



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

MODELOVÁNÍ POKROČILÝCH FUNKCÍ TECHNOLOGIE 802.11E V PROSTŘEDÍ OPENT MODELER

MODELLING OF ADVANCED 802.11E TECHNOLOGY FEATURES IN OPNET MODELER
ENVIRONMENT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. MICHAL ŠELIGA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. KAROL MOLNÁR, Ph.D.

BRNO 2009



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Telekomunikační a informační technika

Student: Bc. Michal Šeliga

ID: 83068

Ročník: 2

Akademický rok: 2008/2009

NÁZEV TÉMATU:

Modelování pokročilých funkcí technologie 802.11e v prostředí OPNET Modeler

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte možnosti řízení přístupu k médiu u bezdrátových síťových technologií 802.11a/b/g. Následně se zaměřte na rozšíření původních WLAN technologií o podporu řízení kvality služeb podle standardu 802.11e. Seznamte se s možnostmi budování procesních modelů v simulačním prostředí OPNET Modeler. Podrobně prostudujte referenční model WLAN sítě z OPNETWORKS 2007. Prozkoumejte vliv řazení síťového provozu od různých aplikací (např. VoIP, přenos dat, databázové služby atd.) do kategorií s odlišnými parametry řízení provozu (AIFS, CWmin, CWmax, atd.). Při tvorbě scénářů zohledněte rovněž vliv přídavného provozu na pozadí a vliv počtu stanic na celkové výsledky. Prozkoumejte dále vliv mobility stanic na přenosovou rychlost, zpoždění a kolísání zpoždění na jednotlivé kategorie přístupu. Vytvořený model a vliv nastavených parametrů podrobně zdokumentujte.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] PRASAD A. R., PRASAD N. R. 802.11 WLANs and IP networking: security, QoS, and mobility, Artech House, 2005
- [2] OPNET Technologies, Inc. Understanding Wireless LAN Model Internals and Interfaces, Discrete Event Simulation for R&D, OPNETWORK 2007, Washington, D.C., 2007
- [3] OPNET TECHNOLOGIES INC.: OPNET Modeler Product Documentation Release 14.5, OPNET Modeler, 2008

Termín zadání: 9.2.2009

Termín odevzdání: 26.5.2009

Vedoucí práce: doc. Ing. Karol Molnár, Ph.D.

prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práve třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být 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.

ANOTACE

Práce obsahuje stručný přehled struktury bezdrátových lokálních sítí technologie 802.11a/b/g, popis jejich fyzického rozhraní a popis základních možností řízení přístupu ke sdílenému médiu pomocí metod PCF (Point Coordination Function) a DCF (Distributed Coordination Function).

Mojí hlavní úlohou bylo podrobně ověřit vlastnosti nového standardu 802.11e, který byl navržený pro efektivní podporu služeb pracujících v reálném čase. U tohoto standardu zabezpečuje podporu QoS (Quality of Service) rozšířené metody EDCA (Enhanced Distributed Channel Access) a HCF (Hybrid Coordination Function), které slouží pro řízení přístupu ve sdíleném bezdrátovém prostředí.

Následující kapitola je věnovaná ověření teoretických vědomostí pomocí simulačního prostředí OPNET Modeler. Podrobněji jsem prostudoval jeho model sítě WLAN (Wireless Local Area Network), vlivy řízení datového přenosu do jednotlivých kategorií a nastavení jednotlivých parametrů přístupových metod.

Následně jsem vytvořil vlastní model sítě WLAN podle standardu 802.11e ze čtyřmi aplikacemi, z kterých dvě pracují v reálném čase. Model je dělený do více nezávislých scénářů, ze kterých každý se věnuje jiné problematice bezdrátových sítí, jako například podpoře QoS a její závislosti na počtu klientů, mobilitě bezdrátových klientů a porovnání technologií 802.11a/b/g a 802.11e.

Klíčová slova:

kvalita služeb, 802.11e, EDCA, HCF, AIFS, CW_{min}, CW_{max}, mobilita stanic, OPNET Modeler

ABSTRACT

This master thesis includes a short review of the structure of WLAN (Wireless Local Area Network) technologies 802.11a/b/g, the description of their physical interface and the description of the basic medium access control mechanisms implementing the PCF (Point Coordination Function) and DCF (Distributed Coordination Function) methods.

I mainly focused on the detailed evaluation the new 802.11e standard which was designed to efficiently support real-time services in wireless environment. To provide QoS (Quality of Service) support, this standard specifies the EDCA (Enhanced Distributed Channel Access) and HCF (Hybrid Coordination Function) medium access control methods for the shared wireless environment.

The next chapter of my work is devoted to the verification of the theoretical results in OPNET Modeler simulation environment. I studied in details the WLAN model available in OPNET Modeler, the effect of data-flow classification into separate categories and the configuration of several access method parameters.

Next, I created my own WLAN model according to the 802.11e standard. This model contains four applications two of them with real-time requirements. The model is divided into several scenarios, each focusing on different aspects of wireless network technologies like QoS support and its dependency on the number of clients, mobility of wireless terminals and comparison of the 802.11a/b/g and the 802.11e technology.

Keywords:

Quality of Service, 802.11e, EDCA, HCF, AIFS, CWmin, CWmax, mobility of clients, OPNET Modeler

ŠELIGA, M. *Modelování pokročilých funkcí technologie 802.11e v prostředí OPENT Modeler*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 91 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Karol Molnár, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Modelování pokročilých funkcí technologie 802.11e v prostředí OPNET Modeler“ jsem 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 této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následku 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

.....

