

APLIKACE MODELŮ TEORIE HROMADNÉ OBSLUHY K ZHODNOCENÍ PROPUSTNOSTI RADIOKOMUNIKAČNÍ SÍTĚ PEGAS INTEGROVANÉHO ZÁCHRANNÉHO SYSTÉMU ČR

APPLICATION OF QUEUING THEORY MODELS FOR EVALUATION THROUGHPUT OF RADIOCOMMUNICATION NETWORK PEGAS OF CZECH INTEGRATED RESCUE SYSTEM

Filip Večeřa

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Ústav bezpečnostního inženýrství

Nad Stráněmi 4511, 760 05 Zlín

fvecera@utb.cz

Abstrakt: Teorie hromadné obsluhy je disciplína postavena na využití matematických metod k zhodnocení vytíženosti obslužných systémů, v tomto případě hovoříme o radiokomunikačních sítích. Článek si klade za cíl popsat základní parametry systémů hromadné obsluhy a vysvětlit jednotlivé proměnné používané v modelech teorie hromadné obsluhy. V článku jsou graficky znázorněny funkční principy jednotlivých modelů teorie hromadné obsluhy. Rovněž jsou v článku zakomponovány a popsány základní funkční principy radiokomunikační sítě PEGAS, které využívá ve své činnosti integrovaný záchranný systém v ČR. V neposlední řadě je v článku uvedena aplikace a klasifikace nejvhodnějšího modelu teorie hromadné obsluhy ve vztahu k zhodnocení propustnosti jednotlivých způsobů použití české radiokomunikační sítě PEGAS.

Klíčová slova: Teorie hromadné obsluhy, fronta, propustnost, radiokomunikační síť, obslužný systém

Abstract: The queuing theory is a discipline based on the use of mathematical methods to evaluate the utilization of service systems – radio communication networks. The aim of the paper is to describe the basic parameters of queuing systems and explains the individual variables used in models of the queuing theory. In the paper, the functional principles of individual models of the queuing theory are illustrated graphically. The basic functional principles of the PEGAS radio communication network, which use the integrated rescue system, are also incorporated and described in the paper. Last but not least, the paper presents the identification and classification of the most suitable model of the queuing theory in relation to the evaluation of the throughput of individual uses of the Czech radio communication network PEGAS.

Key words: Queuing theory, queue, throughput, radio – communication network, service system

1 Úvod

Jedním ze základních parametrů komunikačních kanálů – rádiových sítí je jejich propustnost, což je veličina, která říká, jaké množství dat (toku) je možné sítí přenést za jednotku času. V reálné síti se toto číslo může reálně měnit a síť musí na tyto změny reagovat. Cílem směrování je obvykle doručení zdrojů co nejrychleji na místo určení a právě propustnost hraje v tomto ohledu důležitou roli. S ní souvisí také parametr rychlosti přenosu dat, který se udává v bitech či bitech za sekundu. Propustnost lze definovat jako základní ukazatel vytíženosti sítě. Je dána počtem transakcí provedených za jednotku času, je velmi ovlivněna proměnlivostí zatížení sítě (počtem zaslaných požadavků na obslužné linky systému). Typická křivka propustnosti roste až do úrovně stoprocentního využití kanálových zdrojů.[8, 10]

2 Teorie hromadné obsluhy

Teorie hromadné obsluhy (též teorie front) vznikla jako matematická disciplína začátkem 20. století. Její základy položil dánský matematik a vědec Agner Krarup Erlang (1878-1929). Podnětem byl rozvoj telefonních ústředěn, pro jejichž návrh byla zpočátku určena. Teorie hromadné obsluhy využívá teorii pravděpodobnosti, matematické statistiky a teorii náhodných funkcí. Zkoumá činnost systémů, v nichž se opakovaně vyskytují

požadavky vykonat posloupnost operací, které jsou co do vzniku a okamžiku výskytu zpravidla náhodné (počet vstupujících jednotek bývá náhodný, doba, kterou stráví jednotka v systému je náhodná). Cílem teorie hromadné obsluhy je poznání zákonitostí, podle kterých daný systém funguje a optimalizování systému tak, aby zbytečně nedocházelo k frontám vstupních jednotek či opouštění systému a naopak, aby nebyly zbytečné náklady na provoz systému. [1 - 3]

