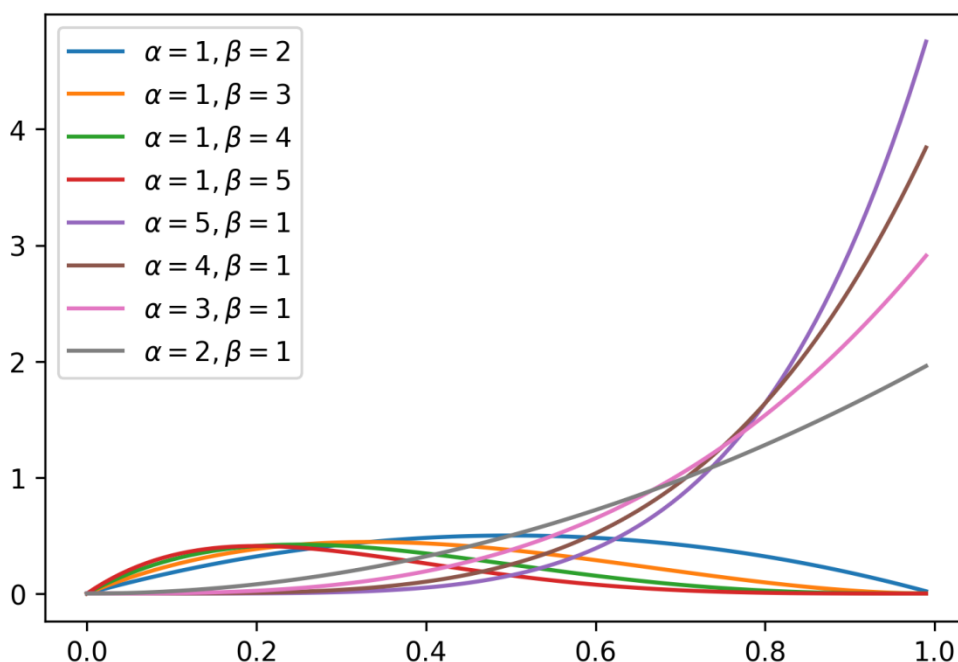
Tab. 3 Rozdělení doby potřebné pro zpracování požadavků

Tok	Počet PP	Rozdělení	Vzorec
Priorita A	10 971	Weibull( $\beta$ , $\alpha$ )	-0.001 + Weib(110, 1.92)
Priorita 0	19 514	Beta( $\beta$ , $\alpha$ )	-0.001 + 480 * Beta (0.198, 1.67)
Priorita 1	10 610	Beta( $\beta$ , $\alpha$ )	-0.001 + 420 * Beta (0.297, 4.64)
Priorita 2	3 603	Beta( $\beta$ , $\alpha$ )	-0.001 + 472 * Beta (0.294, 3.1)
Celkem	44 698		

Současně bylo určeno i rozdělení doby potřebné pro přesun osádky z místa výkonu jednoho PP do dalšího. Je popsáno Beta rozdělením s parametry  $\alpha=7,07$ ;  $\beta=1,15$ .

### 4.3.5 Rozdělení Beta

Beta rozdělení [21] je spojité pravděpodobnostní rozdělení, které je používáno mimo jiné pro modelování nákladů a plánování.[22]



Obr. 20 Hustota pravděpodobnosti rozdělení beta

Rozdělení Beta je definováno vzorcem (22)

$$BETA(x; \alpha, \beta) = \frac{x^\alpha \cdot (1-x)^{\beta-1}}{B(\alpha, \beta)} \quad (22)$$

Funkce beta (23) je pak definována pomocí funkce gama (24) jako

$$B(\alpha, \beta) = \frac{\Gamma(\alpha) \Gamma(\beta)}{\Gamma(\alpha + \beta)}, \text{ pro } \alpha, \beta > 0 \quad (23)$$

$$\Gamma(x) = \int_0^{+\infty} e^{-t} t^{x-1} dt \quad (24)$$

Přičemž platí, že

$$\Gamma(x) = (x-1)! \quad (25)$$

Funkci beta pak lze upravit dle (26)

$$B(\alpha, \beta) = \frac{(\alpha-1)! (\beta-1)!}{(\alpha+\beta-1)!} \quad (26)$$

což pro  $\alpha, \beta > 0$  lze vyjádřit jako (27)

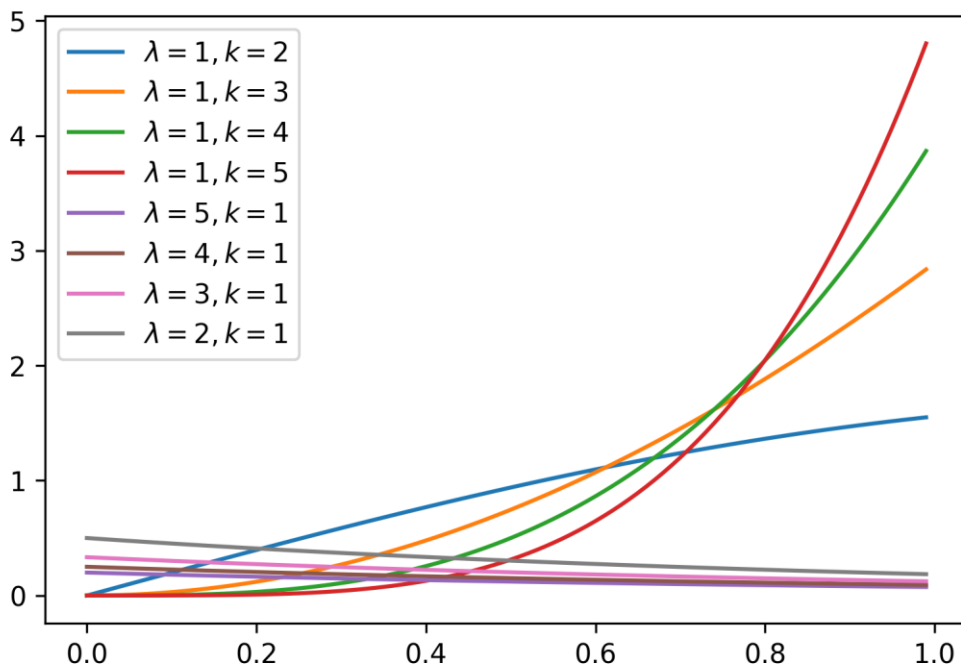
$$\begin{aligned}
 B(\alpha, \beta) &= 2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} (\sin \theta)^{2\alpha-1} \cdot (\cos \theta)^{2\beta-1} d\theta \\
 B(\alpha, \beta) &= \int_0^{\infty} \frac{t^{\alpha-1}}{(1+t)^{\alpha+\beta}} dt \\
 B(\alpha, \beta) &= \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\binom{n-\beta}{n}}{\alpha + \beta} \\
 B(\alpha, \beta) &= \frac{\alpha + \beta}{\alpha\beta} \prod_{n=1}^{\infty} \left(1 + \frac{\alpha\beta}{n(\alpha + \beta + n)}\right)^{-1}
 \end{aligned} \tag{27}$$

Pravděpodobnostní funkci rozložení beta pak lze napsat ve tvaru (28)

$$f(x; \alpha, \beta) = \frac{x^{\alpha} \cdot (1-x)^{\beta-1}}{\frac{\alpha + \beta}{\alpha\beta} \prod_{n=1}^{\infty} \left(1 + \frac{\alpha\beta}{n(\alpha + \beta + n)}\right)^{-1}} \tag{28}$$

### 4.3.6 Weibullovo rozdělení

Weibullovo rozdělení je spojité pravděpodobnostní rozdělení často používané při analýze poruch [23].



Obr. 21 Hustota pravděpodobnosti Weibullova rozdělení

Pravděpodobnostní funkce Weibullova rozložení je definována (29):

$$f(x; \lambda, k) = \begin{cases} \frac{k}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x}{\lambda}\right)^k} & \text{pro } x \geq 0 \\ 0 & \text{pro } x < 0 \end{cases} \tag{29}$$

## 4.4 Dílčí závěr

V této kapitole byl představen statický model systému pro řízení osádek v terénu a jeho blokové schéma a popsána jeho nejdůležitější část – plánovač.

Byl schematicky popsán jednoduchý plánovač, který sloužil k určení výstupních parametrů simulovaného modelu a jehož výstupy byly srovnány s výstupy reálného plánovače infrastrukturního operátora.

Na základě vstupních parametrů a výstupů popsaného plánovače byly určeny parametry simulačního modelu, definovány priority vstupních požadavků a popsána metoda jejich plánování osádkám.

Výstupy byly statisticky zpracovány a byla nalezena optimální statistická rozdělení pro jednotlivé parametry, která jsou shrnuta v Tab. 2 a Tab. 3.

Poznatky z této kapitoly byly publikovány v:

HOLEČEK, Jiří. Modelování a simulace instalace a údržby pro zajištění optimální kvality služeb síťových operátorů. *Elektrorevue* [online]. 2017, **2017**(19), 9 [cit. 2018-02-15]. ISSN 1213-1539.

HOLEČEK, J. a BRABEC, Z. Infrastructure Operator Field Workforce Management Systems Simulation Possibilities. In: BŘEZINA, T., MAGA, D., a ŠTEFEK, A., eds. *Proceedings of the 2016 17th International Conference on Mechatronics - Mechatronika (ME) 2016*. Mechatronika. Praha, 07.12.2016 - 09.12.2016. Prague: Czech Technical University in Prague, Faculty of Electrical Engineering. 2016, s. 397-402. ISBN 978-80-01-05883-1.

