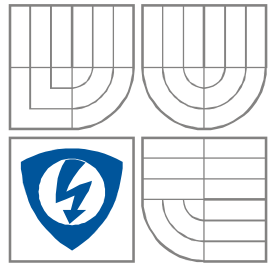


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A  
KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

## QoS V SYSTÉMU UMTS

QoS IN UMTS SYSTEM

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. RADOVAN KAVAN

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. PETR KEJÍK

BRNO, 2009

---

# LICENČNÍ SMLOUVA POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

## 1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Bc. Radovan Kavan  
Bytem: Hegerova 286, Polička, 572 01  
Narozen/a (datum a místo): 10. září 1984 v Poličce

(dále jen „autor“)

a

## 2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií  
se sídlem Údolní 53, Brno, 602 00  
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:  
prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida, předseda rady oboru Elektronika a sdělovací technika  
(dále jen „nabyvatel“)

### Čl. 1

#### Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- disertační práce
  - diplomová práce
  - bakalářská práce
  - jiná práce, jejíž druh je specifikován jako .....
- (dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: QoS v systému UMTS

Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. Petr Kejík

Ústav: Ústav radioelektroniky

Datum obhajoby VŠKP: \_\_\_\_\_

VŠKP odevzdal autor nabyvateli\*:

- v tištěné formě – počet exemplářů: 2
- v elektronické formě – počet exemplářů: 2

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.

3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.

4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

---

\* hodící se zaškrtněte

---

## Článek 2

### Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
  - ihned po uzavření této smlouvy
  - 1 rok po uzavření této smlouvy
  - 3 roky po uzavření této smlouvy
  - 5 let po uzavření této smlouvy
  - 10 let po uzavření této smlouvy  
(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

## Článek 3

### Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: 29. května 2009

.....  
Nabyvatel

.....  
Autor

---

## ABSTRAKT

Tato práce pojednává o kvalitě služeb QoS (Quality of Service) v systému UMTS. Termín kvalita služeb je v poslední době velice používaným, a to nejen v počítačových sítích ale stále více také v sítích mobilních. Nynější systém 2. generace (2G) GSM umožňuje pouze omezeně využívat funkce QoS. Systém UMTS je již systémem 3. generace (3G) a kvalita služeb je v něm zastoupena ve větší míře a je zajišťována několika algoritmy a funkcemi. Jednotlivé funkce QoS umožňují efektivní využití rádiového rozhraní, zajišťují udržení plánovaného pokrytí oblasti a nabízejí vysokou spektrální účinnost. Funkce zajišťující kvalitu služeb jsou nazývány funkcemi RRM (Radio Resource Management). V systému UMTS existuje pět základních funkcí, kterými jsou Admission control (AC), Power control (PC), Load control (LC), Handover control (HC) a Packet scheduler (PS). Jedná se o funkce řízení přístupu do sítě, řízení výkonu, regulace zatížení sítě, řízení handoveru a plánování toku paketů (bitové rychlosti). Poslední tři funkce se obvykle označují souhrnným názvem Congestion control, tedy kontrola přetížení sítě. Diskutován je vrstvý model UMTS, rozdělení jednotlivých služeb systému, jednotlivé provozní třídy a také koncept 3GPP. V práci je pozornost zaměřena na algoritmus Admission control, tedy řízení přístupu do sítě, a to ve směru uplinku a na odlišné způsoby přístupu k modelování zátěže v buňce. Jednotlivé přístupy jsou simulovány v programu MATLAB. Na závěr je diskutováno možné využití mechanismu v reálném systému.

## KLÍČOVÁ SLOVA

QoS, UMTS, GSM, 3GPP, RRM, AC, PC, LC, HC, PS, MS, UE, HO, WCDMA, UTRAN, GERAN, GB, NGB, CR, priorita, služba, nosná, vrstva, zátěž, činitel zatížení, uplink, downlink, pravděpodobnost odmítnutí uživatele vyjma HO uživatelů, pravděpodobnost odmítnutí HO uživatele

---

## ABSTRACT

This thesis treats of QoS (Quality of Service) in UMTS system. The term quality of service is frequently used, recently, however not only in computer networks, but also more and more in mobile networks also. Present system of 2nd generation (2G) GSM enables only limited exploitation of QoS function. System UMTS is a system of 3rd generation (3G) already and contains quality of service in greater measure which is ensured with number of algorithms and functions. Individual QoS functions enable effective utilization of radio interface, support maintenance of planned coverage and offer high spectral efficiency. Functions that cater to quality of service are called RRM functions (Radio Resource Management). There exist five basic functions in UMTS system that are Admission control (AC), Power control (PC), Load control (LC), Handover control (HC) and Packet scheduler (PS). These functions are responsible for control of network access, control of power, control of network load, control of handover and packet (bit rate) scheduling. Last three functions are usually collectively designated as Congestion control, control of network overload. UMTS layer model, differentiation of services, traffic classes and 3GPP concept are also discussed. In thesis the attention is paid to Admission control algorithm – control of network access – in the uplink direction and to different ways of load (in the cell) modeling. Individual approaches are simulated in MATLAB. A possibility of using algorithm in the real system is discussed in conclusion.

## KEYWORDS

QoS, UMTS, GSM, 3GPP, RRM, AC, PC, LC, HC, PS, CC, MS, UE, HO, WCDMA, UTRAN, GERAN, GB, NGB, CR, priority, service, bearer, layer, load, load factor, uplink, downlink, Blocking probability, Dropping probability

### **Bibliografická citace:**

KAVAN, R. *QoS v systému UMTS: diplomová práce*. Brno: FEKT VUT v Brně, 2009. 71s., 0 příl.

---

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci na téma QoS v systému UMTS vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

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

V Brně dne 29. května 2009

.....  
podpis autora

## Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Petru Kejíkovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne 29. května 2009

.....  
podpis autora

---

# OBSAH

<b>OBSAH</b> .....	<b>7</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>8</b>
<b>1. UMTS</b> .....	<b>9</b>
<b>2. VRSTVOVÝ MODEL UMTS</b> .....	<b>10</b>
2.1 KLASIFIKACE KONCOVÝCH SLUŽEB .....	10
2.2 KONCEPT 3GPP .....	12
2.2.1 Vrstvy (Bearer Layers).....	13
2.2.2 Protokol PDP.....	13
<b>3. QOS (QUALITY OF SERVICE)</b> .....	<b>15</b>
3.1 DEFINICE QoS .....	15
3.2 QoS v SYSTÉMU UMTS.....	17
3.2.1 Admission control .....	17
3.2.2 Handover control.....	21
3.2.3 Power control .....	23
3.2.4 Packet ( bit rate ) scheduler .....	24
3.2.5 Load control .....	25
<b>4. MODEL Y AC UPLINK ALGORITMŮ</b> .....	<b>28</b>
4.1 MATEMATICKÝ MODEL AC UPLINK ALGORITMU .....	28
4.1.1 Výpočet zátěže .....	28
4.2 STATISTICKÉ AC UPLINK ALGORITMY .....	32
4.2.1 První statistické přiblížení.....	32
4.2.2 Druhé statistické přiblížení.....	33
<b>5. SIMULACE AC UPLINK ALGORITMŮ V PROSTŘEDÍ MATLAB</b> .....	<b>35</b>
5.1 MODEL AC UPLINK ALGORITMU .....	35
5.2 AC UPLINK ALGORITMUS S PRŮMĚROVÁNÍM.....	39
5.3 AC UPLINK ALGORITMUS S RŮZNÝM CHARAKTEREM PROVOZU .....	44
5.4 AC UPLINK ALGORITMUS S RŮZNOU INTENZITOU PŘÍCHOZÍCH UŽIVATELŮ .....	47
5.5 VYUŽITÍ FRONT .....	50
<b>6. STATISTICKÉ AC UPLINK ALGORITMY</b> .....	<b>54</b>
6.1 1. STATISTICKÉ PŘIBLÍŽENÍ.....	54
6.2 2. STATISTICKÉ PŘIBLÍŽENÍ.....	57
6.3 SROVNÁNÍ AC UPLINK ALGORITMŮ .....	59
<b>7. VYUŽITÍ V REÁLNÉM SYSTÉMU</b> .....	<b>64</b>
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>66</b>
<b>LITERATURA</b> .....	<b>68</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK</b> .....	<b>69</b>

---

# ÚVOD

Rádiové mobilní sítě se v posledních letech staly velkým konkurentem pevných telekomunikačních sítí a v současné době již téměř zcela převládají. Důvodem je především fakt, že kromě stejných služeb, které nabízejí pevné sítě, mohou účastníkovi navíc nabídnout komunikaci při zachování jeho mobility a účastník se tak může pohybovat, aniž by ztratil kontakt s okolním světem. Pevné a mobilní sítě jsou většinou vzájemně propojeny, takže účastníci spolu mohou bez problémů komunikovat. Významným momentem, který přinesl radikální změny do telekomunikačních sítí, byl nástup nových technologií spojování a přenosu, založených na použití polovodičových prvků, digitálním zpracování signálů a programovém řízení telekomunikačních systémů.

Mobilní buňková síť umožňuje pohyb mobilního koncového zařízení (UE či MS) na území pokrytém buňkami. Prostor buňky je pokryt radiovým signálem ze základnové stanice (BTS). První veřejné radiotelefonní sítě, označované jako systémy 1. generace (1G), používaly radiotelefonní systémy s přenosem analogových signálů. Mezi tyto systémy patří jednak systémy analogové buňkové (NMT, AMPS) či analogové bezšňůrové telefony. V současné době se již používají systémy s přenosem digitálních signálů, jež jsou řazeny mezi systémy 2. generace (2G). Do této skupiny patří především digitální buňkový systém GSM, dále pak také systémy DECT, ERMES či Iridium. Díky použití nejmodernější technologie mohou tyto systémy využít i nejnovější poznatky z oblasti zpracování digitálních signálů. Kromě přenosu hovorových signálů, pro které byly původně určeny, se v nich začíná v narůstající míře používat i přenos datových signálů, tj. přenos různých textů a obrazů (cca 9,6 kbit/s). Dalším vývojem v mobilních buňkových sítích je spojení systémů GSM a DECT ve snaze využít výhod obou systémů. Tato myšlenka byla dalším evolučním krokem k systémům třetí generace. Za největší výhody systému GSM lze považovat vyšší efektivitu využití kmitočtového pásma, širší sortiment nabízených služeb, odolnost proti odposlechu, mnohacestnému šíření a interferencím. K nevýhodám patří malá provozní kapacita, horší kvalita přenosu hovorových signálů, složitost systému a nižší rychlosti přenosu dat (9,6 kbit/s). Mezi druhou a třetí generací stojí systémy podporující přenos dat s větší rychlostí než je tomu u klasické GSM. Jedná se o systémy GSM – GPRS, HSCSD a EDGE (2,5G a cca 64 kbit/s). Mezi systémy 3. generace (3G) patří systémy souhrnně označované jako IMT – 2000 (*International Mobile Telecommunication in the year 2000*). Jsou to systémy UMTS a MBS, které umožňují ještě větší rychlost přenosu dat než je tomu u systémů 2,5G (cca 2Mbit/s). U mobilních sítí se stává stále více důležitým aspektem tzv. kvalita služeb QoS (*Quality of Service*). Uživatel požaduje, aby mu byla poskytnuta určitá kvalita služby např. při hovoru či datovém přenosu. Konkrétně se jedná například o garantovanou bitovou rychlost či šířku pásma. V počítačové oblasti se pojmem QoS rozumí řízení datových toků v síti tak, aby nedocházelo k jejímu zahlcování. V mobilních sítích k tomu přistupuje několik dalších aspektů, které vycházejí z architektury sítě. QoS je obsažena již v systému GSM, avšak pouze v malé míře. Větší zastoupení QoS mají sítě 3G.

V této diplomové práci je pojednáno o zajišťování QoS v systému UMTS, je zmíněn vrstvý model systému a pojednáno o jednotlivých mechanismech zajišťování QoS. Na základě studia je poté subjektivně vybrán jeden mechanismus a ten je podroben důkladnějšímu rozboru. V dalším průběhu práce je tento mechanismus zkoumán v programu MATLAB. Je vytvořen program umožňující sledování vlivu jednotlivých parametrů a nastavení na kvalitu služeb. Jako cíl práce budou stanoveny vlastnosti vybraného simulovaného mechanismu z hlediska jeho možného využití v reálném systému UMTS a také obecná doporučení pro nastavení jeho parametrů, tak aby QoS byla co nejvyšší.



---

# 1. UMTS

Ve vývojové řadě mobilních radiokomunikačních systémů je Univerzální Mobilní Telekomunikační Systém UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*) řazen mezi systémy třetí generace 3G. Na vývoji tohoto systému se v Evropě pracuje asi od roku 1990, vývojové práce koordinuje Evropský Telekomunikační Institut ETSI. Systém UMTS spadá do kategorie systémů, které se označují zkratkou IMT – 2000 (*International Mobile Telecommunication in the year 2000*). Mezi tyto systémy se řadí také Mobilní širokopásmový systém MBS (*Mobile Broadband System*), který je v Evropě vyvíjen souběžně se systémem UMTS. Tyto systémy musí splňovat společná doporučení a v praxi proto budou kompatibilní. Systém IMT – 2000 je definován jako otevřený mezinárodní standard pro mobilní telekomunikační systémy s vysokou kapacitou a vysokou přenosovou rychlostí, zahrnující v sobě pozemní i družicové radiokomunikační prostředky a spolupracující pozemní pevné sítě. Na rozdíl od systémů druhé generace, určených především pro přenos hovorových signálů a datových signálů s nízkou přenosovou rychlostí, systém UMTS umožňuje přenos dat se zvýšenou rychlostí a je orientován na multimediální aplikace.

Rychlost přenosu datových signálů je proměnná v závislosti na rychlosti pohybu mobilní stanice MS (*Mobile Station* ale také UE – *User Equipment*). V nepříznivých podmínkách rádiového prostředí, kdy je rychlost MS několik stovek km/hod., je přenosová rychlost signálu minimálně 144 kbit/s. Při pomalém pohybu MS (chůzi) je přenosová rychlost minimálně 384 kbit/s a v případě, kdy MS bude v klidu nebo v dosahu jedné pikobuňky, vzroste přenosová rychlost až na cca 2 Mbit/s. Systém podporuje spojování s rychlým paketovým přenosem dat, například bezdrátový přístup k síti Internet, ale i spojování s přepínáním okruhů. V některých aplikacích může být přenos výrazně asymetrický, tj. přenosová rychlost signálu v jednom směru (většinou v downlinku) je výrazně vyšší než přenosová rychlost signálu ve směru opačném. S tím souvisí i princip přidělu šířky pásma podle potřeby (*bandwidth on demand*), který výrazně zvyšuje efektivitu využití kmitočtového pásma. Pro systém UMTS jsou vyhrazena pásma v okolí 2 GHz. Pozemní rádiové rozhraní systému UMTS se označuje UTRA nebo UTRAN (*UMTS Terrestrial Radio Access Network*) a realizuje komunikaci TDD (*Time Division Duplex*) i FDD (*Frequency Division Duplex*), tedy jak časový, tak frekvenční duplex. Princip TDD se používá u nepárovaných pásem, která využívají technologii TD – WCDMA (*Wideband CDMA – širokopásmová CDMA*) vhodná pro asymetrické vysokorychlostní datové přenosy. Zde jsou provozovány služby s výraznou nesymetrií provozu, například video na vyžádání, apod. Princip FDD je pak používán u párovaných pásem, pro něž byla zvolena technologie FD – WCDMA, vhodná pro velkoplošné pokrytí a pro hovorové a středně rychlé symetrické datové služby. Základnové stanice pracují v asynchronním režimu. Tato párovaná pásma jsou využívána různými operátory pro zajištění celoplošných služeb s výraznou symetrií provozu, například videokonference, apod. Podobně jako všechny systémy CDMA je však tato technologie náročná na regulaci výkonu MS (UE) i BS (*Base Station – Node B*). V systému UMTS jsou vyhrazena také pásma pro družicovou komunikaci či přístup prostřednictvím systému DECT.

Základní přístupovou metodou je již zmíněný širokopásmový kódový multiplex s přímým rozprostřením DS – WCDMA. Pracuje se základní čipovou rychlostí 3,84 Mchip/s, šířkou kmitočtového pásma 5 MHz a je zajištěna přenosová rychlost do 2 Mbit/s. Pro sestupnou trasu (*downlink*) je zvolena modulace QPSK, pro vzestupnou trasu (*uplink*) modulace OCQPSK. Je využito dynamického přidělování kanálů DCA (*Dynamic Channel Allocation*) a použit měkký handover. V systému UMTS je zajišťována kvalita služeb QoS (*Quality of Service*), o které bude pojednáno v následujících kapitolách.

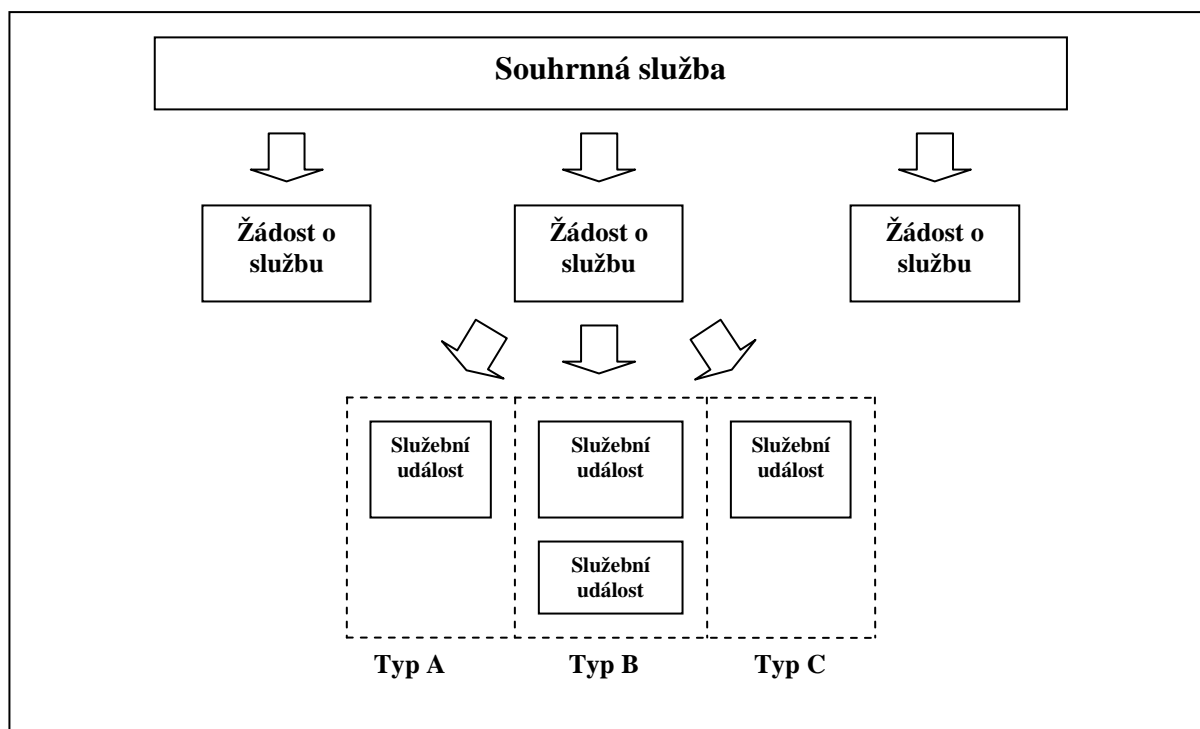
## 2. Vrstvový model UMTS

### 2.1 Klasifikace koncových služeb

Koncové služby (tzv. *End – user services*) mají řadu vlastností. Individuální koncová služba se může skládat z mnoha součástí a charakteristik, které se mohou v závislosti na těchto součástech lišit. Žádost o službu se skládá z tzv. služebních událostí, což mohou být pro představu např. peněžní toky, peněžní transakce, internet browsing, audio či video přenos. Služební události mohou být dále klasifikovány jako typy služebních událostí. Koncové služby mohou být rozděleny do pěti kategorií. Tato klasifikace je vymyšlena pro účely SM (*Service Management*):

- |                             |   |                            |
|-----------------------------|---|----------------------------|
| ➤ Data transfer             | – | datový přenos              |
| ➤ Interactive data transfer | – | interaktivní datový přenos |
| ➤ Messaging                 | – | posílání zpráv             |
| ➤ Streaming                 | – | RT audio, video            |
| ➤ Conferencing media        | – | konferenční audio, video   |

*Data transfer* odpovídá tzv. *background transfer* přenosu (*background data = konstantní data*), tedy přenosu velkého množství konstantních dat (např. někde uložených). *Interactive data transfer* očekává interaktivitu (*interaktivní = umožňující vzájemnou komunikaci*) koncového uživatele a tento přenos je založen na charakteru žádost / odpověď. Typickým příkladem této služby je *internet browsing*. Služba *Messaging* zahrnuje služby, které přepravují textové zprávy mezi koncovými uživateli. *Streaming* obstarává přenos *Real Time* (RT) obsahu od poskytovatele k zákazníkovi. RT obsahem může být např. video nebo audio v reálném čase. *Conferencing media* souvisí s audio a video zasedáními, čehož je využito pro konferenční účely. Na Obr. 2.1.1 můžeme vidět, že se jednotlivé koncové služby skládají z mnoha typů služebních událostí.



Obr. 2.1.1 Vztah mezi souhrnnou službou, žádostí o službu a služebními událostmi

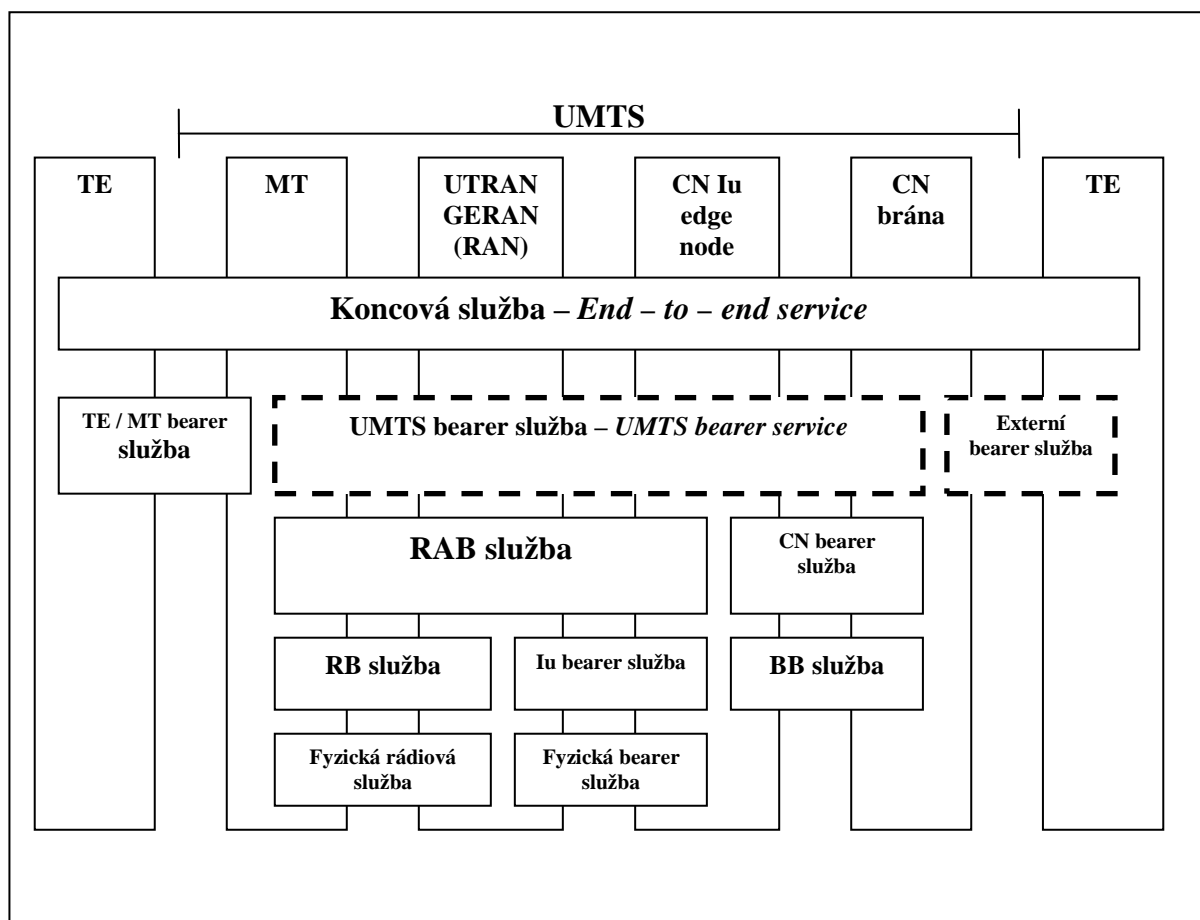
V následujícím textu bude použito označení vrstev modelu ISO / OSI (*International Organisation for Standardisation / Open Systems Interconnection*). Označení L1 tedy odpovídá fyzické vrstvě, L2 odpovídá linkové vrstvě, označení L3 odpovídá síťové vrstvě a L4 pak transportní vrstvě. Označení vyšších vrstev nebude použito. Protokoly vrstvy L4, jako jsou například UDP, TCP nebo SCTP mají vliv především na spolehlivost přenosu. *Transmission Control Protocol* (TCP) umožňuje spolehlivý datový přenos, zatímco *User Datagram Protocol* (UDP) nikoliv. *Stream Control Transmission Protocol* (SCTP) nabízí obojí, jak spolehlivou tak nespolehlivou verzi. Všechny protokoly vrstvy L4 podporují slučování toku dat (*multiplexing*) s tím, že berou v úvahu sdílení koncové IP adresy určitým počtem portů. Pokud spolehlivý datový přenos není poskytován vrstvou L4, může být implementován do vrstvy L2 nebo až do vrstvy aplikační. Vrstva L3, tedy IP (*Internet Protocol*), nenabízí spolehlivý datový přenos. Spolehlivá služba je taková, která rozpozná chybu a vyžádá si opakování přenosu, zatímco u nespolehlivé služby se poškozená data zahodí a ošetření případné chyby je ponecháno až na koncové aplikaci. Pro datový přenos se typicky používá protokol TCP, který nabízí spolehlivý i nespolehlivý přenos a funkci kontroly toku dat. TCP vykonává kontrolu toku dat na základě příchozího typu paketů na přijímací straně, přičemž je používán potvrzovací mechanismus. Protokol TCP nemůže odlišit pakety ztracené zahlcením sítě od paketů ztracených z jiných důvodů. Obecně je TCP funkcí ztráty paketů a propustnosti. Protokol TCP pracuje nejlépe, když je propustnost stálá a ztrátovost paketů minimální. Přenos RT (*Real Time*) médií jako je telefonie nebo streaming přes IP síť vyžaduje podpůrné protokoly. Obvykle používanými protokoly pro tento účel jsou *Real Time Protocol* (RTP) a *Real Time Control Protocol* (RTCP). Dalším problémem je schéma používané pro měření shody bitových rychlostí jednotlivých datových provozů. V Internetu je používána metoda „tekoucího vědra“ – tzv. *Leaky Bucket*. Délka paketu je významná pro tzv. *scheduling* viz kapitola 3.2.4. Doba přenosu jednoho paketu je závislá na jeho délce. Proměnné zpoždění způsobené delšími pakety může být zmírněno segmentací do nižší vrstvy.

Jednotlivé vrstvy		Protokoly
Transportní vrstva	L4	Protokoly UDP, TCP, SCTP
Síťová vrstva	L3	Protokol IP, protokol RRC, protokolem RRC je kontrolována veškerá činnost protokolů nižších
Linková vrstva	L2	Vrstva MAC a RLC, tyto vrstvy jsou spojeny logickými kanály, protokoly PDCP a BMC, 3GPP nosné
Fyzická vrstva	L1	Modulace, rozprostírání, derozprostírání, scrambling, <i>power control</i> , vrstvy PHY a MAC jsou spojeny transportními kanály

Obr. 2.1.2 Protokoly rádiového rozhraní UTRA FDD

## 2.2 Koncept 3GPP

Zkratka 3GPP znamená *3rd Generation Partnership Project*. Jedná se o partnerský projekt zahrnující dohodu o spolupráci na vývoji standartu UMTS. Cílem konceptu 3GPP bylo vyvinout síť třetí generace (3G) mobilních telefonů v rozsahu projektu ITU IMT-2000. Jedná se o vývoj technické specifikace, dokumentace atd. pro telekomunikační systém, který vychází z principů systému GSM a technologií rádiového přístupu UTRA-TDD a UTRA-FDD. Tento koncept nabízí jistou souvislost pro služby typu např. klient – server nebo typu *connectivity* (spojité služby). Příklady těchto dvou typů obsahově zahrnuje např. *browsing* jako první typ služby a *messaging* jako typ druhý. Zpřístupněné služby (tzv. služby povolené sítí) se mohou nacházet v PLMN (*Public Land Mobile Network*) nebo mohou být externí (tedy z jiné vnější sítě). Konceptně se poskytovaná podpora kvality služeb skládá jednak z části UMTS ale také z částí, které mohou patřit do oblasti poskytovatele služeb, externích sítí nebo do oblasti, vztahující se ke specifickému zařízení, které uživatel používá pro přístup k danému typu služby. Požadavky na jednotlivé služby a jejich charakteristiky jsou různé v závislosti na typu služby. Proto by podpora kvality služeb poskytovaná sítí UMTS měla být příznivě adaptabilní (přizpůsobivá) danému typu služby, o níž uživatel žádá. V architektuře 3GPP je zajištění rozdílného zacházení se službami reprezentováno použitím nosných (*bearers*). Nosná je spojena s určitou úrovní služby. Obr. 2.2.1 ukazuje 3GPP modely vícenásobných úrovní nosných. V obrázku znamená MT (*Mobile Terminal* – mobilní terminál), TE (*Terminal Equipment* – terminálové zařízení), RAB (*Radio Access Bearer* – nosná s informací o rádiovém přístupu), CN (*Core Network* – páteřní síť), BB (*BackBone service* – páteřní služba) a RB (*Radio Bearer* – rádiová nosná).



Obr. 2.2.1 3GPP nosné pro UMTS  
(předloha obrázku převzata z [1])

---

Koncept 3GPP rozlišuje mezi mobilním terminálem MT a terminálovým zařízením TE. Původcem tohoto rozlišení je koncový bod nosné, kterým by mohly například být UMTS mikrotelefon (sluchátko) nebo PCMCIA (*PC Modulator Computer Interface Adapter*) karta. MT může být použit společně s TE např. jako laptop. Spojení TE a MT může ovlivnit koncovou službu a je tak modelováno jako *bearer* služba (nosná služba). MT komunikuje s RAN (*Radio Access Network*), což by v případě UMTS mohlo být buď rozhraní UTRAN nebo GERAN v případě sítě GSM EDGE. V případě rozhraní UTRAN se seskupení RAN sestává ze základnové stanice (*Node B*) a RNC (*Radio Network Controller*). Pátevní síť CN se skládá ze dvou typů entit, jmenovitě CN *Iu edge node* (krajní uzel) a CN *gateway* (brána). První rozhraní směrem k rozhraní Iu spojuje CN s RAN, zatímco druhé vystupuje jako rozhraní pro celou doménu UTRAN směrem k vnějším sítím. Zajišťuje tedy spojení s vnějšími sítěmi. V praxi je CN *Iu edge node* uzlem SGSN (*Serving GPRS Support Node*) a CN *gateway* je uzlem GGSN (*Gateway GPRS Support Node*).