3 Řešení úloh systémů hromadné obsluhy

Řešení úloh ve vazbě k systémům hromadné obsluhy lze modelovat dvěma základními způsoby. Buď pomocí analytických stochastických modelů, nebo pomocí simulačních modelů. Analytické modely – spočívají v tom, že na základě známých parametrů modelu pomocí nástrojů teorie pravděpodobnosti či jiných matematických odvětví spočteme či odhadneme ty parametry modelu, kterou nás zajímají (např. průměrný počet jednotek ve frontě, apod.). Simulační – známých parametrů modelu využijeme k nasimulování dané situace pomocí nějakého vhodného software. Na základě těchto simulací odhadneme parametry modelu, které nás zajímají. Cílem modelu hromadné obsluhy je snaha o maximální sladění funkcí jeho složek. To znamená, jednotek do systému vstupujících, které mají své pravděpodobnosti chování, přechody mezi stavy chování, a také mají své požadavky, se kterými vstupují do systému obsluhy. Další důležitou roli zde hraje obsluhující systém, který má svoje omezené hranice a v čase také vykazuje náhodné chování. [3, 4]

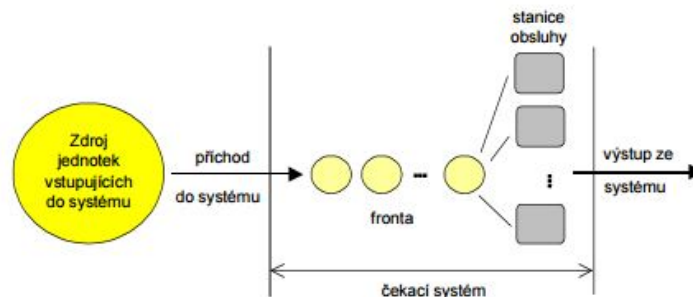
3.1 Parametry systémů hromadné obsluhy

Obsluhový systém (dále jen „OS“) slouží pro uspokojení vznikajících požadavků v dohodnuté kvalitě. Kvalitu OS vyjadřuje obecně míra jeho pohotovosti vyhovět žádosti v plném, nebo částečném rozsahu - pokud se týče doby obsluhy.

Základní parametry OS:

- Vstupní tok - (vstup jednotek - zdroj),
- Fronta – (pravidla řazení jednotek a čekání na volný kanál),
- Kanály – (sít' obslužných linek – organizace obsluhy),
- Výstupní tok – (výstup jednotek ze systému).

Na vstupní straně OS je to vstupní tok tvořený požadavky zdrojů. Z nich jsou některé uspokojeny (hned nebo za určitou dobu – řadí se do fronty) a tvoří výstupní tok. Výstupní tok bývá často vstupním tokem navazujícího OS. Neuspokojené žádosti tvoří odstupující tok.[1, 4]



Obr. 1 - Základní parametry obsluhového systému [5]

3.1.1 Vstupní tok - zdroj

Vstupní tok (proud) je tvořen požadavky přicházejícími ze zdrojů požadavků (jednotek) na obslužnou linku. Tento počet požadavků může být konečný, nebo teoreticky nekonečný. Většinou přicházejí jednotky do systému v náhodných časech, takových, že doba mezi příchody (časový odstup) jednotlivých jednotek je náhodná veličina. Jestliže je časový odstup konstantní, hovoříme o deterministickém toku, jestliže je náhodný, jde o stochastický tok. Může také nastat situace, kdy některé požadavky přicházejí k místu obsluhy ve fixním intervalu, a některé jednotky v intervalu proměnlivém, v takovém případě hovoříme o smíšeném toku. Počet žádostí za jednotku času udává intenzitu (hustotu) toku.[1, 4, 6, 7]

Pramen potenciálního souboru jednotek, které mohou vstoupit do systému, nazýváme zdrojem jednotek. Jestliže je pevně omezen, hovoříme o uzavřeném systému – prvky po obslužení se vrací zpět na vstup do zdroje, v opačném případě se jedná o otevřený systém – prvky se po obslužení nevracejí zpět do zdroje. [7]