## 5 Simulační model

Simulační model umožňuje provádění simulací, což je „proces navrhování modelu reálného systému a provádění experimentů s tímto modelem za účelem pochopení chování systému nebo hodnocení různých strategií (v mezích stanovených kritériem nebo souborem kritérií) pro provoz systému.“ [26]

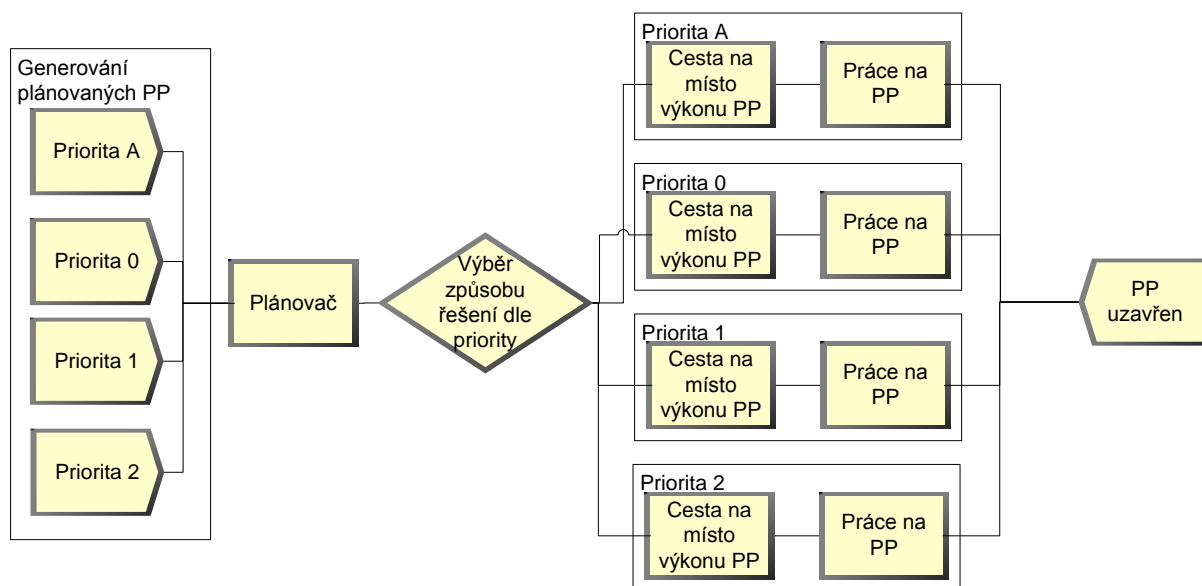
### 5.1 Simulační nástroj

Pro simulace byl vybrán nástroj Rockwell Arena [27]. Rockwell Arena je nástroj pro simulace diskretních událostí, ve které je simulační model sestavován pomocí jednotlivých modulů (bloků), které reprezentují jednotlivé procesy nebo vnitřní logiku modelu [28]. Jednotlivé bloky jsou spojovány a jejich propojením vzniká model popisující tok jednotlivých entit. Činnosti v jednotlivých modulech jsou popisovány pomocí statistických funkcí a rozložení. Nástroj ARENA umožňuje získání rozličných statistických výstupů z provedených simulací [29], [30].

Podrobný popis výběru a vlastností vybraného simulačního nástroje jsou popsány v [31].

### 5.2 Popis simulačního modelu

Simulační model vychází z teorie hromadné obsluhy popsané v kapitole 3.2. Jednotlivé vstupní toky jsou popsány vztahy uvedenými v Tab. 2, doby zpracování jednotlivých typů požadavků jsou pak uvedeny v Tab. 3.



Obr. 22 Simulační model

Simulační model se skládá z bloku Generování plánovaných PP, ve kterém jsou vytvářeny jednotlivé PP s parametry podle Tab. 2. Ty jsou následně v bloku Plánovač pozdrženy, což simuluje dobu potřebnou k naplánování jednotlivých úkolů podle požadavků, přiřazení jednotlivým osádkám, dále jsou PP rozděleny podle priority a zpracovány v souladu se statistickým rozdělením uvedeným v Tab. 3.

### 5.3 Ověření simulačního modelu

Data získaná z plánovače i ze simulačního modelu (viz Obr. 22) používajícího statistické parametry popsané v předchozí kapitole byly křížově srovnány tak, aby bylo možné ověřit správnost simulačního modelu a jeho vstupních parametrů.

Porovnáním dat z plánovače a simulačního modelu vznikla Tab. 4. Z ní lze vyčíst, že největší rozdíl mezi porovnávanými výstupy je 8 % u průměrné doby obsluhy PP priority A, z čehož lze považovat simulační model za dostatečně přesný pro další simulace a analýzy vlivu jednotlivých parametrů na SLA. [32]

Tab. 4 Srovnání výsledků simulačního modelu a plánovače

	Simulace	Plánovač	Rozdíl
Průměrná doba obsluhy [min]			
Priorita A	98,112	107	8%
Priorita 0	53,07	51	4%
Priorita 1	24,906	25	0%
Priorita 2	41,25	41	1%
Průměrná doba přesunu [min]	16,596	17	2%

### 5.4 Doplnění a určení dalších vstupních parametrů

Simulační model je třeba doplnit o skupinu dalších parametrů tak, aby byly popsány všechny jeho klíčové vlastnosti. Mezi tyto parametry patří ukazatele spolehlivosti dodávky elektrické energie popsané v kapitole 2.4 a dále finanční náklady na osádky a techniku potřebné pro řešení plánovaných výluk i neplánovaných výpadků v síti.

#### 5.4.1 Parametry modelu určené z ukazatelů spolehlivosti dodávky elektrické energie

Hodnoty ukazatelů spolehlivosti dodávky elektrické energie provozovatele energetické sítě byly získány ze Zpráv o kvalitě za roky 2007 až 2016 vydávaného Energetickým regulačním úřadem [33], [34], [35], [36], [37], [38], [39], [40], [41] a [42] jsou uvedeny v tabulce Tab 5.



Tab 5 Ukazatele spolehlivosti dodávky elektrické energie

Rok	Hodnota parametru		
	SAIDI [min]	SAIFI [-]	CAIDI [min]
2007	274,90	3,05	90,22
2008	259,28	2,80	92,47
2009	420,78	3,05	137,92
2010	321,56	2,86	112,30
2011	296,70	2,88	103,15
2012	313,04	3,10	101,80
2013	402,00	3,11	129,13
2014	281,42	2,77	101,55
2015	361,72	3,29	109,86
2016	309,64	2,87	107,86
průměr	324,10	2,98	108,63

Pro výpočty s těmito parametry byla dále získána data o počtu odběrných míst, parametr  $N_T = 3\,561\,000$ . Počet událostí  $\lambda_T = 40\,800$ .

Nyní je možné určit chybějící parametry modelu  $N_p$  – průměrný počet odběrných míst postižených výpadkem a  $t_p$  – průměrná doba trvání výpadku.

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_i \cdot N_i}{N_T} = \frac{\lambda_T \cdot N_p}{N_T} \rightarrow N_p = SAIFI \cdot \frac{N_T}{\lambda_T} \quad (30)$$

Po dosazení

$$N_p = 2,98 \cdot \frac{3\,561\,000}{40\,800} \cong 260 \quad (31)$$

Parametr  $t_p$  lze získat přímo z definice parametru  $CAIDI$ , neboť platí, že

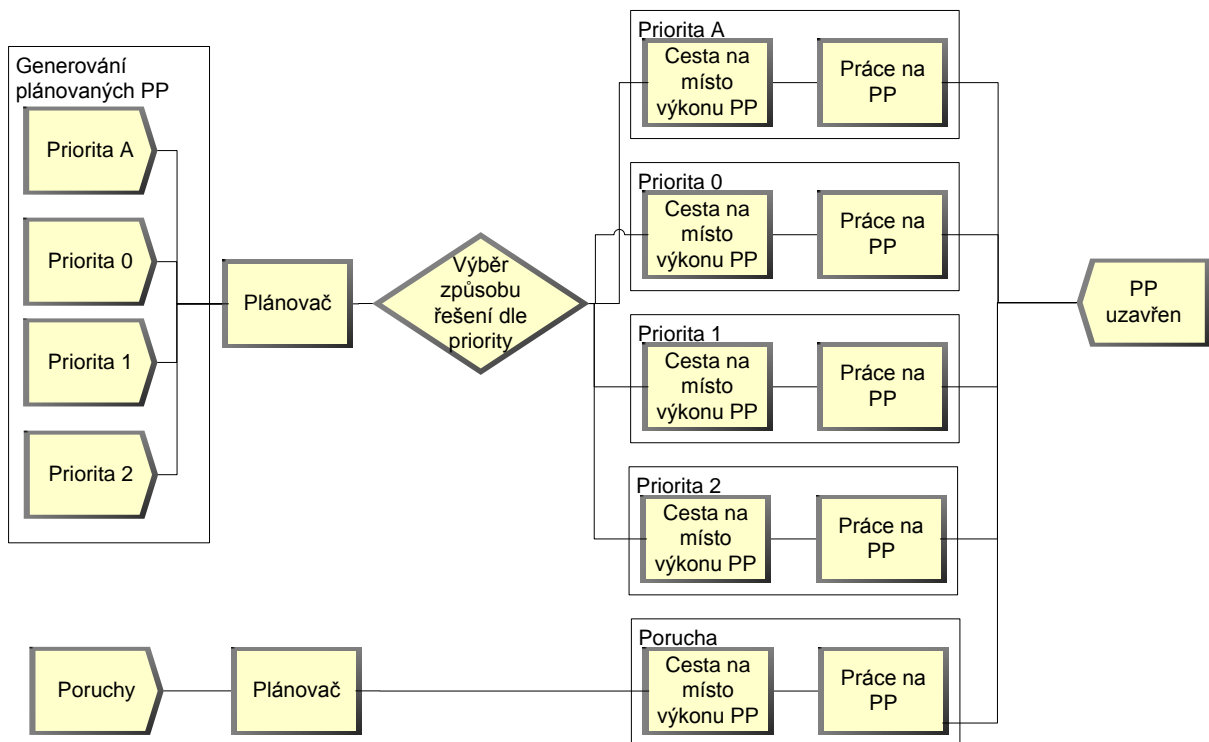
$$CAIDI = \frac{\sum t_i N_i}{\sum \lambda_i N_i} = \frac{t_T \cdot N_p}{\lambda_T \cdot N_p} = \frac{t_T}{\lambda_T} = t_p \quad (32)$$

Po dosazení

$$t_p = 108,63 \text{ min} \quad (33)$$

## 5.5 Rozšíření dynamického modelu o neplánované výpadky

Model použitý v kapitole 5 byl rozšířen o bloky simulující naplánované výpadky a jejich řešení s použitím hodnot získaných v kapitole 5.4.1. Výsledný model je zobrazen na Obr. 23.



Obr. 23 Rozšířený dynamický model

Simulace využívající rozšířený dynamický model byla prováděna s měnícím se počtem osádek, kterým jsou přiřazovány PP. Byly definovány dvě kategorie osádek:

- osádka, s definovanou pracovní dobou 8 hodin denně, za kterou pobírala hodinovou mzdu 200 Kč,
- osádka v pohotovosti, která při výkonu práce pobírala hodinovou mzdu 400 Kč a v době pohotovosti (tj. osádka nepracuje, ale je připravena k zásahu) navíc pobírala mzdu 100 Kč.

Poměr osádek a osádek v pohotovosti byl stanoven na 1:2. Simulace byla spouštěna pro měnící se počet osádek v intervalu 1, 2, 4, 6, 8, ..., 300 a tomu odpovídající počet osádek v pohotovosti v intervalu 2, 4, 8, 12, 16, ..., 600. Pro každý počet proběhla simulace 5krát, aby byly eliminovány případné vymykající se extrém.