### 2.2.1 Vrstvy (Bearer Layers)

Služba UMTS *bearer* je definována mezi MT a CN *gateway* (bránou) a je podporována sadou základních prvků. Společně s TE/MT službou není externí služba součástí vlastností UMTS *bearer* služby. Přesto však systém 3GPP podporuje související funkce jak bude ukázáno dále. Služba UMTS *bearer* je podporována službami nižší vrstvy, zahrnující RB službu, Iu *bearer* službu a pátevní (BB) službu. 3GPP nosná je „vyjednána“ mezi CN bránou a MT. MT může blíže určit profil QoS a zanechat některé parametry nedefinované. V takovém případě budou tyto parametry vyplněny samotnou sítí. V současném schématu konceptu 3GPP může mobilní síť zhoršit úroveň kvality služby, která je požadována MT, ale nemůže ji zlepšit. Jednotlivé procedury jsou specifikovány pro zavádění nosných, jejich modifikaci a tzv. uvolnění. Modifikace nosné může být potřebná například, když jsou nové služby nebo nové datové toky mapovány na již existující nosnou vlnu, která tedy není nově zaváděna ani rušena (uvolňována). Z hlediska koncových IP služeb reprezentuje 3GPP nosná a nosné níže vrstvu L2, tedy linkovou vrstvu. Systém 3GPP poskytuje atributy QoS pro specifikaci, zdali je třeba spolehlivosti nebo nikoliv. Zavádění nosných stejně jako mapování služeb na již existující nosné je důležité pro uskutečnění koncové služby.

### 2.2.2 Protokol PDP

Protokol PDP je používán pro přenos paketových dat v systému 3GPP. Vytvoření a modifikace PDP kontextů je požadována terminálem. PDP kontext je spojen s tzv. PDP adresou. PDP kontext, který byl jako první vytvořen za účelem PDP adresy, se nazývá *primárním* PDP kontextem, následně vytvořené kontexty sdílejí stejnou PDP adresu a jsou nazývány sekundárními PDP kontexty. Obvykle mohou vícenásobné toky (*multiple flows*) sdílet jeden PDP kontext. PDP kontext je spojen s parametry kvality služby. Sada parametrů kvality služby je nazývána QoS profilem. QoS profil se skládá z následujících parametrů (jsou vybrány pouze parametry, které budou v rámci této práce používány):

- *Traffic class* - provozní třída
- *Maximum bit rate* - maximální bitová rychlost
- *Guaranteed bit rate* - garantovaná bitová rychlost
- *Transfer delay* - přenosové zpoždění
- *Traffic Handling Priority (THP)* - priorita THP
- *Allocation/Retention Priority (ARP)* - priorita ARP
- *Maximum Service Data Unit (SDU) size* - maximální velikost SDU

Provozní třídy představují kategorizaci služeb (*bearer services*) na vysoké úrovni (tzv. *high – level*). V konceptu 3GPP QoS rozlišujeme čtyři kategorie provozních tříd:

- *Conversational class*, tato třída zachovává vzájemné pořadí datových jednotek SDU a poskytuje služby UMTS s malým zpožděním. Tato třída zahrnuje hlasové služby, video konference a online hry.
- *Streaming class*, tato třída rovněž zachovává vzájemné pořadí datových jednotek SDU a je vhodná např. pro fax, video a audio *streaming* a multimedia *streaming*.
- *Interactive class*, tato třída poskytuje garantované doručování pro služby typu žádost / odpověď. Je vhodná pro interaktivní služby jako je *web browsing*, email, FTP a zpřístupnění databází.
- *Background class*, tato třída rovněž poskytuje garantované doručování. Je vhodná např. pro doručování emailů, FAX a SMS.

Maximální bitová rychlost je důležitá pro všechny provozní třídy a definuje maximální okamžitou bitovou rychlost pro PDP kontext. Garantovaná bitová rychlost je důležitá pouze pro RT (*Real Time*) provozní třídy – třídy *conversational* a *streaming*. Přenosové zpoždění specifikuje 95% hodnotu z maximálního zpoždění datových jednotek SDU pro doručení na UMTS nosné během doby trvání služby. Priorita THP může být použita pro specifikaci vzájemné důležitosti různých SDU mapovaných na stejnou interaktivní třídu PDP kontextu. Parametr ARP definuje důležitost PDP kontextu ve vztahu k ostatním PDP kontextům a může být použit např. ve funkci *admission control*.

Tab. 2.1 Třídy QoS v systému UMTS s definicí priority [2]

Příklad služby	Třída QoS	Priorita	Maximální bitová rychlost [ kb/s ]	$E_b / N_0$ [ dB ]
<b>Hovor</b>	<i>Conversational</i>	<b>Vysoká</b>	<b>12.2</b>	<b>6.7</b>
<b>Video</b>	<i>Streaming</i>	<b>Střední</b>	<b>64, 144, 384</b>	<b>3.6, 3.1, 3.7</b>
<b>WWW</b>	<i>Interactive</i>	<b>Nízká</b>	<b>64, 144, 384</b>	<b>3.6, 3.1, 3.7</b>
<b>Email</b>	<i>Background</i>	<b>Nejnižší</b>	<b>Nedef.</b>	<b>Nedef.</b>

---

## 3. QoS (Quality of Service)

### 3.1 Definice QoS

Termín „*Quality of Service*” (kvalita služeb) má v dnešní době mnoho významů a proto je složité najít pro něj jednoznačnou definici. Pojem kvalita služby (QoS) vyjadřuje jeden z trendů vývoje technologií a služeb nejen počítačových sítí – poskytovat uživatelům služby s definovanou kvalitou. S pojmem QoS se můžeme setkat především v počítačových sítích, kde v poslední době dochází k rozvoji služeb, jejichž úspěšnost z pohledu uživatele významně závisí na kvalitativních charakteristikách komunikace přes počítačovou síť. Jde například o služby IP telefonie, videokonference, distribuované výpočty nebo přenosy velkých objemů dat. Uživatel požaduje, aby mu byla poskytnuta určitá kvalita služby. Příkladem kvality služby na úrovni aplikace může být videesignál určitého rozlišení o určitém počtu obrázků za sekundu, výměna zpráv mezi komunikujícími aplikacemi s určitým maximálním zpožděním a určitou maximální ztrátovostí (ta musí být kompenzována opakováním zpráv) nebo přenos určitého objemu dat v určitém čase. Pro řešení uvedených problémů je třeba vytvořit systém pro komplexní monitorování charakteristik a činností všech komponentů komunikační trasy. Tento systém je poté třeba využít k detekci problémových míst a jejich odstraňování. Podobným způsobem se snaží kvalitu služeb zajistit také síť mobilní. Důvodem je stále více se rozvíjející uplatnění mobilních telefonů v mnoha různých sektorech (platby, bankovníctví, TV vysílání, Internet atd.) Mezinárodní telekomunikační unie (ITU – T) uvádí k tomuto pojmu několik hledisek:

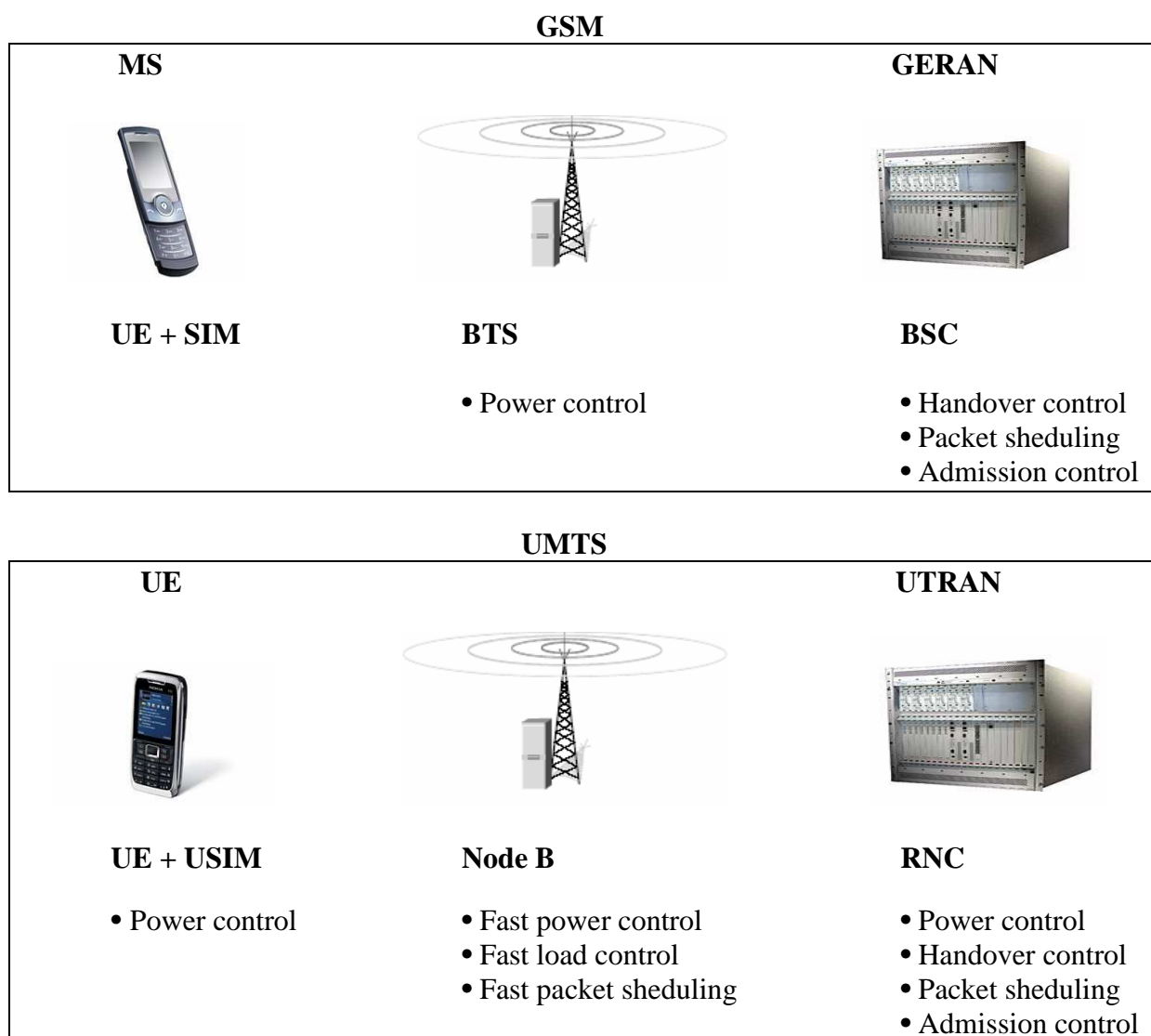
- Požadavky na QoS z pohledu zákazníka
- QoS plánovaná poskytovatelem služeb – operátorem
- QoS dodaná poskytovatelem služeb
- QoS vnímaná zákazníkem

Někdy se QoS používá také jako termín, který v sobě zahrnuje mechanismy užívané pro odlišné zacházení s jednotlivými typy dat. Jak vidíme, na QoS se můžeme dívat jednak z pohledu koncového uživatele (*end-user*) a jednak z pohledu poskytovatele služeb (*provider*). Jednotlivé funkce QoS umožňují efektivní využití rádiového rozhraní a přenosových zdrojů. Zajišťování QoS v síti UMTS provádějí algoritmy RRM (tzv. *Radio Resource Management*). Tyto algoritmy zajišťují udržení plánovaného pokrytí oblasti a nabízejí vysokou spektrální účinnost. Funkce RRM mohou být rozděleny do následujících pěti kategorií:

- |   |                          |      |   |                         |
|---|--------------------------|------|---|-------------------------|
| ➤ | <i>Power control</i>     | (PC) | - | řízení výkonu           |
| ➤ | <i>Handover control</i>  | (HC) | - | řízení handoveru        |
| ➤ | <i>Admission control</i> | (AC) | - | řízení přístupu do sítě |
| ➤ | <i>Load control</i>      | (LC) | - | regulace zatížení sítě  |
| ➤ | <i>Packet scheduling</i> | (PS) | - | paketový plánovač       |

Poslední tři funkce jsou někdy slučovány do jedné kategorie tzv. *Congestion control* (CC), sdružující algoritmy, které zabraňují přetížení sítě. *Power control* (PC) je funkce založená na spojení mobilní a základnové stanice, tzv. *connection – based function*, u níž jsou nutné minimální interferenční úrovně. *Handover* je funkce celulárních sítí, zajišťující přepnutí spojení mezi mobilní stanicí (MS nebo UE) a základnovou stanicí (BTS či Node B v UMTS) během hovoru z jednoho kanálu na kanál jiný. Dochází k němu v případě, že systém vyhodnotí nový kanál jako kvalitnější (menší hodnota rušení, menší zpoždění). Tomu se děje především na hranicích mezi buňkami. Dle průběhu procesu přepnutí rozlišujeme handover

trvdý, měkký a bezešvý (*seamless HO* – UMTS). Také *Handover control* (HC) je funkcí založenou na spojení MS a Node B. Ostatní RRM algoritmy CC, tedy AC, LC a PS jsou požadovány především za účelem garance QoS a také maximalizace propustnosti buňky pro soubor různých bitových rychlostí, služebních aplikací či požadavků na kvalitu služeb. AC, LC a PS jsou tzv. *cell – based functions*, tedy funkce závislé na aktuálních parametrech buňky. Algoritmy RRM jsou založeny na specifické podskupině atributů QoS. Tyto atributy jsou spojeny s rádiovými nosnými, které nesou odlišné servisní aplikace. Odlišné zacházení s uživateli či službami v síti je zajišťováno manipulací s přístupnými údaji dle specifikace požadavků na kvalitu služeb, jako je například *provozní třída* (*traffic class*), *priorita* či *bitová rychlost* (maximální a garantovaná). Parametry sítě jsou také rozděleny na základě podskupiny atributů QoS a shodně nastaveny pro zajištění optimální kvality služeb. Na Obr. 3.1.1 jsou ukázány typické oblasti použití QoS funkcí v celulárních sítích v případě rádiových rozhraní GERAN (*GSM Edge Radio Access Network*) a UTRAN (*UMTS Terrestrial Radio Access Network*). Můžeme vidět, že systém GSM disponuje méně funkcemi pro zajištění QoS nežli systém UMTS. MS například není schopna kontroly výkonu, základnová stanice ano, avšak žádnou jinou QoS funkci nemá. V obrázku znamená UE (*User Equipment*), BSC (*Base Station Controller*) a RNC (*Radio Network Controller*). U systému UMTS disponuje QoS funkcemi mobilní stanice, základnová stanice i RNC.



Obr. 3.1.1 Typické oblasti QoS funkcí v sítích GSM a UMTS [2]



---

## 3.2 QoS v systému UMTS

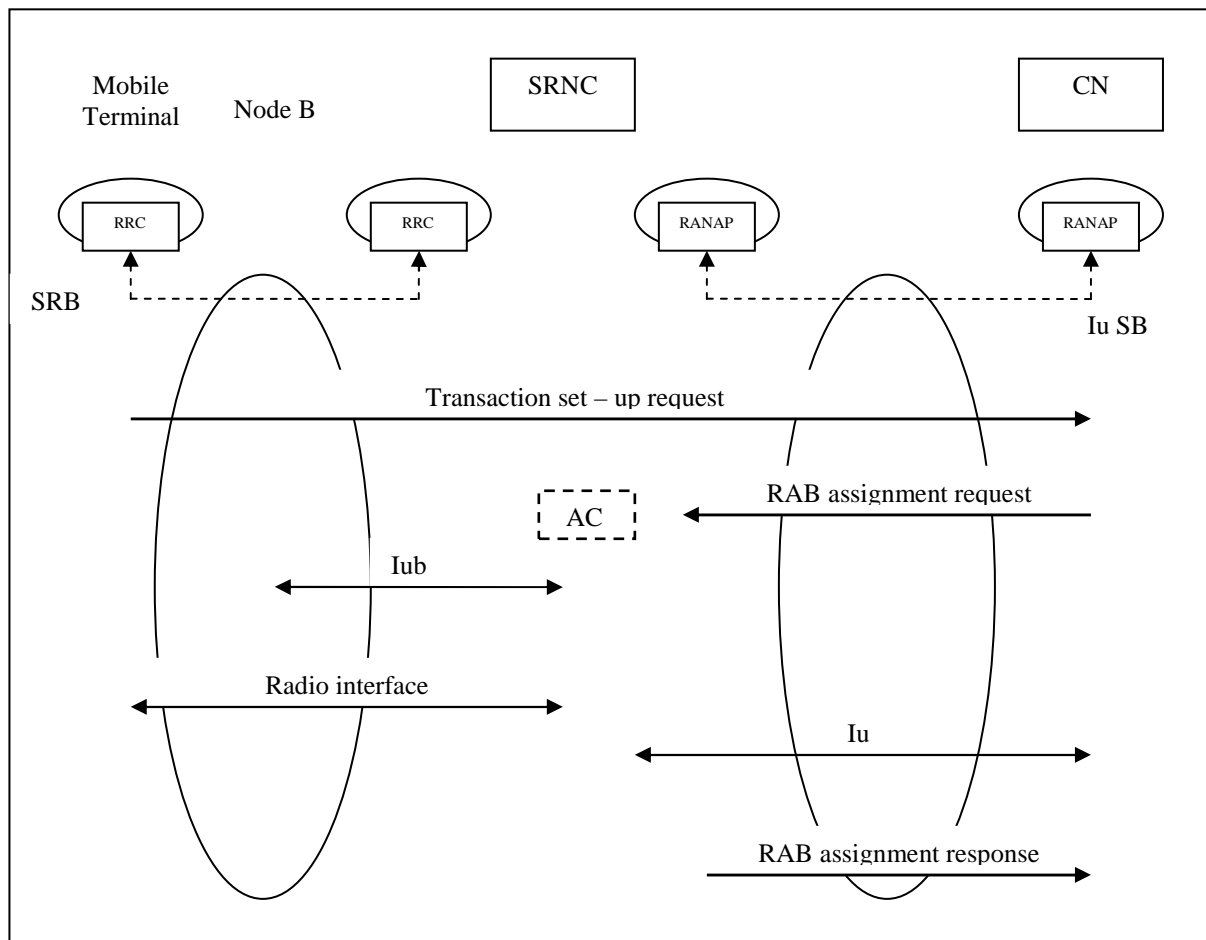
Nyní bude ukázáno několik RRM funkcí k zajištění QoS v rádiovém rozhraní UTRA FDD systému UMTS využívající kmitočtový duplex.

### 3.2.1 Admission control

*Admission control (AC)* neboli *řízení přístupu do sítě* rozhoduje o tom, zda tzv. *radio bearer service* (RBS viz kapitola 2.2) – služba spojená s rádiovou nosnou – obecně pouze služba, může nebo nemůže být v síti nově zřízena (tedy přijata síť) či modifikována. Jinými slovy, pokud uživatel požaduje od sítě nějakou službu, AC rozhoduje o tom, zda mu zřídí či nezřídí spojení nové nebo, zdali mu modifikuje či nemodifikuje spojení stávající. Algoritmus je provozován pro každou buňku během nastavování rádiové nosné či přenastavování parametrů buňky a odděleně pro uplink i downlink. Pokud je navázáno nové či modifikováno stávající spojení, algoritmus AC určí tzv. *radio resource priority* (RRP) – tedy jistou prioritu zmíněné službě na základě QoS profilu, který buňka přijala z hlavní sítě. Hodnota RRP je parametrem, který operátor nastaví, přičemž nižší hodnota RRP určuje vyšší přidělenou prioritu. Požadavky nového rádiového spojení jsou zařazeny do fronty dle své priority a následně obslouženy dle striktních principů a na základě časových okamžiků jejich příchodu. Požadavky jsou zamítnuty, jakmile je překročen maximální čas ve frontě (*maximum queuing time*) nebo odpovídající maximální dovolená délka fronty (*maximum allowed queue length*). Tyto parametry mohou být nastaveny odlišně v závislosti na charakteristice RBS jako je např. třída QoS nebo tzv. *allocation / retention priority* (ARP) a *traffic handling priority* (THP) – priorita v případě interaktivní třídy.

Funkce AC je v systému WCDMA obzvláště důležitá, protože zde není jednoznačný limit maximální kapacity. To je důvodem mnohem větší náročnosti na správnou funkci AC v systému UMTS nežli tomu je u systému GSM, kde je fixní počet dostupných kanálů a uživatelé mohou být akceptováni pouze pokud jsou kanály dostupné. Protože je maximální kapacita buňky skutečně úzce spojena s množstvím interferencí nebo ekvivalentně s úrovní zátěže v buňce, je použití AC algoritmu založeno na měřeních a/nebo na odhadech aktuálního zatížení sítě. Použit může být i odhad nárůstu zátěže, který by způsobil akceptovaný požadavek uživatele. Je dobré poznamenat, že rozhodnutí algoritmu AC jsou nasměrována do určitého okamžiku, kdy je nový požadavek vykonán, takže tato rozhodnutí mohou být stanovena na základě stavu sítě v tom daném okamžiku nebo dle její nedávné historie. Nelze však žádným způsobem předvídat přesně budoucí zátěž sítě a proto je pro vyrovnání se s dynamickým vývojem sítě a udržení požadavků na QoS nezbytná existence přidavných RRM funkcí. Jak již bylo řečeno, AC algoritmy jsou vykonávány odděleně pro uplink a downlink z důvodu rozdílných problémů vyskytujících se v obou směrech. Požadavek na spojení může být povolen pouze po získání povolení od odpovídajícího uplink či downlink algoritmu. V kontrastu s 2G sítí, kde do sítě vstupují většinou uživatelé mluvící v reálném čase s vyrovnanými požadavky, se u sítě 3G WCDMA multimediálních služeb (video-telephony, streaming video, web browsing atd.) očekávají rozdílné požadavky na kvalitu služeb QoS (obchodní segment, konzumní segment). Proto musejí algoritmy AC brát v úvahu to, že se bude množství rádiových zdrojů potřebných pro každé spojení měnit. Podobně by měly být brány v úvahu i požadavky na QoS co se týče *real time* nebo *non real time* přenosů. Podmínky přístupu pro *non real time* provoz mohou být volnější. Buňka, po které bude UE požadovat přístup je odvozena z procedur *initial cell selection* a *reselection* (výchozí a opětovné rozdělení buněk), které jsou standardizovány. V rámci signalizace jsou procedury související s AC schematicky ukázány na Obr. 3.2.1. Požadavek *transaction set-up* je v UMTS vždy spouštěn ze strany UE, protože je to samotné UE, které iniciuje interakci se sítí

nebo proto, že UE odpovídá na *paging* zprávu. Před touto procedurou musí být sestavena signalizační cesta od UE ke CN, která je v případě UTRAN zhotovena prostřednictvím RRC spojení a RANAP (Radio Access Network Application Part) protokolů, které se starají o interakci UTRAN – CN. S pomocí RRC a RANAP protokolů se požadavek *transaction set-up* dostane až do CN. Proto je to vždy CN, která spouští ustavení RAB pomocí zprávy RAB zaslané z CN do SRNC. S příchodem takovéto zprávy je vykonán AC algoritmus. Pokud může být spojení sítí akceptováno, SRNC zařídí zdroje na rádiovém a Iub rozhraní prostřednictvím RRC. Podobně jsou požadovaná spojení zřízena na rozhraní Iu. Pokud je procedura RRC (přidělení nosných) úspěšná, je zaslána kladná odpověď ve zprávě *RAB assignment response*.



Obr. 3.2.1 Zprávy a protokoly zahrnuté v AC (předloha obrázku převzata z [5])

Algoritmů AC existuje několik. V této práci bude pozornost věnována především AC algoritmům ve směru uplinku. Zde je možné použít tyto algoritmy [6]

- *Measurement – based admission control*
- *Statistical – based admission control*
  - *First statistical approach*
  - *Second statistical approach*
- *Hybrid admission control*
  - *First hybrid approach*
  - *Second hybrid approach*

Jedná se tedy o algoritmy založené na měření, statistice a o hybridní algoritmus kombinující oba předešlé. Pokud není síť přetížena, pak dle [1] platí:

$$P_C = P_{NGB} + P_{GB} < P_{Target} + Offset , \quad (3.1)$$

kde  $P_C$  je celkový aktuální vysílaný nebo přijímaný výkon v buňce využívaný aktuálně obsluhovaným provozem s garantovanou (GB) či negarantovanou (NGB) bitovou rychlostí.  $P_{Target} + Offset$  je tzv. *overload threshold*, tedy práh přetížení sítě, který může být nastaven odlišně pro uplink a downlink.  $P_{Target}$  je pak požadovaná (cílená) hodnota výkonu v buňce. Služba s negarantovanou bitovou rychlostí je v síti povolena trvale, zatímco provoz s garantovanou bitovou rychlostí nikoliv, jestliže platí vztah 3.1 nebo následující nerovnost:

$$P_{GB} + \Delta P_{GB} > P_{Target} , \quad (3.2)$$

kde  $\Delta P_{GB}$  je odhadovaný nárůst výkonu v buňce, jestliže je nová rádiová nosná a s ní spojená služba buňkou přijata. Nárůst výkonu  $\Delta P_{GB}$  může být pro downlink vypočítán jako:

$$\Delta P_{GB,DL} = \frac{\rho \cdot R}{W} \cdot \left( \frac{P_{tx,CPICH}}{\rho_c} + (1 - \alpha) P_{Tx,Target} - P_{Tx,C} \right) , \quad (3.3)$$

kde  $\rho$  je požadovaný poměr  $E_b / N_0$ ,  $R$  je požadovaná bitová rychlost naší nosné vlny,  $P_{tx,CPICH}$  je výkon pilotního kanálu buňky, tzv. *common pilot channel* (CPICH),  $\rho_c$  je energie na čip vztahovaná ke spektrální výkonové hustotě šumu přijímaná mobilním telefonem,  $W$  je čipová rychlost (3,84 Mchip/s) a  $\alpha$  je faktor ortogonalit (  $\alpha = 1$  znamená výbornou ortogonalitu). Pro uplink pak platí:

$$\Delta P_{GB,UL} \approx \beta \cdot \frac{\Delta L}{1 - \eta} \cdot P_{RxTotal} + (1 - \beta) \cdot \frac{\Delta L}{1 - \eta - \Delta L} \cdot P_{RxTotal} , \quad (3.4)$$

kde  $\beta$  je váha, kterou nastavuje operátor a  $\eta$  je tzv. stupeň vytižení pro uplink, pro který platí:

$$\eta = \frac{I_{own} + I_{oth}}{P_{RxTotal}} , \quad (3.5)$$

kde  $I_{own}$  je přijímaný výkon od uživatelů ve vlastní buňce a  $I_{oth}$  je výkon přicházející od účastníků v okolních buňkách. Částečné zatížení může být jednoduše odhadnuto jako:

$$\Delta L = \frac{1}{1 + \frac{W}{\rho \cdot R}} , \quad (3.6)$$

Během bezešvého handoveru není aktivní diversitní příjem pro downlink, pokud platí následující podmínka:

$$P_{GB} + \Delta P_{GB} > P_{Target} + Offset , \quad (3.7)$$

kde  $P_{GB}$  je aktuální neregulovatelný výkon v cílové buňce a  $\Delta P_{GB}$  je odhadovaný nárůst výkonu v té samé buňce způsobený naším rádiovým spojením. Další informace lze nalézt v [1] nebo [3].

V důsledku rozdílné povahy provozu se AC skládá v zásadě ze dvou částí. Pro RT provoz musí být v případě tříd *conversational* a *streaming* (třídy citlivé na zpoždění) rozhodnuto, zdali má UE povolení k přístupu do sítě. Jestliže nová rádiová nosná způsobuje nadměrné interference, přístup je zamítnut. Pro NRT provoz musí být v případě tříd *interactive* a *background* (třídy méně citlivé na zpoždění) určeno optimální rozvržení paketů (času a bitové rychlosti), a to poté, co je nosná tzv. přijata systémem. Toto se děje ve spolupráci s algoritmem PS (kap. 3.2.4). Algoritmus AC odhaduje nárůst zatížení buňky odděleně pro uplink a downlink. Pouze v případě, že jsou AC kritéria splněna pro oba směry, uplink i downlink, je akceptováno nastavení nosné nebo požadavek na modifikaci a je nově založena či modifikována RAB. Odhad změny zatížení není pořizován pouze pro přístupovou buňku (tzv. *access cell*) ale také pro sousední buňky, aby se zohlednily interference mezi buňkami (tzv. *inter – cell interference*) alespoň v buňkách, patřících do *Active set* (kap. 3.2.2). Nosná není systémem přiznána pokud předpovídané zatížení přesáhne určitý práh buď v uplinku nebo v downlinku. V procesu rozhodování použije algoritmus AC prahy vytvořené během plánování rádiové sítě (*radio network planning*) a informace o interferenci v uplinku a vysílaném výkonu v downlinku, přijímané ze širokopásmového kanálu. Aby se mohlo rozhodnout, zdali AC přijímá požadavek, musí být znám aktuální stav zatížení okolních buněk sítě a musí být odhadnuto přídavné zatížení v důsledku požadované služby. Z tohoto důvodu je funkčnost AC umístěna v RNC, kde jsou všechny tyto informace dostupné.

---

### 3.2.2 Handover control

*Handover control* (HC) je tzv. *connection – based* funkcí která podporuje různé typy handoverů (HO). Funkce HC může být rozdělena na následující typy handoverů:

- *Intra – system* HO působící uvnitř systému WCDMA. Může být dále rozdělen na *Intra – frequency* HO (IF–HO) mezi buňkami, které patří ke stejné WCDMA nosné, a na *Inter – frequency* HO mezi buňkami operujícími na rozdílných WCDMA nosných.
- *Inter – system* HO (IS–HO) se uskutečňuje mezi buňkami patřícími ke dvěma různými technologiím rádiového přístupu RATs (*Radio Access Technologies*) či různými režimům rádiového přístupu RAMs (*Radio Access Modes*). Nejčastější případ prvního typu HO je očekáván mezi systémy WCDMA a GSM/EDGE. K IS–HO na jiný CDMA systém může však také dojít. Příkladem pro *inter – RAM* HO je např. HO mezi módy UTRA FDD a UTRA TDD (tedy kmitočtovým a časovým duplexem).
- *Hard Handover* (HHO) – tvrdý handover je procedurou, kdy systém nejdříve odpojí mobilní stanici UE z původního kanálu a teprve potom ji připojí na kanál nový. Při přepnutí dochází ke krátkému přerušení spojení pro RT (*Real – Time*) nosné, pro NRT (*Non – Real Time*) nosné je HHO bezztrátový.
- *Soft Handover* (SHO) – měkký handover a *softer* HO jsou kategoriemi procedur HO, ve kterých mobilní stanice UE udržuje alespoň jedno rádiové spojení s UTRAN. Během SHO je UE současně spojena se dvěma nebo více buňkami patřícími k různým Node Bs, a to buď stejné RNC (*intra* RNC SHO) nebo rozdílných RNC (*inter* RNC SHO). U tzv. *softer* HO je UE spojeno alespoň se dvěma buňkami patřícími pod jednu Node B. SHO a *softer* SHO jsou možné pouze na jedné nosné frekvenci.

V závislosti na účasti v SHO jsou buňky v systému WCDMA rozděleny do následujících souborů:

- *Active set*, zahrnující všechny buňky, které jsou aktuálními účastníky spojení UE se SHO.
- *Neighbour set / Monitored set*, zahrnující všechny buňky, které jsou průběžně monitorovány (měřeny) mobilní stanicí a které nejsou aktuálně zahrnuty do *Active set*.
- *Detected set*, zahrnující buňky, které sice UE detekovala ale nejsou zařazeny ani do jedné kategorie výše.