3.1.2 Fronta – čekací prostor a doba obsluhy

Fronta je složena z požadavků čekajících na obsluhu. Způsob, který určuje formu přechodu čekajících požadavků z fronty do obsluhy, se nazývá řád fronty. K základním typům přechodu z fronty do obsluhy patří:

- FIFO (first-in/first-out) - kdo přijde první, je nejdříve obslužen,
- LIFO (last-in/first-out) - nejdříve je obslužen ten, kdo přijde poslední,
- PRI (priority, příp. HVF – high value first) - podle důležitosti, po uvolnění kanálu obsluhy je vybírán požadavek s nejvyšší prioritou,
- SIRO (selection in random order) – požadavky jsou obsluhovány v náhodném pořadí.

Disciplína fronty může být absolutně netrpělivá- požadavek do systému, jehož všechny kanály obsluhy jsou obsazeny, nevstoupí a rezignuje na obsluhu. Dále může být bez netrpělivosti - požadavky čekají bez ohledu na čas tak dlouho, dokud není obsluha realizována nebo částečně netrpělivá- požadavek čeká ve frontě po určitou dobu a pak opouští systém, nezačala-li ještě jeho obsluha.

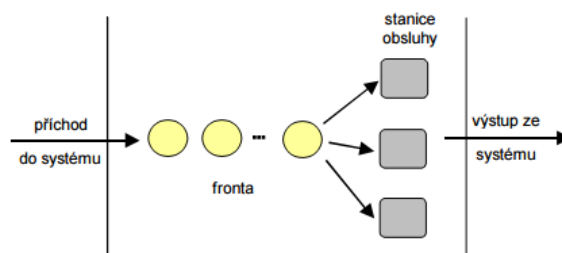
Čekací prostor je místo mezi zdrojem jednotek a obslužnými kanály. V tomto prostoru se vytváří fronta. Prostor může být:

- nulový - prvek, který nemůže být ihned obslužen, je odmítnut, fronta nemůže vůbec vzniknout,
- nenulový- a) je-li čekací prostor **nenulový** a **neomezený**, pak provozní situace dovoluje frontu jakékoliv délky,
 - b) v případě, že je čekací prostor **nenulový** a **omezený** (v praxi nejčastější případ), pak vstoupí-li požadavek v době, kdy má systém maximální přípustnou délku, je odmítnut. [6, 7]

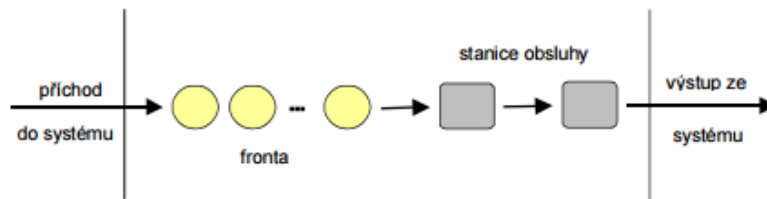
Doba trvání obsluhy může být konstantní nebo náhodná. V případě konstantní doby je doba obsluhy stále stejná, v případě náhodné doby trvání obsluhy doba kolísá. Kolísající doba trvání obsluhy je popisována některým rozdělením pravděpodobnosti. Nejčastěji se opět používá rozdělení exponenciální. [4, 5, 7]

3.1.3 Kanály – organizace obsluhy

Kanály (obslužné linky) realizují žádosti zdrojů vstupního toku. Podle počtu kanálů ve stanici obsluhy rozlišujeme na **jednakanálové systémy** a **vícekanálové systémy**. Kanály mohou být uspořádány **paralelně** – stačí, aby prvek byl obslužen jedním, libovolným kanálem obsluhy. Fronta může být společná pro všechny kanály obsluhy a požadavek přichází vždy ke kanálu, který se právě uvolní nebo se před každým kanálem obsluhy může tvořit samostatná fronta. Nebo mohou být kanály uspořádány **sériově** – prvek musí projít postupně všemi kanály. U sériového uspořádání se může fronta vytvářet před prvním kanálem obsluhy nebo fronty mohou být i před každým kanálem obsluhy. [4, 5, 7]



Obr. 2 - Příklad paralelně uspořádaného vícekanálového systému [5]