(podpis autora)

POĎAKOVANIE

Ďakujem vedúcemu diplomovej práce doc. Ing. Karolovi Molnárovi, Ph.D. za jeho prístup a veľkú ochotu konzultovať moje poznatky a problémy. Ďalej by som chcel poďakovať hlavne mojej manželke za jej trpezlivosť a motiváciu, tak isto aj celej rodine, ktorá mi poskytla dostatok času k vypracovaniu tejto práce.

Obsah :

Úvod.....	7
1 Bezdrôtové sieťové technológie.....	9
1.1 Štandard bezdrôtových lokálnych sietí 802.11	11
1.1.1 Stručný prehľad hlavných štandardov IEEE 802.11	12
1.2 Štruktúra bezdrôtových lokálnych sietí 802.11	13
1.3 Fyzické rozhranie štandardov 802.11x.....	16
1.3.1 DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)	16
1.3.2 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex).....	17
1.4 Riadenie prístupu k médiu u bezdrôtových sieťových technológií 802.11	18
1.4.1 Základné mechanizmy prístupu k médiu	18
1.4.2 Pokročilé mechanizmy prístupových metód zaisťujúce podporu kvality služieb ..21	
1.4.2.1 Rozšírený distribuovaný prístup k médiu EDCA.....	22
1.4.2.2 Prístup ku kanálu pomocou mechanizmu HCF (HCCA).....	25
2 Simulácia 802.11e v OPNET Modelery	27
2.1 802.11e v OPNET Modelery	27
2.2 Referenčný model WLAN v OM.....	28
2.2.1 Prehľad prvého scenára.....	29
2.2.2 Simulácia prvého scenára	36
2.2.3 Prehľad druhého scenára.....	40
2.2.4 Simulácia druhého scenára	42
2.3 Vlastný model WLAN v OM.....	44
2.3.1 Vytvorenie projektu a scenára WLAN 802_11e	44
2.3.2 Simulácia scenára WLAN 802_11e	53
2.3.3 Vplyv počtu klientov na kvalitu služieb	59
2.3.4 Simulácia scenárov vplyvu počtu klientov na kvalitu služieb.....	62
2.3.5 Vytvorenie scenára WLAN APs and Bridges	65
2.3.6 Simulácia scenára WLAN APs and Bridges.....	68
2.3.7 Scenáre „Porovnanie QoS u 802.11b a 802.11e“	70
2.3.8 Simulácia scenárov „Porovnanie QoS u 802.11b a 802.11e“.....	74
2.3.9 Scenár „Vplyv mobility staníc na kvalitu služieb“	77
2.3.10 Simulácia scenára „Vplyv mobility staníc na kvalitu služieb“	79
3 Záver	83
LITERATÚRA:	85
Abecedný zoznam použitých skratiek.....	86
Zoznam príloh.....	87

Úvod

Pri prvých krôčikoch bezdrôtových technológií nikto netušil, že v budúcnosti budú sláviť taký veľký úspech. Bezdrôtové technológie dnes patria k najobľúbenejším a najrýchlejšie sa vyvíjajúcim technológiám v oblasti telekomunikačnej techniky, pritom základná myšlienka vytvorenia bezdrôtovej technológie bola zaistenie prenosu informácie bez pomoci káblového prepoja v neprístupných miestach. Vývoj však postupoval mľôvými krokmi vpred a v dnešnej dobe je už takmer nevyhnutnosťou vlastniť mobilný telefón a notebook s bezdrôtovým pripojením na internet.

Keď počítačový svet začal rozmýšľať o možnosti bezdrôtovej technológie, ako jednoduchého spôsobu komunikácie, bolo vyvinutých niekoľko alternatívnych riešení. Do dnešnej doby sa z praktického hľadiska najlepšie presadila technológia 802.11 a stala sa tak vedúcim hráčom na poli bezdrôtových sieťových technológií.

Jednoduchosť bezdrôtových sieťových technológií už ale dnešným multimediálnym dátam nevyhovuje, pretože si nemôžeme dovoliť správať sa ku všetkým dátam rovnako, čo naštartovalo vývoj novej technológie 802.11e.

Technológia 802.11e zmenila filozofiu pohľadu na prenášané dáta a začala ich triediť podľa vopred stanovených kritérií. Tieto kritéria musia zohľadňovať náchylnosť aplikácií pracujúcich v reálnom čase na oneskorenie a kolísanie tohto oneskorenia. Následne im musí byť pridelená priorita, ktorá zaistí jednoduchý prechod sieťou bez straty kvality. Ako meradlo kvality služieb nám slúži ľudské zmyslové vnímanie. Multimediálny prenos dát môžeme označiť za kvalitný, pokiaľ ľudské zmysly nedokážu odhaliť chyby vzniknuté počas prenosu.

Najnovšie bezdrôtové technológie spĺňajú vo vysokej miere prísne požiadavky na poskytovanie kvality služieb pre multimediálne dáta, čo z nich robí neoddeliteľnú súčasť dnešnej modernej doby. Neustály vývoj tieto technológie stále zdokonaľuje a nedovolí im odísť do zabudnutia.

Hlavnou úlohou mojej práce bolo podrobne overiť vlastnosti nového štandardu 802.11e, ktorý bol navrhnutý pre efektívnu podporu služieb pracujúcich v reálnom čase. O zabezpečenie

podpory kvality služieb sa starajú rozšírené metódy prístupu ku zdieľanému prenosovému médiu EDCA a HCF. Prehľad pokročilých metód prístupu k médiu tohto štandardu, ako aj jeho predchodcov 802.11a/b/g, som sa venoval v prvej kapitole.