## 5.6 Dílčí závěr

V této kapitole byla uvedena obecná definice simulačního modelu. Byl popsán simulační model systému pro řízení osádek v terénu vytvořený na základech teorie hromadné obsluhy, popsany statistickými parametry získanými v předchozí kapitole. Správnost simulačního modelu byla ověřena srovnáním jeho výstupů a výstupů plánovače popsaného v předchozí kapitole. Výsledky jsou shrnuty v Tab. 4.

Simulační model byl dále rozšířen o neplánované události – poruchy na základě statistických dat regulátora. Získaná data byla zpracována a analyzována.

Poznátky z této kapitoly byly publikovány v:

HOLEČEK, Jiří. Modelování a simulace instalace a údržby pro zajištění optimální kvality služeb síťových operátorů. *Elektrorevue* [online]. 2017, **2017**(19), 9 [cit. 2018-02-15]. ISSN 1213-1539.

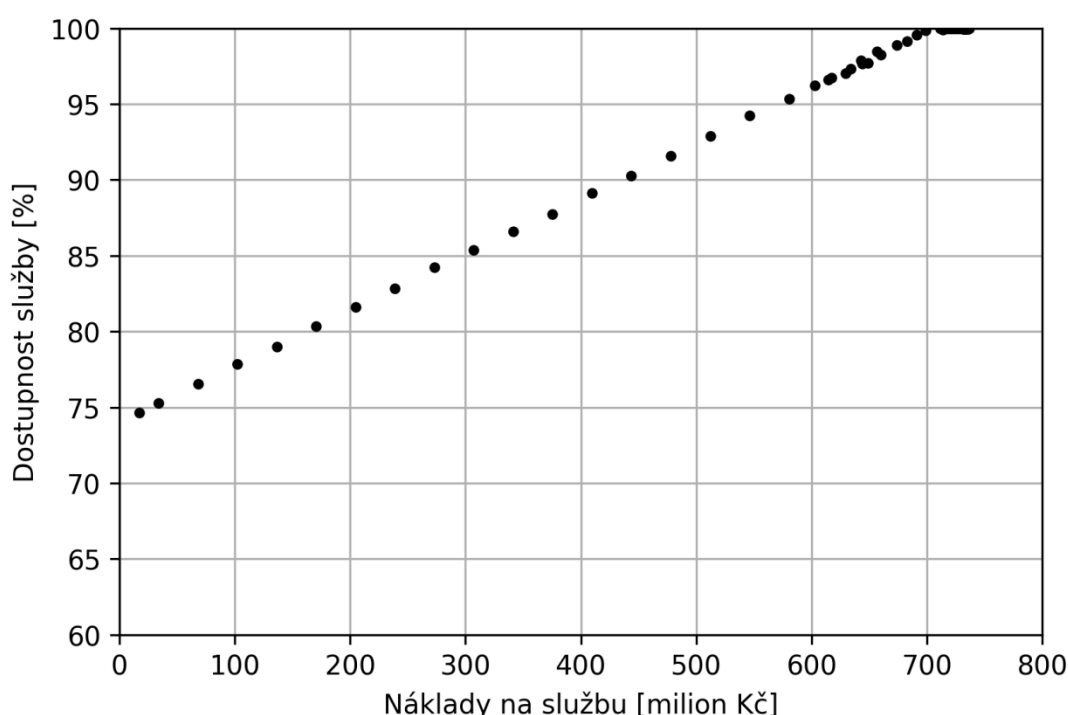
HOLEČEK, J. a BRABEC, Z. Infrastructure Operator Field Workforce Management Systems Simulation Possibilities. In: BŘEZINA, T., MAGA, D., a ŠTEFEK, A., eds. Proceedings of the 2016 17th International Conference on Mechatronics - Mechatronika (ME) 2016. Mechatronika. Praha, 07.12.2016 - 09.12.2016. Prague: Czech Technical University in Prague, Faculty of Electrical Engineering. 2016, s. 397-402. ISBN 978-80-01-05883-1.

HOLEČEK, J. a BRABEC, Z. An Approach to Simulation of Workforce and Field Force Management Systems. In: NEVOSAD, M. a VODRÁŽKA, J., eds. RTT 2014 Conference Proceedings. 16th International Conference on Research in Telecommunication Technologies. Frymburk, 10.09.2014 - 12.09.2014. Praha: Czech Technical University in Prague. 2014, s. 14-18. ISBN 978-80-01-05540-3.

# 6 Analýza simulačního modelu s návazností na SLA

## 6.1 Výstupy simulačního modelu

Získaná výstupní data jsou zobrazena v grafech na Obr. 24 a Obr. 25, ze kterých lze vyčíst předpokládaný průběh, tedy že existuje interval, ve kterém je závislost dostupnosti služby a nákladů lineární a po překročení jisté meze rostou exponenciálně.



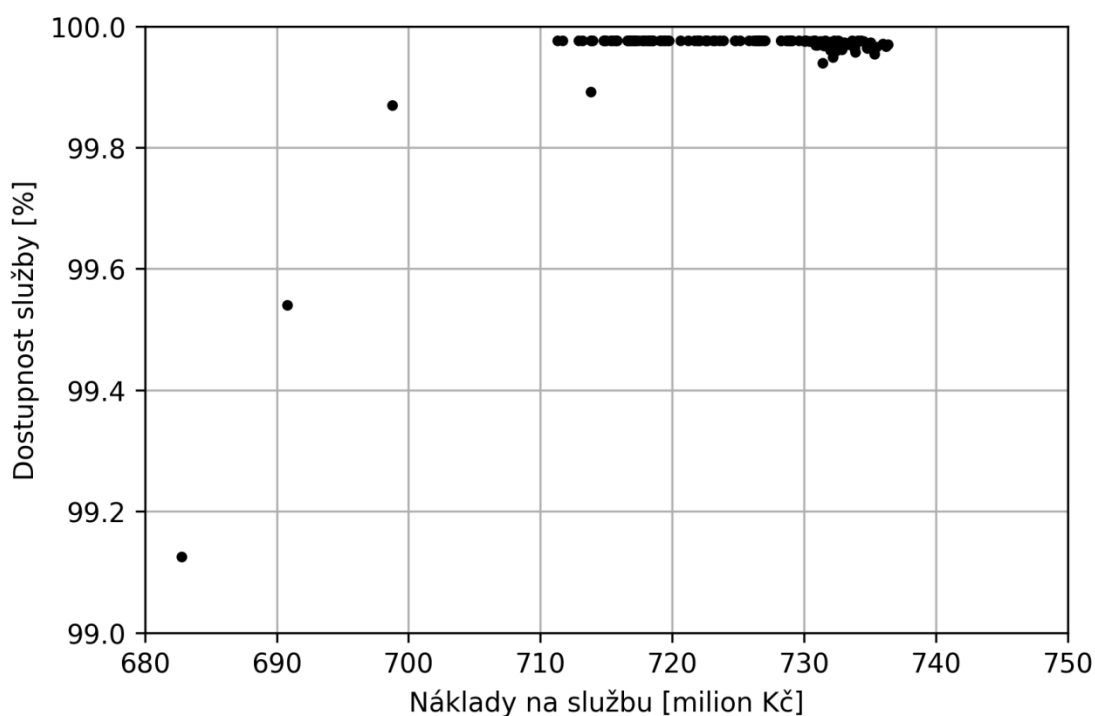
Obr. 24 Závislost dostupnosti služby na nákladech na její zajištění

Obr. 24 zachycuje všechny body závislosti dostupnosti služby na nákladech na její zajištění získané simulací. V grafu je vidět předpokládaný průběh nárůstu nákladů.

Obr. 25 zobrazuje detail závislosti dostupnosti služby na nákladech na její zajištění pro dostupnost služby vyšší než 99 %. Z grafu lze vyvodit, že pro modelovaný systém existuje mez, přes kterou dostupnost nelze navyšovat. Tato mez je dána dvěma faktory:

1. Systém obsahuje plánované odstávky, které snižují dostupnost. V případě modelovaného systému plánované odstávky snižují průměrnou dostupnost o cca 0,005 %
2. Každá neplánovaná odstávka – porucha vyžaduje nenulovou dobu zásahu, složenou z dojezdu zásahové čety na místo poruchy a samotné vyřešení poruchy. Přidáváním dalších osádek zásahových čet tento čas již nelze snížit.

Mezní dosažitelná průměrná dostupnost každého prvku simulované sítě je 99,99 %.



Obr. 25 Detail závislosti dostupnosti služby na nákladech na její zajištění

## 6.2 Analýza výstupních dat

Pro zpřehlednění byly náklady na službu vztaženy k nejnižší nasimulované hodnotě ( $f(75) = 17\,049\,814$ ). Tyto hodnoty byly aproximovány v intervalech, jejichž meze jsou uvedeny v Tab. 6 lineárními funkcemi uvedenými v Tab. 7.

Tab. 6 Meze intervalů pro aproximace

Meze intervalu
$x_0 = 75$
$x_1 = 90$
$x_2 = 99$
$x_3 = 99,9$
$x_4 = 99,99$

Pro nalezení vhodné aproximace je nutné vyřešit rovnici  $A^T A C = A^T Y$ , kde  $A$  je Vandermondova matice [43] hodnot  $x$ ,  $C$  je matice hledaných koeficientů a  $Y$  je matice hodnot  $f(x)$ .