Obr. 3 - Příklad sériově uspořádaného jednokanálového systému [5]

3.1.4 Výstupní tok

Je tvořen požadavky odcházejícími ze systému hromadné obsluhy, tedy charakterizován stejnými kritérii jako vstupní tok a předpokládáme, že má stejné vlastnosti. Je to důležité v případech, kdy je výstupní tok směřován k dalšímu OS. [1]

4 Klasifikace systémů hromadné obsluhy

Vzhledem k rozmanitosti systémů hromadné obsluhy byla vypracován D. G. Kendalllem systém zápisu, který kompaktně zachycuje a klasifikuje standardní typy modelů hromadné obsluhy. Obsahuje zpravidla posloupnost pěti znaků. Kendallův zápis $A / B / X / Y / Z$, kde:

- **A** - označuje typ pravděpodobnostního rozdělení popisující intervaly mezi příchody požadavků do systému. Pro exponenciální (navzájem nezávislých) rozdělení (Poissonův proces vstupů) je používán symbol M , pro konstantní (deterministickými) intervaly mezi příchody symbol D , pro Erlangovo rozdělení symbol E_k , pro normální rozdělení symbol N , pro nespécifikované rozdělení s nějakou střední hodnotou a směrodatnou odchylkou symbol G .
- **B** - označuje typ pravděpodobnostního rozdělení popisující dobu trvání obsluhy (délka obsluhy). Používají se stejné symboly jako při popisu intervalů mezi příchody (A).
- **X** - je číslo udávající počet paralelně uspořádaných kanálů obsluhy (obslužných linek).
- **Y** - je číslo udávající kapacitu systému hromadné obsluhy (počet prvků, které mohou být v systému přítomny) - pokud není tato kapacita omezená, použije se symbol ∞ .
- **Z** - je režim fronty (FIFO, LIFO, SIRO, PRI).

V užší tříznakové notaci se používají pouze symboly $A/B/X$ a předpokládá se, že režim fronty je FIFO a kapacita systému i zdroj požadavků je neomezený. Širší šestiznaková notace přidává před symbol Z další atribut, který udává početnost zdroje požadavků. Není-li tento symbol uveden, předpokládá se, že zdroj požadavků není omezen. [5, 7]

4.1 Použité veličiny v modelech hromadné obsluhy

λ - střední intenzita vstupu (průměrný počet požadavků, které do systému vstoupí za jednotku času),

μ - střední intenzita obsluhy - výstupu (průměrný počet požadavků - jednotek, které je kanál schopen obsloužit za jednotku času) ->průměrná propustnost.

Nemá-li fronta vznikat a narůstat, musí platit $\mu > \lambda$, resp.: $\beta = \lambda / \mu < 1$ (obsluha musí být rychlejší než příchody).

ρ - koeficient využití systému (intenzita provozu – zatížení),

p_n - pravděpodobnost, že v systému je právě n požadavků,

n_s - průměrný počet požadavků v systému,

n_f - průměrná délka fronty (počet požadavků ve frontě),

t_s - průměrná doba setrvání požadavku v systému,

t_f - průměrná doba čekání,

c - počet kanálů obsluhy,

c_o - průměrný počet obsazených kanálů.

4.2 Základní modely hromadné obsluhy aplikovatelné v radiokomunikačních sítích

Mezi základní a nejvyžívanější model systémů hromadné obsluhy patří model **M/M/1/FIFO/∞**, který je využíván i jako porovnávací případ pro ostatní modely. Z pohledu složitosti analýzy se jedná o nejjednodušší a nejobecnější model hromadné obsluhy, kde má rozdělení dob mezi příchody a dob obsluhy charakter exponenciálního rozdělení (nezávislé) a jde o otevřený systém (neomezený počet požadavků) s jedním obslužným zařízením. Režim fronty u tohoto modelu je jednoduchý a v případě nedostatečné kapacity obslužné linky požadavky vyčkávají ve frontě na obsluhu, kam vstupují v pořadí, v jakém přišly (FIFO). [9]