Druhá kapitola je venovaná vytvoreniu vlastného modelu siete pomocou simulačného prostredia OPNET Modeler. Vlastný model overuje vplyv radenia sieťového prenosu od rôznych aplikácií do jednotlivých prístupových kategórií. Samotný model je členený do niekoľkých nezávislých scenárov, z ktorých každý sa venuje inej problematike bezdrôtových sietí. Zamerá som sa hlavne na vplyv prídavného prenosu na pozadí na celkovú úroveň kvality poskytovaných služieb. Ďalej som overil závislosť oneskorenia prenosu a kolísania oneskorenia na celkovom počte staníc a ich mobilite. Vytvorenie vlastného modelu som podrobne zdokumentoval.

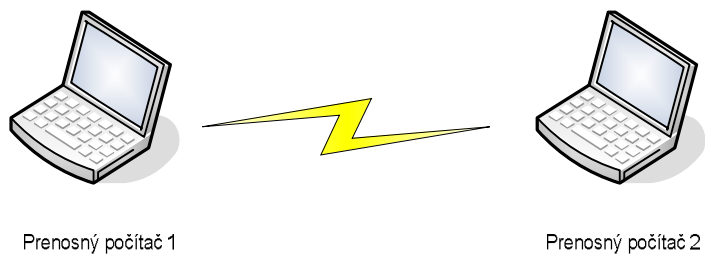
1 Bezdrôtové sieťové technológie

Pod pojmom bezdrôtové technológie sa skrýva niekoľko druhov technológií. Dve najrozšírenejšie sú samozrejme mobilné technológie a bezdrôtové sieťové technológie. Hlavný rozdiel medzi nimi je v tom, že mobilné technológie umožňujú oveľa voľnejší pohyb medzi viacerými základňovými stanicami, zatiaľ čo bezdrôtové sieťové technológie sú obecné obmedzené na pohyb v rámci jedného prístupového bodu. Samozrejme v dnešnej dobe existujú možnosti ako umožniť užívateľovi pohyb medzi viacerými prístupovými bodmi (roaming).

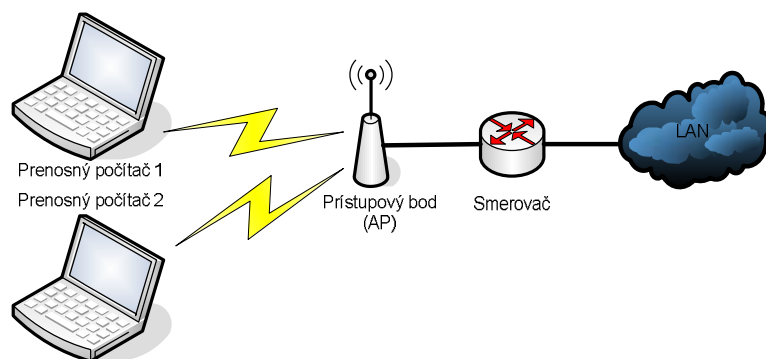
Počiatkový vývoj bezdrôtovej sieťovej technológie začínal pri potrebe prenosu informácie bez pomoci káblového prepoja v neprístupných oblastiach, alebo všade tam, kde to bolo ekonomicky výhodnejšie. Tento spôsob prepojenia sa nazýva spojenie *bod – bod* vid' Obr. 1-1.

Dnešný vývoj sa ale viac ubera spôsobom prepojenia užívateľov *bod – skupina bodov*, čo je spôsob vytvárania väčšiny dnešných bezdrôtových lokálnych sietí známych pod názvom Wireless Local Area Network – WLAN, vid' Obr. 1-2. Z dôvodu vynikajúceho pomeru cena/výkon sa táto technológia stala obľúbenou medzi užívateľmi. Prepojenie bod – skupina bodov sa s obľubou hromadne využíva v prístupových sieťach na riešenie známeho problému „poslednej míle“. Hlavnou úlohou prístupovej siete je distribuovať telekomunikačné siete k jednotlivým koncovým užívateľom, tzn. prepojiť veľký počet koncových miest (užívateľov) s podstatne menším množstvom prístupových bodov (Access Point – AP). Samozrejme je ekonomicky aj časovo menej náročné takéto prístupové siete budovať bezdrôtovou technológiou.

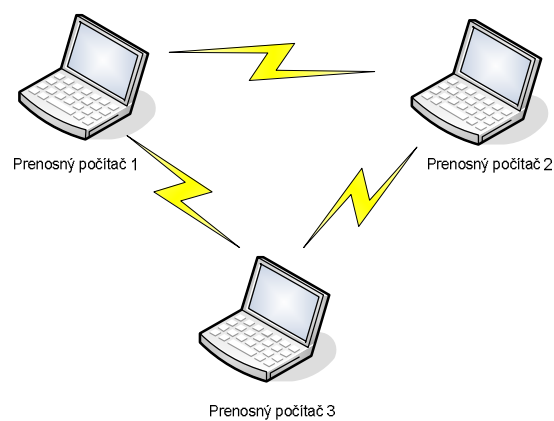
Dnešná technológia podporuje taktiež možnosť vytvorenia sieťového spojenia viacerých klientov bez použitia prístupového bodu, nazývaná *ad-hoc*, vid' Obr. 1-3. Tieto siete sú väčšinou dočasné, vytvorené menšou skupinou užívateľov za účelom krátkodobej výmeny dát.



Obr. 1-1: Príklad spojenia typu bod – bod



Obr. 1-2: Príklad spojenia typu bod – skupina bodov



Obr. 1-3: Príklad spojenia typu ad-hoc

Bezdrôtové sieťové technológie majú niekoľko kľúčových výhod, ktoré spôsobujú ich neustály a stále sa stupňujúci rozmach:

- Kvôli rastúcej šírke prenosového pásma sa technológia stáva dostupnejšou, čo sa premietne hlavne v jej cene, využiteľnosti a v neposlednom rade aj v jej dostupnosti.
- Vývoj stále posúva úroveň kvality a znižuje úroveň chybovosti, čo prispieva k možnosti využitia v širšom okruhu služieb.
- Podpora obľúbených multimediálnych služieb zvýšila popularitu tejto technológie o širokú skupinu užívateľov.