Jak již bylo zmíněno, rozlišujeme tři kategorie handoveru, tvrdý handover (HHO – *Hard HandOver*), dále pak měkký a měkkí handover (SHO – *Soft HandOver* a *Softer* HO). Tvrdý handover je síť hodnocený handover (NEHO – *Network Evaluated HandOver*), kdy měření kvality kanálu provádí základnová stanice a na základě výsledků měření signálu provádí rozhodnutí o přepnutí. Na mobilní stanici nejsou kladeny žádné požadavky. Znamená to, že všechna původní rádiová spojení jsou zrušena ještě dříve, než je navázáno spojení nové. Měkký handover je handover hodnocený mobilní stanicí (MEHO – *Mobile Evaluated HandOver*), kdy měření všech kanálů provádí mobilní i základnová stanice a rozhodnutí o

---

přepnutí provádí mobilní stanice, předá je do systému a ten zajistí provedení přepnutí. Tvrdé handovery jsou bezešvé (tedy nerozpoznatelné uživatelem) pouze v případě NRT komunikací. Handovery, které vyžadují změnu nosné frekvence (zmiňované *inter frequency handovers*) nebo technologie přístupu (RAT) jsou vždy provedeny jako tvrdé handovery. U měkkého handoveru je spojení navázáno a přerušeno takovým způsobem, že mobilní stanice vždy udržuje alespoň jedno spojení s UTRAN. Měkký handover je prováděn s využitím principu makrodiverzity, který se vztahuje k podmínce aktivity několika rádiových spojení ve stejném okamžiku. Měkký handover může být použit v případě, kdy uživatel přechází mezi buňkami operujícími na stejné frekvenci. Měkčí handover je speciálním případem měkkého handoveru, kdy navázaná a přerušovaná rádiová spojení patří ke stejné Node B.

V závislosti na typu HO (MEHO nebo NEHO) mohou být použita různá kritéria pro měření HO. RNC může po UE požadovat uskutečnění a oznámení výsledků následujících typů základních měření HO:

- *Intra – frequency* měření (MEHO)
- *Inter – frequency* měření (NEHO)
- *Inter – system* měření (NEHO)
- Vnitřní měření UE

Všechna HO měření jsou kontrolována nezávisle jedno na druhém a jsou definována na základě *cell – by – cell* (kontrola typu buňka za buňkou) s výjimkou vnitřního měření UE, které je zčásti kontrolováno parametry společnými pro všechny buňky patřící pod stejné RNC. Současně mohou být aktivní dvě i více měření, například *intra – a inter – frequency* měření. Kontrola HO měření je vysvětlena v následující části textu ve spojení s důležitými typy HO.

### ***Intra – frequency* HO měření**

RAN vysílá měřené parametry (kritéria) pro *intra – frequency* měření do kanálu BCCH (*BroadCast CHannel*). Pokud jsou tato kritéria splněna, UE oznámí výsledky jejich měření RNC a ta postupně provádí rozhodnutí o HO. Pokud nemůže být vykonán ASU (*Active set update – aktualizace*), UE pokračuje v měření sousedních buněk ale změní periodu oznamování výsledků měření. Pro tyto typy měření používá UE samostatných kritérií zasílaných do UE.

### ***Inter – frequency* HO a *Inter – system* HO měření**

Obě tato měření jsou prováděna pouze, pokud jsou nařízena RNC. Opět používají samostatná kritéria zasílaná do UE. Pokud jsou tato měření spuštěna, UE pravidelně oznamuje výsledky měření RNC. Měření jsou kontrolována na základě dvou parametrů: délky trvání oznámení výsledků a intervalu oznámení výsledků.

### ***Vnitřní měření* UE**

Kritéria vnitřního měření UE jsou kontrolována částečně na základě *cell-by-cell* a částečně parametry společnými pro všechny buňky v celé RNC. Informace o měření pro vnitřní měření UE není obsažena v systémové informaci v BCCH kanále ale je posílána do UE přímo v kanále DCCH (*Dedicated Control CHannel*). Pokud jsou kritéria měření splněna, UE oznámí jejich výsledky RNC.

---

### 3.2.3 Power control

*Power control* (PC) je skupinou funkcí zajišťující řízení úrovně vysílaného výkonu tak, aby byly minimalizovány interference a byla udržena určená kvalita spojení. V mobilních komunikačních systémech, jako jsou systémy třetí generace 3G založené na kódovém multiplexu CDMA, kde všichni uživatelé sdílejí stejné frekvenční pásmo, je toto základním problémem. Kontrola výkonu je zvláště důležitá především pro uplink, protože UE nacházející se v blízkosti základnové stanice a vysílající s příliš velkým výkonem může snadno předčít stanice nacházející se na okraji buňky (tzv. *near – far* efekt) nebo dokonce zablokovat celou buňku. Pro downlink je systémová kapacita přímo určena požadovaným výkonem pro každé spojení. Základem je proto udržet vysílané výkony na minimální hodnotě při zajištění adekvátní kvality signálu na přijímací straně. Pro tento účel existuje v multiplexu WCDMA několik funkcí. Mezi tyto funkce patří tzv. *uplink / downlink outer – loop control*, kde *outer – loop control* znamená jakousi nadřazenou vnější regulaci výkonu (jde o odhad kvality přijímaného signálu a nastavení konečného poměru SIR – *Signal to Interference Ratio* pro *fast closed – loop* PC tak, aby byla zajištěna požadovaná kvalita), dále *uplink / downlink inner – loop control*, což je vnitřní regulace (dynamická regulace vysílaných výkonů nazývaná také jako *fast closed – loop* PC), dále *uplink / downlink open – loop control* (tato funkce je zodpovědná za nastavení počátečních uplink / downlink vysílaných výkonů, kdy se mobilní stanice přihlašuje do systému) a tzv. *slow power control* (pomalé řízení) aplikované ve společných kanálech pro downlink. Možnost operátora poskytnout jednotlivým službám různý *power control* s rozdílnými požadavky na výkon (zátěž) je dosti omezená, protože regulace výkonu se většinou děje na fyzické vrstvě bez rozlišování nesené informace.

#### ***Open – loop PC***

Protože jsou frekvence ve WCDMA pro uplink i downlink ve stejném frekvenčním pásmu, existuje významná korelace mezi průměrnými ztrátami šířením dvou spojení. To umožňuje každému UE před vstupem do sítě, a každému Node B, pokud je sestaveno rádiové spojení, odhadnout počáteční vysílané výkony potřebné v uplinku i downlinku na základě výpočtu ztrát šířením ve směru downlinku. Takovouto funkci označujeme jako *open – loop* PC.

#### ***Inner – loop PC***

Jinak také *fast closed – loop* PC se opírá o zpětnou informaci vrstvy L1 z druhého konce rádiového spojení. To umožňuje UE nebo Node B upravit vysílaný výkon na základě přijímané úrovně SIR (*Signal to Interference Ratio*) v Node B či UE ke kompenzaci ztrát v rádiovém kanále. V UMTS je funkce *inner – loop* PC používána pro DCHs v obou směrech uplinku i downlinku a pro CPCH (*Common Packet CHannel*) v uplinku. V technice WCDMA je podporován *fast* PC s frekvencí 1,5 kHz.

#### ***Outer – loop PC***

Účelem tohoto algoritmu je udržovat kvalitu komunikace na úrovni definované charakteristickými požadavky služby, o níž žádáme, vytvářením postačujícího konečného poměru SIR pro *inner – loop* PC. Tato operace je provedena pro každý DCH kanál patřící ke stejnému RRC spojení. Pokud je vybrána fixní hodnota SIR, může být výsledná kvalita komunikace příliš vysoká nebo naopak příliš nízká, což je ve většině situací příčinnou zbytečného nárůstu výkonu. Podrobnější popis jednotlivých funkcí PC je možné nalézt v [1].

### 3.2.4 Packet ( bit rate ) scheduler

Pojem *Packet (bit rate) scheduler* můžeme přeložit jako *paketový plánovač* (či *plánovač bitové rychlosti*). Bitové rychlosti sítí akceptovaných NGB (*Non Guaranteed Bit rate*) služeb, tedy služeb s negarantovanou bitovou rychlostí, jsou plánovány jednak na základě přidělených RRP priorit ale také na základě časových okamžiků příchodu jednotlivých požadavků na kapacitu kanálu – CRs (*Capacity Requests*). Metoda rozdělení bitových rychlostí je založena na *minimální* a *maximální* přípustné bitové rychlosti. Tyto rychlosti definují nejnižší a nejvyšší limit tzv. TFS (*Transport Format Set*), který může být přidělen požadované službě v uplinku nebo downlinku. Tyto parametry mohou být rozlišeny v závislosti na charakteru služby.

Aby nedocházelo k varianci přidělených bitových rychlostí, může být hodnota RRP přetrvávajícího požadavku na kapacitu CR v PS frontě modifikována se zohledněním aktuální propustnosti konkrétního aktivního spojení v downlinku. Nová hodnota RRP může být vypočtena jako:

$$RRP_i(t) = RRP_i - x \cdot \frac{R^{i_{Target}} - R_i(t)}{\max\{TFS_i\}}, \quad (3.8)$$

kde  $RRP_i$  je původní priorita přiřazená funkcí AC nosné  $i$ , viz kap. 3.2.3,  $x$  je tzv. *Priority Step Parametr*, tedy krok, který může být nastaven odlišně pro každou buňku,  $R^{i_{Target}}$  je cílová (žádaná) bitová rychlost konkrétního spojení,  $R_i(t)$  je měřená aktuální propustnost aktivního spojení (*actual active session throughput*) v čase  $t$  během přenosu paketů a  $\max\{TFS_i\}$  je maximální bitová rychlost TFS v přiděleném kanálu, používaná k přenosu příslušných uživatelských dat.

V průběhu rozdělování bitových rychlostí v uplinku nebo downlinku se PS chová jako *best – effort* model (maximálně se snaží vyhovět požadavkům ale nezaručuje vůbec nic) a spoléhá se na tzv. *power budget* zanechaný GB a NGB aktivními ( $a$ ) a neaktivními ( $i$ ) spojeními pro jednotlivé směry. Můžeme psát:

$$P_{Pr}^{NGB} = P_{Target} - (P_a + P_{i,GB} + k \cdot P_{i,DTX}) \quad (3.9)$$

Výkon neaktivních GB provozů  $P_{i,GB}$  bere v úvahu právě přípustný požadovaný výkon služeb, není to však výkon vyzářený. Výkon  $P_{i,DTX}$  je výkon, který je třeba rezervovat službám v tzv. DTX režimu nespojitého přenosu (*Discontinuous Transmission*) během období jejich nečinnosti. Protože je nepravděpodobné, že se všechna neaktivní spojení stanou aktivními ve stejný okamžik, uvádí se  $k$  jako provozní parametr k omezení rezervovaného výkonu na menší hodnotu. Rozsah hodnot  $k$  je od 0 do 1, kde hodnota 1 přináší nejnižší účinnost (efektivitu), protože v tomto případě by byl rezervován všechen požadovaný výkon. V případě bezešvého handoveru je přidělená bitová rychlost minimem bitových rychlostí plánovaných pro každé ze sady rádiových spojení.

Požadavky na kapacitu kanálu jsou zamítnuty, jestliže se v PS frontě nacházejí déle, než je hodnota specifikovaná tzv. CR *maximum queuing time*, tedy maximální dobou na požadavek ve frontě. Přidělené bitové rychlosti mohou být přerozděleny, pokud pokračující komunikace trvá déle, než odpovídající *granted minimum DCH allocation time*, tedy minimální povolený čas přidělený kanálům DCH. Oba parametry mohou být nastaveny odlišně v závislosti na různých charakteristikách, parametrech či vlastnostech služeb.



### 3.2.5 Load control

Funkce *Load control* (LC) neboli regulace zatížení zajišťuje, že síť nebude přetížena a zůstane stabilní. Pokud je systém správně navržen a AC i PS pracují dostatečně dobře, situace, kdy bude systém přetížen je spíše výjimečná. Pokud tato situace nastane, funkce LC vrátí systém na cílenou hodnotu zatížení označovanou  $P_{Target}$  v kapitole 3.2.3. Možné činnosti algoritmu LC mohou být: omezení propustnosti datového provozu, provedení handoveru na jinou WCDMA nosnou nebo do systému GSM, snížení bitové rychlosti *real time* uživatelů (např. AMR kodek).

Hlavní funkci LC lze rozdělit do dvou částí. Za normálních okolností dává funkce LC pozor, aby nebyla síť přetížena a zůstala stabilní. Aby toho bylo dosaženo, musí LC blíže spolupracovat s funkcemi AC a PS. Tato část je nazývána tzv. *preventive* LC, tedy preventivní LC. Pouze ve výjimečných situacích může dojít k přetížení systému. V tom okamžiku je kontrola přetížení zodpovědná za relativně rychlé omezení zátěže sítě, což vede ke zpětnému navrácení sítě do žádaného stavu. Funkce LC je rozdělena mezi Node B a RNC. K omezení zatížení sítě slouží následující operace:

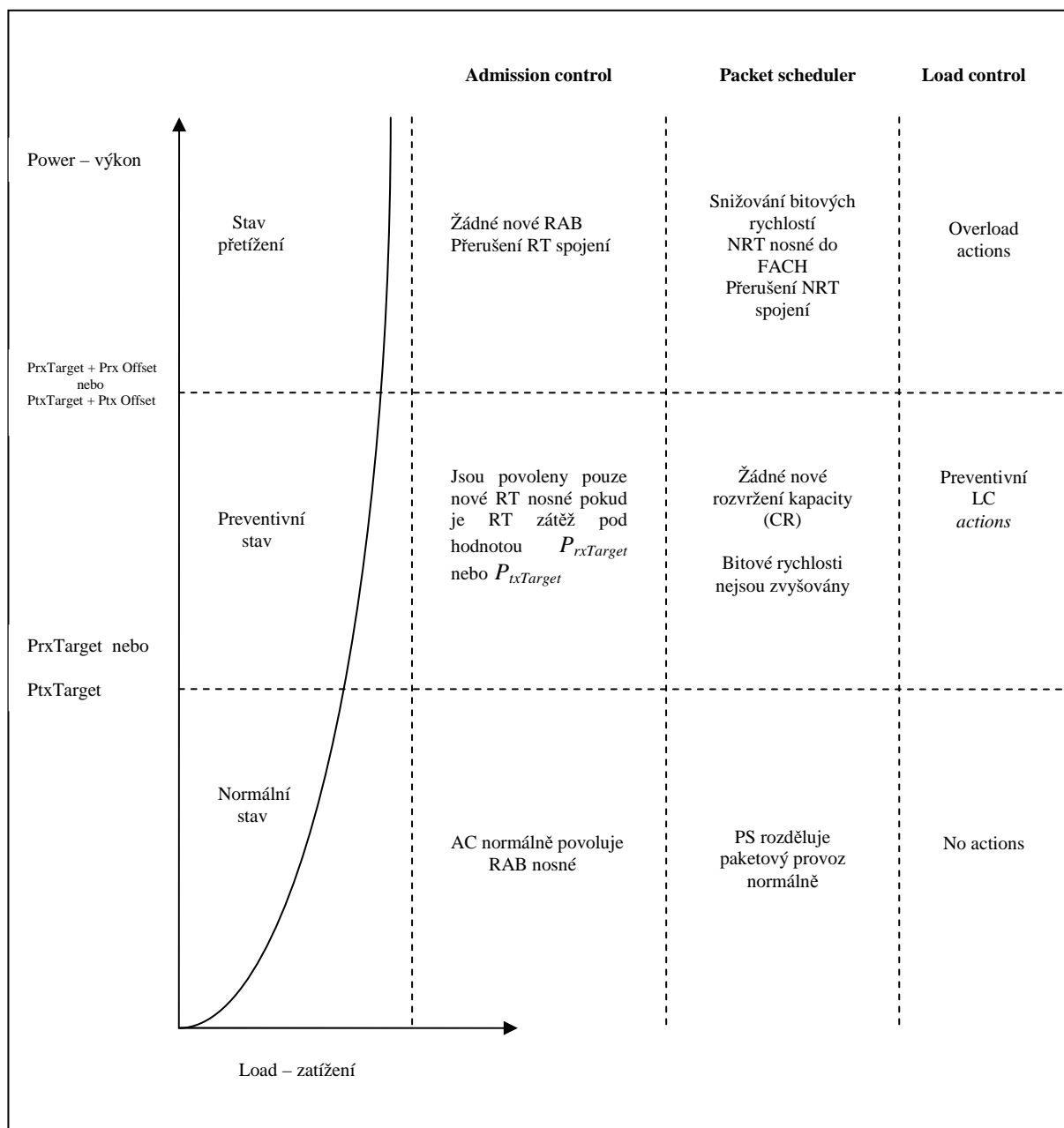
- *Fast LC actions* umístěné v Node B
  - odmítnutí downlinku a přepracování TPC (*Transmitt Power Control*) „up“ příkazů
  - použití menšího SIR pro uplink *inner – loop* PC.
- *LC actions* umístěné v RNC
  - vzájemné působení s PS a omezení zpětného *packet data* provozu
  - snížení bitové rychlosti RT uživatelů, např. hovorových služeb nebo výměny dat
  - využití WCDMA IF-HO nebo GSM IS-HO
  - snížení počtu jednotlivých hovorů kontrolovaným způsobem

V širokopásmové LC (tzv. *power – based* LC) probíhá měření, aby bylo možné rozhodnout, zdali některá z *LC actions* není buď celkovým interferenčním výkonem na buňku  $P_{rxTotal}$  v uplinku nebo celkovým vysílaným výkonem na nosnou  $P_{txTotal}$  v downlinku. Úkolem je tedy nastavit maximální přípustné hodnoty pro tyto parametry. Pro oba směry mohou být definovány dva prahy:

- Pro uplink
  - $P_{rxTarget}$ , jako optimální průměr z hodnoty  $P_{rxTotal}$
  - $P_{rxOffset}$ , jako maximální práh, kterým může být překročen  $P_{rxTarget}$
- Pro downlink
  - $P_{txTarget}$ , jako optimální průměr z hodnoty  $P_{txTotal}$
  - $P_{txOffset}$ , jako maximální práh, kterým může být překročen  $P_{txTarget}$

Jestliže je jeden z prahů  $P_{rxTarget}$  nebo  $P_{txTarget}$  překročen, dostane se buňka do stavu, kdy jsou iniciovány preventivní *LC actions*. Pokud jsou překročeny oba prahy v uplinku či downlinku ( $P_{rxTarget} + P_{rxOffset}$  nebo  $P_{txTarget} + P_{txOffset}$ ), přesune se buňka do stavu přetížení a aktivuje *overload control actions*. Obr. 3.2.1 uvádí přehled AC, PS a *LC actions* při různých stavech zatížení definovaných předchozími parametry.

Funkce AC a PS dohromady představují preventivní LC actions. LC pracuje jako prostředník mezi těmito dvěma funkcemi. Funkce LC aktualizuje stav zatížení buňky na základě odhadů a měření funkcí AC a PS. Pokud je buňka ve stavu normálního zatížení, funkce AC a PS mohou pracovat normálně. Pokud zátěž překročí požadovanou hodnotu avšak nepřekročí určený práh, jsou vykonány pouze preventivní LC actions. AC povolí nové nosné pouze tehdy, pokud je zátěž pod hodnotami  $P_{rxTarget}$  nebo  $P_{txTarget}$ . PS dále nezvyšuje bitovou rychlost povolených NRT nosných. Pokud se buňka dostane do stavu přetížení, začne PS snižovat bitové rychlosti například náhodně vybraným NRT nosným, přičemž bere do úvahy jejich třídy a priority nastavené operátorem. Nicméně by bitová rychlost neměla být omezena pod minimální požadovanou bitovou rychlost přidělenou vybraným nosným a stanovenou při plánování (opět *radio network planning*). Další možností k redukci zátěže je přesunutí NRT provozu z DCH kanálu na FACH kanál v případě, že kanál FACH není přetížen. V nejhorším případě mohou být RT a NRT spojení přerušena.



Obr. 3.2.1. Přehled AC, PS a LC postupů při různých stavech zatížení buňky [3]

Z následující tabulky můžeme vidět, jaká jsou časová měřítka jednotlivých RRM funkcí. Pro zvolený algoritmus AC je typické časové měřítko mezi aktivací rovno jednomu rámcu TDMA.

Tab. 3.1 Časové měřítko různých RRM funkcí [5]

Typické časové měřítko mezi aktivací algoritmů	RRM funkce
1 slot 1 rámeček 10 – 1000 rámců	Inner loop Power control UE – MAC Packet scheduling Admission control Handover Code management Congestion control Outer loop Power control

---

## 4. Modely AC uplink algoritmů

### 4.1 Matematický model AC uplink algoritmu

#### 4.1.1 Výpočet zátěže

Kapacita systému WCDMA je limitována především vyskytujícími se interferencemi. Z tohoto důvodu je nutné odhadnout množství provozu, které bude základnová stanice schopna podporovat a přijmout. K predikování průměrné kapacity systému a nárůstu šumu ve fázi dimenzování systému může být použita rovnice zátěže. Systém je obecně limitován vzdušným rozhraním a množstvím interferencí. Aby mohla být předběžně vypočítána zátěž, potřebujeme definovat poměr  $E_b/N_0$  pro každé spojení. Poměr  $E_b/N_0$  může být definován jako požadovaná energie na jeden bit na spektrální hustotu šumu

$$(E_b / N_0)_j = G_p \cdot \frac{P_j}{P_T}, \quad (4.1)$$

kde  $G_p$  je tzv. *processing gain* – pracovní zisk,  $P_j$  je výkon signálu  $j$ -tého uživatele a  $P_T$  je celkový přijímaný výkon bez vlastního  $j$ -tého výkonu. Pracovní zisk  $G_p$  může být definován jako poměr chipové rychlosti  $W$  systému UMTS (3,84 Mchips/s) a přenosové rychlosti  $R$ . Tento parametr je také nazýván jako *Spreading Factor (SF)*

$$G_p = \frac{W}{R} = \frac{WCDMA\_chip\_rate}{Data\_rate}, \quad (4.2)$$

Vztah (4.2) můžeme zapsat také pomocí tzv. *activity faktoru*  $v_j$ , který může být pro každého uživatele v závislosti na typu provozované služby různý

$$G_p = \frac{W}{v_j R_j}, \quad (4.3)$$

Nyní můžeme rovnici (4.1) napsat jako

$$(E_b / N_0)_j = \frac{W}{v_j R_j} \cdot \frac{P_j}{P_T - P_j}, \quad (4.4)$$

kde pro shrnutí  $W$  je WCDMA chipová rychlost,  $v_j$  je *activity factor*  $j$ -tého uživatele,  $R_j$  bitová rychlost,  $P_j$  výkon signálu  $j$ -tého uživatele,  $P_T$  celkový přijímaný širokopásmový výkon zahrnující termální šum  $P_n$ . S malým zjednodušením dostaneme výraz pro výkon jednoho uživatele

$$P_j = \frac{1}{1 + \frac{W}{(E_b / N_0)_j \cdot R_j \cdot v_j}} \cdot P_T, \quad (4.5)$$

což můžeme napsat také jako  $P_j = L_j \cdot P_T$ , kde

$$L_j = \frac{1}{1 + \frac{W}{(E_b / N_0)_j \cdot R_j \cdot V_j}}. \quad (4.6)$$

Celková úroveň přijímaných interferencí vyjma termálního šumu  $P_n$  může být vyjádřena jako suma výkonů přijímaných od všech  $N$  uživatelů v buňce

$$P_T - P_n = \sum_{j=1}^N P_j = \sum_{j=1}^N L_j \cdot P_T \quad (4.7)$$

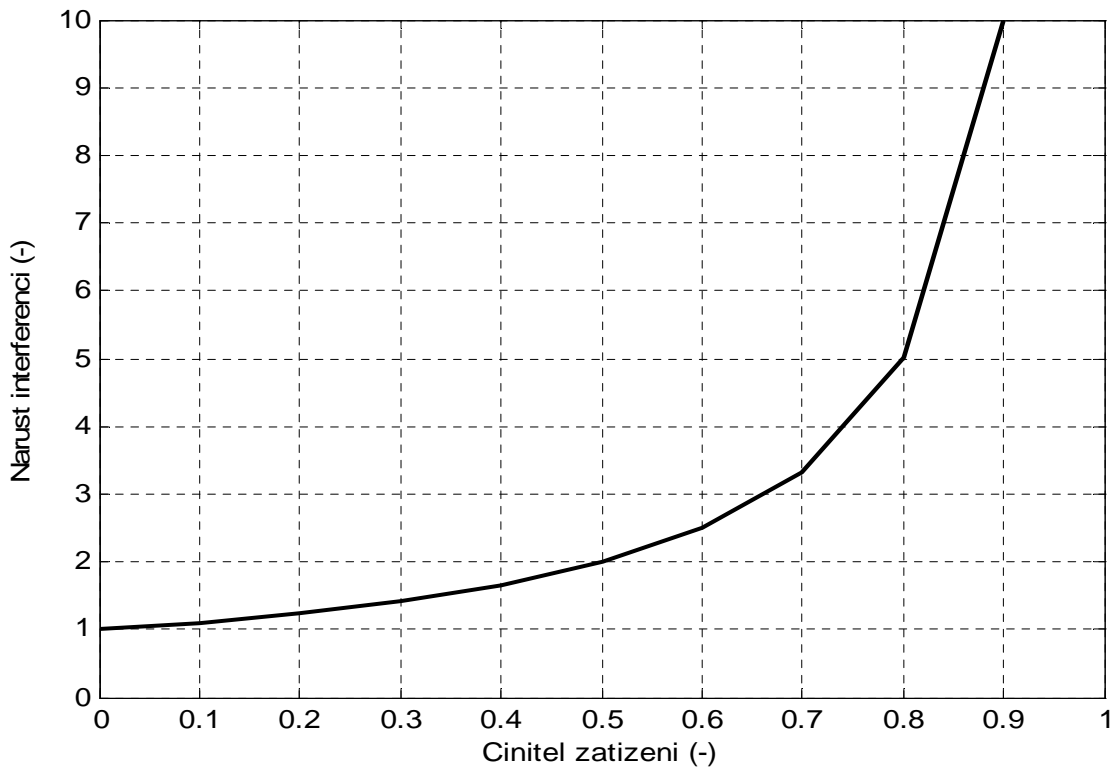
$$P_T - \sum_{j=1}^N L_j \cdot P_T = P_n \quad (4.8)$$

$$P_T = \frac{P_n}{1 - \sum_{j=1}^N L_j}. \quad (4.9)$$

Nárůst rušení (interferencí)  $\Delta P$  je definován poměrem celkového přijímaného širokopásmového výkonu ku výkonu šumu. Jeho závislost na činiteli zatížení můžeme vidět na Obr. 4.1.1.

$$\Delta P = \frac{P_T}{P_n} = \frac{1}{1 - \sum_{j=1}^N L_j} = \frac{1}{1 - \eta_{ul}} = \frac{1}{1 - (\text{Load\_factor})}, \quad (4.10)$$

kde  $\eta_{ul}$  je tzv. *load factor* pro uplink. Tento parametr je velmi důležitým parametrem buňky, který určuje hodnotu zátěže, kterou je buňka schopna akceptovat. Platí, že s rostoucí hodnotou *load factoru* vzrůstají také přijímané interference.



Obr. 4.1.1 Závislost nárůstu interferencí na hodnotě činitele zatížení (*Load factor*  $\eta_{ul}$ )

*Load factor*  $\eta_{ul}$  můžeme definovat jako

$$\eta_{ul} = \sum_{j=1}^N L_j = \sum_{j=1}^N \frac{1}{1 + \frac{W}{(E_b / N_0)_j \cdot R_j \cdot \nu_j}}. \quad (4.11)$$

Pokud pracujeme se systémem WCDMA, u něhož je tzv. *frequency reuse factor* (opětovné využití frekvencí) roven 1, musíme brát v úvahu také interference od ostatních buněk systému. Jde tedy o poměr interferencí od ostatních buněk systému ku vlastním interferencím buňky

$$f = \frac{\text{Other\_cell\_Interference}}{\text{Own\_Cell\_Interference}}. \quad (4.12)$$

Potom celkový *Load factor* v uplinku můžeme psát jako

$$\eta_{ul} = (1 + f) \cdot \sum_{j=1}^N L_j = (1 + f) \cdot \sum_{j=1}^N \frac{1}{1 + \frac{W}{(E_b / N_0)_j \cdot R_j \cdot \nu_j}}. \quad (4.13)$$

V tradiční hlasové síti, kde všichni uživatelé využívají nízkou bitovou rychlost  $R$  je

$$\frac{W}{(E_b / N_0)_j \cdot R_j \cdot \nu_j} \gg 1. \quad (4.14)$$

Ve WCDMA síti můžeme předchozí vztah aproximovat a zjednodušit na následující rovnici

$$\eta_{ul} = \frac{(E_b / N_0)}{W / R} \cdot N \cdot \nu \cdot (1 + f). \quad (4.15)$$

Jednotlivé vztahy, parametry a jejich hodnoty pro použití v simulaci programem Matlab byly převzaty z [4] a popisuje je následující tabulka.

Tab. 4.1 Popis parametrů použitých při výpočtu *uplink load factor* (4.11) [4]

Parametr	Definice parametru	Hodnota parametru
$N$	Celkový počet uživatelů v buňce	Náhodná hodnota
$v_j$	<i>Activity factor</i> $j$ -tého uživatele na fyzické vrstvě	Hlas: 0,67 pro mluvenou konverzaci Data: 1,0 pro datové spojení
$E_b/N_0$	Energie jednoho bitu ku spektrální hustotě šumu	Hlas: 4 dB Data 16 – 32 kb/s: 3 dB Data 64 kb/s: 2 dB Data 144 kb/s: 1,5 dB
$W$	WCDMA chipová rychlost	3,84 Mchips/s
$R_j$	Bitová rychlost $j$ -tého uživatele	Hlasový uživatel: 12,2 kb/s Data1: 16-32 kb/s Data2: 64 kb/s Data3: 144 kb/s
$f$	Poměr <i>other / own cell interference</i>	0,4 – 0,6

V kapitole 2.2.2 byly zmíněny jednotlivé prozní třídy systému UMTS, mezi něž patří *conversational class*, *streaming class*, *interactive class* a *background class*. Nyní se k těmto třídám vrátíme a klasifikujeme provoz v závislosti na přenosové rychlosti  $R$ . S přenosovou rychlostí úzce souvisí požadovaná hodnota  $E_b/N_0$  a také *activity factor*  $v$ . Jednotlivé provozní třídy mají následující hodnoty  $R$ ,  $E_b/N_0$  a  $v$ :

Tab. 4.2 Klasifikace provozu dle přenosové rychlosti [4]

Provozní třída	Bitová rychlost $R$	Požadované $E_b/N_0$	Activity factor $v$
Hlas	12,2 kb/s	4 dB	0,67
Multimediální data	16 – 32 kb/s	3 dB	1,0
Data	64 kb/s	2 dB	1,0
Video	144 kb/s	1,5 dB	1,0

## 4.2 Statistické AC uplink algoritmy

V kapitole 3.2.1 byly uvedeny jednotlivé AC uplink algoritmy, které lze pro účel řízení přístupu do sítě použít. Zde budou zmíněny algoritmy založené na statistice. Zbylé algoritmy a jejich popis lze nalézt např. v [6]. V případě, kdy je zátěž odhadována na základě statistických podmínek, je udržována a podporována propustnost buňky a efekty tzv. dýchání buňky (*cell breathing*) mohou nastat v důsledku skutečnosti, že interference mezi buňkami nemusejí být přesně a precizně do výpočtu zahrnuty.