Intenzita zatížení systému:

$$\rho = \frac{\beta}{c} = \frac{\lambda}{c\mu} \quad (1)$$

Aby nedošlo k zahlcení systému, musí platit:

$$\rho < 1, \beta < c \quad (2)$$

Průměrný počet obsazených kanálů:

$$\bar{c}_o = \beta = \frac{\lambda}{\mu} \quad (3)$$

Průměrný počet požadavků v systému:

$$\bar{n}_s = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} \quad \bar{n}_s = \bar{n}_f + \beta \quad (4)$$

Průměrný počet požadavků ve frontě:

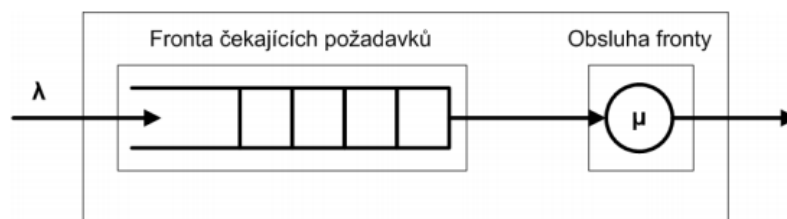
$$\bar{n}_f = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)} \quad (5)$$

Průměrná doba strávená v systému:

$$\bar{t}_s = \bar{t}_f + \frac{1}{\mu} \quad \bar{t}_s = \frac{1}{\mu - \lambda} \quad (6)$$

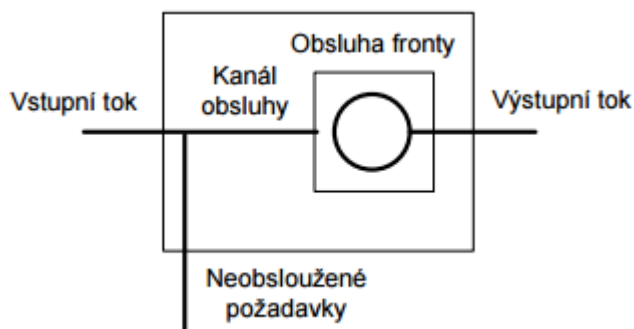
Průměrná doba čekání ve frontě:

$$\bar{t}_f = \frac{\bar{n}_f}{\lambda} \quad \bar{t}_f = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} \quad (7)$$



Obr. 4 - grafické znázornění modelu M/M/1/FIFO/∞ [9]

K dalším častým modelům rádiových systémů patří model **M/M/1/FIFO/0**, který je ve většině ohledech totožný s předchozím modelem, zvláštností je absence tvoření fronty. Dochází v případě střetnutí vícero požadavku v tentýž časový okamžik k odmítnutí požadavků OS. Tento model systému je označován za systém se ztrátami. Model **M/M/1/FIFO/0** je využíván u jednoduchých simplexních rádiových sítí, kdy pouze jeden požadavek obsazuje jeden kanálový zdroj a další požadavky jsou okamžitě odmítnuty.



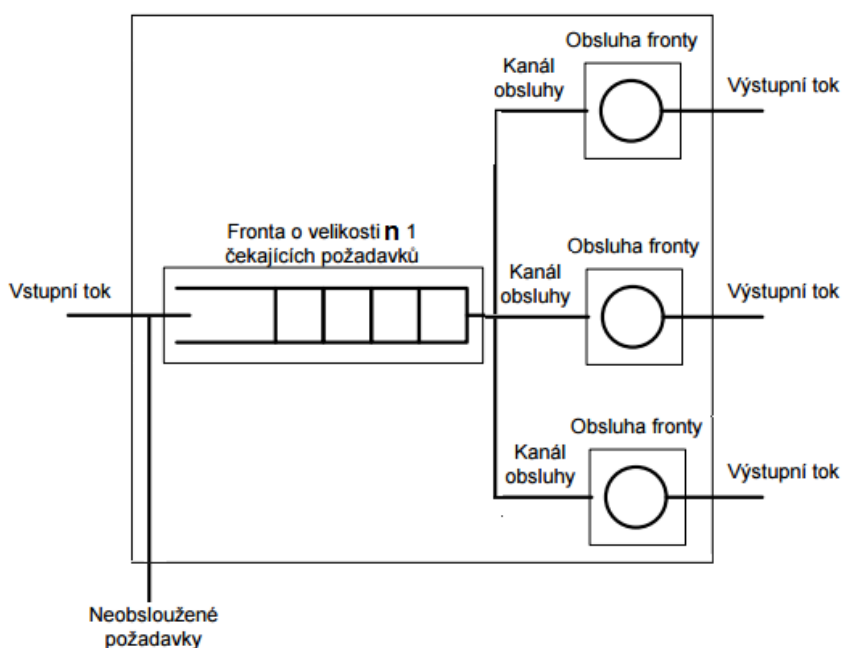
Obr. 5 - grafické znázornění modelu M/M/1/FIFO/0 [vlastní]