Samozrejme každá technológia má aj svoje zápory:

- Pri prehustenom bezdrôtovom prenose je ťažké zabezpečiť požadovanú úroveň kvality poskytovaných služieb.
- Keďže pri bezdrôtovom prenose sa dáta šíria verejným prostredím, je nutné neustále dbať na bezpečnosť prenášaných dát.

V dnešnej dobe už existuje široká rada možností ako môžeme eliminovať záporné vlastnosti technológie ako je podpora kvality služieb a bezpečnosti užívateľských dát a neustále sa pracuje na sofistikovanejších metódach.

1.1 Štandard bezdrôtových lokálnych sietí 802.11

Pred nástupom normy pre bezdrôtové siete IEEE 802.11 bolo nutné používať pre tvorbu bezdrôtových sietí vždy zariadenia od rovnakého výrobcu, kvôli nožnej podpore zo strany hardwaru aj softwaru (HW a SW). Proprietárne normy jednotlivých výrobcov však tomuto bránili. Preto v roku 1990 začala organizácia IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) pripravovať normu, ktorá by umožnila vzájomnú spoluprácu zariadení od rôznych výrobcov. V roku 1997 vznikla norma IEEE 802.11 a neskôr jej niekoľko ďalších verzií.

1.1.1 Stručný prehľad hlavných štandardov IEEE 802.11

IEEE 802.11

Bol prvým štandardom zameraným na problematiku bezdrôtových lokálnych počítačových sietí. Mal v sebe implementované prenosové technológie ako DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum), FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) a infračervený prenos. DSSS a FHSS technológie štandardizované v tomto dokumente dosahujú maximálne rýchlosti 2 Mb/s a pracujú v bez licenčnom kmitočtovom pásme 2,4 - 2,4835 GHz.

IEEE 802.11a

Doplnok 802.11a bol schválený v roku 1999 a predstavuje ďalšiu alternatívu bezdrôtových sieťových technológií, ktorá už ale pracuje v kmitočtovom pásme 5 GHz. Nie je zabezpečená kompatibilita so systémom pracujúcim na frekvencii 2,4 GHz. Voľba 5 GHz kmitočtového pásma za pomoci ortogonálneho multiplexu s kmitočtovým delením (Orthogonal Frequency Division Multiplex) umožnila dosiahnuť výrazne vyššie prenosové rýchlosti. Podporované rýchlosti sú 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 a 54 Mb/s.

IEEE 802.11b

Doplnok 802.11b bol schválený v roku 1999 a poskytuje v pásme 2,4 GHz rýchlosti až 11Mb/s. Pre ich dosiahnutie používa nový spôsob kódovania, tzv. doplnkové kódové kľúčovanie (Complementary Code Keying, CCK) s použitím DSSS na fyzickej vrstve. Ďalšou vítanou novinkou je možnosť automatickej dynamicky sa meniacej rýchlosti podľa zarušenia prostredia. Nezahrňuje však technológiu FHSS. Dôležitou vlastnosťou je zachovanie spätnej kompatibility so systémami 802.11.

IEEE 802.11g

Doplnok IEEE 802.11g pracuje s maximálnou rýchlosťou ako IEEE 802.11a v pásme 2,4 GHz, čiže zachováva spätnú kompatibilitu s doplnkom IEEE 802.11b. Hlavná príčina vytvorenia tohto štandardu bola nahradiť pásmo 5 GHz, ktoré je v mnohých štátoch rezervované na iné účely. Pre dosiahnutie vyšších rýchlostí až do 54 Mbit/s, sa používa na fyzickej vrstve OFDM, a na viac sa používa DSSS kvôli spätnej kompatibility s IEEE 802.11b. K modulácii sa používa podľa kvality prenosového média QPSK, BPSK, 16-QAM a 64-QAM.

IEEE 802.11e

Hlavný zámer pri vytvorení štandardu IEEE 802.11e je implementácia nových prístupových metód k médiu pre podporu kvality služieb (QoS) pre zaistenie prenosu multimediálnych dát citlivých na oneskorenie či straty. IEEE 802.11e doplňuje siete definované IEEE 802.11a/b/g a pridáva metódy pre prístup k médiu DCF (Distributed Coordination Function) a PCF (Point Coordination Function). Nové prístupové metódy sú EDCA (Enhanced DCF) a HCF (Hybrid Coordination Function), ktoré umožňujú uplatnenie podpory QoS. Doplnok tiež zaisťuje spätnú kompatibilitu so zariadeniami, ktoré podporujú QoS nemajú implementovanú.

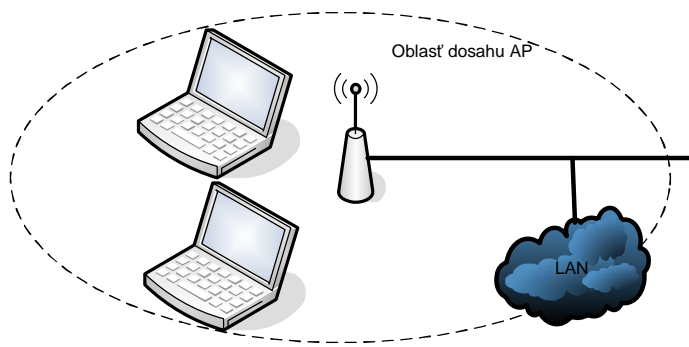
1.2 Štruktúra bezdrôtových lokálnych sietí 802.11

Bezdrôtové siete sa skladajú z dvoch základných stavebných prvkov, ktorými sú prístupový bod (AP) a bezdrôtová pracovná stanica. Prístupový bod obecné plní funkciu prepojovacieho prvku medzi pripojenými bezdrôtovými stanicami. Jednotlivé stanice tak môžu medzi sebou komunikovať iba cez AP.