### 4.2.1 První statistické přiblížení

Pro první statistické přiblížení a předpoklad, že je již  $K$  uživatelů do systému přijato, by měl být  $K+1$  požadavek na přístup do sítě ověřen následujícím způsobem:

$$(1+f) \sum_{i=1}^K \frac{1}{1 + \frac{SF_i}{v_i \cdot \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_i \cdot r}} + (1+f) \frac{1}{1 + \frac{SF_{K+1}}{v_{K+1} \cdot \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{K+1} \cdot r}} \leq \eta_{\max}, \quad (4.16)$$

kde je  $SF$  tzv. faktor rozprostření a výkon způsobený interferencemi od ostatních buněk je modelován jako část výkonu přijímaného z vlastní buňky ( $\chi = f \cdot P_R$ ). Parametr  $r$  je tzv. *channel code rate*. Jedná se o kódový poměr kanálového kodéru, který je pevně nastaven (např. 1/2 nebo 1/3). Ostatní proměnné byly popsány v kapitole 4.1. Dle vztahu (4.16) vznikají různé strategie pro řízení přístupu do sítě v závislosti na vyvážení následujících parametrů:

- Rozprostírací faktor  $SF$  (Spreading Factor): Nastavením hodnoty  $SF$  na odhadnutou průměrnou hodnotu bude uživatel v průběhu času, kdy bude připojen, přijímat předpokládanou zátěž, což bude více odpovídat reálné situaci nežli při spolehnutí se na statistické multiplexování provozu. Uvážením hodnoty  $SF$  jako nejnižší hodnoty  $SF$  v definované RAB je pokryt nejhorší případ na úkor nadhodnocení vlivu každého individuálního uživatele a s tím související redukce kapacity.
- Activity factor v zdroje provozu: Nastavením hodnoty  $v_i < 1$  může být přístupová procedura blíže reálné situaci nespojitě aktivní (typicky v interaktivních službách) nežli při spolehnutí se na statistické multiplexování provozu. Nastavení hodnoty  $v_i = 1$  pokrývá nejhorší případ opět na úkor nadhodnocení vlivu každého individuálního uživatele a s tím související redukce kapacity.
- Celková úroveň zátěže: Nastavením prahové hodnoty  $\eta_{\max}$  bere procedura přístupu do sítě v úvahu jistou ochranu proti multiplexování oproti použití hodnoty průměrné (např. je možné mít více aktivních spojení nežli je očekávaný průměr nebo mít více uživatelů využívajících nízký  $SF$  nežli je jejich očekávaná hodnota) [6].



## 4.2.2 Druhé statistické přiblížení

Aby bylo možné zabývat se změnami ve vybraných transportních formátech, je také možné rozvinout AC algoritmus na základě pravděpodobnostního přiblížení. V takovém případě je záměrem limitovat pravděpodobnost toho, že bude *load factor*  $\eta_{ul}$  vyšší než námi zvolený práh  $\eta_{max}$ , tedy maximální hodnota zatížení v buňce. Podmínka toto ohodnocující v řízení přístupu do sítě je:

$$P(\eta_{ul} > \eta_{max}) \leq p_{th}, \quad (4.17)$$

kde  $\eta_{ul}$  je náhodná proměnná reprezentující činitele zatížení, který je závislý na chování různých uživatelů v systému. Na pravděpodobnost  $p_{th}$  může být nahlíženo jako na pravděpodobnost dosažení přetížení buňky.

Modelováním interferencí od ostatních buněk poměrem  $f$  celkového přijímaného výkonu z vlastní buňky můžeme vztah pro činitele zatížení v případě  $K$  již do systému přijatých uživatelů psát:

$$\eta_{ul} = (1 + f) \sum_{i=1}^K \Omega_i \frac{1}{1 + \frac{\Psi_i}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_i} \cdot R_i}. \quad (4.18)$$

Zde může být  $\eta_{ul}$  považováno za sumu  $K$  náhodných proměnných. Každá je poté funkcí dalších dvou náhodných proměnných  $\Omega_i$  a  $\Psi_i$ .

- 1) Proměnná  $\Psi_i$  je náhodná proměnná reprezentující rozprostírací faktor  $SF$  přidělený uživateli  $i$ . Tato proměnná disponuje omezeným množstvím hodnot v závislosti na Transport Format Combination Set (TFCS) uvažované služby. Označme  $SF_j$  rozprostíracím faktorem odpovídajícím transportnímu formátu  $j$ . Pravděpodobnostní distribuční funkce PDF proměnné  $\Psi_i$  je dána:

$$P(\Psi_i = SF_j) \quad j = 1 \dots \text{TFCmax} \quad (4.20)$$

- 2) Proměnná  $\Omega_i$  je náhodná proměnná reprezentující aktivitu  $i$  – tého uživatele na fyzické vrstvě a má následující distribuci:

$$P(\Omega_i = 1) = \nu_i \quad (4.21)$$

$$P(\Omega_i = 0) = 1 - \nu_i \quad (4.22)$$

V souladu s centrálním limitním teorémem platí: Pokud je počet uživatelů  $K$  vysoký může být činitel zatížení adekvátně aproximován Gaussovým rozdělením se střední hodnotou  $m(K)$  a variancí  $\sigma^2(K)$ . Tyto hodnoty lze vypočítat následovně:

$$m(K) = (1 + f) \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^{\text{TFCmax}} \frac{1}{1 + \frac{\Psi_i}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_i} \cdot R_i} \cdot \nu_i \cdot P(\Psi_i = SF_j) = (1 + f) \sum_{i=1}^K m_i \quad (4.23)$$

$$\sigma^2(K) = (1+f)^2 \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^{TFC \max} \frac{1}{\left(1 + \frac{SF_j}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_i \cdot R_i}\right)^2} \cdot v_i \cdot P(\Psi_i = SF_j) - (1+f)^2 \sum_{i=1}^K m_i^2 \quad (4.24)$$

Pravděpodobnost, že bude činitel zatížení vyšší než stanovený práh je:

$$P(\eta_{ul} > \eta_{\max}) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{\eta_{\max} - m(K)}{\sqrt{2}\sigma(K)}\right) \quad \text{pokud } \eta_{\max} \geq m(K) \quad (4.25)$$

$$P(\eta_{ul} > \eta_{\max}) = 1 - \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{m(K) - \eta_{\max}}{\sqrt{2}\sigma(K)}\right) \quad \text{pokud } \eta_{\max} \leq m(K) \quad (4.26)$$

Když tedy  $K+1$  uživatel žádá o přístup do systému, algoritmus AC potřebuje vypočítat  $m(K+1)$ ,  $\sigma(K+1)$  a  $P(\eta_{ul} > \eta_{\max})$ . Pokud je tato pravděpodobnost pod prahem  $p_{th}$ , může být nový uživatel systémem přijat. V opačném případě musí být odmítnut.

Klíčovým bodem k možné aplikaci této strategie je dobrý odhad distribucí proměnných  $\Omega_i$  a  $\Psi_i$ , které vysoce závisí na strategii UE-MAC při výběru TF a na charakteru generovaného provozu.

Ve srovnání s předchozím případem vyžaduje tato metoda lepší znalost statistického využívání rozprostíracích faktorů  $SF$  [6].

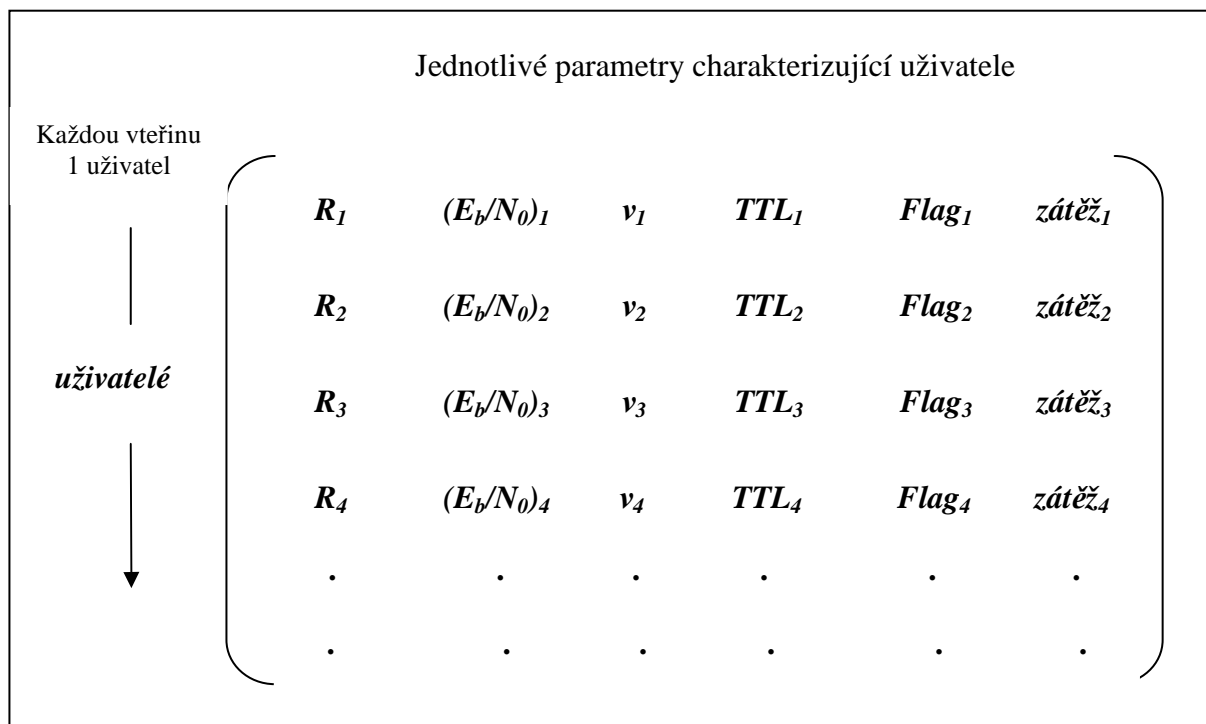
## 5. Simulace AC uplink algoritmů v prostředí MATLAB

Ve všech provedených simulacích, které budou následovat, je použito hodnot stanovených v matematickém modelu v kapitole 4.1 dle tabulky 4.1 a 4.2. Hlasový uživatel má tedy v síti přenosovou rychlost  $R = 12,2$  kb/s, požadované  $E_b/N_0 = 4$  dB a *activity factor*  $v = 0,67$ . Následují datové přenosy v síti s příslušnými hodnotami těchto parametrů. Veškeré simulace tedy vychází z matematického modelu výpočtu zátěže AC uplink algoritmu v kapitole 4.1.

### 5.1 Model AC uplink algoritmu

Jedná se o jednoduchý model AC uplink algoritmu v časové doméně využívající parametru činitele zatížení  $\eta_{ul}$  – *load factor* (4.13). Simulace může trvat libovolně dlouhý časový interval. Jak již bylo řečeno, každého uživatele charakterizuje sada několika parametrů – přenosová rychlost  $R$ , požadovaný odstup  $E_b/N_0$  a *activity factor*  $v$ . K těmto parametrům je nutné přidat ještě další tři parametry pro správnou funkci algoritmu – dobu existence uživatele v síti *TTL* (Time To Live), označení, zdali se jedná o HO uživatele či nikoliv, tzv. *Flag* a aktuální hodnota zátěže (4.6), o kterou by uživatel svým vstupem do sítě navýšil celkovou hodnotu zátěže, tedy *uplink load factor* (4.13). Parametry  $R$ , *TTL* a *Flag* jsou generovány náhodně s možnou volbou pravděpodobnosti.

Důležitým parametrem je také intenzita příchozích uživatelů. V tomto modelu je intenzita příchozích uživatelů nastavena na 1 uživatele za vteřinu. Každou vteřinu se tedy do sítě snaží dostat právě jeden uživatel. Výše zmíněné parametry lze pro názornost zapisovat do matice *uživatelé* viz. Obr. 5.1.1.



Obr. 5.1.1. Matice s parametry jednotlivých uživatelů

Hodnota  $TTL$  je uživateli vygenerována náhodně z určitého časového intervalu a je dekrementována každou vteřinu. U tohoto parametru je rozlišen hlasový a datový uživatel, který má hodnotu  $TTL$  nižší. Pokud je hodnota  $TTL = 0$ , je uživatel odstraněn ze systému a je uvolněna kapacita pro uživatele nového. Parametr  $Flag$  je také generován náhodně a oznamuje, zdali se jedná o HO uživatele či nikoliv. Pokud se o HO uživatele jedná, je tento uživatel zohledněn při odmítání nově příchozích uživatelů a má k dispozici vyšší práh (*overload threshold*), nežli normální uživatel buňky. Posledním náhodně generovaným parametrem je přenosová rychlost uživatele  $R$ . Ta nám říká, zdali se jedná o hlasového či datového uživatele a podle ní jsou poté nastaveny parametry  $E_b/N_0$  a  $v$ . Zde je možné vhodnou volbou pravděpodobností generovaných rychlostí nastavit provoz v buňce na provoz spíše hlasového či spíše datového charakteru. Celková zátěž  $\eta_{ul}$  v buňce je poté v každé vteřině počítána dle vztahu (4.13), kde je zatížení konkrétním uživatelem počítáno dle (4.6). Důležité je zde již zmíněné odmítání uživatelů. Pokud přesáhne hodnota zátěže  $\eta_{ul}$  určitý práh, který je v buňce předem nastavený  $\eta_{ul-max}$ , aktivuje se odmítání uživatelů, které pracuje takto

- a) Je-li právě příchozí uživatel HO uživatelem (parametr  $Flag$ ), je mu poskytnut vyšší práh  $\eta_{ul-max}$  a uživatel tak může v systému setrvat, čímž se nepřerušuje proces HO. Přesáhne-li však celková zátěž i tuto hodnotu, je HO uživatel odmítnut.
- b) Není-li právě příchozí uživatel HO uživatelem, je tento uživatel okamžitě odmítnut.

Nyní bude ukázán vývoj celkové zátěže v buňce pro vygenerovaný provoz hlasového charakteru (80 % zastoupení hlasových uživatelů, 20 % datových uživatelů) v časovém intervalu 5 minut.

#### Základní parametry buňky:

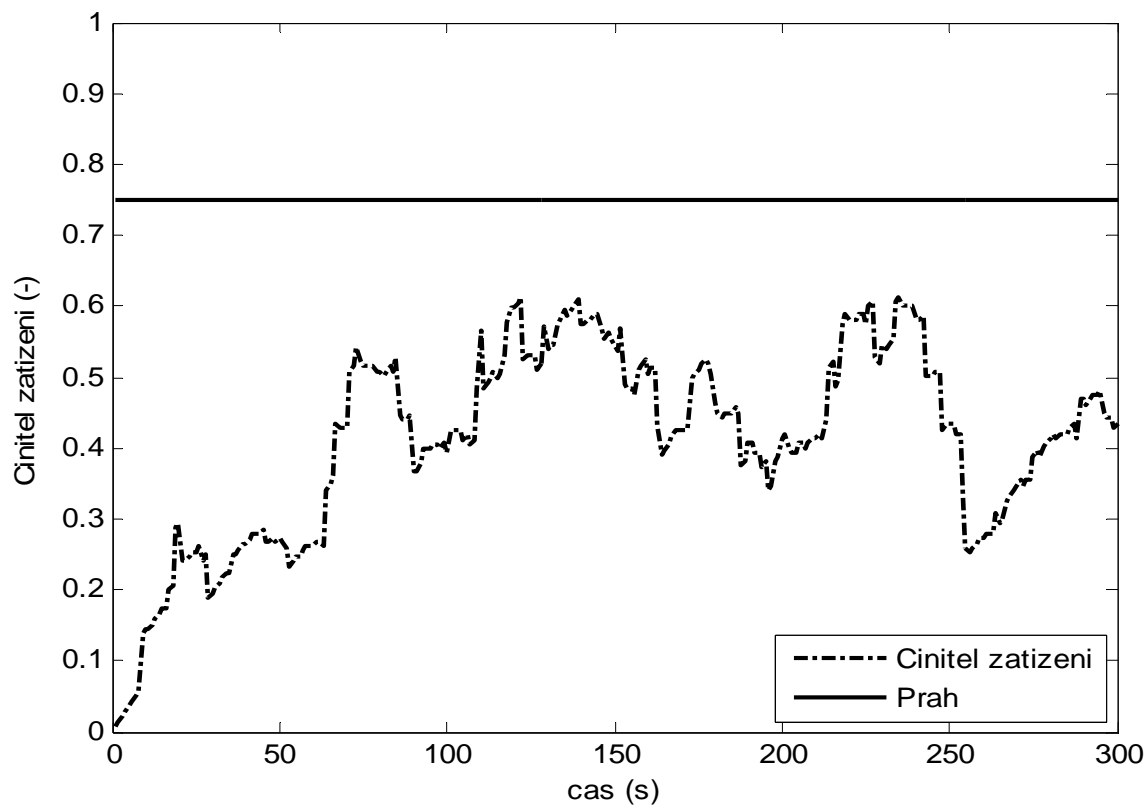
- |                         |                                       |                  |
|-------------------------|---------------------------------------|------------------|
| ➤ Práh                  | $\eta_{ul-max} = 0,75$                |                  |
| ➤ Práh pro HO uživatele | $\eta_{ul-HO} = \eta_{ul-max} + 0,05$ |                  |
| ➤ Úroveň interferencí   | $f_{ul} = 0,6$                        | (poměrně vysoká) |
| ➤ WCDMA chip rate       | $W = 3,84$ Mchips/s                   |                  |

#### Parametry uživatelů:

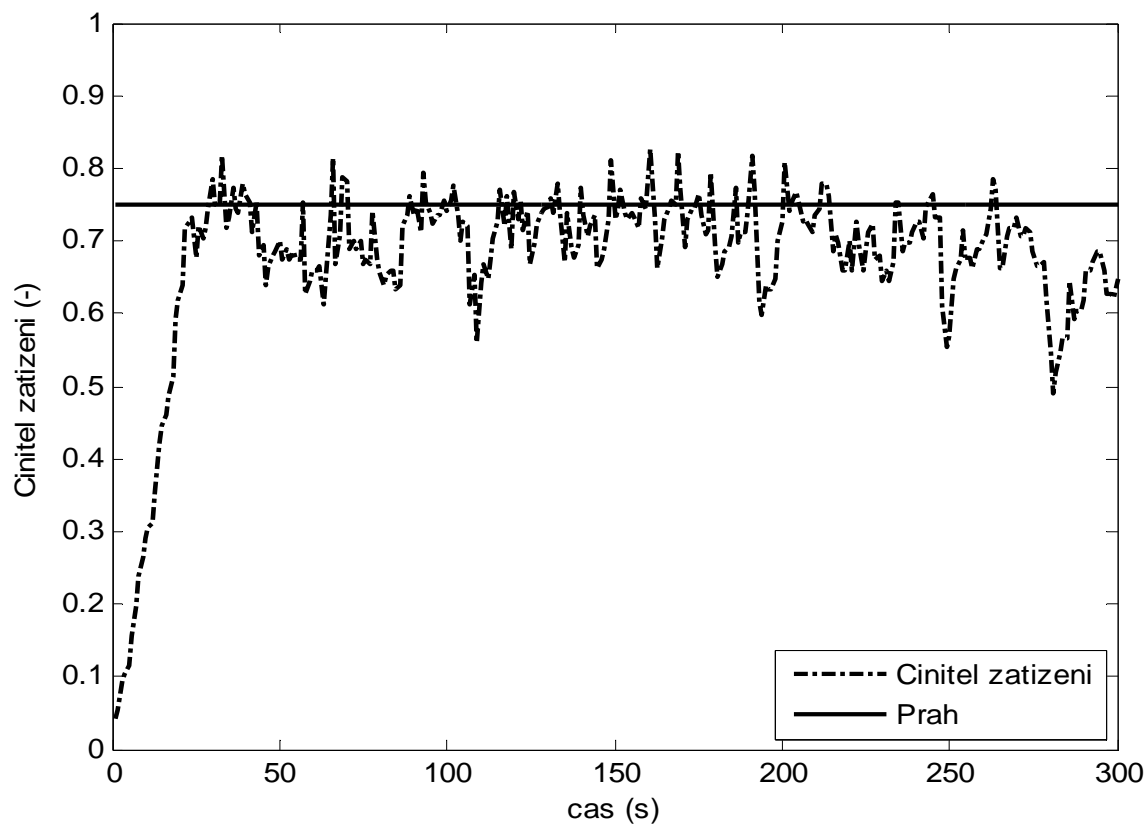
- 80 % hlasových uživatelů, 20 % datových uživatelů
- $TTL$  pro hlasového uživatele 60 – 120 s
- $TTL$  pro datového uživatele 10 – 60 s
- 40 % pravděpodobnost HO uživatele

Na Obr. 5.1.2 můžeme vidět vývoj celkové zátěže v buňce v intervalu 300 s. Vidíme, že se celková zátěž pro takto zvolený provoz hlasového charakteru výrazněji nepřiblížila námi zvolenému prahu  $\eta_{ul-max} = 0,75$  a nedošlo tedy k odmítnutí žádného uživatele. Naopak by buňka byla schopna přijmout ještě více uživatelů a nebyla tak zcela využita její kapacita.

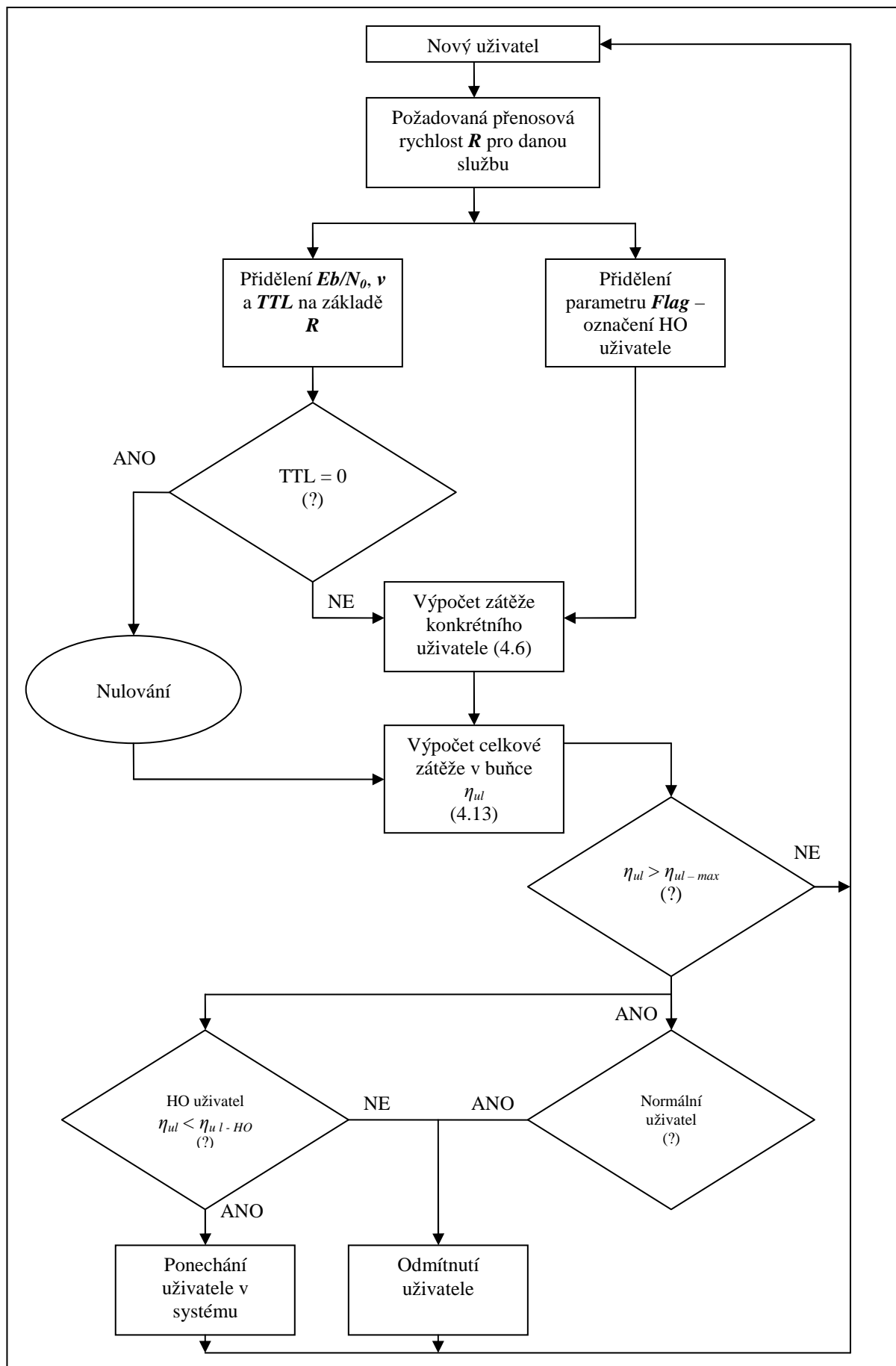
Jiná situace nastane, zvolíme – li generovaný provoz spíše datového charakteru. Zde už z Obr. 5.1.3 vidíme několikanásobné překročení prahu  $\eta_{ul-max}$  a skutečnost, že došlo k odmítnutí několika uživatelů. V takovém případě jsou velmi používaným parametrem tzv. *Blocking a Dropping Probability* (dále jen BP a DP). Tyto pravděpodobnosti budou definovány v následující kapitole. Celý algoritmus a jeho funkci lze vystihnout stavovým diagramem na Obr. 5.1.4.



Obr. 5.1.2 Vývoj celkové zátěže v buňce  $\eta_{ul}$  v intervalu 300s pro charakter hlasového provozu



Obr. 5.1.3 Vývoj celkové zátěže v buňce  $\eta_{ul}$  v intervalu 300s pro charakter datového provozu



Obr. 5.1.4 Stavový diagram použitého algoritmu AC

## 5.2 AC uplink algoritmus s průměrováním

V dalších simulacích budeme pracovat s již zmíněnými pravděpodobnostmi *Blocking* a *Dropping probability*. Definice jednotlivých pravděpodobností jsou následující

$$\text{Blocking probability} = \frac{\text{počet odmítnutých uživatelů vyjma HO uživatelů}}{\text{počet všech uživatelů, kteří se hlásili do systému}} \quad (5.1)$$

$$\text{Dropping probability} = \frac{\text{počet odmítnutých HO uživatelů}}{\text{počet všech uživatelů, kteří se hlásili do systému}} \quad (5.2)$$

V této simulaci je využito tzv. průměrovací okno  $T$ . Průměrovací okno je časový interval, pro který je počítána průměrná hodnota celkové zátěže v buňce  $\eta_{av}$ . Je-li tedy  $T = 10$  s, je průměrná hodnota celkové zátěže počítána z 10 předchozích hodnot celkové zátěže buňky  $\eta_{ul}$ . Průměrovací okno je možné zvolit libovolně veliké. Délka simulace je nastavena na 5 minut. Je zvolen smíšený provoz pro uskutečnění odmítání uživatelů a výpočet BP a DP. Je generován 1 uživatel za vteřinu.

### Základní parametry buňky:

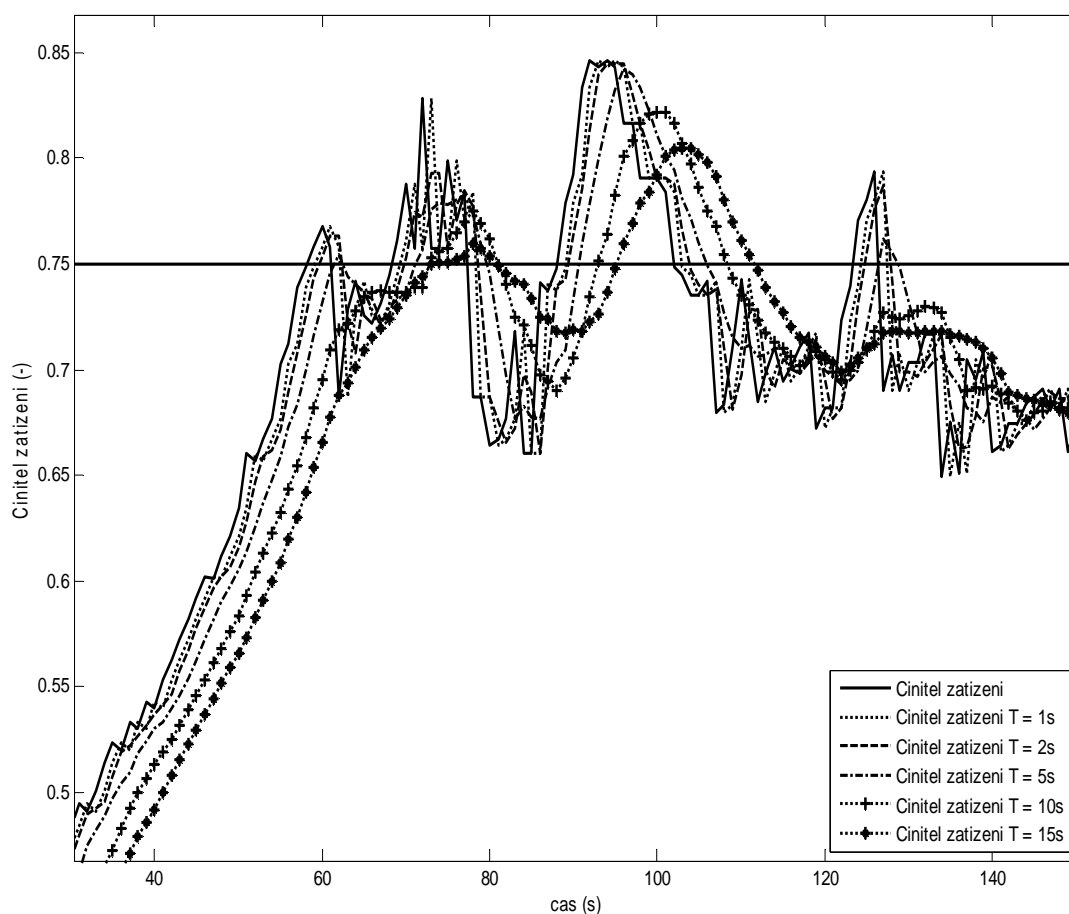
- |                         |                                       |
|-------------------------|---------------------------------------|
| ➤ Práh                  | $\eta_{ul-max} = 0,75$                |
| ➤ Práh pro HO uživatele | $\eta_{ul-HO} = \eta_{ul-max} + 0,05$ |
| ➤ Úroveň interferencí   | $f_{ul} = 0,6$                        |
| ➤ WCDMA chip rate       | $W = 3,84$ Mchips/s                   |
| ➤ Průměrovací okno      | $T = 1, 2, 5, 10$ a 15 s              |

### Parametry uživatelů:

- 50 % hlasových uživatelů, 50 % datových uživatelů
- TTL pro hlasového uživatele 60 – 120 s
- TTL pro datového uživatele 10 – 60 s
- 40 % pravděpodobnost HO uživatele

Důležité zde je to, že je průměrná hodnota zátěže  $\eta_{av}$  použita k rozhodování o tom, zdali je překročen práh  $\eta_{ul-max}$  či nikoliv a následně k odmítání uživatelů, pokud ano. Vzhledem k tomu, že se celková zátěž buňky v čase neustále mění, je se zvětšujícím se průměrovacím oknem průměrná hodnota zátěže  $\eta_{av}$  vždy menší než celková zátěž  $\eta_{ul}$ . Toto je výhodné především z hlediska odmítání nově přichozících uživatelů, jak bude ukázáno dále. Použitím okna  $T$  nám totiž výrazně klesají hodnoty obou pravděpodobností. Celý algoritmus a jeho funkci lze opět vystihnout stavovým diagramem na Obr.5.2.4.