Dalším modelem, který má obdobné parametry a je hojně využíván pro rádiové sítě je model **M/M/c/FIFO/n**. Tento model disponuje oproti předešlému modelu změnu v počtu obslužných linek a také v konečné délce fronty.

Dle Kendallovy notace **n** označuje maximální počet požadavků, které se mohou nacházet v systému – tj. jeden požadavek je obsluhován a **n-1** požadavků čeká ve frontě na obsluhu. Protože kapacita fronty je konečná, požadavky, které přijdou v době, kdy je systém plně obsazen, jsou ztraceny a opouští systém bez obslužení. O takových požadavcích říkáme, že byly zablokovány a takový systém je označován jako systém se ztrátami. Pravděpodobnost ztracených požadavků (označovaná jako pravděpodobnost blokování – P_B) je u systémů se ztrátami jedním z nejdůležitějších parametrů.

$$P_B = \frac{(1 - \rho)\rho^n}{1 - \rho^{n+1}}$$

(8)



Obr. 6 - grafické znázornění požadavku s několika obslužnými linkami a konečnou délkou fronty [vlastní]

Tento model OS je využíván u většiny dnešních digitálních trunkových sítí, kdy je jednotlivé požadavky jsou základnovou stanicí obsluhovány dle dostupnosti jednotlivých kanálových zdrojů (obslužných stanic) a v případě zaneprázdnění všech kanálových zdrojů jsou další požadavky stavěny do fronty s konečnou délkou. Současné sofistikované rádiové systémy využívají model priorit, kdy některé komunikace mají přednost před ostatními (hlášení dispečera, tísň). S prioritami pracuje model **M/M/c/PRI/n**.

Prioritní mechanismy jsou mnohdy do síťových uzlů implementovány za účelem minimalizace vlivu zatížení sítě na zpoždění datového toku multimediálních služeb (datové řídicí kanály, autentizací procesy v síti). Tyto mechanismy tedy zmenšují zpoždění datových toků, které vyžadují přednostní obsluhu. Při implementaci priorit je nutné rozdělit provoz v síti do tzv. prioritních tříd provozu. Rozdělení se provádí s ohledem na citlivost služby na zpoždění. V modelu s prioritami uvažujeme, že příchody požadavků obou priorit do systému odpovídají Poissonovu rozložení (navzájem nezávislých), intenzity příchozů označíme jako λ_1 a λ_2 , doba obsluhy odpovídá exponenciálnímu rozložení s intenzitou μ a je tedy stejná pro všechny požadavky. Aby byla splněna podmínka stability, uvažujeme $\rho_1 + \rho_2 < 1$, kde ρ_1 představuje provozní zatížení tvořené požadavky první prioritní třídy a ρ_2 je provozní zatížení tvořené požadavky druhé prioritní třídy.

Prioritní mechanismy je možné rozdělit podle způsobu, jakým nakládají s datovými toky (vstupy), které jsou právě obsluhované. Rozlišujeme preemptivní prioritu a nepreemptivní prioritu. Preemptivní priorita zajišťuje, že pokud přijde do systému s obsazenou linkou obsluhy vstup, který má vyšší prioritu než momentálně obsluhovaný vstup, je obsluha vstupu s nižší prioritou přerušena nebo ukončena (preemptivní priorita lze dále dělit na mechanismy s dokončením obsluhy a bez dokončení obsluhy). Přijde-li do systému s obsazenou obsluhovou linkou vstup se stejnou nebo nižší prioritou než má vstup v obsluze, pak je příchozí vstup zařazen do fronty a jeho další zpracování se řídí prioritou a režimem fronty. Nepreemptivní priorita zajišťuje, že příchozí vstupy jsou v případě obsazené linky obsluhy řazeny do fronty bez ohledu na prioritu vstupů, které jsou momentálně obsluhovány. Po uvolnění linky obsluhy je následně obslužen vstup s nejvyšší prioritou, který je podle režimu fronty další v pořadí (každá prioritní třída má vlastní logickou frontu a jak se uvolní linka obsluhy, vstup na začátku fronty s nejvyšší prioritou vstoupí do obsluhové linky). [9]