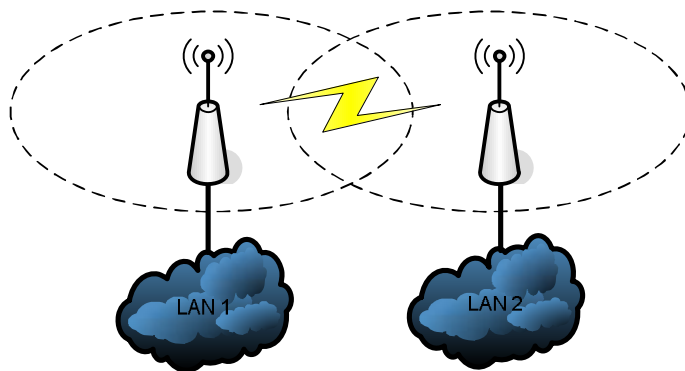
Samotný prístupový bod môže pracovať v troch základných módoch:

- Root mode – základný pracovný mód, AP je pripojený káblovým prepojom k LAN (Local Area Network), vid' Obr. 1-4.
- Bridge mode – v tomto móde pracuje AP ako bezdrôtový prepoj medzi dvoma nezávislými LAN, vid' Obr. 1-5.
- Repeater mode – v tomto móde prístupový bod slúži na predĺženie dosahu signálu, vid' Obr. 1-6.

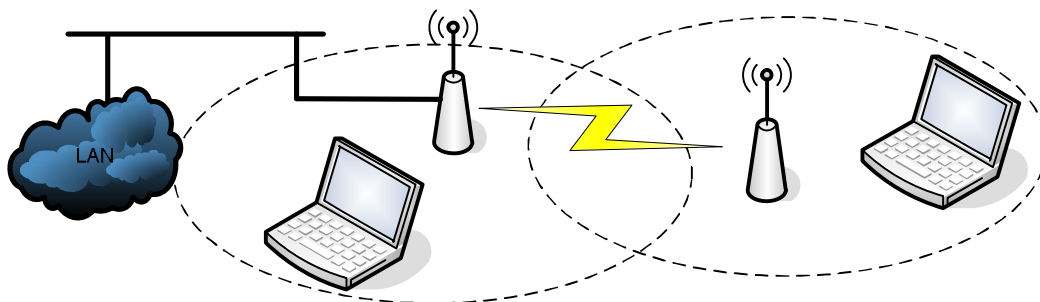
Za pomoci nastavenia správneho módu na AP, môžeme dosiahnuť rôzne druhy zapojení bezdrôtových lokálnych sietí a tak dosiahnuť čo najväčšiu efektivitu vytvorenej WLAN.



Obr. 1-4: Root mode



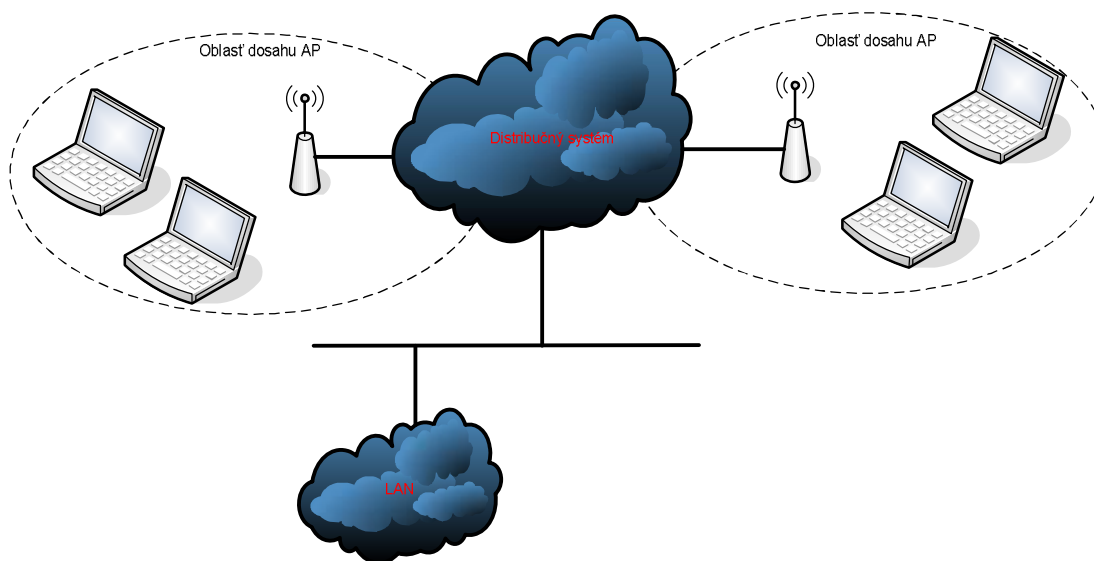
Obr. 1-5: Bridge mode



Obr. 1-6: Repeater mode

Podľa vzájomného spôsobu usporiadania týchto dvoch základných prvkov bezdrôtových lokálnych sietí sú definované tri základné sady služieb:

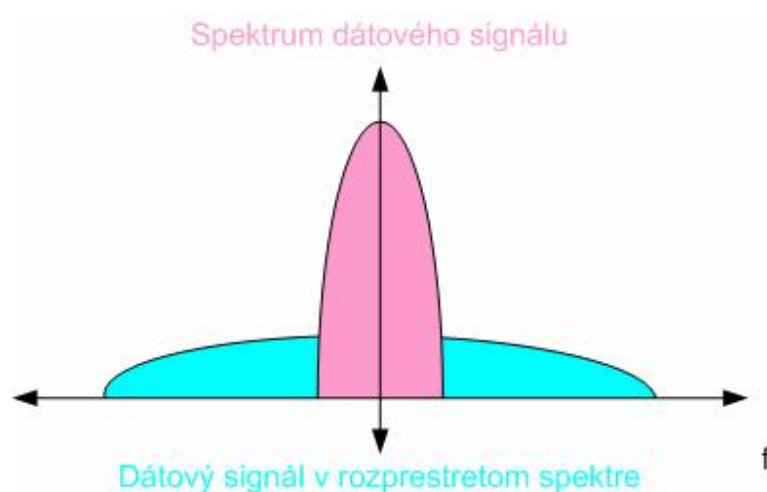
- *Základná sada služieb* (Basic Service Set – BSS), ktorá sa skladá z jediného AP prepájajúceho skupinu bezdrôtových klientov k pevnej sieti (LAN). V takomto usporiadaní WLAN nie je povolené, aby bezdrôtové stanice komunikovali priamo. Komunikácia musí prebiehať vždy cez AP, vid' Obr. 1-4.
- *Rozšírená sada služieb* (Extended Service Set – ESS) sa skladá z dvoch alebo viac AP. Prístupové body sú prepojené pomocou distribučného systému. Realizácia distribučného systému nie je presne definovaná. Prístupové body môžu byť prepojené cez pevnú, tak aj bezdrôtovú sieť. Komunikácia medzi užívateľmi prebieha rovnako ako u BSS vždy cez AP, vid' Obr. 1-7. ESS topológia siete nám umožní využívať službu roaming.
- *Nezávislá základná sada služieb* (Independent Basic Service Set – IBSS) neobsahuje žiaden AP, ale iba bezdrôtových klientov. Je to jedna bunka so spoločným identifikátorom. V tomto prípade bezdrôtové stanice komunikujú priamo, vid' Obr. 1-3.



Obr. 1-7: Rozšírená sada služieb

1.3 Fyzické rozhranie štandardov 802.11x

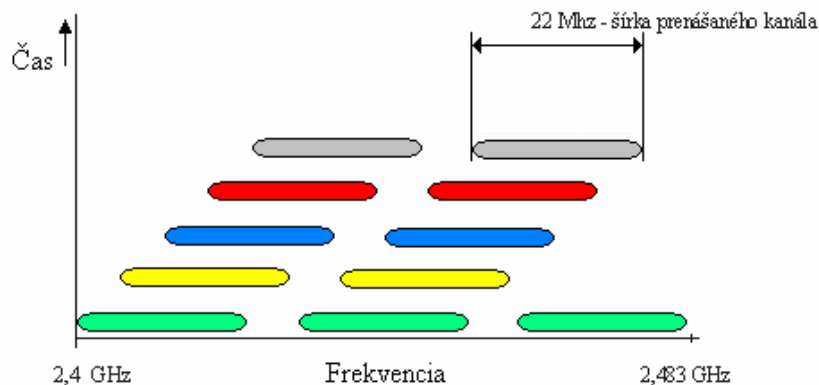
Pre prenos informácií v bezdrôtových systémoch voľným priestorom využívame šírenie elektromagnetických vln (tzv. nosné vlny), na ktorých sú namodulované užívateľské dáta. Poznáme dva druhy systémov pre prenos dát. V technológiách 802.11 sa častejšie využívajú systémy, ktoré používajú jednu nosnú frekvenciu (SC – Single Carrier). Medzi tieto systémy patria už vyššie spomenuté systémy s rozprestretým spektrom FHSS a DSSS. Ďalej sa používa systém OFDM, ktorý pracuje na báze viacerých nosných vln (MC – Multi Carrier).



Obr. 1-8: Princíp rozprestretia spektra [4]

1.3.1 DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)

Systém DSSS pracuje s rozprestieraním spektra. Rozprestieranie spektra je docielené operáciou XOR medzi prenášanými dátami a pseudonáhodnej rozprestieranej postupnosti. Po rozprestretí sa získaná postupnosť moduluje na nosnú frekvenciu a vysiela ako elektromagnetický signál. V prijímači sa použije rovnaká pseudonáhodná postupnosť za účelom dekódovania prijímaných dát. Aj tu je celková šírka pásma 83,5 MHz, ktoré je ďalej rozdelené na ďalších n čiastočne sa prekrývajúcich kanálov o šírke 22 MHz.



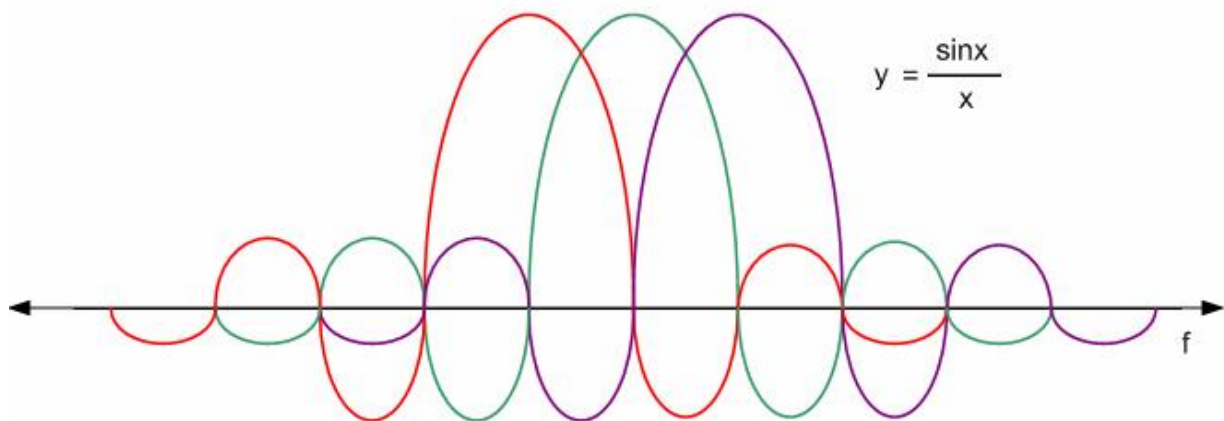
Obr. 1-9: Spôsob priameho rozprestierania spektra [1]