Pro aproximaci lineární funkcí bude mít matice  $C$  tvar  $C = \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \end{bmatrix}$ . Matice  $A^T$ , respektive  $Y$  budou pro interval  $x \in (x_0; x_1)$  ve tvaru:

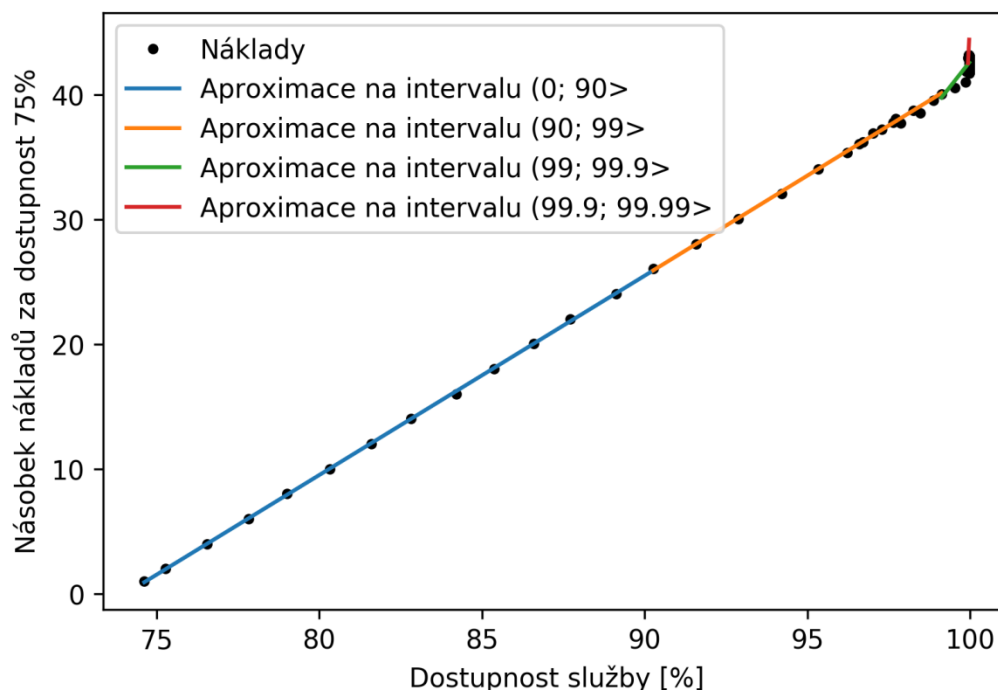
$$A^T = \begin{bmatrix} 1 & 74,6251 \\ 1 & 75,2818 \\ 1 & 76,5455 \\ 1 & 77,8365 \\ 1 & 79,0010 \\ 1 & 80,3220 \\ 1 & 81,6104 \\ 1 & 82,8212 \\ 1 & 84,2128 \\ 1 & 85,3823 \\ 1 & 86,5977 \\ 1 & 87,7215 \\ 1 & 89,1284 \end{bmatrix} \quad Y = \begin{bmatrix} 1,0000 \\ 2,0003 \\ 4,0039 \\ 6,0057 \\ 8,0087 \\ 10,0095 \\ 12,0130 \\ 14,0138 \\ 16,0169 \\ 18,0188 \\ 20,0224 \\ 22,0254 \\ 24,075 \end{bmatrix}.$$

Z výsledné matice  $C = \begin{bmatrix} -117,9317 \\ 1,5930 \end{bmatrix}$  jsou získány parametry aproximační funkce  $y_1(x) = 1,593x - 117,9317$ . Obdobným postupem byly získány i parametry aproximačních funkcí v dalších intervalech.

Tab. 7 Intervaly funkce a jejich aproximace

Interval	Funkce
$x = x_0$	$y_0(x) = 1$
$x \in (x_0; x_1)$	$y_1(x) = 1,593x - 117,932$
$x \in (x_1; x_2)$	$y_2(x) = 1,611x - 119,491$
$x \in (x_2; x_3)$	$y_3(x) = 2,371x - 194,731$
$x \in (x_3; x_4)$	$y_4(x) = 50,967x - 5049,471$

Na grafu v Obr. 26 je zobrazena závislost nákladů na dostupnosti služby proložené aproximačními křivkami vztažených k nejnižší nasimulované hodnotě.



Obr. 26 Aproximace nárůstu nákladů vztahených k nejnižší nasimulované hodnotě

Z Tab. 7 i Obr. 26 lze vyčíst tendence závislosti nárůstu nákladů na dostupnosti služby, která bude diskutována v následujících kapitolách

### 6.3 Klíčové parametry typizovaných SLA smluv

Klíčovým parametrem každé smlouvy o garantované úrovni služeb je dostupnost poskytované služby. V Tab. 8 jsou uvedeny často používané dostupnosti a jejich přepočítání na celkovou dobu výpadku za rok. Tučně zvýrazněné jsou hodnoty používané v telekomunikační praxi.

Tab. 8 Přepočítání dostupnosti služby na délku výpadku

Dostupnost	Nedostupnost
<b>96,000%</b>	<b>14 dní 14 hodin 24 minut</b>
<b>98,000%</b>	<b>7 dní 7 hodin 12 minut</b>
<b>99,000%</b>	<b>3 dny 15 hodin 36 minut</b>
<b>99,500%</b>	<b>1 den 19 hodin 48 minut</b>
<b>99,750%</b>	<b>21 hodin 54 minut</b>
<b>99,900%</b>	<b>8 hodin 45 minut 36 sekund</b>
99,990%	52 minut 34 sekund
99,999%	5 minut 15 sekund

V praxi se lze setkat se dvěma způsoby nastavení dostupnosti. V prvním případě, zejména u méně kritických služeb a zákazníků, je dostupnost definovaná jen v určitých časových úsecích dne – nejčastěji v pracovní den mezi 8:00 a 18:00, mimo tuto dobu poskytovatel služby smluvně zavázanou dostupnost negarantuje. V druhém případě,

používaném u kritických služeb nebo služeb poskytovaných kritickým zákazníkům je pak dostupnost garantovaná trvale, tedy v režimu 24/7.

Pro porovnání obou přístupů: poskytovatel služby garantuje dostupnost 99 %, v prvním případě pro pracovní dny od 9:00 do 18:00, v druhém případě nepřetržitě. V prvním případě poskytovatel garantuje funkčnost služby 25,4 % trvání celého roku, v druhém případě 99 %.

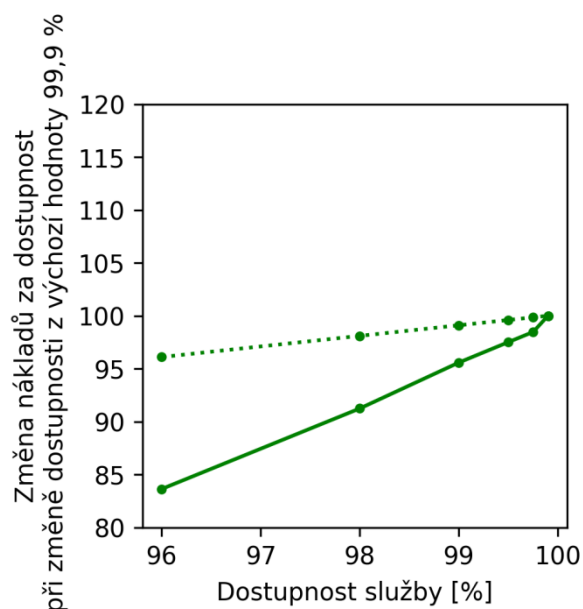
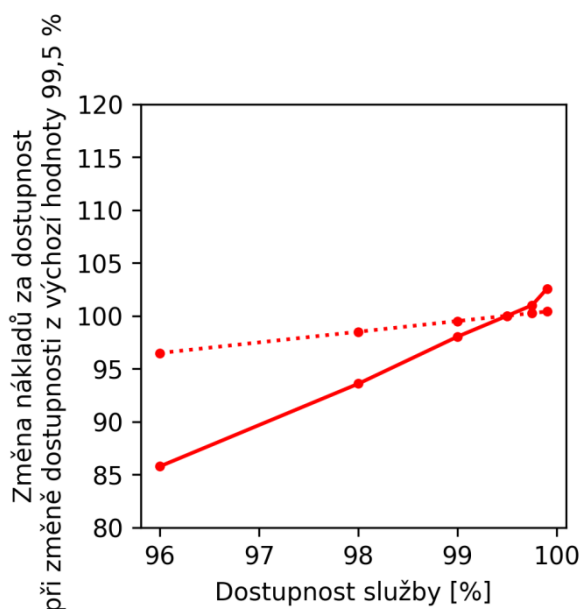
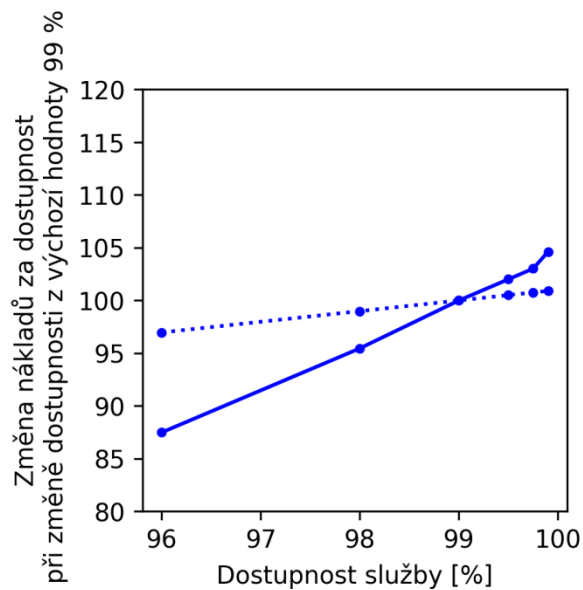
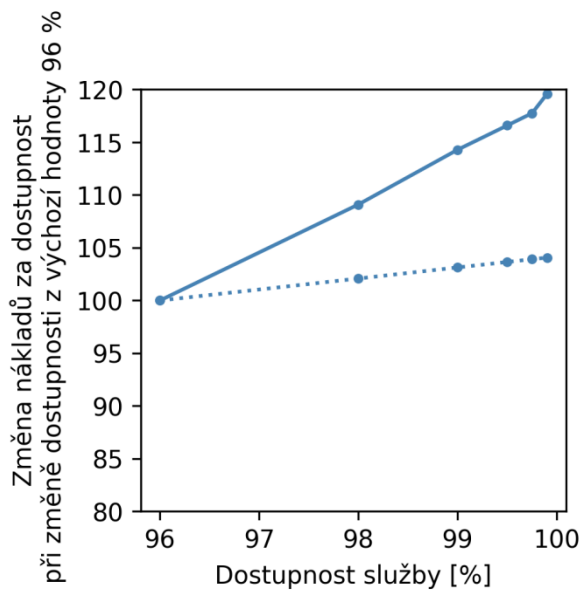
## 6.4 Určení závislosti kvality služby a nákladů na její zajištění dle typizovaných smluv SLA

V Tab. 9 a Obr. 27 jsou shrnuty nárůsty resp. poklesy nákladů při požadavcích na změny dostupnosti podle v praxi nejčastěji používaných hodnot dostupnosti. Modře podbarvené buňky (resp. tečkovaná čára) zobrazují lineární (většinou očekávaný) nárůst/pokles nákladů pro změnu dostupnosti. Simulací získané hodnoty jsou podbarveny zeleně (resp. plná čára). Z hodnot vyplývá, že s nárůstem požadavků na dostupnost se náklady zvyšují rychleji. Například při zvýšení dostupnosti z 96 % na 99 % by se dalo očekávat zvýšení nákladů o 3,13 %, simulací získaná hodnota je ale 14,29 %.