Na následujícím Obr. 5.2.1 můžeme vidět detail vývoje celkové zátěže  $\eta_{ul}$  buňky včetně průběhů průměrných hodnot zátěže  $\eta_{av}$  počítaných z  $\eta_{ul}$  pro jednotlivé hodnoty průměrovacího okna  $T$  ve zvoleném časovém úseku cca 40 – 140 s.

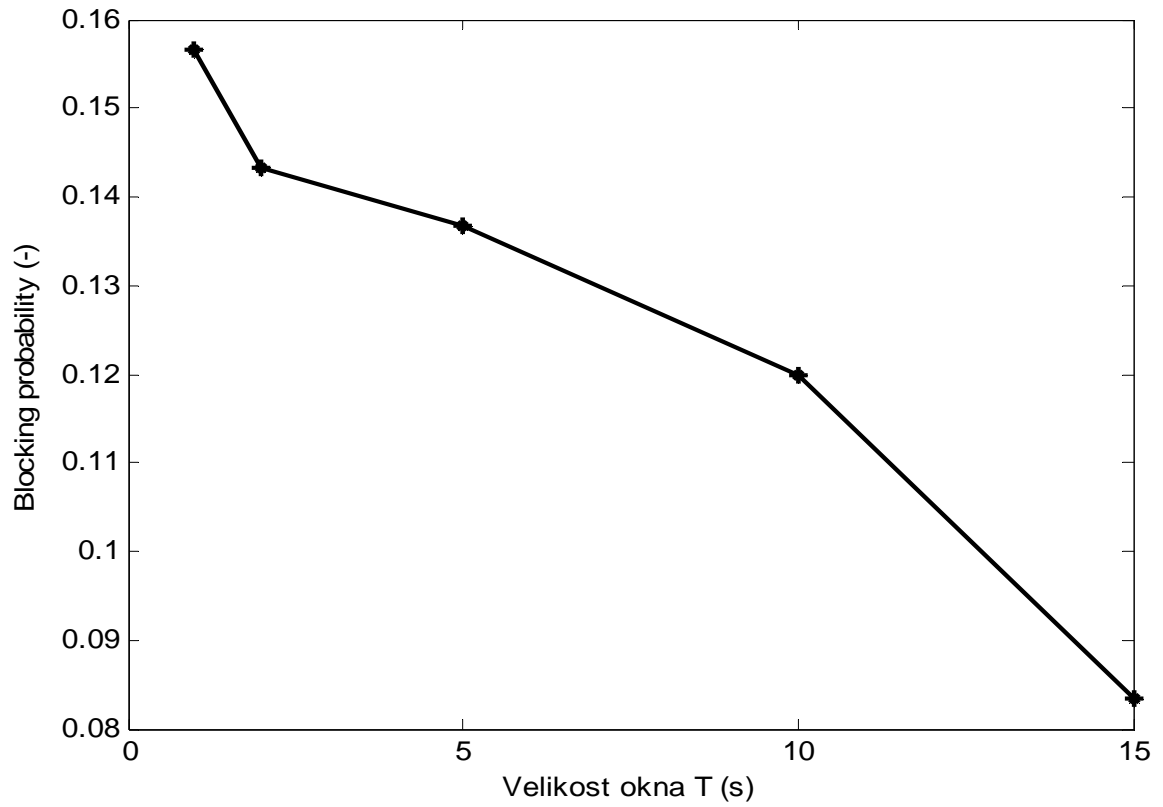


Obr. 5.2.1 Vývoj celkové zátěže v buňce  $\eta_{ul}$  a průměrné zátěže  $\eta_{av}$  v intervalu 40-130s

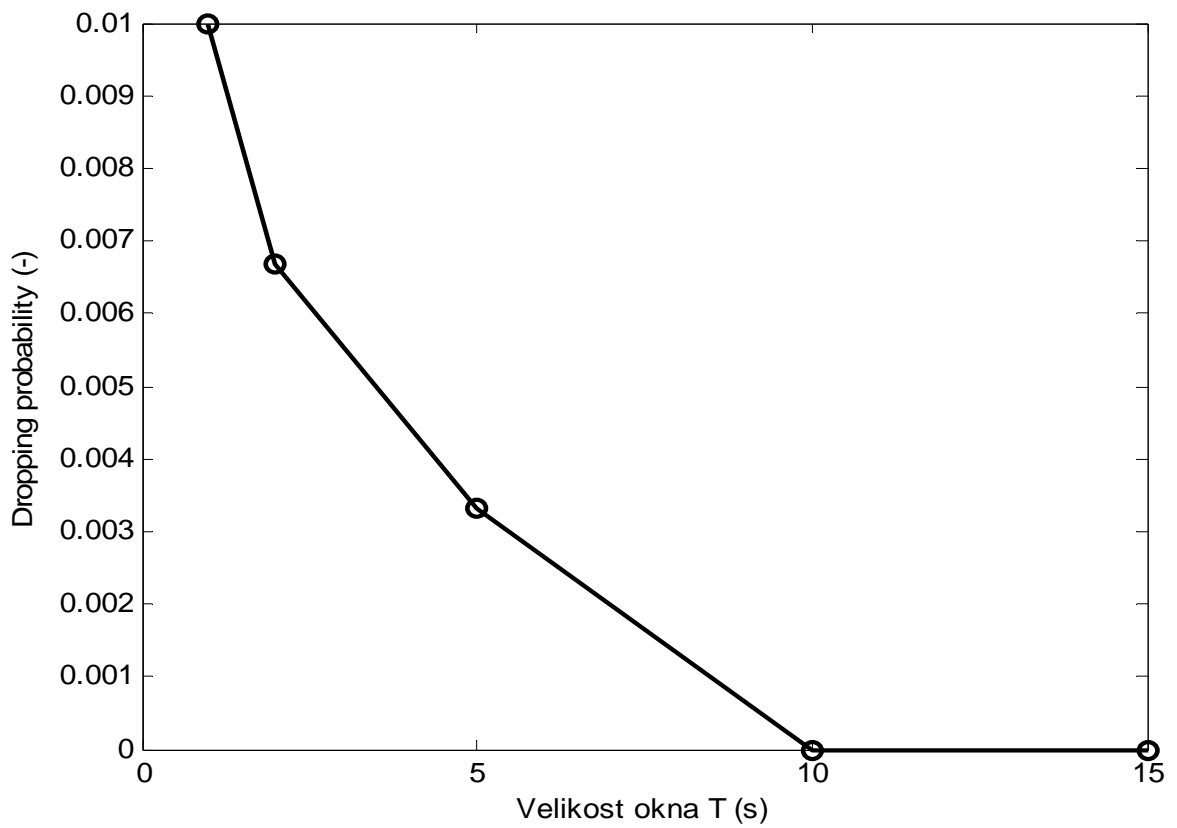
Z tohoto obrázku je možné vidět, jak se projeví délka okna  $T$  na hodnotě průměrné zátěže  $\eta_{av}$ . Volbou příliš malého okna je průměrná hodnota velice blízká hodnotě aktuální zátěže v buňce  $\eta_{ul}$  a rozhodnutí o odmítnutí uživatele tak bude v podstatě stejné, jako by se rozhodovalo dle aktuální zátěže  $\eta_{ul}$ . Pokud však zvolíme okno dostatečně dlouhé, můžeme vidět, že se bezpečně pohybujeme kolem prahové hodnoty zátěže a nijak výrazně ji nepřekročíme. Tím nám výrazně klesají obě pravděpodobnosti BP i DP, jak je ukázáno na Obr. 5.2.2 a na Obr.5.2.3.

Z těchto dvou obrázků vidíme, že pro takovýto smíšený provoz dosahuje BP pro malé okno  $T = 1s$  hodnoty téměř 16 %. Se vzrůstající hodnotou průměrovacího okna pak BP klesá a pro okno  $T = 15s$  dosahuje hodnoty mezi 8 a 9 %, tedy poloviční oproti  $T = 1s$ . U parametru DP je to stejné, zde je však vidět, že je DP pro větší okno  $T = 10s$  a  $T = 15s$  dokonce nulová a nedošlo tedy k odmítnutí žádného HO uživatele, což je velmi pozitivní. Poznatek, že pro větší průměrovací okno  $T$  je hodnota BP i DP menší, platí obecně pro jakýkoliv druh provozu. Zvětšení okna má ovšem také negativní vliv jelikož je k rozhodování použita nižší hodnota zátěže  $\eta_{av}$  nežli je skutečná hodnota zátěže  $\eta_{ul}$  v buňce. Aktuální skutečná hodnota zátěže  $\eta_{ul}$  vzroste nad prahovou hodnotu častěji, i když třeba jen krátkodobě. Práh tedy musí být nastaven s ohledem na tuto skutečnost na vhodnou hodnotu, tak aby nedošlo k neřízenému nárůstu zátěže v buňce. Při používání průměrné hodnoty  $\eta_{av}$  je tedy v buňce ve skutečnosti větší množství zátěže (uživatelů). Tento negativní vliv ukazuje Obr. 5.2.6. Jedná se o procentuelní dobu, kdy je  $\eta_{ul} > \eta_{av}$  při překročení prahu  $\eta_{max}$ . O toto procento času je tedy skutečná zátěž vyšší nežli aktuálně používaná hodnota  $\eta_{av}$  při překročení  $\eta_{max}$ .

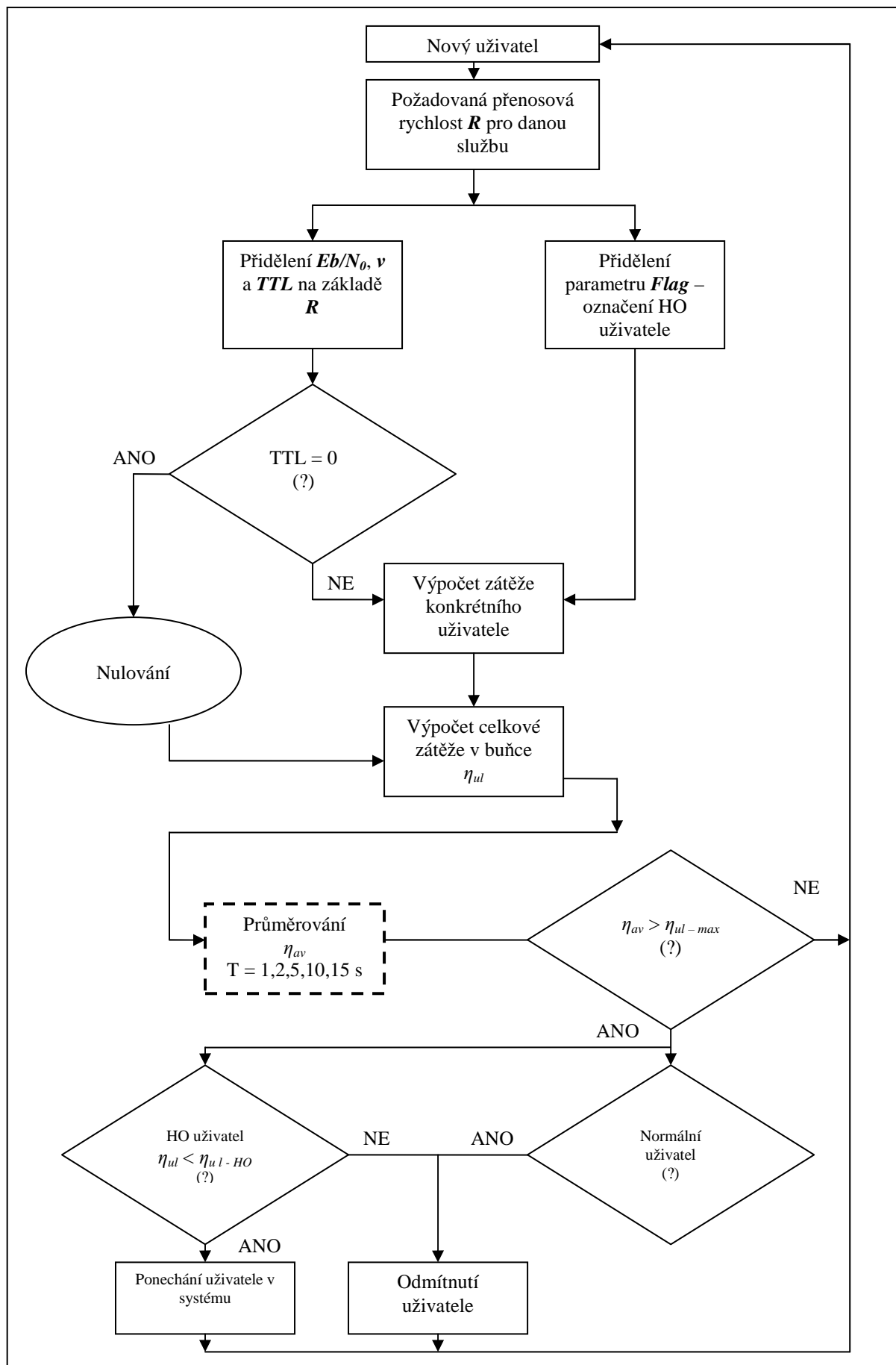




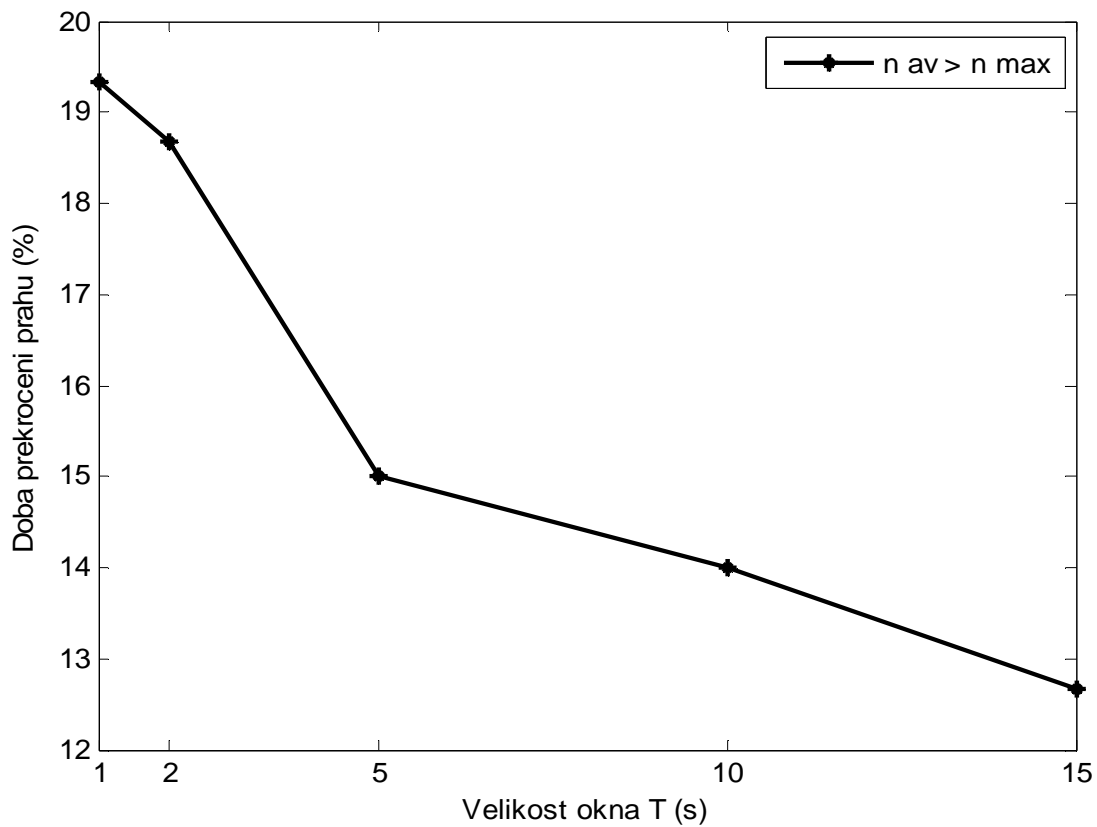
Obr. 5.2.2 Závislost *Blocking Probability* na velikosti průměrovacího okna  $T$



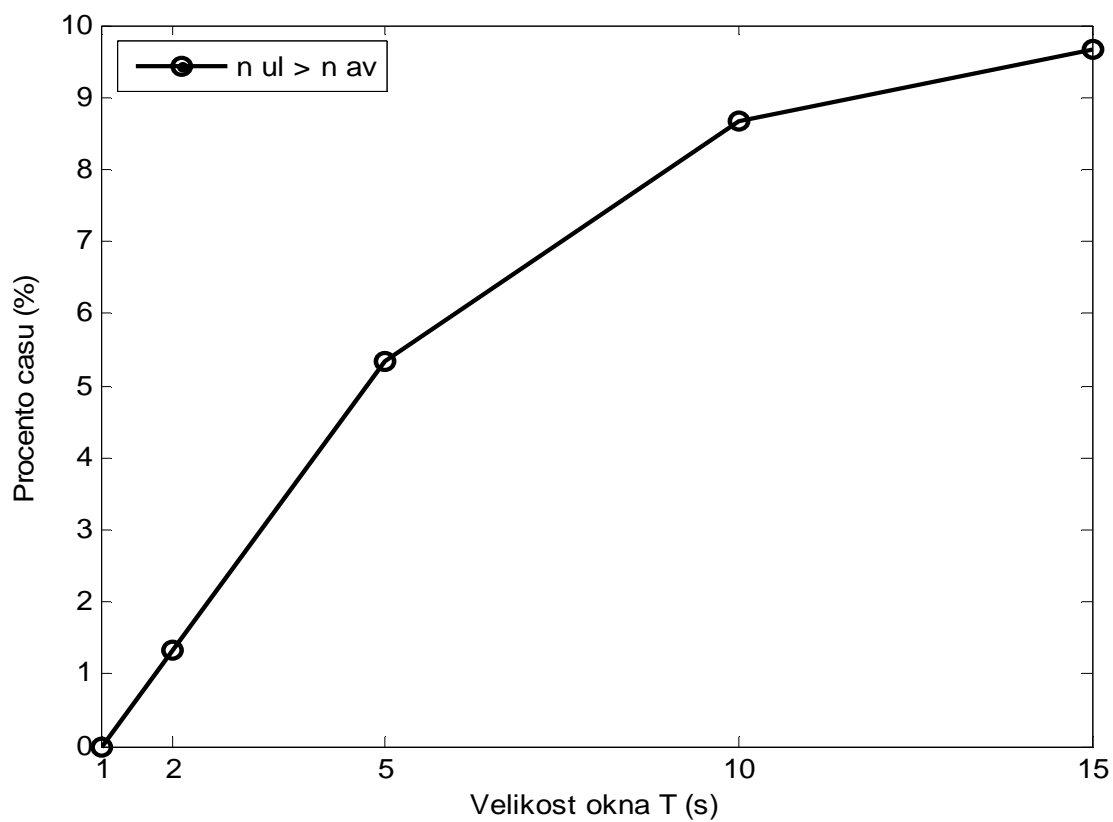
Obr. 5.2.3 Závislost *Dropping Probability* na velikosti průměrovacího okna  $T$



Obr. 5.2.4 Stavový diagram použitého algoritmu AC



Obr. 5.2.5 Procentuelní doba překročení prahu  $\eta_{max}$  průměrnou hodnotou  $\eta_{av}$



Obr. 5.2.6 Procentuelní doba překročení prahu  $\eta_{max}$  aktuální hodnotou  $\eta_{ul}$

### 5.3 AC uplink algoritmus s různým charakterem provozu

V kapitole 5.1 byl uveden vývoj celkové zátěže  $\eta_{ul}$  v buňce pro dva různé charaktery provozu, hlasový a datový provoz. Nyní bude ukázáno, jak se tyto dva druhy provozu projeví na parametrech BP a DP. Také zde je využito průměrovacího okna  $T$  o různé délce a hodnoty průměrné zátěže  $\eta_{av}$  k rozhodnutí o odmítnutí uživatelů. Hodnoty pravděpodobností BP a DP jsou zkoumány jednak v závislosti na délce použitého okna  $T$  ale také v závislosti na charakteru provozu v buňce, což je v tomto případě nejdůležitější. Délka simulace byla nastavena na 5 minut a je generován 1 uživatel za vteřinu.

#### Základní parametry buňky:

- |                         |                                       |
|-------------------------|---------------------------------------|
| ➤ Práh                  | $\eta_{ul-max} = 0,60$                |
| ➤ Práh pro HO uživatele | $\eta_{ul-HO} = \eta_{ul-max} + 0,05$ |
| ➤ Úroveň interferencí   | $f_{ul} = 0,6$                        |
| ➤ WCDMA chip rate       | $W = 3,84$ Mchips/s                   |
| ➤ Průměrovací okno      | $T = 1, 2, 5, 10$ a 15 s              |

#### Parametry uživatelů:

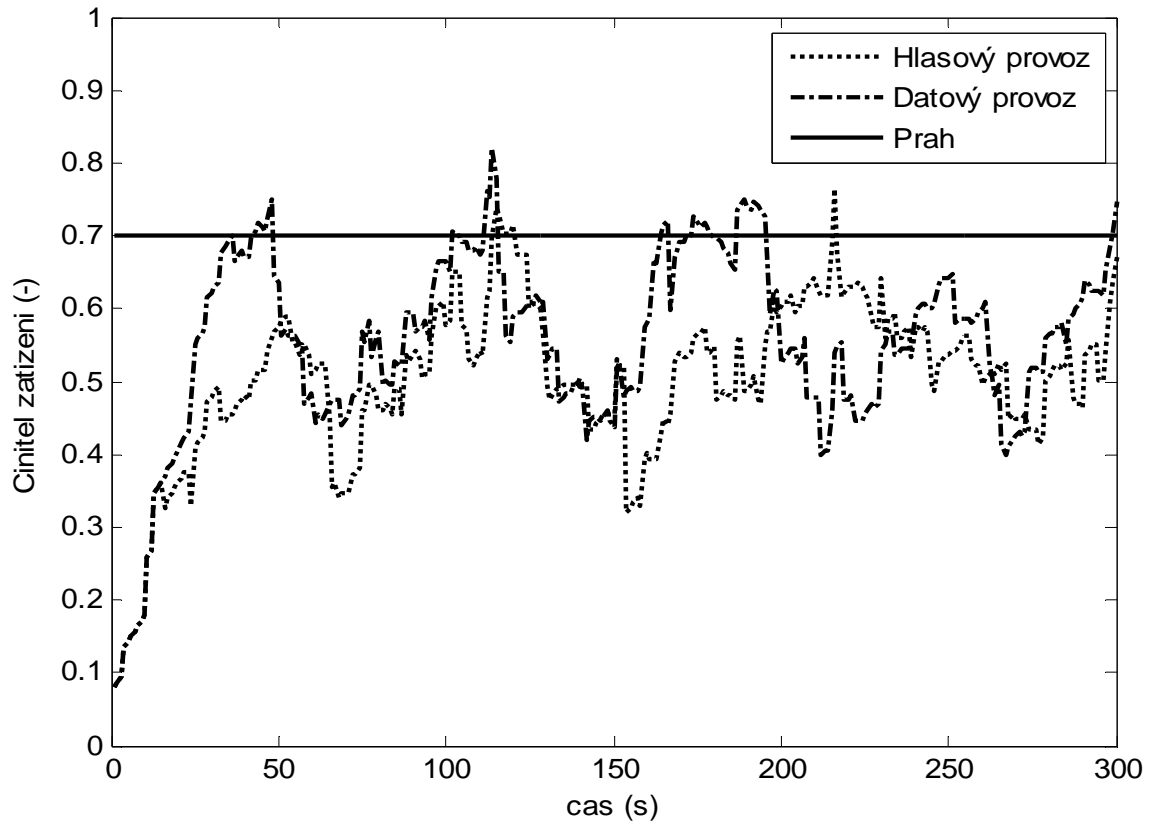
##### a) Hlasový provoz

- 80% hlasových uživatelů, 20 % datových uživatelů
- $TTL$  pro hlasové uživatele 60 – 120 s
- $TTL$  pro datové uživatele 10 – 60 s
- 40 % pravděpodobnost HO uživatele

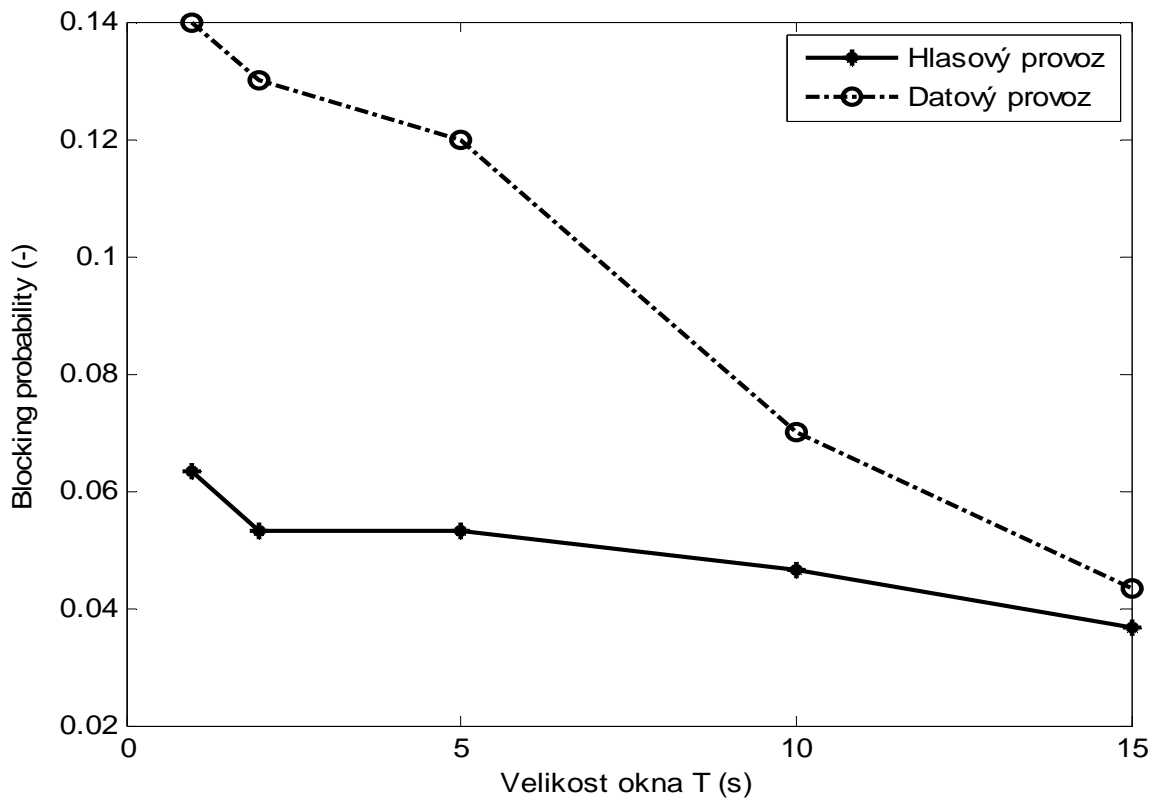
##### b) Datový provoz

- 20% hlasových uživatelů, 80 % datových uživatelů
- $TTL$  pro hlasové uživatele 60 – 120 s
- $TTL$  pro datové uživatele 30 – 60 s
- 40 % pravděpodobnost HO uživatele

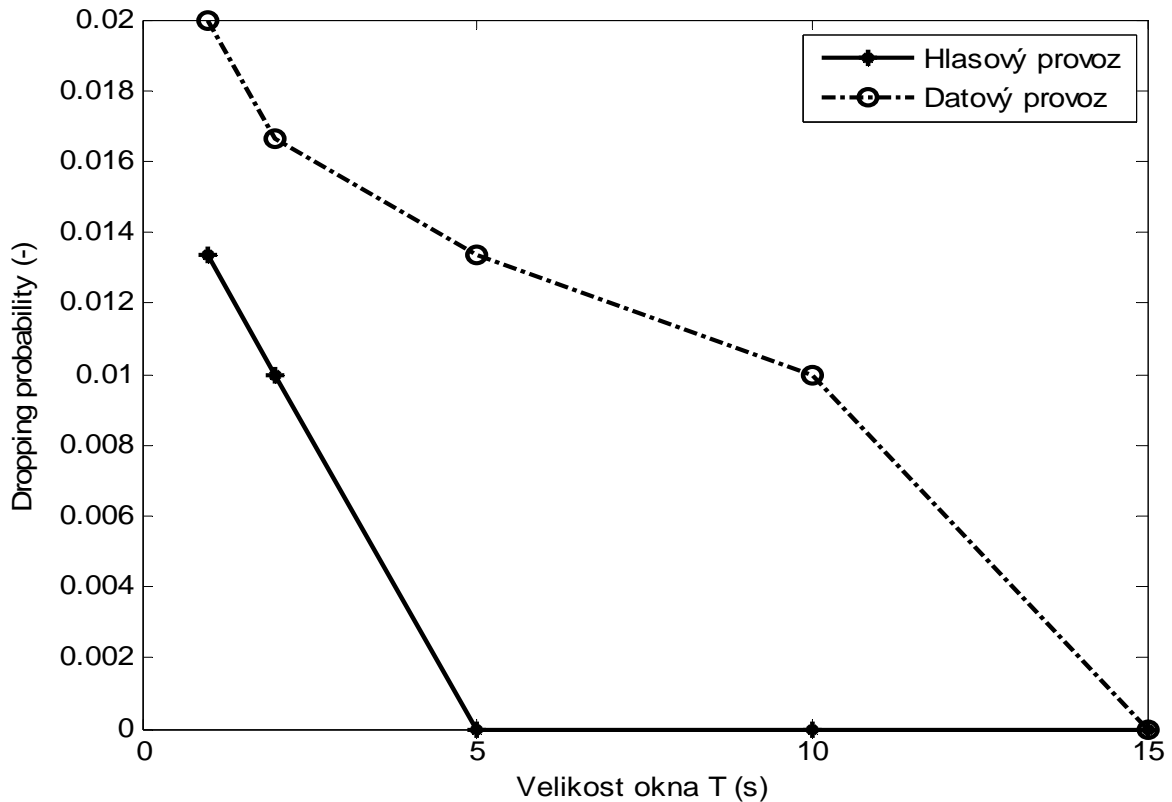
Obr. 5.3.1 ukazuje vývoj celkové zátěže v buňce  $\eta_{ul}$  v intervalu 300s pro hlasový a datový charakter provozu. Důležitější jsou ovšem Obr. 5.3.2 a Obr.5.3.3, které ukazují závislost BP a DP jednak na velikosti okna  $T$  a jednak na charakteru provozu v buňce. Opět platí, že se zvětšujícím se oknem  $T$  klesají hodnoty obou pravděpodobností, stejně jako tomu bylo v předchozí kapitole, a v případě DP je pro okno  $T = 15$ s tato pravděpodobnost nulová pro oba druhy provozu. Jak můžeme vidět, obě pravděpodobnosti dosahují vyšších hodnot pro datový provoz. Vzhledem k větší zátěži, kterou nově přichází datoví uživatelé buňce přinášejí, na rozdíl od podstatně menší zátěže hlasových uživatelů, je tedy zřejmé, že u datových uživatelů bude mnohem častěji docházet k jejich odmítnutí nežli u hlasových uživatelů. U datového provozu tedy bude kapacita buňky naplněna mnohem dříve. U hlasového provozu je DP nulová již pro okno  $T = 5$ s a nedošlo zde tedy k odmítnutí žádného HO uživatele. *To, zdali se uživatel dostane do systému tedy silně závisí na aktuálním druhu provozu v buňce a na skutečnosti, zda-li uživatel žádá o datovou či hlasovou službu*. Oba případy jsou vzhledem k 80 % zastoupení hlasových nebo datových uživatelů spíše extrémy a jsou použity pro názornost jednotlivých rozdílů.