5 Propustnost základních radiokomunikačních rozhraní v IZS ČR

Složky integrovaného záchranného systému (IZS ČR) využívají jako základní komunikační rozhraní radiokomunikační síť PEGAS a to v režimech skupinové komunikace, individuálního volání a přímé simplexní komunikace. Některé složky IZS ČR používají také analogovou rádiovou síť a to v převaděčovém režimu a také přímým simplexním režimu.

5.1 Propustnost radiokomunikačního rozhraní v radiokomunikační síti PEGAS

Propustnost radiokomunikační sítě PEGAS v systémovém režimu je závislá na počtu kanálových zdrojů na jednotlivých základnových stanicích, ke kterým jsou přihlášeny jednotlivé terminály a následně tvořící buňky. Z tohoto důvodu bychom museli zjišťovat propustnost jednotlivých základnových stanic – buněk. Pro zjištění propustnosti radiokomunikační sítě PEGAS jako celku nezáleží na zvoleném režimu komunikace, zda využíváme hovorové skupiny tzv. „Talkgroup“ (dále jen TKG), individuální hovory, nebo datové přenosy (AVL – poloha vozidel, statusové hlášení aj.). Systémový režim umožňuje takový počet komunikací, kolik základnová stanice obsahuje kanálových zdrojů, dnes je většina základnových stanic vybavena technologií 2. a 3. generace, tedy 12 a 16 kanálovými zdroji. Jeden kanálový zdroj je vždy využíván jako tzv. „vyhrazený kanál“ sloužící k neustálé komunikaci – ověřování a kryptografii komunikace mezi základnovou stanicí a terminály. Další kanálový zdroj je využit k datové komunikaci (statusy, AVL – lokalizace vozidel aj.), zbylé kanálové zdroje už jsou určeny pro jednotlivé skupinové komunikace (TKG, individuální volání apod.). U zbylých kanálových zdrojů je určena priorita pro tísňové volání, která v případě využití všech kanálových zdrojů, ukončí obsluhu stávajících uživatelů v OS a umožní obsluhu uživatele tísňového volání. V případě obsazení všech kanálových zdrojů, jsou požadavky ostatních uživatelů systémem odmítnuty.

Z pohledu propustnosti radiokomunikační sítě PEGAS jako celku lze jako zdroj považovat skupinové komunikace (TKG, AVL, statusy, individuální volání, malé konference, tiseň, broadcast apod.) Interval vstupu zdrojů (skupinových komunikací) jsou náhodné – exponenciální (M). Doba trvání obsluhy (aktivace skupinové komunikace) je taktéž náhodná (M). Počet obslužných linek je dle generace základnové stanice, tedy 8/12/16. Druh fronty je stanoven dle pořadí příchozů požadavků, v kterém do systému vstoupily. Délka fronty je neomezená.

Vstupní parametry:

- v systému je 16 obslužných linek (kanálových zdrojů),
- intervaly mezi příchody požadavků lze popsat exponenciálním rozdělením s parametrem λ , - (n/hod.)
- doba trvání obsluhy je náhodná veličina s exponenciálním rozdělením s parametrem μ , - (n/hod.)
- kapacita požadavků není teoreticky omezena a délka fronty taktéž, režim fronty je zvolen PRI – (s prioritou pro tísňové volání).
- radiokomunikační síť PEGAS může nabývat tří stavů:
 - (stav 0) - systém je prázdný a nejsou na něj kladeny žádné požadavky, vyčkává,
 - (stav 1) – systém odbavuje běžné požadavky (bez priority),

(stav 2) – systém je v poruše – okamžitě ukončí obsluhu běžných uživatelů (provádí obsluhu prioritních požadavků).