Tab. 9 Srovnání nárůstu / poklesu nákladů při změnách dostupnosti pro různé výchozí hodnoty dostupnosti (modře podbarvené buňky lineární nárůst nákladů, zeleně podbarvené buňky simulovaný nárůst nákladů tj. odpovídající skutečnosti)

Počáteční hodnota \ Cílová hodnota	96,00 %	98,00 %	99,00 %	99,50 %	99,75 %	99,90 %
96,00 %	100,00%	102,08% 109,10%	103,13% 114,29%	103,65% 116,59%	103,91% 117,75%	104,06% 119,57%
98,00 %	97,96% 91,66%	100,00%	101,02% 104,76%	101,53% 106,87%	101,79% 107,92%	101,94% 109,60%
99,00 %	96,97% 87,49%	98,99% 95,46%	100,00%	100,51% 102,01%	100,76% 103,02%	100,91% 104,62%
99,50 %	96,48% 85,77%	98,49% 93,58%	99,50% 98,03%	100,00%	100,25% 100,99%	100,40% 102,55%
99,75 %	96,24% 84,93%	98,25% 92,66%	99,25% 97,07%	99,75% 99,02%	100,00%	100,15% 101,55%
99,90 %	96,10% 83,63%	98,10% 91,24%	99,10% 95,58%	99,60% 97,51%	99,85% 98,47%	100,00%

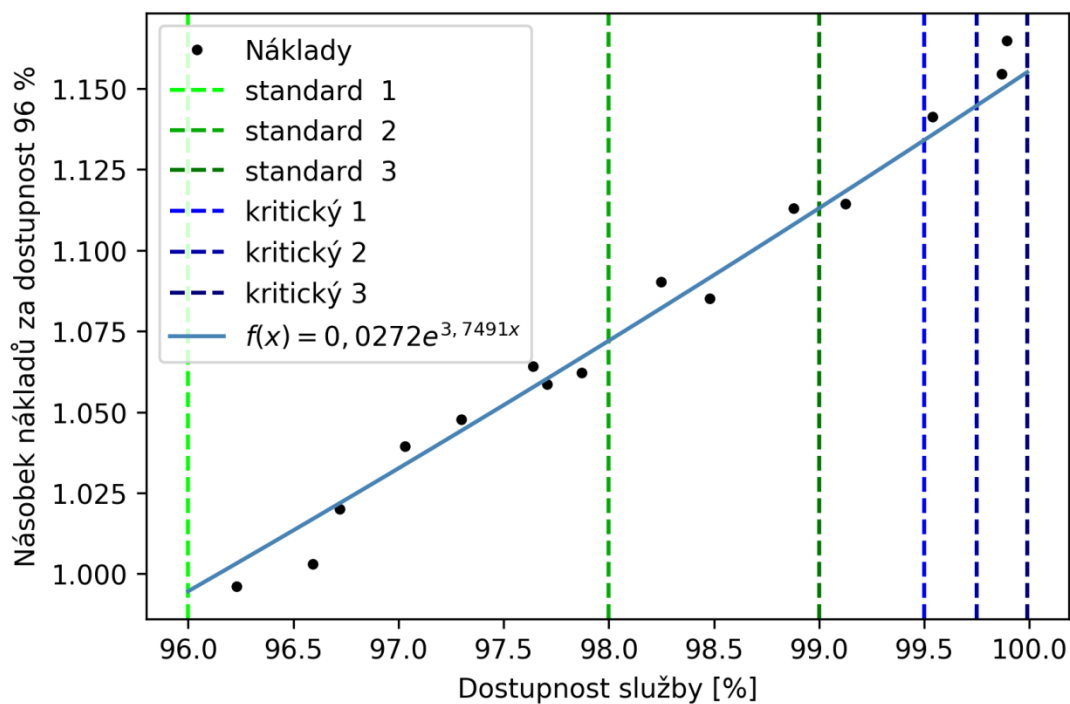




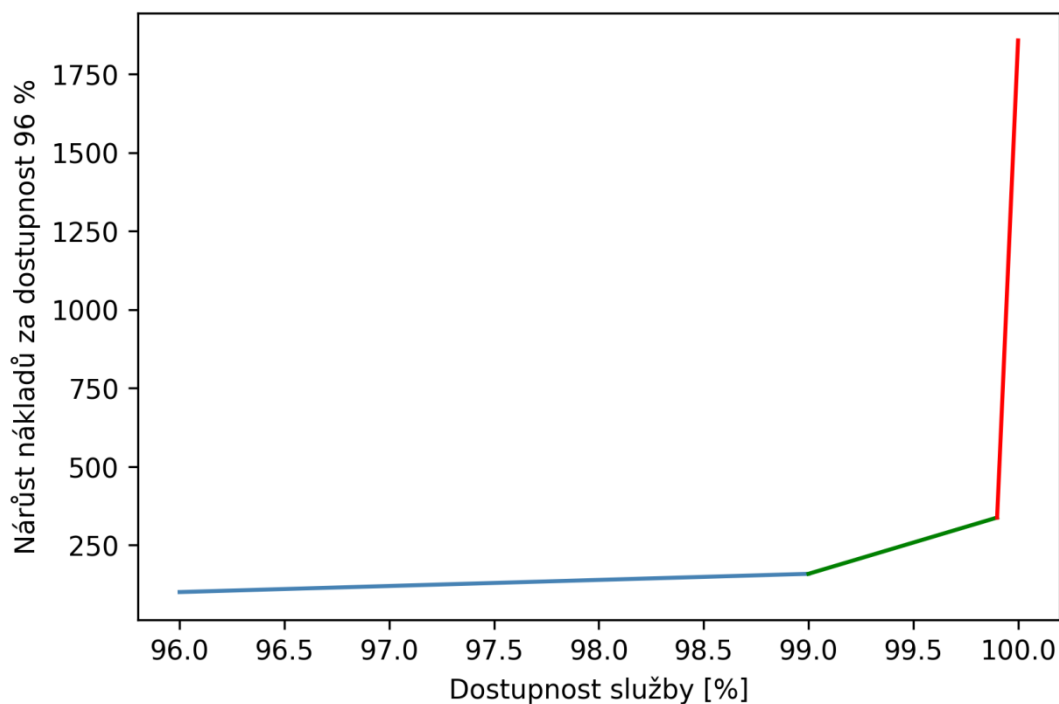
Obr. 27 Srovnání nárůstu / poklesu nákladů při změnách dostupnosti pro různé výchozí hodnoty dostupnosti (tečkovaně lineární nárůst, plnou čarou simulovaný tj. odpovídající skutečnosti)

V intervalu dostupnosti mezi 96 a 99,9 % lze nahradit po částech lineární aproximací nárůstu nákladů exponenciálou  $f(x) = 0,0272e^{3,7491x}$  jak je zobrazeno v Obr. 28.

Na Obr. 29 jsou zobrazeny směrnice nárůstu nákladů na zajištění dostupnosti pro intervaly 96,0 % – 99,0 %; 99,0 % – 99,9 % a 99,9 % – 99,99 %.



Obr. 28 Aproximace nárůstu nákladů na dostupnost služby v rozmezí obvykle používané v telekomunikační praxi



Obr. 29 Procentuální nárůst nákladů na nárůstu dostupnosti

## 6.5 Dílčí závěr

Výsledky simulací ukazují, že vztah mezi průměrnou dostupností služby a náklady na její dosažení je fakticky lineární do úrovně roční průměrné dostupnosti služby 99 % každého prvku sítě (průměrná roční nedostupnost služby 3 dny 15 hodin). Další zvýšení nákladů na dosažení průměrné dostupnosti služby už je nelineární – zvýšení dostupnosti z 99,0% na 99,9% zvyšuje náklady o 105 % (namísto 101% při lineárním nárůstu). Navýšení dostupnosti o další řád na 99,99 % navyšuje náklady o více než 103 %, místo 101 %.

Mezní dosažitelná průměrná dostupnost každého prvku sítě simulovaného systému je 99,99 %, protože předem plánované odstávky snižují průměrnou dostupnost služby o přibližně 0,005 %.

Získané poznatky lze zobecnit následovně: náklady na udržení rozsáhlé infrastruktury rostou do dostupnosti 96 % lineárně, v rozmezí 96,00 – 99,99 % pak přibližně exponenciálně. Průměrná dostupnost služby vyšší než 99,99 % je pro rozsáhlé infrastrukturní systémy bez systematického paralelního zálohování fakticky nedosažitelná.

Uvedené hodnoty platí pouze pro systém, pro nějž byla provedena simulace. Pro jiný systém je třeba provést srovnatelné simulace. Není důvod se nedomnívat, že meze dostupnosti 96 % a 99,99 % jsou obecněji použitelné.

Poznatky z této kapitoly byly publikovány v:

HOLEČEK, Jiří. Modelování a simulace instalace a údržby pro zajištění optimální kvality služeb síťových operátorů. *Elektrorevue* [online]. 2017, 2017(19), 9 [cit. 2018-02-15]. ISSN 1213-1539.

## 7 Závěr

Hlavní i všechny dílčí cíle disertační práce byly splněny.

V disertační práci byla řešena problematika modelování a simulací systémů pro řízení osádek v terénu v síťových odvětvích (energetika, plynárenství, telekomunikace apod.).

Hlavním cílem práce bylo ukázat závislost kvality poskytované služby vyjádřené její dostupností a vynaložených nákladů.

Práce vycházela z rozsáhlého souboru dat získaných z reálného prostředí poskytovatele síťových služeb.

Bylo definováno blokové schéma typického systému pro řízení osádek v terénu a byl vytvořen ukázkový plánovač pro přiřazování prací jednotlivým osádkám.

Na základě rozsáhlého souboru vstupních dat byla nalezena statistická rozdělení jednotlivých vstupních toků simulačního modelu a dob jejich zpracování. Výsledky simulačního modelu byly srovnány s výstupy plánovače, čímž byla ověřena jeho správnost.

Jádro práce bylo publikováno v [31], [32] a [44].

Hlavní i všechny dílčí cíle disertační práce byly splněny.

### 7.1 Výstupy práce

Byla prokázána kvantifikovatelná kauzální závislost mezi kvalitativními parametry a náklady na jejich dosažení v plošně rozprostřených síťových odvětvích. Pro zkoumaný systém je závislost znázorněna na Obr. 24.

Pro interval dostupnosti 75 % až 99 % je nárůst lineární a náklady jsou navyšovány o cca 16 % na procento nárůstu dostupnosti. Za dolní mez v praxi používané dostupnosti lze však považovat až hodnotu 96 %.

Dosažení dostupnosti vyšší než 99 % je nákladově podstatně náročnější. Pro interval 99,00 % až 99,90 % dochází k navyšování nákladů o 9 % na jednu desetinu procenta nárůstu dostupnosti. Pro interval nad 99,90 % dochází k navyšování nákladů o 19 % na jednu setinu procenta nárůstu dostupnosti. V Obr. 29 jsou zobrazeny směrnice nárůstu ve výše zmíněných intervalech.

Mezní dosažitelná průměrná dostupnost každého prvku sítě je 99,99 %, protože předem plánované odstávky snižují průměrnou dostupnost služby o přibližně 0,005 %. Tuto mezní dostupnost nelze bez systematické paralelizace sítě překonat.