Obr. 5.3.1 Vývoj celkové zátěže v buňce  $\eta_{ul}$  v intervalu 300s pro hlasový a datový charakter provozu



Obr. 5.3.2 Závislost *Blocking Probability* na velikosti průměrovacího okna  $T$  a různém druhu provozu



Obr. 5.3.3 Závislost *Dropping Probability* na velikosti průměrovacího okna  $T$  a různém druhu provozu

Opět je zde důležité zdůraznit fakt, že je k rozhodování použita nižší hodnota zátěže  $\eta_{av}$  nežli je skutečná hodnota zátěže  $\eta_{ul}$  v buňce. Aktuální skutečná hodnota zátěže  $\eta_{ul}$  vzroste nad prahovou hodnotu častěji, i když třeba jen krátkodobě. Práh tedy musí být nastaven s ohledem na tuto skutečnost na vhodnou hodnotu, tak aby nedošlo k neřízenému nárůstu zátěže v buňce. Při používání průměrné hodnoty  $\eta_{av}$  je tedy v buňce ve skutečnosti větší množství zátěže (uživatelů). Tato skutečnost byla ukázána na Obr. 5.2.5.

## 5.4 AC uplink algoritmus s různou intenzitou příchozích uživatelů

Na začátku kapitoly 5.1 bylo řečeno, jak důležitým parametrem je intenzita příchozích uživatelů. Až doposud jsme ve všech simulacích pro zjednodušení generovali každou vteřinu jednoho uživatele, který měl své charakteristické parametry ( $R$ ,  $E_b/N_0$ ,  $v$ ,  $TTL$ , zátěž) a který se snažil přihlásit do systému. Nyní bude ukázána závislost BP a DP jako funkce narůstající intenzity příchozích uživatelů. Do sítě se bude postupně hlásit 1, 2 až 3 uživatelé za vteřinu. Opět je zde pro rozhodování o odmítnutí uživatelů použito průměrovacího okna  $T$  a průměrné hodnoty zátěže v buňce  $\eta_{av}$ . Okno zvolíme pro ukázkou záměrně ve značném rozsahu, a to  $T_1 = 2s$  a  $T_2 = 30s$ . Délka simulace byla nastavena na 5 minut.

### Základní parametry buňky:

➤ Práh	$\eta_{ul-max} = 0,75$
➤ Práh pro HO uživatele	$\eta_{ul-HO} = \eta_{ul-max} + 0,05$
➤ Úroveň interferencí	$f_{ul} = 0,6$
➤ WCDMA chip rate	$W = 3,84$ Mchips/s
➤ Průměrovací okno	$T = 2$ a $30$ s
➤ Uživatelé za vteřinu	$N = 1 - 3$

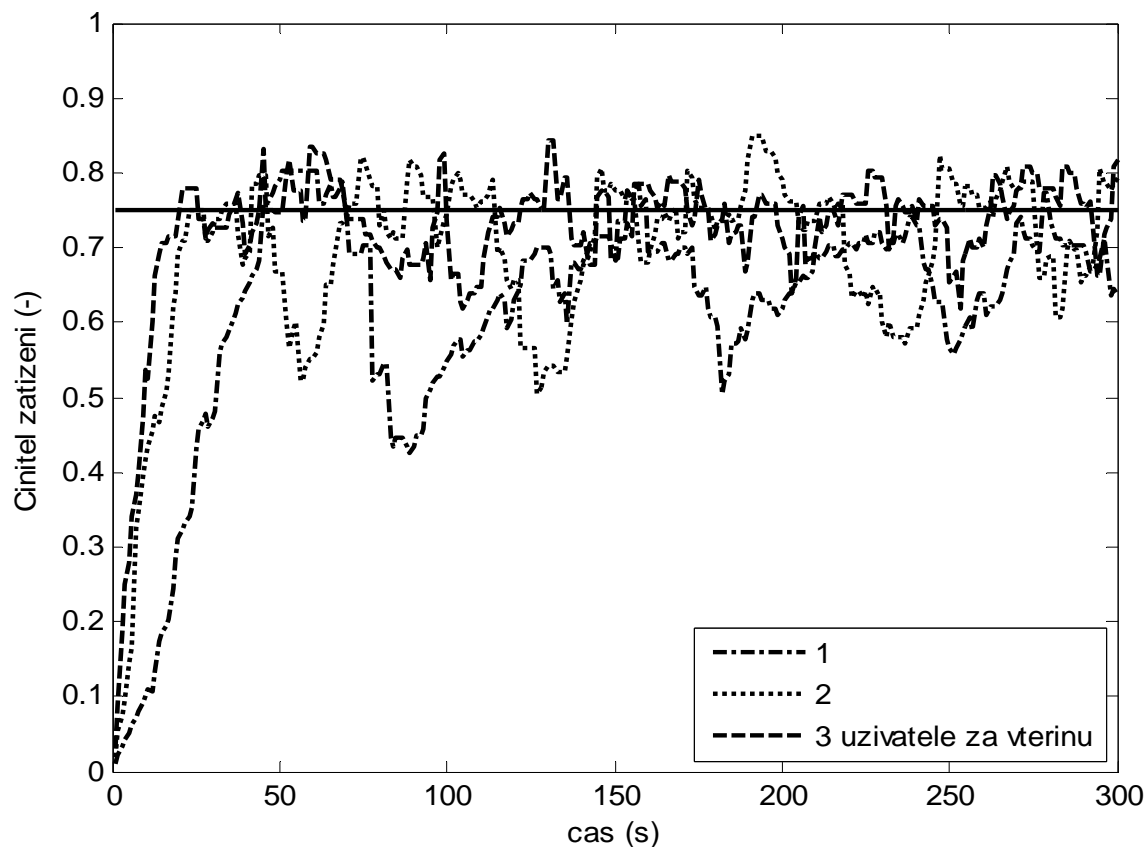
### Parametry uživatelů:

- 60 % hlasových uživatelů, 40 % datových uživatelů
- $TTL$  pro hlasového uživatele 60 – 120 s
- $TTL$  pro datového uživatele 10 – 60 s
- 40 % pravděpodobnost HO uživatele

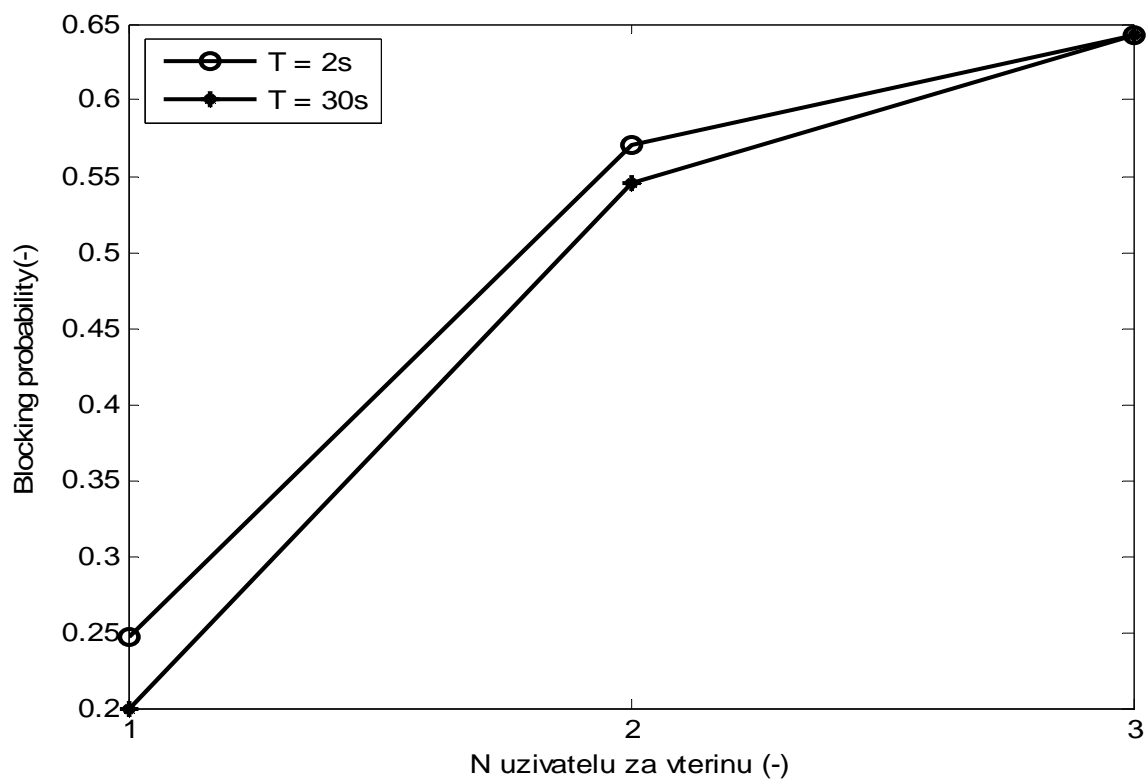
Na Obr.5.4.1 je vidět vývoj celkové zátěže v buňce  $\eta_{ul}$  pro různou intenzitu příchozích uživatelů. Je patrné, že s vyšší intenzitou příchozích uživatelů narůstá hodnota celkové zátěže v buňce mnohem výrazněji a rychleji, nežli tomu je u 1 příchozího uživatele každou vteřinu, kde není nárůst tak strmý. Rovněž uvolňování kapacity buňky je výraznější u většího počtu hlásících se uživatelů za vteřinu. To je způsobeno jednak parametrem  $TTL$ , který může být nulový v jednom okamžiku pro velký počet uživatelů a jednak mechanismem pro odmítání nově příchozích uživatelů, kteří jsou ze systému odstraněni. Již nyní lze usoudit, jaký vliv bude mít tato skutečnost na parametry BP a DP, a to sice jejich výrazný nárůst.

Tento vliv je možné vidět na Obr. 5.4.2 a 5.4.3. Obě pravděpodobnosti samozřejmě s narůstající intenzitou příchozích uživatelů stoupají. Hodnota BP je pro 3 uživatele hlásících se každou vteřinu do sítě téměř 65%. Takové množství uživatelů by se tedy z celkového počtu 100% nedostalo do sítě. Naopak pro minimální intenzitu je hodnota BP 25% ( $T = 2s$ ) resp. 20% ( $T = 30s$ ), což je sice podstatně méně, avšak i to je poměrně vysoké číslo (opět záleží na druhu provozu). U parametru DP odpovídá nejmenší intenzitě hodnota v okolí 1,5% s nárůstem až na více než 5% pro obě použítá okna. Zajímavé je zde právě použití okna  $T$ . Jak je vidět, obě pravděpodobnosti dosahují menších hodnot pro větší okno  $T = 30$  s. Pro vysokou intenzitu by se však rozdíl mezi jednotlivými okny již téměř vůbec neprojevil. Výsledkem je tedy skutečnost, že s narůstající intenzitou příchozích uživatelů výrazně stoupají oba parametry BP i DP, přičemž menších hodnot může být dosaženo použitím vhodně dlouhého průměrovacího okna  $T$ .

Na Obr. 5.4.4 jsou ještě pro větší přehlednost Obr. 5.4.1 ukázána časová procenta překročení maximální zátěže v buňce  $\eta_{max}$ . Zde je již jednoznačně vidět doba překročení prahu  $\eta_{max}$  v závislosti na intenzitě příchozích uživatelů.

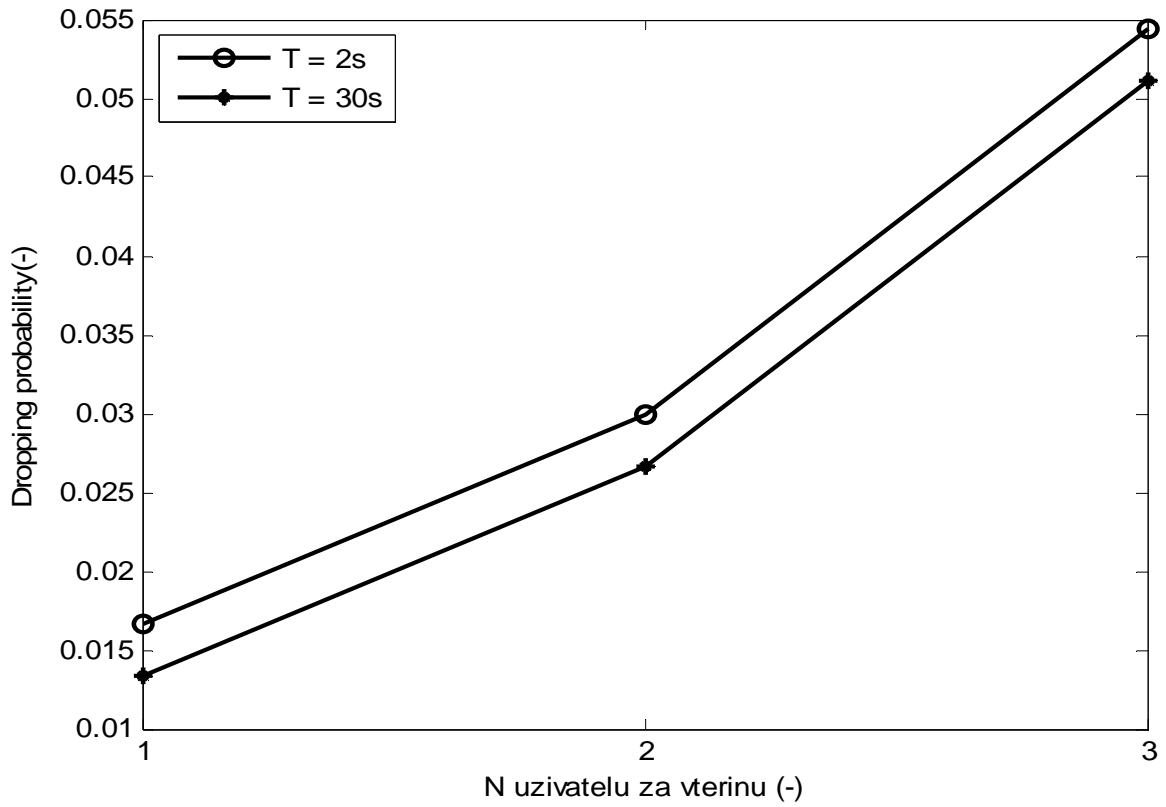


Obr. 5.4.1 Vývoj celkové zátěže v buňce  $\eta_{ul}$  v intervalu 300s s různou intenzitou příchozích uživatelů

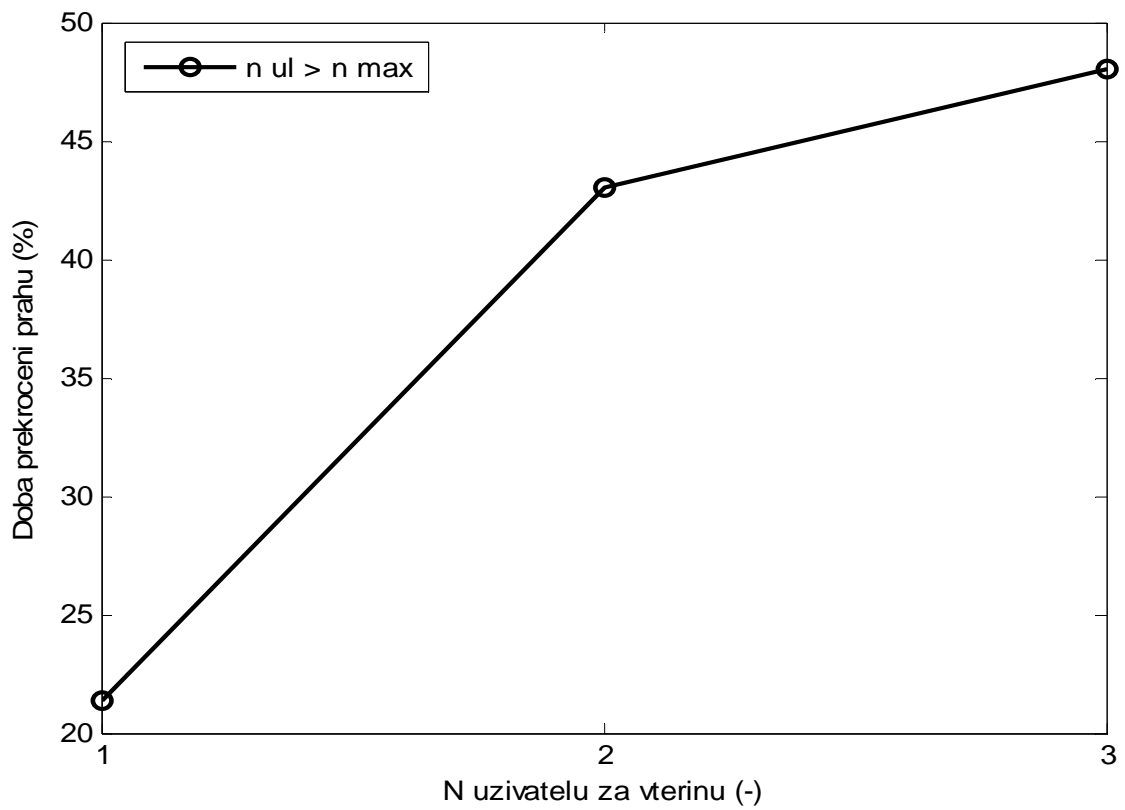


Obr. 5.4.2 Závislost *Blocking Probability* na intenzitě příchozích uživatelů





Obr. 5.4.3 Závislost *Dropping Probability* na intenzitě příchozích uživatelů



Obr. 5.4.4 Procentuelní doba překročení prahu  $\eta_{max}$

## 5.5 Využití front

V předchozím textu byl ukázán jeden způsob, kterým lze zmenšit procento odmítnutých uživatelů, tedy hodnoty BP a DP. Bylo jím použití průměrovacího okna  $T$  vhodné délky (je třeba uvážit i negativní vliv). Dalším způsobem, jak lze dále zmenšovat hodnoty obou parametrů BP i DP, je využití fronty. Fronta je v tomto případě registrem, do kterého jsou ukládány požadavky jednotlivých uživatelů, kteří se aktuálně nedostali do systému. Funkce algoritmu využívajícího frontu může být popsána následovně:

- 1) Pokud je uživatel, žádající o přístup do sítě, odmítnut (viz. podmínky v kap. 5.1), je jeho požadavek přesunut do fronty. Uživatel tedy není odmítnut okamžitě.
- 2) Po přesunutí uživatele do fronty je uživateli automaticky přidělen čas  $T_f$ , po který může ve frontě setrvat. Tento čas je stejný pro všechny uživatele, kteří se do fronty dostanou a je každou vteřinu dekrementován.
- 3) Fronta je každou vteřinu skenována a jsou sledovány následující podmínky:

$$\eta_{ul} < \eta_{max} \quad \text{a} \quad T_f > 0 \quad (5.3)$$

- 4) Pokud jsou obě tyto podmínky splněny současně, může se uživatel vrátit zpět do systému a uskutečnit svůj požadavek. Pokud však jedna z těchto podmínek neplatí, je uživatel odmítnut.

Důležité je zde říci, že proces k odmítání uživatelů využívá aktuální hodnotu činitele zatížení  $\eta_{ul}$ . Použití průměrovacího okna  $T$  a průměrné hodnoty činitele zatížení  $\eta_{av}$  prozatím bude ponecháno stranou. Princip použití fronty ukazuje Obr. 5.5.3. Nyní bude sledován jednak vliv použití fronty a jednak vliv různého nastavení času  $T_f$ , tedy doby ve frontě, na parametry BP a DP. Délka simulace byla opět nastavena na dobu 5 minut.

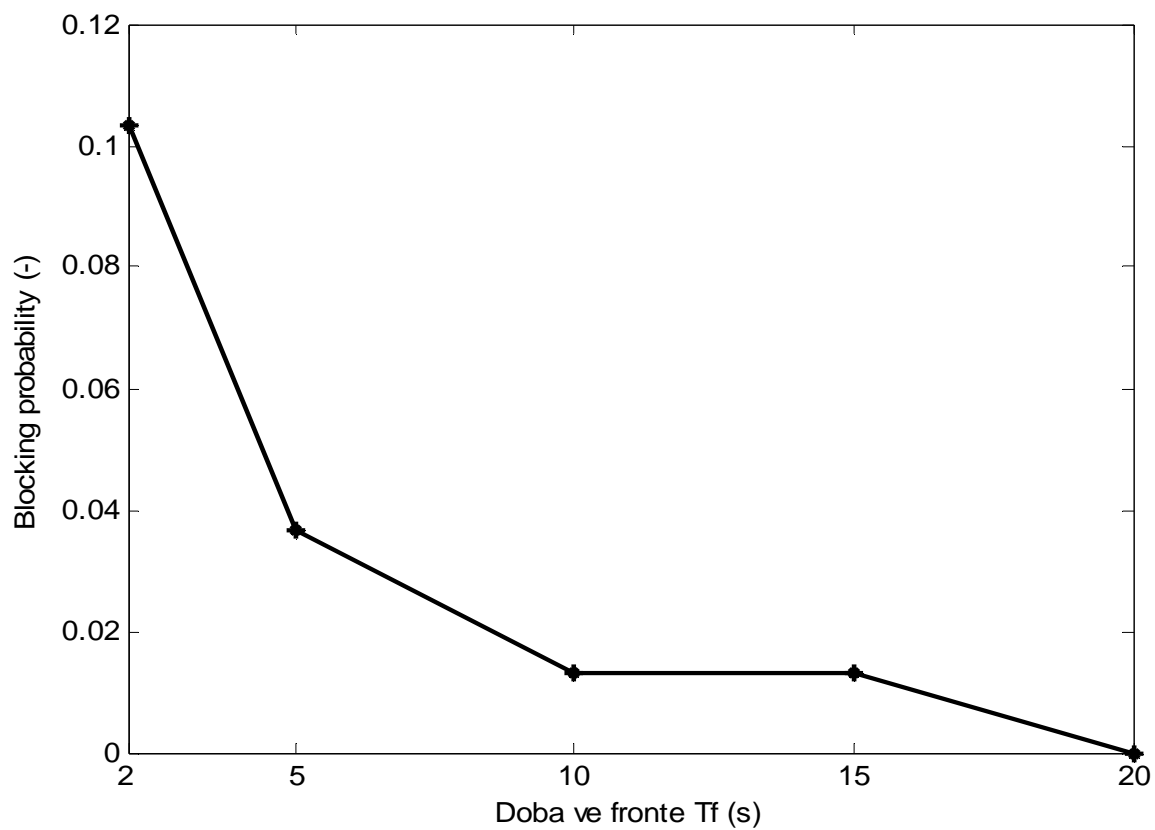
### Základní parametry buňky:

- |                         |  |
|-------------------------|--|
| ➤ Práh                  | $\eta_{ul-max} = 0,75$                       |
| ➤ Práh pro HO uživatele | $\eta_{ul-HO} = \eta_{ul-max} + 0,05$        |
| ➤ Úroveň interferencí   | $f_{ul} = 0,6$                               |
| ➤ WCDMA chip rate       | $W = 3,84 \text{ Mchips/s}$                  |
| ➤ Doba ve frontě        | $T_f = 2, 5, 10, 15 \text{ a } 20 \text{ s}$ |

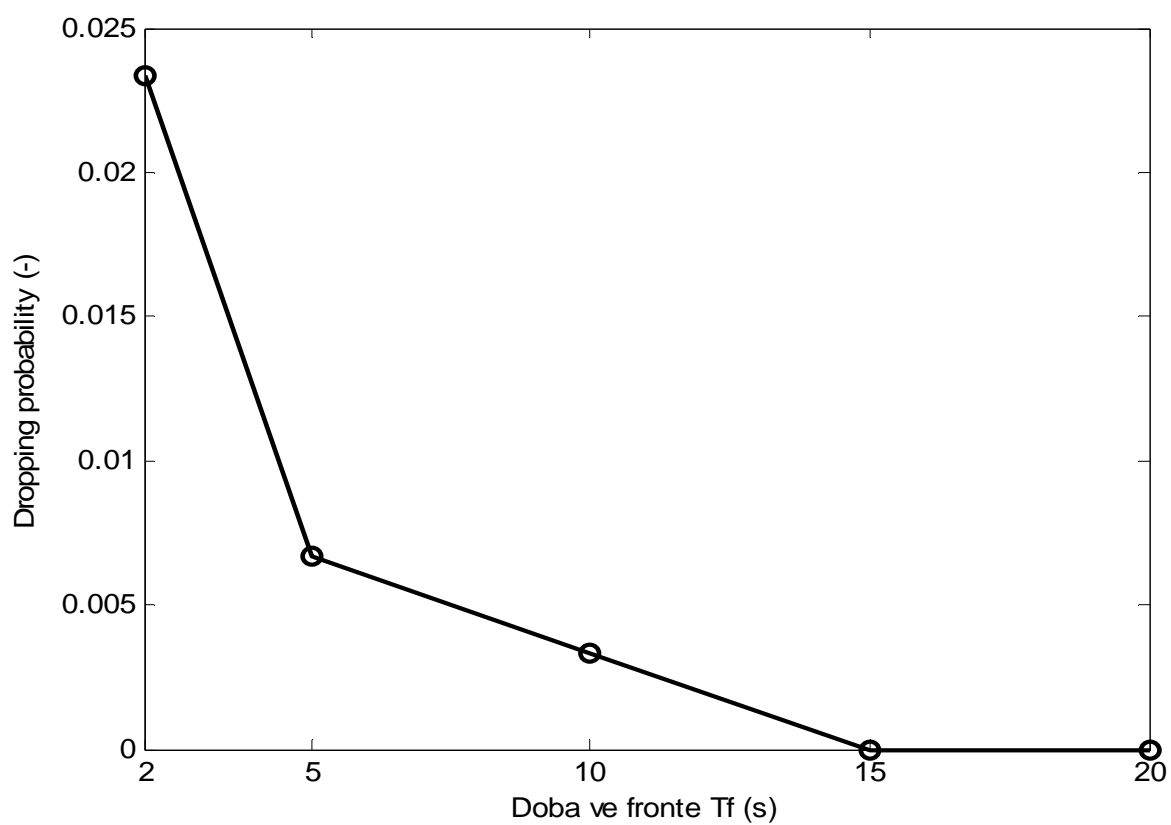
### Parametry uživatelů:

- 60 % hlasových uživatelů, 40 % datových uživatelů
- $TTL$  pro hlasového uživatele 60 – 120 s
- $TTL$  pro datového uživatele 10 – 60 s
- 40 % pravděpodobnost HO uživatele

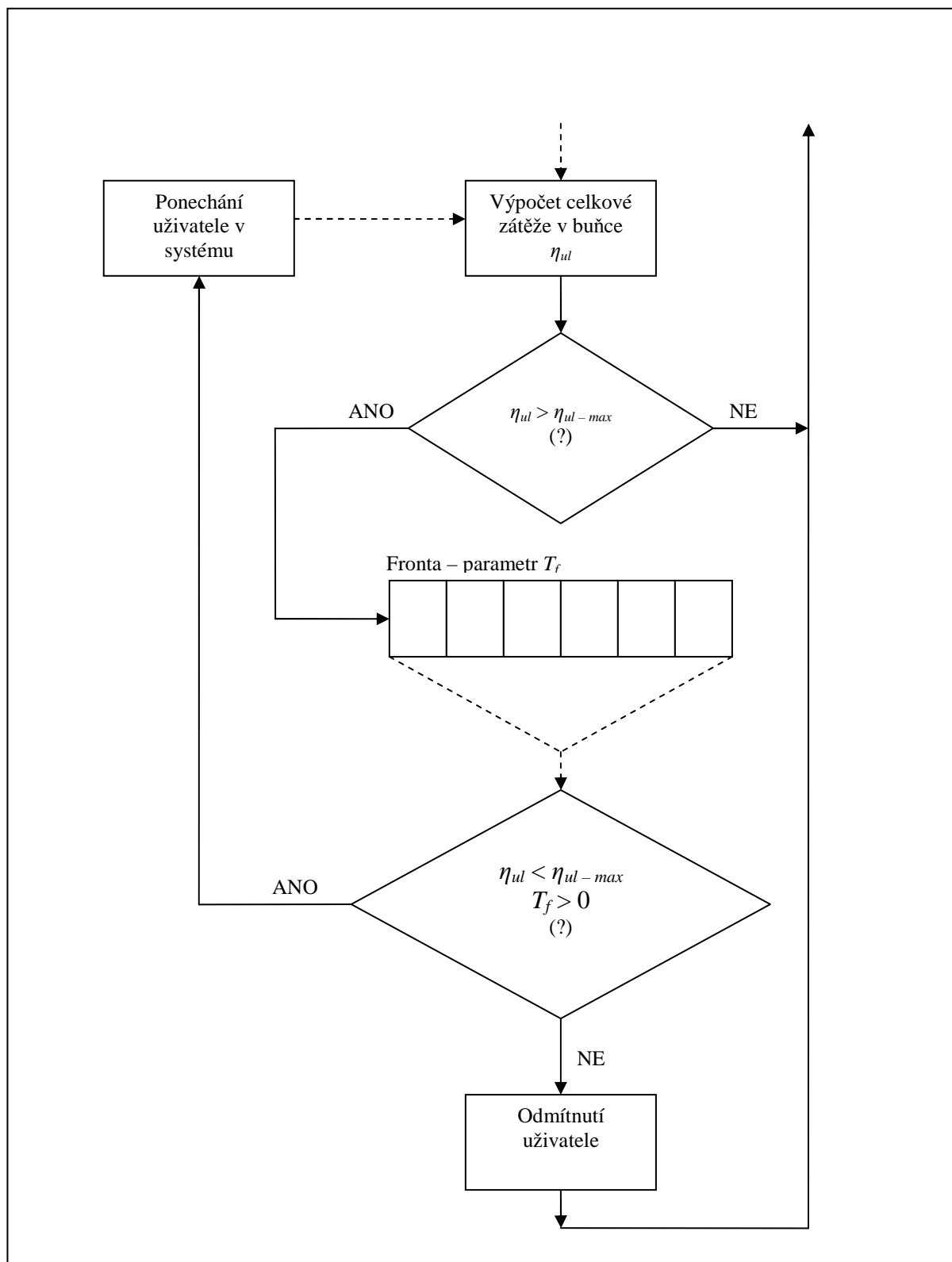
Na Obr. 5.5.1 je možné vidět závislost BP na času  $T_f$ , po který mohou uživatelé setrvat ve frontě. Na Obr. 5.5.2 pak závislost DP na času  $T_f$ , po který mohou uživatelé setrvat ve frontě.