1.3.2 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex)

Systém OFDM pracuje na princípe rozloženia vstupného sériového dátového toku na niekoľko pomalších paralelných dátových tokov. Tie sú modulované na radu sub-nosných vln a následne prenášané k prijímaču. V prijímači funguje reverzný postup ako vo vysielači.

Vďaka čiastočnému prekrytiu susedných sub-kanálov je docieľená vysoká spektrálna účinnosť OFDM systému. Použité sub-nosné vlny vytvárajú ortogonálnu sústavu, tzn. že jednotlivé vlny sa vzájomne neovplyvňujú. Ďalšou veľkou výhodou systému rozloženia prenášanej informácie do rady sub-kanálov prináša výrazné potlačenie vplyvu interferencie spôsobenej viacsmerným šírením signálu.

Aj OFDM systém má svoje nedostatky, medzi ktoré patrí citlivosť na frekvenčné posunutie (offset) sub-nosných vln. Ďalšou nevýhodou je časový priebeh signálu OFDM, ktorý nie je konštantný a pripomína priebeh gaussovského šumu.



Obr. 1-10: Sub-nosné vlny systému OFDM [4]

1.4 Riadenie prístupu k médiu u bezdrôtových siet'ových technológií 802.11

Bezdrôtové technológie založené na štandarde IEEE 802.11 využívajú viacero prístupových metód ku zdieľanému prenosovému kanálu. Tieto metódy sa rozdeľujú do dvoch hlavných skupín, a to „*Základné mechanizmy prístupových metód*“ a „*Pokročilé mechanizmy prístupových metód zaisťujúce podporu QoS*“.

1.4.1 Základné mechanizmy prístupu k médiu

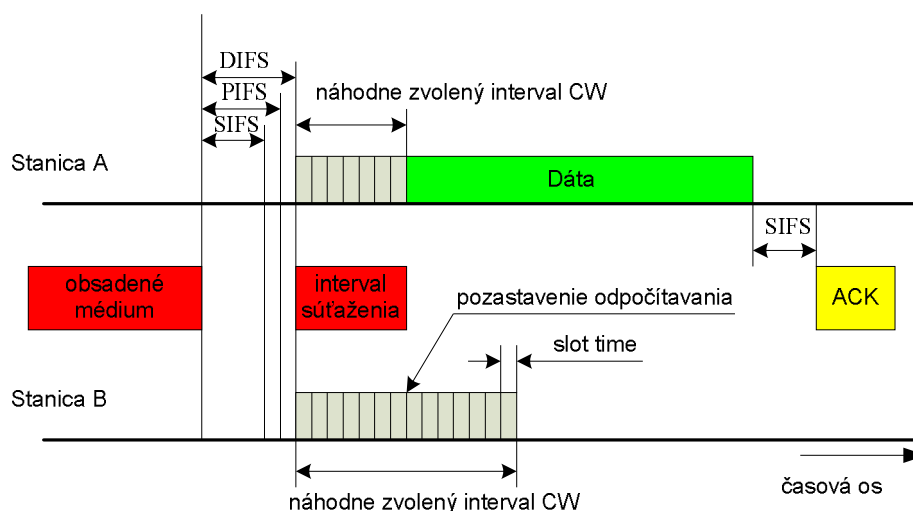
Základné mechanizmy prístupových metód WLAN sú založené na metóde CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance). Táto metóda pracuje na princípe kontroly obsadenosti zdieľaného kanálu. Ak bezdrôtová stanica potrebuje vyslať dáta, najskôr si overí, či je zdieľaný kanál voľný. Ak je kanál voľný počká určitú náhodnú dobu a ak je aj po uplynutí tejto doby kanál voľný, začne vysielat'. Ak je kanál obsadený, počká a pravidelne kontroluje jeho obsadenosť.

Pre riadenie prístupu ku zdieľanému kanálu sú v sieťach WLAN definované dva typy koordinačných funkcií, distribuované a centralizované.

Distribuovaná koordinačná funkcia (Distributed Coordination Function – DCF) využíva metódu súperenia o zdieľaný kanál. Môžeme ju použiť v službách BSS, ESS a IBSS.

V komunikáciách sietí WLAN sú veľmi dôležité takzvané medzi rámcové medzery. Tieto medzery udávajú určité presne stanovené časové intervaly pred samotným zahájením dátového prenosu. Dĺžky týchto medzi rámcových medzier ovplyvňujú pravdepodobnosť vysielania dát jednotlivými stanicami. Koordinačné funkcie *DCF* a *PCF* majú definované tri typy medzi rámcových medzier:

- krátka medzi rámcová medzera (*SIFS*),
- medzi rámcová medzera centralizovanej koordinačnej funkcie (*PIFS*),
- medzi rámcová medzera distribuovanej koordinačnej funkcie (*DIFS*).