Uvedené hodnoty platí pro systém, pro nějž byla provedena simulace. Pro jiný systém je třeba provést obdobné simulace. Není důvod se nedomnívat, že výsledky získané pro meze dostupnosti 96 % a 99,99 % jsou obecněji použitelné.

## 7.2 Využití pro praxi a budoucí práce

Výsledky práce poskytují odpovědným osobám představu pro správné posouzení dodatečných nákladů závislosti kvalitativních parametrů a nákladů na jejich dosažení, což mj. může být využito k tomu, aby po nich byla vyžadována kvantifikace (navýšení/snížení) nákladů při změnách požadavků na kvalitu služby.

V praxi byly doposud používány empirické, resp. historické hodnoty pro určování nákladů na dosažení různých úrovní dostupnosti služby.

Práce přináší exaktní pohled na tuto problematiku.

Potenciál přímého využití ve firmách je méně pravděpodobný zejména z důvodu vysoké pracnosti.

Výsledky práce nabízejí možnost zvýšení efektivity společností optimalizací nákladově jedné z nejvýznamnějších položek při zachování současné úrovně kvality poskytovaných služeb.

Pro praktické využití se totiž nabízí možnost využití postupů a výsledků práce pro vytvoření nadstavbových funkcionalit podpůrných systémů. To by umožňovalo stanovování ideálního poměru nákladů a spolehlivosti spravovaného systému, s možností zahrnutí i sankčních poplatků při nedodržení smluvně dojednaných parametrů služby. Spojení výsledků simulací a historických dat může vést k dalšímu zpřesňování predikcí.

## Seznam zkratek

Zkratka	Význam
BSS	Business Support Systems Systémy pro podporu obchodních činností společnosti
CAIDI	Customer Average Interruption Duration Index
CFS	Customer Facing Service Zákaznický orientovaná služba
CRM	Customer Relationships Systems Systémy pro řízení vztahů se zákazníky
ERP	Enterprise Resource Planning Systémy pro plánování podnikových zdrojů
eTOM	enhanced Telecommunication Operation Map
FFA	Field Force Automation Elektronizace pracovních příkazů
FIFO	First In First Out
FSM	Field Service Management Řízení osádek v terénu
GIS	Geographic information system Geografický informační systém
GPS	Global Positioning System Globální polohový systém
KPI	Key Performance Indicators Klíčové ukazatele výkonosti
KQI	Key Quality Indicator Klíčový ukazatel kvality
LIFO	Last In First Out
OLA	Operational Level Agreement Dohoda o úrovni provozních služeb
OSS	Operations Support Systems Provozní podpůrné systémy
PCT1	Pure Chance Traffic 1
PCT2	Pure Chance Traffic 2
PDA	Personal Digital Assistant Kapesní počítač
PP	Work order(s) Pracovní příkaz(y)
RFS	Resource Facing Service Zdrojově orientovaná služba
SAIDI	System Average Interruption Duration Index
SAIFI	System Average Interruption Frequency Index
SAP	Service Point Access

## Přístupový bod služby

SID	Shared Information/Data Model
SLA	Service Level Agreement dohoda o úrovni poskytovaných služeb
SLS	Service Level Specification Specifikace úrovně služeb
SO	Service Objectives Cíle služby
SP	Service Provider Poskytovatel služby
WFM	Work Force Management Řízení pracovních sil
WFO	Work Force Optimization Optimalizace pracovních sil

## Seznam obrázků

Obr. 1 Struktura disertační práce.....	9
Obr. 2 Vývoj systémů pro řízení pracovních sil.....	11
Obr. 3 Klíčové prvky SLA [9].....	13
Obr. 4 Příklad znázornění vazeb při komplexní dodávce služeb [9].....	15
Obr. 5 Přehled produktů a služeb [9] .....	16
Obr. 6 Ilustrace SLA různých typů [9] .....	18
Obr. 7 Ilustrace hierarchie kvalitativních ukazatelů [9].....	19
Obr. 8 Pojmy používané pro měření SLA [9] .....	21
Obr. 9 Schéma obsluhového systému [17] .....	25
Obr. 10 Dělení modelů [19] .....	31
Obr. 11 Blokové schéma typického systému pro řízení pracovních sil .....	32
Obr. 12 Geografické rozložení pracovních příkazů .....	33
Obr. 13 Popis plánování .....	34
Obr. 14 Možnosti umístění pracovního příkazu do pracovního plánu osádky .....	35
Obr. 15 Plánování úkolů s prioritou A .....	37
Obr. 16 Plánování úkolů – Možnost 1 .....	38
Obr. 17 Plánování úkolů – Možnost 2a.....	39
Obr. 18 Plánování úkolů – Možnost 2b.....	40
Obr. 19 Plánování úkolů – Možnost 2c.....	41
Obr. 20 Hustota pravděpodobnosti rozdělení beta.....	44
Obr. 21 Hustota pravděpodobnosti Weibullova rozdělení.....	45
Obr. 22 Simulační model .....	47
Obr. 23 Rozšířený dynamický model.....	50
Obr. 24 Závislost dostupnosti služby na nákladech na její zajištění.....	52
Obr. 25 Detail závislosti dostupnosti služby na nákladech na její zajištění .....	53
Obr. 26 Aproximace nárůstu nákladů vztažených k nejnižší nasimulované hodnotě.....	55
Obr. 27 Srovnání nárůstu / poklesu nákladů při změnách dostupnosti pro různé výchozí hodnoty dostupnosti (tečkovaně lineární nárůst, plnou čarou simulovaný tj. odpovídající skutečnosti).....	57
Obr. 28 Aproximace nárůstu nákladů na dostupnost služby v rozmezí obvykle používané v telekomunikační praxi.....	58
Obr. 29 Procentuální nárůst nákladů na nárůstu dostupnosti .....	58



## Seznam tabulek

Tab. 1 Počty pracovních příkazů.....	33
Tab. 2 Rozdělení příchodů vstupních toků .....	43
Tab. 3 Rozdělení doby potřebné pro zpracování požadavků .....	43
Tab. 4 Srovnání výsledků simulačního modelu a plánovače .....	48
Tab. 5 Ukazatele spolehlivosti dodávky elektrické energie .....	49
Tab. 6 Meze intervalů pro aproximace .....	53
Tab. 7 Intervaly funkce a jejich aproximace .....	54
Tab. 8 Přepočítání dostupnosti služby na délku výpadku .....	55
Tab. 9 Srovnání nárůstu / poklesu nákladů při změnách dostupnosti pro různé výchozí hodnoty dostupnosti (modře podbarvené buňky lineární nárůst nákladů, zeleně podbarvené buňky simulovaný nárůst nákladů tj. odpovídající skutečnosti) .....	56

## Seznam použité literatury

- [1] ITU-T L.80: Operations support system requirements for infrastructure and network elements management using ID technology. Geneva, Switzerland, 2008.
- [2] SHAW, Robert. *Computer-aided marketing and selling*. [Paperpack ed.]. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1993. ISBN 9780750617079.
- [3] BASL, Josef a Roman BLAŽÍČEK. *Podnikové informační systémy: podnik v informační společnosti*. 3., aktualiz. a dopl. vyd. Praha: Grada, 2012. Management v informační společnosti. ISBN 978-80-247-4307-3.
- [4] WFM (workforce management) - Gartner IT Glossary. *Gartner* [online]. 2014 [cit. 2014-27-02]. Dostupné z: <http://www.gartner.com/it-glossary/wfm-workforce-management/>
- [5] Contact Center Workforce Optimization - Gartner IT Glossary. *Gartner* [online]. 2014 [cit. 2014-27-02]. Dostupné z: <http://www.gartner.com/it-glossary/contact-center-workforce-optimization/>
- [6] WFM (workforce management) - Gartner IT Glossary. *Gartner* [online]. 2014 [cit. 2014-27-02]. Dostupné z: <http://www.gartner.com/it-glossary/field-service-management/>
- [7] VODRÁŽKA, J., et al. *Zavedení SLA pro klíčové služby*. Praha: PREdistribuce, a.s.. 2013, na které se autor spolupodílel jako člen řešitelského kolektivu.
- [8] ŘEPA, Václav. *Procesně řízená organizace*. Praha: Grada, 2012. Management v informační společnosti. ISBN 8024741288.
- [9] TM Forum GB917: SLA Management Handbook. *TM Forum* [online]. Parsippany, NJ, USA [cit. 2018-01-24]. Dostupné z <https://www.tmforum.org/resources/best-practice/gb917-sla-management-handbook-release-3-1/>
- [10] TMForum GB922: Information Framework (SID) - Information Framework Primer. *TM Forum* [online]. Parsippany, NJ, USA [cit. 2018-01-24]. Dostupné z <https://www.tmforum.org/resources/best-practice/gb917-sla-management-handbook-release-3-1/>
- [11] ITU-T M.3050.1. Enhanced Telecom Operations Map (eTOM) – The business process framework. Geneva, 2007.
- [12] ITU-T M.3050.2. Enhanced Telecom Operations Map (eTOM) – Process decompositions and descriptions. Geneva, 2007.
- [13] HOLEČEK, J. Smart Grid Processes Mapped with eTOM. In: *POSTER 2013 - 17th International Student Conference on Electrical Engineering. 17th International Student Conference on Electrical Engineering*. Prague, 16.05.2013. Prague: Czech Technical University. 2013, ISBN 978-80-01-05242-6.