Z výše uvedených informací plyne, že pro určení propustnosti jedné základnové stanice v radiokomunikační síti PEGAS je vhodné využít model ve formátu: **M / M / 16 / PRI / ∞**.

6 Závěr

Článek si klád za cíl představit základy teorie hromadné obsluhy a zhodnotit použití jednotlivých modelů teorie hromadné obsluhy ve vztahu k propustnosti radiokomunikačních sítí. Dále najít nejlépe aplikovatelný model, ve vztahu k propustnosti, na radiokomunikační síť PEGAS používanou složkami integrovaného záchranného systému v ČR. Propustnost je jeden z nejdůležitějších parametrů každého obslužného systému a radiokomunikační sítě tvoří výjimku. Z výše uvedených parametrů bylo dosaženo závěru, že nejlépe aplikovatelným modelem teorie hromadné obsluhy je model, který pracuje s exponenciálním rozdělením vstupních požadavků a náhodnou dobou zpracování požadavku. Počet obslužných linek závisí na kanálových zdrojích jednotlivých základnových stanic a způsob fronty na prioritě jednotlivých požadavků. V současné době je většina moderních rádiových sítí používaných záchrannými složkami založena na tomto modelu.

Následný praktický výzkum zaměřený na měření časových intervalů vstupů a délky obsluhy jednotlivých základnových stanic radiokomunikační sítě PEGAS v reálném čase a jejich analýza je nezbytná pro následné matematické ověření tohoto modelu.

Literatura

- [1] Teorie hromadné obsluhy v praxi. Elektrověda [online]. Brno: Vladimír Kapoun, 2002 [cit. 2020-01-07]. Dostupné z: <http://www.elektrověda.cz/clanky/02019/index.html>
- [2] Teorie hromadné obsluhy. Teorie hromadné obsluhy [online]. Praha: Šárka Voráčová, 2008 [cit. 2020-01-07]. Dostupné z: <https://www.fd.cvut.cz/departament/k611/pedagog/K611THO.html>
- [3] Teorie hromadné obsluhy [online]. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2005 [cit. 2020-01-07]. Dostupné z: <http://pef.czu.cz/~BROZOVA/CASESTUDY/THO1.html>
- [4] Teorie hromadné obsluhy. Rozhodovací modely v praxi [online]. České Budějovice: Jihočeská Univerzita, 2006 [cit. 2020-01-07]. Dostupné z: http://www2.ef.jcu.cz/~jfrieb/rmp/data/teorie_oa/OBSLUHA.pdf
- [5] Teorie front [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2007 [cit. 2020-01-07]. Dostupné z: http://multiedu.tul.cz/~miroslav.zizka/multiedu/Teorie_front_1.pdf
- [6] Systémy hromadné obsluhy. OPERAČNÍ ANALÝZA [online]. Brno: Jiří Dvořák, 2000 [cit. 2020-01-07]. Dostupné z: www.uai.fme.vutbr.cz/~jdvorak/vyuka/tsoa/PredO11.ppt
- [7] Úvod do teorie hromadné obsluhy. Operační analýza [online]. Žilina: Katedra technických vied a informatiky, 2016 [cit. 2020-01-07]. Dostupné z: http://www.fsi.uniza.sk/ktvi/leitner/2_predmety/SMOA/05_THO/%C3%9A%20do%20THO.pdf
- [8] RVP - metodický portál: Parametry počítačových sítí [online]. Praha: RVP, 2012 [cit. 2020-01-08]. Dostupné z: <http://clanky.rvp.cz/clanek/a/14721/15061/PARAMETRY-POCITACOVYCH-SITI.html/>
- [9] RÝZNER, Zdeněk. VYUŽITÍ TEORIE HROMADNÉ OBSLUHY PŘI NÁVRHU A OPTIMALIZACI PAKETOVÝCH SÍTÍ. Brno, 2011. Diplomová práce.
- [10] SOSINSKY, Barrie A. Mistrovství – počítačové sítě. Brno: ComputerPress, 2010. Mistrovství (ComputerPress). ISBN 978-80-251-3363-7.