Obr. 5.5.1 Závislost *Blocking Probability* na parametru  $T_f$



Obr. 5.5.2 Závislost *Dropping Probability* na parametru  $T_f$

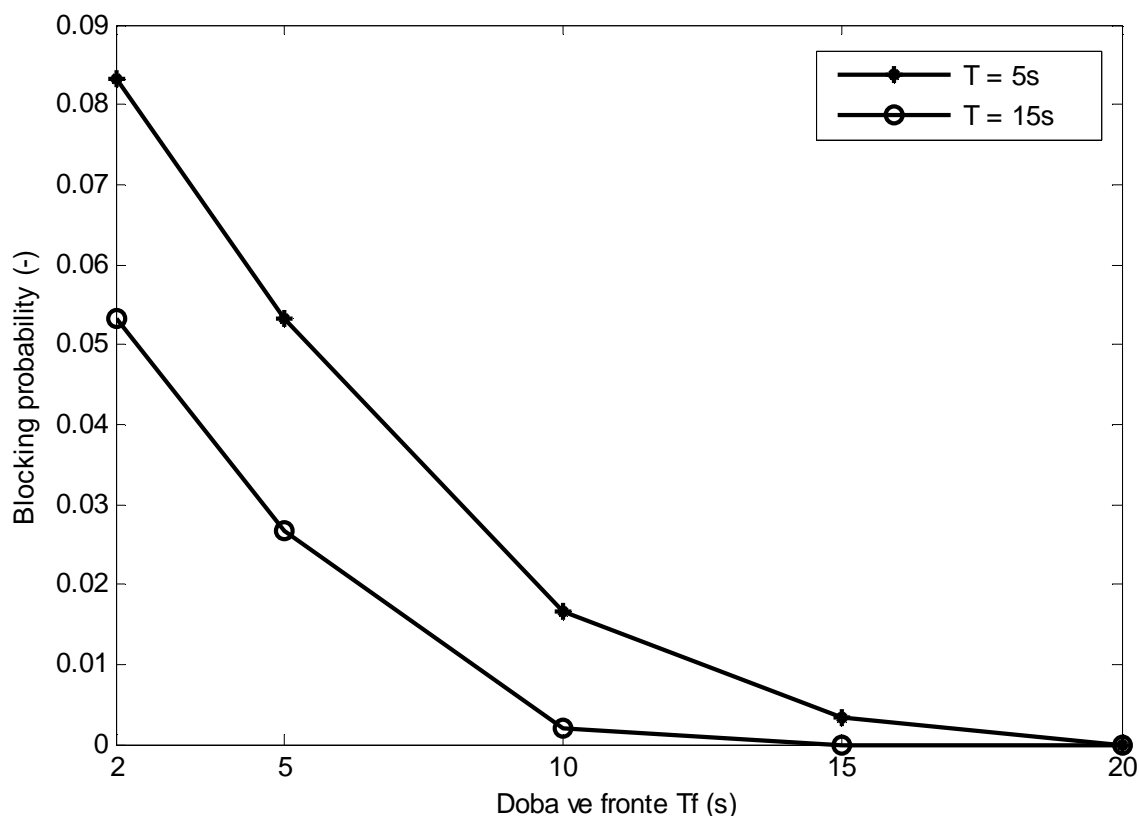


Obr. 5.5.3 Princip využití fronty

Z Obr. 5.5.1 lze odečíst cca 10% odmítnutých uživatelů při použití malé hodnoty  $T_f = 2s$ . To v podstatě odpovídá případu, kdybychom frontu v algoritmu zařazenu neměli. Pro větší hodnoty času  $T_f = 10, 15$  a  $20s$  je již procento odmítnutých uživatelů méně než 2. Obdobné je to u HO uživatelů viz. Obr. 5.5.2. Zde jsme opět (stejně jako při použití dostatečně dlouhého okna  $T$ ) schopni dosáhnout stavu žádného odmítnutého HO uživatele.

Použitím vhodně a dostatečně dlouhého časového intervalu  $T_f$ , po který může uživatel setrvat ve frontě, tedy lze účinně snižovat hodnoty obou pravděpodobností BP i DP. Princip je velmi podobný principu použití průměrovacího okna  $T$ , tudíž i zde lze nalézt jisté nevýhody. *Použitím příliš krátké doby  $T_f$  se přiblížíme případu, kdy je využití fronty takřka zbytečné a setrvání uživatele ve frontě je příliš krátké na to, aby mohly být splněny podmínky (5.3). Naopak použití příliš vysoké hodnoty  $T_f$  je neúnosné z pohledu uživatele, pokud by měl uživatel čekat ve frontě např. po dobu 20s. V takovém případě je lepší uživatele odmítnout okamžitě. Jde tedy o kompromis mezi využitím fronty a přípustnou dobou čekání uživatele ve frontě.*

Další možností, jak ještě více zefektivnit omezení odmítání uživatelů, je kombinace obou zmíněných metod. Tedy kombinace použití fronty s parametrem  $T_f$  společně s průměrovacím oknem  $T$ . Tuto skutečnost dokládá Obr. 5.5.4. Jedná se o závislost BP na parametru  $T_f$  (době ve frontě) s použitím dvou různých průměrovacích oken  $T_1 = 5s$  a  $T_2 = 15s$ . Pokud je tedy použito vhodných hodnot obou parametrů (např.  $T_f = 10s$  a  $T = 10s$ ), je možné výrazně omezit odmítání příchozích uživatelů.



Obr. 5.5.4 Závislost *Blocking Probability* na parametru  $T_f$  a na velikosti průměrovacího okna  $T$

V této kapitole byl navržen systém simulující AC uplink algoritmus na základě matematického modelu z kap. 4.1. Tento model byl postupně doplněn o konkrétní mechanismy průměrování a čekacích front tak, aby bylo co možná nejvíce zabráněno odmítnutí uživatele při jeho žádosti o vstup do systému, pokud je kapacita buňky naplněna. Bylo ukázáno, že při volbě vhodných hodnot obou parametrů, tedy průměrovacího okna  $T$  a doby ve frontě  $T_f$ , lze účinně předcházet odmítání uživatelů při naplněné kapacitě buňky.

## 6. Statistické AC uplink algoritmy

V této kapitole bude pozornost věnována statistickým přístupům modelování zátěže v buňce. V programu Matlab budou simulovány algoritmy prvního a druhého statistického přiblížení zmíněné v kapitole 4.2. Podstatným rozdílem (spolu s principem modelování zátěže v buňce) oproti doposud prezentovaným modelům je zde především stanovení ostrého maxima dovolené zátěže v buňce viz (4.16) a (4.17). O tom, zdali bude uživatel systémem přijat, je rozhodováno na základě nepřekročení celkové maximální zátěže v buňce  $\eta_{max}$  (případně prahové pravděpodobnosti  $p_{th}$ ). Statistické algoritmy tedy předcházejí překročení maximální dovolené zátěže v buňce a tím i případnému odmítnutí uživatele zatímco v předchozích úvahách byla otázka odmítnutí uživatele řešena až po případném překročení maximální zátěže v buňce  $\eta_{max}$ .

### 6.1 1. statistické přiblížení

Princip vytváření matice uživatelů s jednotlivými parametry  $E_b/N_0$ ,  $v$ ,  $TTL$ ,  $Flag$  a jejich konkrétním zatížením buňky je shodný s kap. 5.1. Opět je generován 1 uživatel každou vteřinu avšak celková zátěž v buňce  $\eta_{max}$  je pro  $K$  uživatelů počítána dle [6]

$$\eta_{ul} = (1 + f) \sum_{i=1}^K \frac{1}{1 + \frac{SF_i}{v_i \cdot \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_i \cdot r}} \quad , \quad (6.1)$$

kde  $f$  je úroveň interferencí (*other/own cell interference*),  $SF_i$  je příslušný *Spreading Factor* (faktor rozprostření)  $i$ -tého uživatele odpovídající vygenerované přenosové rychlosti  $R_i$  ( $SF_i = W / R_i$ ),  $v_i$  je tzv. *activity factor* zdroje provozu,  $(E_b / N_0)_i$  je požadovaný poměr přidělený na základě vygenerované přenosové rychlosti  $R_i$  a  $r$  je kódový poměr (tzv. *channel code rate*). Tento vztah je pouze formálně odlišný od vztahu (4.13), který byl používán v předchozích simulacích. Celková zátěž  $\eta_{ul}$  v buňce je tedy v každé vteřině počítána dle vztahu (6.1). Zatímco v předešlých případech byl mechanismus odmítání uživatelů aktivován až po překročení maximální zátěže v buňce  $\eta_{max}$ , tento algoritmus této situaci předchází, což je důsledkem vztahu (4.16). Zatížení konkrétním uživatelem je v tomto případě počítáno dle [6]

$$L_i = (1 + f) \cdot \frac{1}{1 + \frac{SF_i}{v_i \cdot \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_i \cdot r}} \quad . \quad (6.2)$$

Uživatel je systémem přijat pouze tehdy, je-li součet celkové zátěže v buňce  $K$  již přijatých uživatelů (6.1) a zátěže, kterou pro buňku představuje nově přichodící uživatel (6.2) menší nebo roven stanovené maximální hodnotě zátěže v buňce  $\eta_{max}$ . Tato skutečnost odpovídá vztahu (4.16). Pokud tato podmínka splněna není, nemůže být uživatel systémem přijat, je tedy odmítnut. Avšak ani tento přístup negarantuje naprosté nepřekročení prahu – maximální hodnoty zátěže v buňce  $\eta_{max}$ . I zde může dojít k jeho překročení a proto i zde musí vhodně pracovat mechanismus, který po překročení prahu zasáhne a uživatele případně odmítne opět se zohledněním HO uživatelů. HO uživatelům je stejně jako v předchozích simulacích zvýšen práh tak, aby bylo co nejvíce zamezeno přerušení procedury HO.

Generován byl provoz smíšeného charakteru (50% hlasových, 50% datových uživatelů). Doba trvání simulace byla nastavena na 5 minut. Ukázán bude vývoj celkové zátěže v buňce pro tento typ algoritmu.

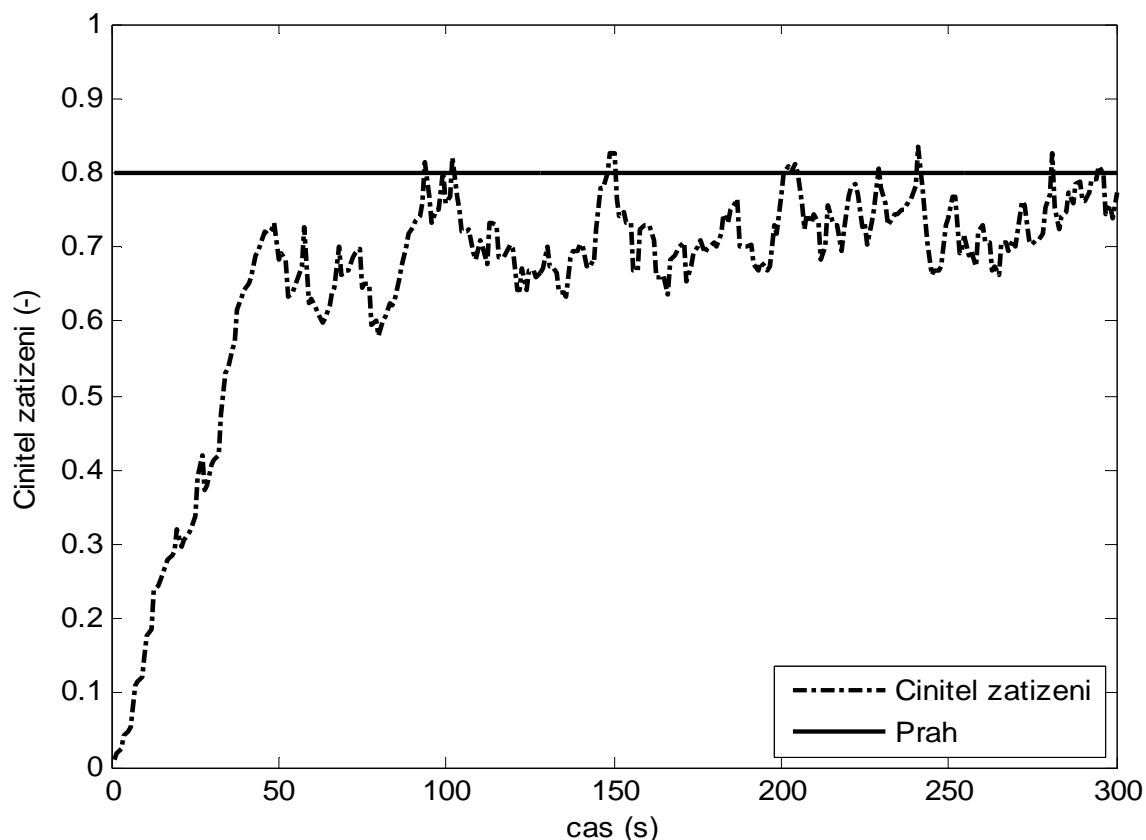
#### Základní parametry buňky:

- Práh  $\eta_{ul-max} = 0,80$
- Práh pro HO uživatele  $\eta_{ul-HO} = \eta_{ul-max} + 0,05$
- Úroveň interferencí  $f_{ul} = 0,6$
- WCDMA chip rate  $W = 3,84$  Mchips/s
- Kódový poměr  $r = 2/3$

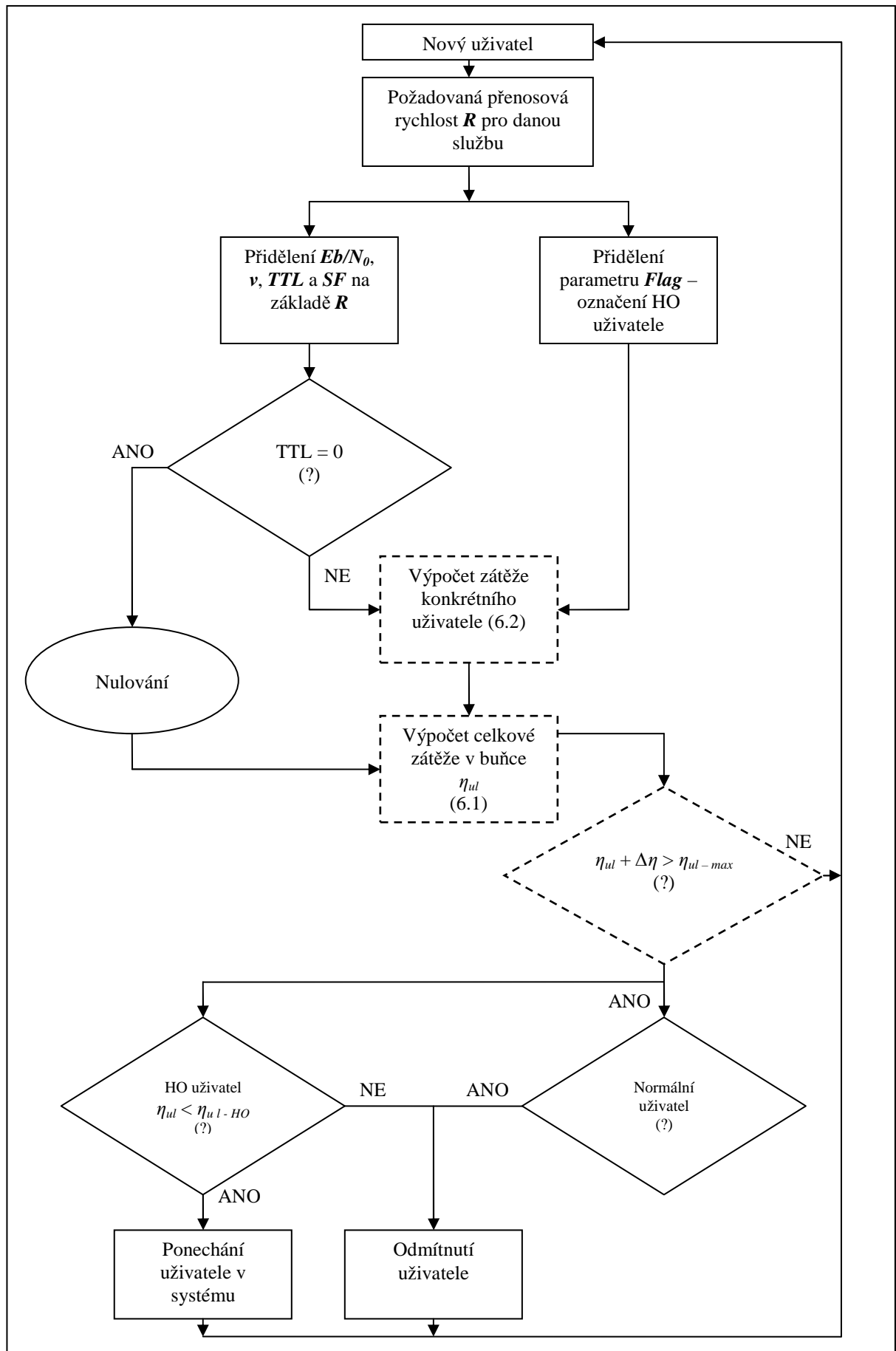
#### Parametry uživatelů:

- 50 % hlasových uživatelů, 50 % datových uživatelů
- *TTL* pro hlasového uživatele 60 – 120 s
- *TTL* pro datového uživatele 10 – 60 s
- 40 % pravděpodobnost HO uživatele

Z Obr. 6.1.1 je možné vidět potvrzení předchozí úvahy, a sice to, že nedochází k příliš častému překročení prahové úrovně zátěže, což je způsobeno ostrou podmínkou ve vztahu (4.16) pro přijetí uživatele do systému. V předchozích modelech docházelo k mnohem častějšímu překročení maximální zátěže v buňce neboť zde nebyla nastavena tato ostrá hranice. Stavový diagram algoritmu je na Obr. 6.1.2.



Obr. 6.1.1 Vývoj celkové zátěže v buňce  $\eta_{ul}$  v intervalu 300s při použití 1. statistického přiblížení



Obr. 6.1.2 Stavový diagram statistického algoritmu AC



## 6.2 2. statistické přiblížení

U tohoto přístupu se, jak již bylo zmíněno v kap. 4.2.2, pracuje s pravděpodobnostmi získanými na základě následující úvahy: *Pokud je počet uživatelů  $K$  vysoký, může být činitel zatížení adekvátně aproximován Gaussovým rozdělením se střední hodnotou  $m(K)$  a variancí  $\sigma^2(K)$ .* Pomocí těchto hodnot je následně počítána pravděpodobnost  $P$ , že bude po přijetí uživatele do systému hodnota zátěže v buňce  $\eta_{ul}$  větší než maximální povolená hodnota  $\eta_{max}$  viz (4.25) a (4.26). Tato pravděpodobnost je poté porovnávána s předem stanoveným prahem  $p_{th}$ . Stejně jako u prvního statistického přístupu, existuje i zde ostrá podmínka (4.17) předcházející přílišnému překročení prahu  $p_{th}$ . Pokud tedy  $K+1$  uživatel žádá o přístup do systému, algoritmus AC potřebuje vypočítat hodnoty  $m(K+1)$ ,  $\sigma(K+1)$  a  $P(\eta_{ul} > \eta_{max})$ . Pokud je pravděpodobnost  $P$  pod prahem  $p_{th}$ , může být nový uživatel systémem přijat. V opačném případě musí být odmítnut.

Princip vytváření matice uživatelů s jednotlivými parametry  $E_b/N_0$ ,  $v$ ,  $TTL$  a  $Flag$  je shodný s kap. 5.1 s tím rozdílem, že zde již není počítána zátěž jakou uživatel systému svým vstupem přinese. Počítána je střední hodnota  $m(K)$  a variance  $\sigma^2(K)$  dle (4.23) resp. (4.24) uvažovaného Gaussova rozdělení. Důležité je zde upozornit na způsob výpočtu (4.23) a (4.24). Pro výpočet střední hodnoty  $m(K)$  v (4.23) je v každém časovém okamžiku pro parametry přenosu konkrétního uživatele  $(E_b/N_0)_i$  a  $v_i$  počítán součet všech možných generovaných přenosových rychlostí  $R$  (z přenosových rychlostí  $R$  je počítána hodnota  $SF$ ). Pokud je tedy uživatel schopen generovat např. 5 přenosových rychlostí  $R$ , viz Tab. 4.1, musí být do součtu zahrnuty faktory rozprostření  $SF$ , odpovídající všem dostupným přenosovým rychlostem  $R$ . Tento součet je následně sčítán se součty z předchozích časových okamžiků. Stejně je to i pro výpočet variance  $\sigma^2(K)$  v (4.24).

Nyní bude ukázán vývoj pravděpodobnosti  $P(\eta_{ul} > \eta_{max})$  v buňce pro tento typ algoritmu. V simulaci byl generován provoz smíšeného charakteru (50% hlasových, 50% datových uživatelů) a 1 uživatel každou vteřinu. Doba trvání simulace byla nastavena na 5 minut.

### Základní parametry buňky:

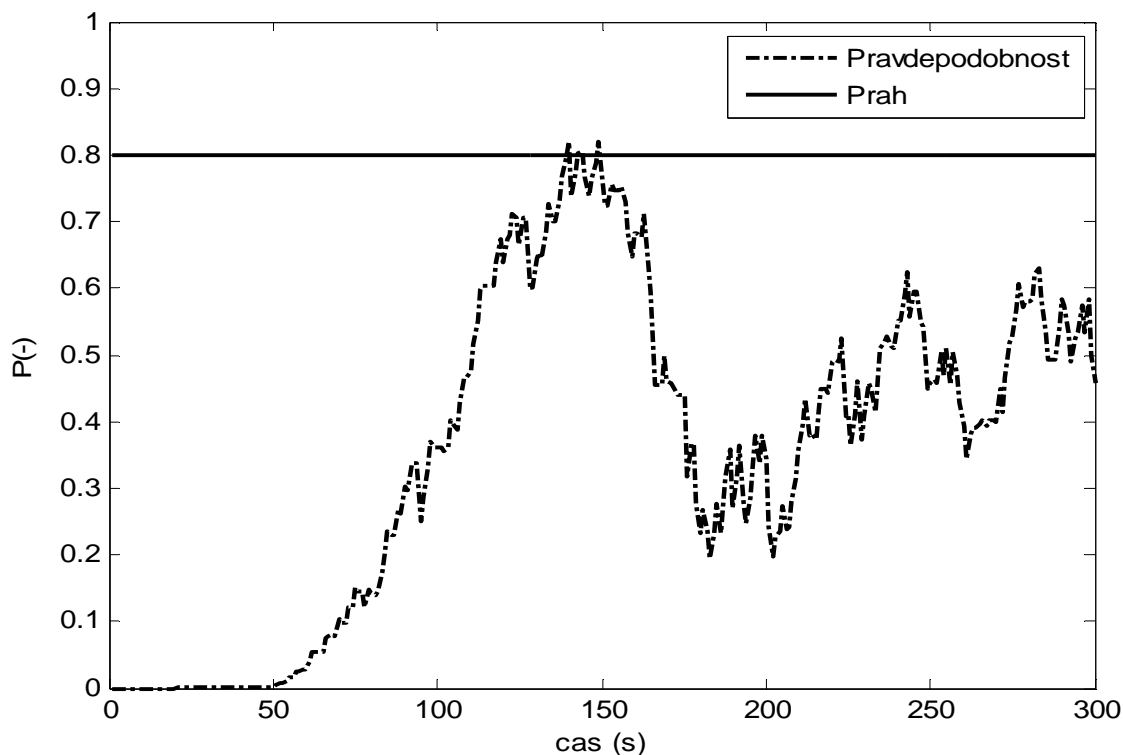
➤ Práh	$\eta_{ul-max} = 0,80$
➤ Úroveň interferencí	$f_{ul} = 0,6$
➤ WCDMA chip rate	$W = 3,84$ Mchips/s
➤ Kódový poměr	$r = 1/3$
➤ Prahová pst	$p_{th} = 0,80$
➤ Prahová pst pro HO	$p_{th\_HO} = p_{th} + 0,05$

### Parametry uživatelů:

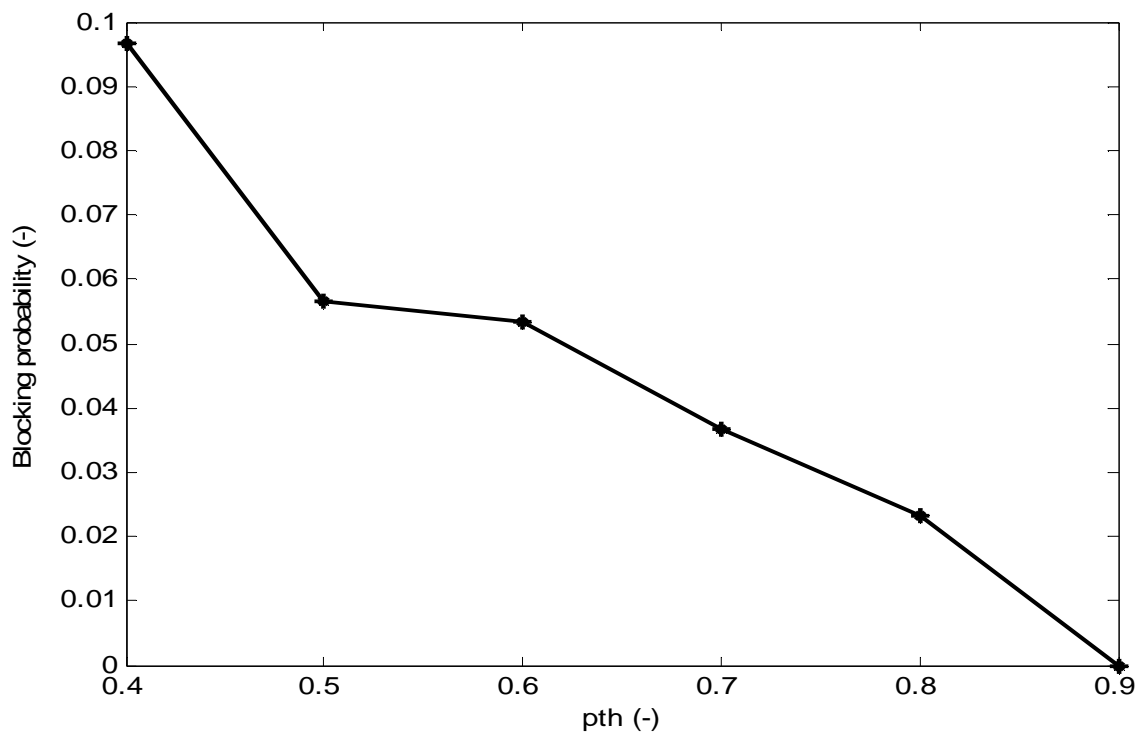
- 50 % hlasových uživatelů, 50 % datových uživatelů
- $TTL$  pro hlasového uživatele 60 – 120 s
- $TTL$  pro datového uživatele 10 – 60 s
- 40 % pravděpodobnost HO uživatele

Na Obr. 6.2.1 je vidět vývoj pravděpodobnosti  $P(\eta_{ul} > \eta_{max})$  v intervalu 5 minut. Tento průběh je poněkud odlišný od průběhu celkové zátěže v buňce používané v předchozích kapitolách. Patrný je zejména pozdní nárůst této funkce až okolo 50 vteřiny. To je dáno dosavadním malým počtem uživatelů v buňce, což neodpovídá úvaze ze začátku kapitoly.

Algoritmus začíná fungovat až pro větší množství uživatelů v buňce. Stejně jako v případě 1. statistického přiblížení je i zde zřejmé, jaký vliv má podmínka (4.17) na případné překročení prahu – minimalizuje jej. Na Obr. 6.2.2 je pak možné vidět závislost BP na proměnné prahové pravděpodobnosti  $p_{th}$ .



Obr. 6.2.1 Vývoj pravděpodobnosti  $P(\eta_{ul} > \eta_{max})$  v intervalu 300s při použití 2. statistického přiblížení



Obr. 6.2.2 Závislost *Blocking Probability* na velikosti prahové pravděpodobnosti  $p_{th}$

### 6.3 Srovnání AC uplink algoritmů

Doposud byly ukázány tři různé přístupy modelování zátěže v buňce. První model (kap. 5.1) byl založen na výpočtu zátěže, kterou konkrétní uživatelé buňce přinášejí a na výpočtu celkové aktuální zátěže všech uživatelů právě komunikujících v buňce. Překročení stanovené maximální zátěže v buňce bylo řešeno zpětně. Mechanismy případného odmítání uživatelů byly aktivovány až po překročení prahové úrovně zátěže a opatření předcházející překročení prahu nebyla zavedena. Tento přístup vykazoval poměrně vysoké procento odmítnutých uživatelů a byl proto doplněn průměrovacím mechanismem. Nastavením vhodně dlouhého průměrovacího okna  $T$ , v němž byla průměrována celková aktuální zátěž v buňce  $\eta_{ul}$ , bylo možné dosáhnout výrazného snížení procenta odmítnutých uživatelů. Dalším prvkem, který přispěl k dalšímu poklesu procenta odmítnutých uživatelů, bylo zavedení front. Pokud měl být uživatel odmítnut, byl jeho požadavek zařazen do fronty a v případě uvolnění kapacity a nepřekročení maximální doby ve frontě  $T_f$  systémem přijat. Kombinací průměrovacího okna  $T$  a čekacích front bylo dosaženo uspokojivých výsledků.

Druhý model (kap. 6.1) byl, stejně jako model první, založen na výpočtu zátěže, kterou konkrétní uživatelé buňce přinášejí a na výpočtu celkové aktuální zátěže všech uživatelů právě komunikujících v buňce. Podstatný rozdíl byl v přijetí uživatelů systémem. V tomto případě byl vypočítán součet celkové aktuální zátěže všech uživatelů právě komunikujících v buňce a zátěže, kterou by uživatel svým vstupem buňce přinesl. Pokud byl tento součet menší nebo roven maximální stanovené zátěži v buňce  $\eta_{max}$ , mohl být uživatel systémem přijat. V opačném případě musel být odmítnut. Tento algoritmus, na rozdíl od prvního, předcházel nastavením ostré hranice přílišnému překročení prahu a následnému odmítání uživatelů. Avšak i zde bylo nutné zařadit mechanismus pracující po překročení prahu.

Třetí model (kap. 6.2) byl modelem pravděpodobnostním. Model pracoval s náhradou činitele zatížení  $\eta_{ul}$  Gaussovým rozdělením se střední hodnotou  $m(K)$  a variancí  $\sigma^2(K)$  pro velký počet uživatelů. Pro požadavek konkrétního uživatele byla vypočtena střední hodnota  $m(K)$  a variance  $\sigma^2(K)$  zmíněného Gaussova rozdělení a z těchto hodnot byla následně, spolu s maximální hodnotou činitele zatížení  $\eta_{max}$ , vypočtena pravděpodobnost překročení maximální zátěže v buňce  $P(\eta_{ul} > \eta_{max})$ . Pokud byla tato pravděpodobnost menší nebo rovna stanovené maximální pravděpodobnosti  $p_{th}$ , mohl být uživatel systémem přijat. V opačném případě musel být odmítnut. I zde však bylo nutné zařadit mechanismus pracující po překročení prahu.

V následujícím textu bude pozornost věnována porovnání zmíněných algoritmů. Porovnávané algoritmy lze charakterizovat takto:

1. Algoritmus pracující s průměrovacím oknem  $T$ , čekací frontou s parametrem  $T_f$  a s odmítáním uživatelů na základě průměrné hodnoty zátěže v buňce  $\eta_{av}$  – model kap. 5.2 a kap. 5.5.
2. Algoritmus 1. statistického přiblížení – model kap. 6.1.
3. Algoritmus 2. statistického přiblížení – model kap. 6.2.