- [14] TM Forum GB921: Business Process Framework Suite. *TM Forum* [online]. Parsippany, NJ, USA [cit. 2018-01-24]. Dostupné z: <https://www.tmforum.org/resources/suite/gb921-getting-started-with-business-process-framework-suite-release-17-0/>
- [15] H. LEE WILLIS. *Power distribution planning reference book*. 2nd ed., rev. and expanded. New York: M. Dekker, 2004. ISBN 1420030310.
- [16] KŘÍŽOVSKÝ, F. – KŘÍŽ, P. – ŠŤASTNÝ, M. – VANĚK, N. *Provozní zatížení v telekomunikacích*. Nepublikováno. ČVUT, Praha, 1989.
- [17] HAMPL, P. *Kendalova klasifikace obsluhových systémů*. [online]. [cit. 2012- 02- 03]. Dostupné z: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2005111601>
- [18] ITU-D SG 2: Handbook "Teletraffic Engineering". Geneva: ITU, 2005.
- [19] All types of model(Simulation & Modelling). In: *Slideshare.net* [online]. [cit. 2018- 02-19]. Dostupné z: <https://www.slideshare.net/dipongkersen81/all-types-of-modelsimulation-modelling>
- [20] DEVORE, J. *Probability and Statistics for Engineering and the Sciences*. 7. vyd. Duxbury Press. 2008. 768 s. ISBN 0495557447.
- [21] WEISSTEIN, Eric W. "Beta Distribution." From MathWorld--A Wolfram Web Resource. <http://mathworld.wolfram.com/BetaDistribution.html>
- [22] MALCOLM, D. G., J. H. ROSEBOOM, C. E. CLARK a W. FAZAR. Application of a Technique for Research and Development Program Evaluation. *Operations Research* [online]. 1959, 7(5), 646-669 [cit. 2018-02-05]. DOI: 10.1287/opre.7.5.646. ISSN 0030-364x. Dostupné z: <http://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/opre.7.5.646>
- [23] NOVOTNÝ, Radovan. Weibullovo rozdělení při analýzách bezporuchovosti. 1213-1539 [online]. 4.3.2002, 2002(17) [cit. 2018-02-17]. *Elektrorevue*. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/clanky/02017/index.html>
- [24] RAYNER, J.C.W., O. THAS a D.J. BEST. *Smooth tests of goodness of fit using R*. 2nd ed. Singapore: John Wiley & Sons (Asia), 2009. ISBN 0470824425.
- [25] HUBER-CAROL, Catherine. *Goodness-of-fit tests and model validity*. Boston: Birkhäuser, c2002. ISBN 0817642099.
- [26] SHANNON, R. E. "Simulation modeling and methodology". in *Proceedings of the 76 Bicentennial conference on Winter simulation (WSC '76)*. Winter Simulation Conference 9-15. 1976
- [27] Arena Simulation [online]. 2018 [cit. 2018-02-19]. Dostupné z: <https://www.arenasimulation.com>
- [28] KELTON, W. David; SADOWSKI, Randall P.; SADOWSKI, Deborah A. *Simulation with ARENA*. New York: McGraw-Hill, 2002.. ISBN 00-733-7628-0.
- [29] ROCKWELL SOFTWARE. *Arena: User`s guide*. 13.50.00. USA, April 28, 2010.
- [30] ROCKWELL SOFTWARE. *Arena: Variables guide*. USA, 2005.

- [31] HOLEČEK, J. a BRABEC, Z. An Approach to Simulation of Workforce and Field Force Management Systems. In: NEVOSAD, M. a VODRÁŽKA, J., eds. *RTT 2014 Conference Proceedings. 16th International Conference on Research in Telecommunication Technologies*. Frymburk, 10.09.2014 - 12.09.2014. Praha: Czech Technical University in Prague. 2014, s. 14-18. ISBN 978-80-01-05540-3.
- [32] HOLEČEK, J., BRABEC, Z.. Infrastructure Operator Field Workforce Management Systems Simulation Possibilities. In: *Proceedings of the 2016 17th International Conference on Mechatronics - Mechatronika (ME) 2016*. Praha: Czech Technical University in Prague, Faculty of Electrical Engineering, 2016, s. 397-402. ISBN 978-80-01-05883-1.
- [33] Zpráva o dosažené úrovni dodržování standardu plynulosti přenosu a distribuce elektřiny za rok 2007, 2017. In: *ERÚ - Domovská stránka* [online]. Praha: ERÚ [cit. 2017-09-03]. Dostupné z:  
[https://www.eru.cz/documents/10540/462796/Zprava\\_o\\_kvalite\\_2007.pdf](https://www.eru.cz/documents/10540/462796/Zprava_o_kvalite_2007.pdf)
- [34] Zpráva o dosažené úrovni dodržování standardu plynulosti přenosu a distribuce elektřiny za rok 2008, 2017. In: *ERÚ - Domovská stránka* [online]. Praha: ERÚ [cit. 2017-09-03]. Dostupné z:  
[https://www.eru.cz/documents/10540/462796/Zprava\\_o\\_kvalite\\_2008.pdf](https://www.eru.cz/documents/10540/462796/Zprava_o_kvalite_2008.pdf)
- [35] Zpráva o dosažené úrovni dodržování standardu plynulosti přenosu a distribuce elektřiny za rok 2009, 2017. In: *ERÚ - Domovská stránka* [online]. Praha: ERÚ [cit. 2017-09-03]. Dostupné z:  
[https://www.eru.cz/documents/10540/462796/Zprava\\_o\\_kvalite\\_2009.pdf](https://www.eru.cz/documents/10540/462796/Zprava_o_kvalite_2009.pdf)
- [36] Zpráva o dosažené úrovni dodržování standardu plynulosti přenosu a distribuce elektřiny za rok 2010, 2017. In: *ERÚ - Domovská stránka* [online]. Praha: ERÚ [cit. 2017-09-03]. Dostupné z:  
[https://www.eru.cz/documents/10540/462796/Zprava\\_o\\_kvalite\\_2010.pdf](https://www.eru.cz/documents/10540/462796/Zprava_o_kvalite_2010.pdf)
- [37] Zpráva o dosažené úrovni dodržování standardu plynulosti přenosu a distribuce elektřiny za rok 2011, 2017. In: *ERÚ - Domovská stránka* [online]. Praha: ERÚ [cit. 2017-09-03]. Dostupné z:  
[https://www.eru.cz/documents/10540/462796/Zprava\\_o\\_kvalite\\_2011.pdf](https://www.eru.cz/documents/10540/462796/Zprava_o_kvalite_2011.pdf)
- [38] Zpráva o dosažené úrovni dodržování standardu plynulosti přenosu a distribuce elektřiny za rok 2012, 2017. In: *ERÚ - Domovská stránka* [online]. Praha: ERÚ [cit. 2017-09-03]. Dostupné z:  
[https://www.eru.cz/documents/10540/462796/Zprava\\_o\\_kvalite\\_2012.pdf](https://www.eru.cz/documents/10540/462796/Zprava_o_kvalite_2012.pdf)
- [39] Zpráva o dosažené úrovni dodržování standardu plynulosti přenosu a distribuce elektřiny za rok 2013, 2017. In: *ERÚ - Domovská stránka* [online]. Praha: ERÚ [cit. 2017-09-03]. Dostupné z:  
[https://www.eru.cz/documents/10540/462796/Zprava\\_o\\_kvalite\\_2013.pdf](https://www.eru.cz/documents/10540/462796/Zprava_o_kvalite_2013.pdf)
- [40] Zpráva o dosažené úrovni dodržování standardu plynulosti přenosu a distribuce elektřiny za rok 2014, 2017. In: *ERÚ - Domovská stránka* [online]. Praha: ERÚ [cit. 2017-09-03]. Dostupné z:  
[https://www.eru.cz/documents/10540/462796/Zprava\\_o\\_kvalite\\_2014.pdf](https://www.eru.cz/documents/10540/462796/Zprava_o_kvalite_2014.pdf)

- [41] Zpráva o dosažené úrovni dodržování standardu plynulosti přenosu a distribuce elektřiny za rok 2015, 2017. In: *ERÚ - Domovská stránka* [online]. Praha: ERÚ [cit. 2017-09-03]. Dostupné z:  
[https://www.eru.cz/documents/10540/462796/Zprava\\_o\\_kvalite\\_2015.pdf](https://www.eru.cz/documents/10540/462796/Zprava_o_kvalite_2015.pdf)
- [42] Zpráva o dosažené úrovni dodržování standardu plynulosti přenosu a distribuce elektřiny za rok 2016, 2017. In: *ERÚ - Domovská stránka* [online]. Praha: ERÚ [cit. 2017-09-03]. Dostupné z:  
[https://www.eru.cz/documents/10540/462796/Zprava\\_o\\_kvalite\\_2016.pdf](https://www.eru.cz/documents/10540/462796/Zprava_o_kvalite_2016.pdf)
- [43] PRESS, William H. *Numerical recipes: the art of scientific computing*. 3rd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. ISBN 978-0-521-88068-8.
- [44] HOLEČEK, Jiří. Modelování a simulace instalace a údržby pro zajištění optimální kvality služeb síťových operátorů. *Elektrorevue* [online]. 2017, 2017(19), 9 [cit. 2018-02-01]. ISSN 1213-1539.

# Vybrané publikace autora

## Publikace vztahující se k tématu disertační práce

### Publikace v recenzovaných časopisech

HOLEČEK, J. Modelování a simulace instalace a údržby pro zajištění optimální kvality služeb síťových operátorů. *Elektrorevue* [online]. 2017, 2017(19), 9 [cit. 2018-02-15]. ISSN 1213-1539. Podíl doktoranda: 100 %

### Publikace ve sbornících konferencí evidovaných ve Web of Science

HOLEČEK, J. a BRABEC, Z. Infrastructure Operator Field Workforce Management Systems Simulation Possibilities. In: BŘEZINA, T., MAGA, D., a ŠTEFEK, A., eds. *Proceedings of the 2016 17th International Conference on Mechatronics - Mechatronika (ME) 2016*. Mechatronika. Praha, 07.12.2016 - 09.12.2016. Prague: Czech Technical University in Prague, Faculty of Electrical Engineering. 2016, s. 397-402. ISBN 978-80-01-05883-1. Podíl doktoranda: 50 %

### Publikace ve sbornících mezinárodních konferencí

HOLEČEK, J. a BRABEC, Z. An Approach to Simulation of Workforce and Field Force Management Systems. In: NEVOSAD, M. a VODRÁŽKA, J., eds. *RTT 2014 Conference Proceedings. 16th International Conference on Research in Telecommunication Technologies*. Frymburk, 10.09.2014 - 12.09.2014. Praha: Czech Technical University in Prague. 2014, s. 14-18. ISBN 978-80-01-05540-3. Podíl doktoranda: 50 %

HOLEČEK, J. Smart Grid Processes Mapped with eTOM. In: *POSTER 2013 - 17th International Student Conference on Electrical Engineering. 17th International Student Conference on Electrical Engineering*. Prague, 16.05.2013. Prague: Czech Technical University. 2013, ISBN 978-80-01-05242-6. Podíl doktoranda: 100 %

## Publikace nevztahující se k tématu disertační práce

### Publikace ve sbornících konferencí evidovaných ve Web of Science

VODRÁŽKA, J., et al. Procedure to Measure of the Data Transmission Speed in LTE Mobile Networks. In: ŠTEFEK, A., MAGA, D., a BŘEZINA, T., eds. *16th Mechatronika 2014*. Mechatronika. Brno, 03.12.2014 - 05.12.2014. Brno: Brno University of Technology. 2014, s. 644-647. ISBN 978-80-214-4817-9. Podíl doktoranda: 25 %

HOLEČEK, J., BRABEC, Z., a TIKOVSKÝ, V. Smart Grids Process Framework Assessment Through Process Modeling. In: ŠTEFEK, A., BŘEZINA, T., a MAGA, D., eds. *16th*

*Mechatronika* 2014. Mechatronika. Brno, 03.12.2014 - 05.12.2014. Brno: Brno University of Technology. 2014, s. 100-106. ISBN 978-80-214-4817-9. Podíl doktoranda: 33 %

BRABEC, Z., HOLEČEK, J., a HRŮZA, T. Overview of Applicability of ICT Technologies for Smart Grids. In: MAGA, D., ŠTEFEK, A., a BŘEZINA, T., eds. *Proceedings of 15th Mechatronika 2012*. Mechatronika. Praha, 05.12.2012 - 07.12.2012. Praha: Czech Technical University in Prague. 2012, s. 169-173. ISBN 978-80-01-04987-7. Podíl doktoranda: 33 %

## **Publikace ve sbornících mezinárodních konferencí**

BRABEC, Z., HOLEČEK, J., a MARTINEK, M. Methodology for Business Aspects Quantification of Fundamental Network Technology Innovation. In: *Proceedings of the 2013 International Conference on Telecommunication Systems, Modeling and Analysis*. 2013 International Conference on Telecommunication Systems, Modeling and Analysis. Praha, 16.05.2013 - 18.05.2013. Dallas, TX: American Telecommunications Systems Management Association Inc.. 2013, s. 78-84. ISBN 978-0-9820958-8-1. Podíl doktoranda: 33 %

HOLEČEK, J. a BRABEC, Z. Simulation of Behaviour of Intelligent Power Networks. In: KLUČIK, S. a CHROMÝ, E., eds. *15th International Conference on Research in Telecommunication Technologies*. 15th International Conference on Research in Telecommunication Technologies. Senec, 11.09.2013 - 13.09.2013. Bratislava: Slovak University of Technology in Bratislava. 2013, s. 29-33. ISBN 978-80-227-4026-5. Podíl doktoranda: 50 %

## **Ostatní publikace**

BRABEC, Z. a HOLEČEK, J. *Statistické ověření přesnosti výpočtu srovnávací cenové kalkulačky telekomunikačních služeb Tarifomat pomocí modelu mobilních volání a dalšími testy*. Praha: ČTÚ. 2017. Podíl doktoranda: 50 %

BRABEC, Z. a HOLEČEK, J. *Statistické ověření přesnosti výpočtu srovnávací cenové kalkulačky telekomunikačních služeb Tarifon pomocí modelu mobilních volání a dalšími testy*. Praha: ČTÚ. 2017. Podíl doktoranda: 50 %

BRABEC, Z. a HOLEČEK, J. *Statistické ověření přesnosti výpočtu srovnávací cenové kalkulačky telekomunikačních služeb Tarifomat pomocí modelu mobilních volání a dalšími testy*. Praha: ČTÚ. 2016. Podíl doktoranda: 50 %

BRABEC, Z. a HOLEČEK, J. *Statistické ověření přesnosti výpočtu srovnávací cenové kalkulačky telekomunikačních služeb Tarifon pomocí modelu mobilních volání a dalšími testy*. Praha: ČTÚ. 2016. Podíl doktoranda: 50 %

BRABEC, Z. a HOLEČEK, J. *Statistické ověření přesnosti výpočtu srovnávací cenové kalkulačky telekomunikačních služeb Tarifomat.cz pomocí modelu mobilních volání a dalšími testy*. Praha: ČTÚ. 2015. Podíl doktoranda: 50 %

BRABEC, Z. a HOLEČEK, J. *Technický audit v rámci procesu akreditace srovnávací cenové kalkulačky telekomunikačních služeb KOREKTEL / KALK pomocí modelu mobilních volání a dalšími testy*. Praha: ČTÚ. 2015. Podíl doktoranda: 50 %

BRABEC, Z., HOLEČEK, J., a SERAFIN, J. *Statistické ověření přesnosti výpočtu srovnávací cenové kalkulačky telekomunikačních služeb Tarifomat.cz, provozované společností Tarifomat, s.r.o. pomocí modelu mobilních volání a dalšími testy*. Praha: ČTÚ. 2014. Podíl doktoranda: 33 %

BRABEC, Z., HOLEČEK, J., a SERAFIN, J. *Statistické ověření přesnosti výpočtu srovnávací cenové kalkulačky telekomunikačních služeb KOREKTEL / KALK, provozované společností KOREKTEL s.r.o. pomocí modelu mobilních volání a dalšími testy*. Praha: ČTÚ. 2014. Podíl doktoranda: 33 %

BRABEC, Z., HOLEČEK, J., a SERAFIN, J. *Statistické ověření přesnosti výpočtu cenové kalkulačky mobilních volání Tarifon pomocí Modelu mobilních volání*. Praha: ČTÚ Podíl doktoranda: 33 %

BRABEC, Z., HOLEČEK, J., a SERAFIN, J. *Statistické ověření přesnosti výpočtu cenové kalkulačky mobilních volání Tarifomat.cz pomocí Modelu mobilních volání*. Praha: ČTÚ. 2013. Podíl doktoranda: 33 %

BRABEC, Z., HOLEČEK, J., a SERAFIN, J. *Statistické ověření přesnosti výpočtu cenové kalkulačky mobilních volání Tarifon pomocí Modelu mobilních volání*. Praha: ČTÚ. 2012. Podíl doktoranda: 33 %

BRABEC, Z., HOLEČEK, J., a SERAFIN, J. *Statistické ověření přesnosti výpočtu cenové kalkulačky mobilních volání dTest.cz pomocí Modelu mobilních volání*. Praha: ČTÚ. 2012. Podíl doktoranda: 33 %

BRABEC, Z., HOLEČEK, J., a SERAFIN, J. *Statistické ověření přesnosti výpočtu cenové kalkulačky mobilních volání Tarifomat.cz pomocí Modelu mobilních volání*. Praha: ČTÚ. 2012. Podíl doktoranda: 33 %

BRABEC, Z., et al. *Návrh Modelu mobilních volání pro ověřování přesnosti cenových kalkulaček*. Praha: ČTÚ. 2012. Podíl doktoranda: 25 %

BEZPALEC, P., et al. *Služby smluvního výzkumu v oblasti analýzy operačních rizik*. Praha: CTI. 2016, CTI01-2016. Podíl doktoranda: 14 %

BEZPALEC, P., et al. *Služby smluvního výzkumu v oblasti analýzy operačních rizik na telekomunikační infrastruktuře*. Praha: CTI. 2016, CTI02-2016. Podíl doktoranda: 14 %

BRABEC, Z., et al. *Odborné posouzení ICT řešení*. Česká pošta Security, s.r.o.. 2015. Podíl doktoranda: 12,5 %

BRABEC, Z., HOLEČEK, J., a SERAFIN, J. *Verifikace přesnosti srovnávacích cenových kalkulaček telekomunikačních služeb*. Praha: ČTÚ. 2014. Podíl doktoranda: 33 %



HOLEČEK, J. Produkty v segmentu cloudových služeb. In: SLABA, J., BRABEC, Z., a ŠIMÁK, B., eds. *ICTM 2013 - Sborník přednášek konference. Služby informačních a komunikačních technologií jako komodita - ICTM 2013*. Praha, 19.06.2013. Praha: České vysoké učení technické v Praze. 2013, s. 155-160. ISBN 978-80-01-05286-0.. Podíl doktoranda: 100 %

## Projekty

### Vlastní

#### **FRVŠ**

Holeček, J.: FRVŠ Projekt G1 2248/2012 - Projektční činnost v telekomunikacích

#### **ČEZ ICT Services, a.s a ČEZ Distribuční služby, s.r.o**

Prosinec 2013 až únor 2015

Studie ŘOT – Řízení osádek v terénu – modelování a simulace dispečerského software vycházející z rozsáhlého souboru dat s cílem nacházení vztahu mezi pracovníky v terénu a kvalitativními parametry.

### Spolupráce na projektech

#### **Český telekomunikační úřad**

2012

Rámcová smlouva o poskytování služeb mezi Českým telekomunikačním úřadem a Českým vysokým učení technickým v Praze – Fakultou elektrotechnickou č. CTU/2012\_\_004 čj. ČTÚ-34/2012-10 ze dne **28. 1. 2012**

2013

Rámcová smlouva o poskytování služeb mezi Českým telekomunikačním úřadem a Českým vysokým učení technickým v Praze – Fakultou elektrotechnickou č. CTU/2012\_\_004 čj. ČTÚ-34/2012-10 ze dne **17. 1. 2013**

Brabec, Z. – Holeček, J. – Vodrážka, J.: Měření datové rychlosti v širokopásmových sítích pro Český telekomunikační úřad prostřednictvím společnosti CRC Data spol. s r.o. Objednávka CRC Data RS-2013-03-19; 16. 8. 2013;

2014

Rámcová smlouva o poskytování služeb mezi Českým telekomunikačním úřadem a Českým vysokým učení technickým v Praze – Fakultou elektrotechnickou č. CTU/2012\_\_004 čj. ČTÚ-34/2012-10 ze dne **4. 2. 2014**

2015

Brabec, Z. – Holeček, J.: Technický audit v rámci procesu akreditace srovnávací cenové kalkulačky telekomunikačních služeb KOREKTEL / KALK pomocí modelu mobilních volání a dalšími testy. (11. 8. 2015)

Brabec, Z. – Holeček, J.: Statistické ověření přesnosti výpočtu srovnávací cenové kalkulačky telekomunikačních služeb Tarifomat.cz pomocí modelu mobilních volání a dalšími testy (11. 8. 2011)

2016

Brabec, Z. – Holeček, J.: Statistické ověření přesnosti výpočtu srovnávací cenové kalkulačky telekomunikačních služeb Tarifon pomocí modelu mobilních volání a dalšími testy (4. 2. 2016)

Brabec, Z. – Holeček, J.: Statistické ověření přesnosti výpočtu srovnávací cenové kalkulačky telekomunikačních služeb Tarifomat pomocí modelu mobilních volání a dalšími testy. (26. 7. 2016)

2017

Brabec, Z. – Holeček, J.: Statistické ověření přesnosti výpočtu srovnávací cenové kalkulačky telekomunikačních služeb Tarifon pomocí modelu mobilních volání a dalšími testy. (13. 2. 2017)

Brabec, Z. – Holeček, J.: Statistické ověření přesnosti výpočtu srovnávací cenové kalkulačky telekomunikačních služeb Tarifomat pomocí modelu mobilních volání a dalšími testy. (1. 8. 2017)

### ***ČEZ ICT Services, a.s.***

*Červen 2011 až říjen 2011*

Analýza možností uplatnění služeb dálkového přenosu údajů na českém trhu pro ČEZ ICT Services, a.s.

### ***SGS***

*2012 až 2014*

SGS12/186/OHK3/3T/13: Analýza metod řízení rozlehlých sítí Smart Grids

### ***Česká telekomunikační infrastruktura, a.s.***

*2016 až 2018*

Analýza rizik v prostředí infrastruktury poskytovatele telekomunikačních služeb.