Srovnání jednotlivých algoritmů bude prováděno pro totožný provoz v buňce i její parametry. V algoritmu č.1 dojde k vygenerování určitého provozu (přenosových rychlostí  $R$  a jim odpovídajících parametrů  $E_b/N_0$ ,  $v$ ,  $TTL$  a  $Flag$ ) za určitou dobu. Tento provoz je uložen a použit v následných algoritmech č. 2 a 3. Takto by mělo být dosaženo stejných podmínek provozu v buňce pro všechny algoritmy. Nastavení jednotlivých parametrů konkrétních algoritmů je následující:

### **Algoritmus č.1:**

#### Základní parametry buňky:

- |                         |                                       |
|-------------------------|---------------------------------------|
| ➤ Práh                  | $\eta_{ul-max} = 0,80$                |
| ➤ Práh pro HO uživatele | $\eta_{ul-HO} = \eta_{ul-max} + 0,05$ |
| ➤ Úroveň interferencí   | $f_{ul} = 0,6$                        |
| ➤ WCDMA chip rate       | $W = 3,84$ Mchips/s                   |
| ➤ Průměrovací okno      | $T = 10s$                             |
| ➤ Doba ve frontě        | $T_f = 10s$                           |

### **Algoritmus č.2:**

#### Základní parametry buňky:

- |                         |                                       |
|-------------------------|---------------------------------------|
| ➤ Práh                  | $\eta_{ul-max} = 0,80$                |
| ➤ Práh pro HO uživatele | $\eta_{ul-HO} = \eta_{ul-max} + 0,05$ |
| ➤ Úroveň interferencí   | $f_{ul} = 0,6$                        |
| ➤ WCDMA chip rate       | $W = 3,84$ Mchips/s                   |
| ➤ Kódový poměr          | $r = 1/3$                             |

### **Algoritmus č.3:**

#### Základní parametry buňky:

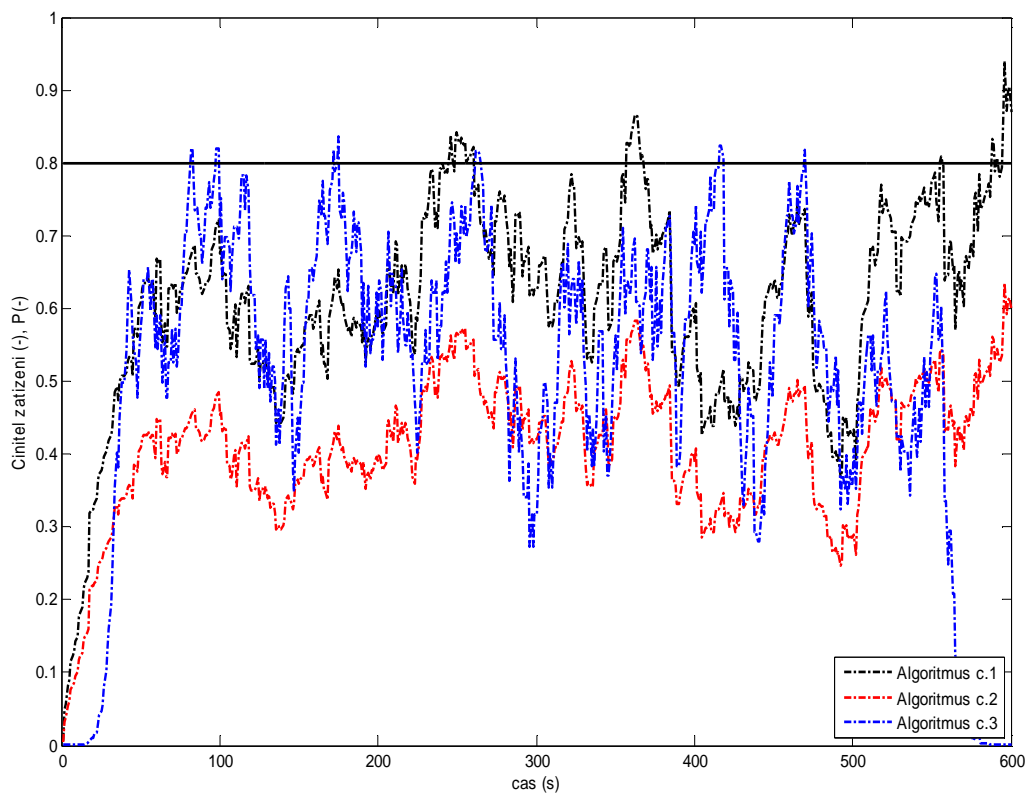
- |                       |                             |
|-----------------------|-----------------------------|
| ➤ Práh                | $\eta_{ul-max} = 0,80$      |
| ➤ Úroveň interferencí | $f_{ul} = 0,6$              |
| ➤ WCDMA chip rate     | $W = 3,84$ Mchips/s         |
| ➤ Prahová pst         | $p_{th} = 0,80$             |
| ➤ Prahová pst pro HO  | $p_{th-HO} = p_{th} + 0,05$ |
| ➤ Kódový poměr        | $r = 1/3$                   |

Parametry generovaného provozu v buňce jsou shodné pro všechny algoritmy tak, aby pracovaly za stejných podmínek:

- 60 % hlasových uživatelů, 40 % datových uživatelů
- $TTL$  pro hlasového uživatele 60 – 120 s
- $TTL$  pro datového uživatele 10 – 60 s
- 40 % pravděpodobnost HO uživatele

Na Obr. 6.3.1 je možné vidět srovnání jednotlivých algoritmů pro takto společně nastavené parametry provozu v časovém intervalu 600 s (10 minut). Srovnání je provedeno pro první dva algoritmy pomocí činitele zatížení buňky  $\eta_{ul}$ , pro třetí algoritmus pak pomocí

ekvivalentní pravděpodobnosti  $P(\eta_{ul} > \eta_{max})$  viz. kap. 6.2. Prahová hodnota představuje pro první dva algoritmy hodnotu maximální zátěže v buňce  $\eta_{max}$ , pro třetí algoritmus pak hodnotu prahové pravděpodobnosti  $p_{th}$ .



Obr. 6.3.1 Srovnání zátěže v buňce u konkrétních algoritmů pro daný provoz

Z Obr. 6.3.1 je zřejmé, že se jednotlivé průběhy u konkrétních algoritmů podstatně liší i při totožných podmínkách provozu v buňce a společných nastavených parametrech ( $\eta_{ul-max}, f, \eta_{ul-HO}, p_{th}, p_{th-HO}$ ). Každý z nich se chová jinak. Jedno však mají společné. Doba, kdy je překročena prahová hodnota zátěže  $\eta_{max}$ , příp.  $p_{th}$ , je v tomto případě minimalizována. Největší překročení prahové zátěže vykazuje algoritmus č.1. Pro algoritmus č.2 je tato doba dokonce nulová. Tento fakt byl diskutován v úvodu kapitoly. Pro toto srovnání je doba překročení prahové úrovně zátěže  $\eta_{max}$ , příp.  $p_{th}$  pro jednotlivé algoritmy:

Tab. 6.1 Doba překročení prahové úrovně

	Doba překročení prahu [s]	Procentuelní doba [%]
Algoritmus č.1	38	6,3
Algoritmus č.2	0	0
Algoritmus č.3	8	1,3

S dobou překročení prahové úrovně přímo souvisí proces odmítání uživatelů a tím také pravděpodobnosti BP a DP. Představa, že s častějším překročením prahu bude hodnota obou pravděpodobností vzrůstat (bude odmítnuto více uživatelů) je v tomto případě, při zavedení známých opatření zmíněných v jednotlivých kapitolách (ostré podmínky, průměrování, fronty), mylná. Hodnoty obou pravděpodobností BP a DP jsou pro toto srovnání algoritmů následující:

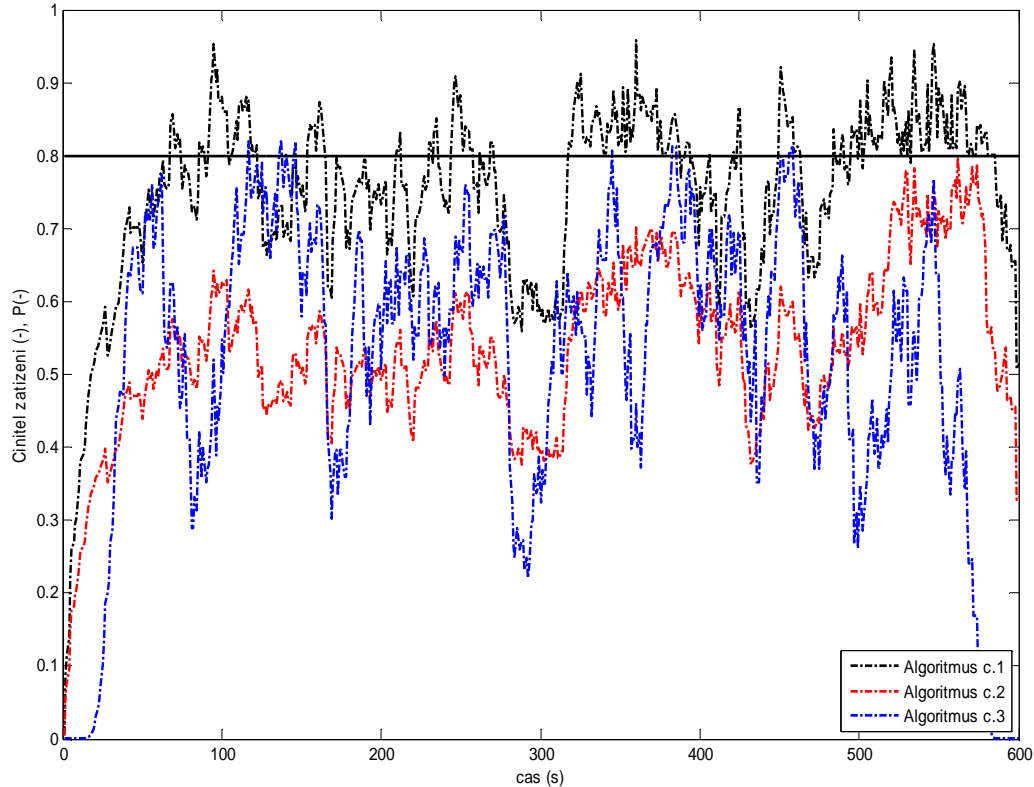
Tab. 6.2 Pravděpodobnosti BP a DP

	Blocking Probability [s]	Dropping Probability [%]
Algoritmus č.1	0	0
Algoritmus č.2	0	0
Algoritmus č.3	0	0

Jak můžeme vidět, ani v jednom případě nedojde k odmítnutí uživatele. Tato skutečnost je důsledkem následujících opatření jednotlivých algoritmů:

1. Nastavení hodnoty průměrovacího okna  $T$  na vhodnou hodnotu (posuzování odmítnutí uživatele dle hodnoty  $\eta_{av}$ ) a nastavení doby ve frontě  $T_f$  na vhodnou hodnotu (při nemožnosti obslužení je uživatel dočasně umístěn do fronty) společně se zohledněním HO uživatelů při překročení prahu.
2. Nastavení ostrých podmínek (4.16) a (4.17) pro přijetí uživatele do systému společně se zohledněním HO uživatelů při překročení prahu.

**Toto však platí pro provoz s mírnou převahou hlasových uživatelů.** Nyní bude ukázáno, jak se budou jednotlivé algoritmy chovat v případě mírné převahy datových uživatelů v buňce. Nastavení je totožné, změněn je pouze charakter generovaného provozu (40% hlasových, 60% datových uživatelů). Sledované parametry jsou uvedeny v Tab. 6.3.



Obr. 6.3.2 Srovnání zátěže v buňce u konkrétních algoritmů pro daný provoz

Tab. 6.3 Pravděpodobnosti BP a DP, doba překročení prahu

	Algoritmus č.1	Algoritmus č.2	Algoritmus č.3
Doba překročení prahu [s]	260	0	11
Procentuelní doba překročení prahu [%]	43,3	0	1,83
Blocking Probability [%]	2,00	0,33	1,50
Dropping Probability [%]	1,50	0,16	0

Z Obr. 6.3.2 je patrný výrazný nárůst doby překročení prahové úrovně v případě algoritmu č.1 – 43,3% doby simulace. Je to logický důsledek toho, že v tomto případě je proces odmítání uživatelů řešen a aktivován až po jejím překročení. I tak je však vzhledem k zavedeným mechanismům průměrování a čekacích front dosaženo minimálních hodnot BP a DP, srovnatelných s oběma statistickými algoritmy i pro mírnou převahu datového provozu. V takovém případě je tento algoritmus ještě použitelný. Prahová úroveň však musí být vhodně zvolena tak, aby případné zátěžové špičky neohrozili stabilitu buňky, čímž jistým způsobem omezujeme její kapacitu. Pokud bychom uvažovali extrémní případ výrazně datového provozu, nebyl by již tento algoritmus příliš vhodný. Vzhledem k absenci ostré podmínky překročení prahové úrovně by mohlo docházet k výrazným zátěžovým špičkám během provozu, způsobených větším příspěvkem datových uživatelů k celkové zátěži v buňce. Celková zátěž v buňce by mohla dosáhnout maximálních možných hodnot a mohlo by dojít k přetěžování buňky. V oblasti s takovýmto provozem není tedy tento algoritmus aplikovatelný. Zavedením čekacích front se také zvyšuje složitost tohoto algoritmu.

Nejlépe, co se týče sledovaných parametrů, vychází z tohoto srovnání algoritmus č.2. K překročení prahové hodnoty nedojde vůbec, neboť je zde aplikována ostrá podmínka (4.16). Odmítání uživatelů je řešeno ještě před překročením prahu a tím k jeho překročení prakticky nedojde. Tento způsob se jeví jako výhodnější, protože zde nemusí být brán zřetel na nastavení prahu s dostatečnou rezervou. Práh tak může být nastaven na vyšší hodnotu, což automaticky vede na zvýšení dostupné kapacity buňky. Je proto vhodné zvýšit hodnotu maximální zátěže. Pokud tomu tak není, je tento algoritmus srovnatelný s ostatními a svoji výhodu ztrácí. Jeho další výhodou je jednoduchost. Výpočetně i nastavením se tento algoritmus a jeho případná aplikace jeví jako nejjednodušší ze srovnávaných algoritmů. Navíc jej lze použít i v případě výrazné převahy datového provozu bez větších potíží.

Poslední, algoritmus č.3, stojí mezi oběma již diskutovanými algoritmy. Nedochází k příliš častému a především výraznému překročování prahové pravděpodobnosti. Opět je to důsledek ostré podmínky (4.17). I v tomto případě tedy lze, i když s mírným omezením, zvýšit prahovou hodnotu a tím i celkovou kapacitu buňky. Tím se tento algoritmus vyrovná algoritmu č.2. V čem se mu však nevyrovná je složitost. Tento algoritmus je ryze statistického charakteru. Klíčovým bodem k možné aplikaci této strategie je dobrý odhad distribucí proměnných  $\Omega_i$  a  $\Psi_i$ , které vysoce závisí na strategii UE-MAC při výběru TF a na charakteru generovaného provozu. Ve srovnání s předchozími algoritmy vyžaduje tato metoda lepší znalost statistického využívání rozprostíracích faktorů SF. Rovněž výpočet statistických parametrů střední hodnoty a variance je poměrně složitý. Výhodou, kromě zmíněného zvýšení kapacity, je možnost využití tohoto algoritmu i v případě výrazné převahy datového provozu v buňce stejně jako u algoritmu č.2.

## 7. Využití v reálném systému

V předchozí kapitole bylo provedeno srovnání jednotlivých algoritmů na základě provedené simulace zátěže v buňce  $\eta_{ul}$  a pravděpodobnosti  $P$ . Byly uvedeny výhody i nevýhody vybraných metod. Nyní budou jednotlivé algoritmy diskutovány z hlediska jejich případného využití v reálném systému, což se projeví především v nastavení konkrétních parametrů jednotlivých algoritmů.

Algoritmus využívající průměrovacího okna  $T$  a čekacích front s parametrem doby ve frontě  $T_f$  je využitelný pouze pro nepříliš výrazný častý datový provoz v buňce a spíše tam, kde se neočekává její přílišné zatížení velkým množstvím uživatelů. Výraznou roli v tomto případě hrají tři parametry: délka průměrovacího okna  $T$ , maximální doba ve frontě  $T_f$  a maximální hodnota zatížení buňky  $\eta_{max}$ . Všechny tři tyto parametry musí být vhodně nastaveny pro správnou činnost algoritmu. Délka průměrovacího okna  $T$  musí být nastavena s ohledem na procento času, kdy je skutečná zátěž v buňce vyšší, nežli aktuálně používaná průměrná hodnota zátěže  $\eta_{av}$  při překročení prahu  $\eta_{max}$  (s rostoucí délkou okna tato hodnota roste viz. Obr. 5.2.6) a na její užitečnost (příliš krátké okno téměř nezmění hodnotu zátěže dle které je rozhodnuto o odmítnutí uživatele viz. Obr. 5.2.1). Vzhledem k předchozím skutečnostem by tato hodnota měla být volena v rozmezí  $T = (10 - 15)$ s. Maximální doba ve frontě  $T_f$  musí být volena především s ohledem na předpokládanou zátěž, ale také s ohledem na samotného uživatele. Nastavením příliš krátké doby způsobíme to, že zátěž v buňce nestačí klesnout na dostatečnou hodnotu pro opětovné navrácení uživatele do systému viz. Obr. 5.5.1. Nastavení příliš dlouhé hodnoty je naopak neakceptovatelné ze strany uživatele (dlouhé čekání na přístup do systému). Tato hodnota by měla být volena v rozmezí  $T_f = (10 - 15)$ s. Maximální hodnota zátěže  $\eta_{max}$  musí být v tomto případě volena s ohledem na předpokládaný provoz v buňce. Nastavení nízké hodnoty vede na nežádoucí omezení kapacity buňky, nastavení příliš vysoké hodnoty pak může způsobit vliv zátěžových špiček na stabilitu buňky. V oblasti s převahou hlasového provozu by měla být tato hodnota nastavena maximálně na  $\eta_{max} = 0,9$ . V oblasti, kde se předpokládá smíšený provoz pak maximálně na  $\eta_{max} = 0,8$ . Prahová hodnota pro HO uživatele by měla být navýšena nanejvýš o  $\eta_{max-HO} = \eta_{max} + 0,05$ .

Algoritmus 1. statistického přiblížení je využitelný v oblastech s jakýmkoliv druhem provozu a pro využití v reálném systému je nejvhodnější. To je dáno jednak jeho poměrnou jednoduchostí ale především účinným řízením zátěže v buňce. V podstatě nedochází k překročení nastavené maximální hodnoty zátěže v buňce  $\eta_{max}$  (nehrozí tedy výskyt zátěžových špiček) a tak se jediným aspektem dobré činnosti tohoto algoritmu stává její vhodné nastavení. Hodnota maximální zátěže v buňce  $\eta_{max}$  musí být nastavena na maximální možnou hodnotu. Pokud tomu tak není, dochází ke zbytečnému omezení dostupné kapacity buňky. Tato hodnota by měla být nastavena maximálně na  $\eta_{max} = 0,9$ . Prahová hodnota pro HO uživatele by měla být navýšena nanejvýš o  $\eta_{max-HO} = \eta_{max} + 0,05$ .

Algoritmus 2. statistického přiblížení je rovněž využitelný v oblastech s jakýmkoliv druhem provozu. Tento algoritmus si dobře poradí i s vysokou datovou zátěží v buňce. Je algoritmem ryze statistickým. V souvislosti s tímto je jeho nevýhodou poněkud vyšší složitost nežli je tomu u dvou předchozích algoritmů. Provoz v buňce je řízen účinně, dochází pouze k minimálnímu překračování prahové úrovně, v tomto případě pravděpodobnosti  $p_{th}$  (pravděpodobnost dosažení přetížení buňky). Proto je možné tuto hodnotu opět volit tak, aby byla co nejvíce navýšena kapacita buňky  $p_{th} = (0,8 - 0,9)$ . V součinnosti s tímto je nutné také vhodně nastavit maximální hodnotu zátěže  $\eta_{max}$ . Ta by se měla pohybovat v rozmezí  $\eta_{max} = (0,8 - 0,9)$ . Nastavením příliš nízké hodnoty  $\eta_{max}$  spolu s optimální hodnotou  $p_{th}$  přestane algoritmus správně pracovat. Je tedy nutné jejich společné optimální nastavení. Prahová



---

hodnota pravděpodobnosti  $p_{th}$  pro HO uživatele by měla být navýšena nanejvýš o  $p_{th-HO} = p_{th} + 0,05$ . Klíčovým bodem k možné aplikaci této strategie je však dobrý odhad distribucí proměnných  $\Omega_i$  a  $\Psi_i$ , které vysoce závisí na strategii UE-MAC při výběru TF a na charakteru generovaného provozu. Ve srovnání s předchozími algoritmy vyžaduje tato metoda lepší znalost statistického využívání rozprostíracích faktorů SF. Tato skutečnost poněkud omezuje aplikovatelnost tohoto algoritmu.

Na závěr je možné doporučit jako nejlépe pracující algoritmus pro řízení provozu v buňce (*Admission Control*) algoritmus 1. statistického přiblížení. Při vhodně nastavených parametrech tento algoritmus nejúčinněji zabraňuje přetížení buňky i za ztížených podmínek provozu při jeho nevelké náročnosti.

---

# ZÁVĚR

System UMTS je systémem 3. generace umožňující zajišťování kvality služeb QoS (Quality of Service) ve větší míře, než je tomu u systému 2. generace, systému GSM. Pro zajištění kvality služeb je důležitá jejich klasifikace. V systému UMTS rozlišujeme pět kategorií služeb, kterými jsou *datový přenos*, *interaktivní datový přenos*, *zprávy*, *video a konferenční média*. Na základě typu služby je takovéto službě přidělena priorita a podle ní je se službou v systému zacházeno. Služba s vyšší prioritou je systémem upřednostňována. Existují čtyři základní provozní třídy, a to tzv. *conversational*, *streaming*, *interactive* a *background class*. V systému UMTS je kvalita služeb zajišťována tzv. RRM algoritmy. Tyto algoritmy zajišťují udržení plánovaného pokrytí oblasti a nabízejí vysokou spektrální účinnost. Základními funkcemi pro zajištění kvality služeb v systému UMTS jsou *Handover control*, *Power control*, *Admission control*, *Load control* a *Packet (bit rate) scheduler*. Funkce *handover control* zajišťuje řízení jednotlivých typů handoverů, jejich měření a předávání informací síti za účelem rozhodnutí o případném přepnutí. Funkce *power control* zajišťuje řízení výkonu, a to jak v uplinku, tak v downlinku. Je zodpovědná za nastavení počátečních výkonů v případě vzniku nového spojení. Funkce *admission control* zajišťuje řízení přístupu do sítě. Na základě výkonových úrovní rozhoduje o tom, zda bude požadované službě přidělena nová nosná, či modifikována stávající v případě aktivního spojení. Tato funkce dále přiděluje jednotlivým službám prioritu (tzv. RRP priorita) a v případě přetížení buňky přerušuje RT spojení. Funkci *packet (bit rate) scheduler* můžeme nazvat paketovým plánovačem či plánovačem bitové rychlosti. Tato funkce je společně s funkcí AC nejdůležitější z pohledu přetížení sítě či buňky. V případě přetížení PS snižuje přidělené bitové rychlosti a přerušuje NRT spojení. Funkce *load control* je funkcí regulace zatížení sítě a za normálních okolností dává pozor, aby nebyla síť přetížena a zůstala stabilní. Jejím hlavním úkolem je vrátit systém na požadovanou hodnotu zátěže (jistá úroveň výkonu v buňce) v případě přetížení sítě. Tato funkce blízce spolupracuje s funkcemi AC a PS. Pokud tyto dvě funkce pracují správně, není funkce LC prakticky využita.

Jednotlivé RRM funkce jsou v systému zastoupeny konkrétními algoritmy zajišťujícími jejich správnou činnost. Pro funkci AC jich existuje několik, a to jak pro downlink, tak pro uplink. Výčet těchto metod pro uplink můžeme nalézt v kapitole 3.2.1. Jedná se o metody založené na měření, statistice nebo může být použita metoda hybridní. V našem případě bylo využito matematického modelu výpočtu zátěže v buňce a parametru zvaného *load factor* – činitel zatížení buňky. Pomocí tohoto modelu byly stanoveny také hodnoty parametrů charakterizujících konkrétního uživatele – přenosová rychlost  $R$ , poměr  $E_b/N_0$ , activity factor  $v$ , společně s mírou interferencí od ostatních buněk  $f$ . Na základě takto stanovených hodnot byl vytvořen model AC uplink algoritmu v programu Matlab. Pro přístup do sítě je důležité, jaký je aktuální provoz buňky, do níž se snažíme přihlásit. Vzhledem k větší zátěži, kterou nově přichází datoví uživatelé buňce přinášejí, na rozdíl od podstatně menší zátěže hlasových uživatelů, lze očekávat, že u datových uživatelů bude mnohem častěji docházet k jejich odmítnutí nežli u uživatelů hlasových. U datového provozu tedy bude kapacita buňky naplněna mnohem dříve. To platí v případě, kdy je datový provoz v buňce dominantní. Pokud se zátěž v buňce přiblíží ke svojí prahové hodnotě, aktivují se funkce, které se snaží zamezit přetížení buňky a může dojít k odmítnutí uživatelů. V takovém případě jsou důležitými parametry *Blocking* a *Dropping probability* (viz. kap. 5.2). Tyto pravděpodobnosti lze snížit použitím průměrovacího okna  $T$  vhodné délky. Takto lze „ušetřit“ několik uživatelů od odmítnutí avšak dochází k častějšímu překročení povolené prahové hodnoty aktuální zátěží což je nevýhoda. Pokud zvolíme dostatečně dlouhé okno (15s a více), lze dosáhnout nulových hodnot BP a DP.

---

Další možností jak dosáhnou minima odmítnutých uživatelů je jejich zařazení do fronty, pokud by měli být odmítnuti. Odtud uživatel ve stanovené době – doba ve frontě  $T_f$  – může, při splnění jistých podmínek (5.3), opětovně vstoupit do systému, nyní již úspěšně. Doba ve frontě  $T_f$  musí být vhodně nastavena. V součinnosti s vhodně nastaveným průměrovacím oknem  $T$  je možné dosáhnout velmi nízkého procenta odmítnutých uživatelů avšak pouze pro omezený provoz v buňce.

Další studované modely byly modely statistické, a sice modely 1. a 2. statistického přiblížení. Tyto modely účinně řídí zatížení buňky a pracují velmi spolehlivě. Dochází u nich pouze k minimálnímu překročení maximální hodnoty zatížení buňky, čímž výrazně snižují procento odmítnutých uživatelů. Algoritmus 2. statistického přiblížení je poněkud složitější, pravděpodobnostní a vyžaduje lepší znalost statistického využívání rozprostíracích faktorů SF. Zároveň je nezbytné vhodně nastavit jeho parametry prahovou pravděpodobnost  $p_{th}$  a maximální hodnotu činitele zatížení  $\eta_{max}$ , jinak nepracuje optimálně. Nejlépe pracujícím algoritmem je algoritmus 1. statistického přiblížení. Je nepřilíš složitý a velmi dobře řídí zátěž buňky za jakéhokoliv provozu. Pro využití v reálném systému se tak jeví jako nejvhodnější.

---

# LITERATURA

- [1] LAIHO, J., WACKER, A., NOVOSAD, T. **Radio Network Planning and Optimisation for UMTS – 2nd edition. John Wiley & Sons, 2006.**
- [2] SOLDANI, D., LI, M., CUNY, R. **QoS and QoE Management in UMTS Cellular Systems. John Wiley & Sons, 2006.**
- [3] HOLMA, H., TOSKALA, A. **WCDMA for UMTS – 3rd edition. John Wiley & Sons, 2004.**
- [4] HOSSAIN, F., SOHAB, A.S.M. **Mathematical modelling of call admission control in WCDMA network. Blekinge Institute of Technology, September 2007.**
- [5] PÉREZ-ROMERO, J., SALLEN, O., AGUSTÍ, R., DÍAZ-GUERRA, M.A., **Radio resource management strategies in UMTS. John Wiley & Sons, 2005.**
- [6] AGUSTÍ, R., SALLEN, O., PEREZ, J., GORIA, P., MAGNANI, N., VAILLANT, A., **First report on the evaluation of RRM algorithms by simulation. Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), TILAB, May 2002.**

---

# SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

## A

AMPS	Advanced Mobile Phone System
ARP	Allocation Retention Priority
AC	Admission Control
ASU	Active Set Update

## B

BS	Base Station
BMC	Broadcast Multicast Control
BB	BackBone
BTS	Base Transceiver Station
BSC	Base Station Controller
BCCH	Broadcast Channel
BP	Blocking Probability

## C

CN	Core Network
CPCH	Common Packet Channel
CPICH	Common Pilot Channel
CR	Capacity Request
CC	Congestion Control

## D

DECT	Digital Enhanced Cordless Communications
DS	Direct Sequence
DTX	Discontinuous Transmission
DCA	Dynamic Channel Allocation
DCH	Dedicated Channel
DCCH	Dedicated Control Channel
DP	Dropping Probability

## E

ERMES	European Radio Message System
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution

## F

FDD	Frequency Division Duplex
FACH	Forward Access Channel

## G

GSM	Global System for Mobile Communication
GPRS	General Packet Radio Service

---

GERAN	GSM Edge Radio Access Network
GB	Guaranteed Bit (Rate)
<b>H</b>	
HSCSD	High Speed Circuit Switched Data
HO	Handover
HC	Handover Control
HHO	Hard Hannover
<b>I</b>	
IP	Internet Protocol
IMT	International Mobile Telecommunication
IF	Inter Frequency
IS	Inter System
<b>L</b>	
L x	Layer x
LC	Load Control
<b>M</b>	
MT	Mobile Terminal
MBS	Mobile Broadband System
MEHO	Mobile Evaluated Handover
MAC	Medium Access Control
<b>N</b>	
NMT	Nordic Mobile Telephone
NRT	Non Real Time
NEHO	Network Evaluated Handover
NGB	Non Guaranteed Bit (Rate)
<b>O</b>	
OCQPSK	Overlapped Coded QPSK
<b>P</b>	
PDCP	Packet Data Convergence Protocol
PLMN	Public Land Mobile Network
PDP	Packet Data Protocol
PC	Power Control
PS	Packet Schedule
<b>Q</b>	
QoS	Quality of Service
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying

---

## R

RANAP	Radio Access Network Application Part
RT	Real Time
RTP	Real Time Protocol
RTCP	Real Time Control Protocol
RRC	Radio Resource Control
RLC	Radio Link Control
RAB	Radio Access Bearer
RB	Radio Bearer
RAN	Radio Access Network
RNC	Radio Network Controller
RRM	Radio Resource Management
RAT	Radio Access Technology
RAM	Radio Access Method
RBS	Radio Bearer Service
RRP	Radio Resource Priority

## S

SCTP	Stream Control Transmission Protocol
SDU	Service Data Unit
SHO	Soft Handover
SIR	Signal to Interference Ratio

## T

TDD	Time Division Duplex
TCP	Transmission Control Protocol
THP	Traffic Handling Priority
TrCH	Transport CHannel
TFS	Transport Format Set

## U

UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
UE	User Equipment
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network
UDP	User Datagram Protocol

## W

WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access
-------	--

1 G	1st	Generation
2 G	2nd	Generation
3 G	3rd	Generation
3GPP	3rd	Generation Partnership Project