Obr. 1-11: Základné medzi rámcové medzery [8]

Krátka medzi rámcová medzera *SIFS* (Short Interframe Space) je definovaná ako najkratšia medzi rámcová medzera, tzn. že zaisťuje najväčšiu pravdepodobnosť prístupu k médiu. Využitie *SIFS* sa preto vzťahuje na rámce s najväčšou prioritou, ako napr. metódy riadenia prístupu pomocou rámcov Request-to-Send (*RTS*), Clear-to-Send (*CTS*) a *ACK*.

Medzi rámcová medzera centralizovanej koordinačnej funkcie *PIFS* (Point Coordination Function Interframe Space) je stredne dlhá medzi rámcová medzera a má vyššiu prioritu ako dátové rámce. Využíva sa iba v prípade centralizovanej koordinačnej funkcie *PCF*.

Medzi rámcová medzera distribuovanej koordinačnej funkcie *DIFS* (Distributed Coordination Function Interframe Space) je základom distribuovanej koordinačnej funkcie *DCF*. Po ukončení vysielaní dát musí každá stanica využívajúca *DCF* čakať minimálne časový interval

DIFS a až po jeho uplynutí môže začať súťažiť o médium. Po uplynutí *DIFS* je povinná stanica čakať ešte náhodne dlhú dobu, až potom ak je kanál voľný, môže začať vysielat'. Tento mechanizmus slúži hlavne ako ochrana proti kolíziám.

Každá stanica, ktorá má dáta k odoslaniu, si po uplynutí doby *DIFS* vygeneruje náhodné číslo a vynásobí ho kanálovým intervalom *Slot Time*, čím dostane vlastný čakací interval. Následne začínajú všetky stanice súťažiace o médium postupne odpočítavať zo svojho náhodne vygenerovaného čakacieho intervalu. Prvá stanica, ktorá odpočíta celý interval, začne vysielat'. Zatiaľ ale ostatné stanice prestanú odpočítavať zo svojich čakacích intervalov a zapamätajú si ich hodnotu. Po opätovnom uvoľnení média a uplynutí *DIFS* stanice začínajú odpočítavať zo zapamätanej hodnoty čakacieho intervalu.

Stanice si na začiatku prenosu dát generujú náhodné číslo z intervalu udaného oknom súťaženia (Contention Window – CW). Interval okna súťaženia je ohraničený parametrami *CWmin* a *CWmax*. Pokiaľ počas prenosu nastane kolízia, vygeneruje sa nové náhodné číslo ale z väčšieho rozsahu, až do maximálnej hodnoty *CWmax*.

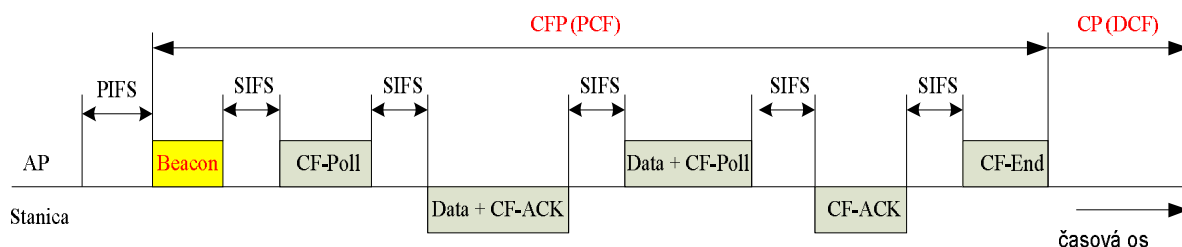
Ak prenášané dáta prístupový bod (v prípade BSS a ESS) prijme v poriadku, musí naspäť vyslať potvrdzovací rámec *ACK*. Ak stanica vysielajúca dátový rámec neobdrží spätne rámec *ACK*, predpokladá, že prenos bol neúspešný a pokúsi sa o opätovné vyslanie rámca. Aby ale vysielacia stanica príliš dlho nečakala na potvrdzovací rámec *ACK*, je tomuto rámcu priradená najväčšia priorita. To znamená, že AP môže odoslať rámec *ACK* po uplynutí najkratšej medzi rámcovej medzery *SIFS*. Konkrétne medzi rámcové medzery a kanálové intervaly sú uvedené v Tab. 1.

Tab. 1: Prehľad hodnôt časových intervalov [8]

Technológia/intervaly	SIFS	DIFS	Slot Time	CWmin
802.11a	16 μs	34 μs	9 μs	15 μs
802.11b	10 μs	50 μs	20 μs	31 μs
802.11g	10 μs	50 μs	20 μs	15 μs

Centralizovaná koordinačná funkcia (Point Coordination Function – *PCF*) využíva k riadeniu komunikácie prístupový bod AP, z čoho vyplýva že sa nedá použiť v službách IBSS. AP sa počas intervalu bez súťaženia (Contention Free Period – *CFP*) cyklicky dotazuje jednotlivých

bezdrtových klientov, ktorý z nich má dáta pre vysielanie. Metóda *PCF* nám tak dokáže poskytnúť určitý druh zaistenia QoS. Pri jej použití sa však klient musí k prístupovému bodu prihlásiť a oznámiť mu, že dokáže odpovedať na jeho dotazy.



Obr. 1-12: Časový priebeh komunikácie v móde PCF [8]

Z časového priebehu komunikácie môžeme vidieť, že prístupový bod zahájil *CFP* vyslaním rámca *Beacon* po čakacej dobe *PIFS*, aby sa k zdieľanému médiu dostal ako prvý.

Následne po čakacej dobe *SIFS* sa AP začne dotazovať jednotlivých staníc, či majú dáta k vysielaniu pomocou rámca *CF-POLL*. Stanica prístupovému bodu odošle dáta v kombinovanom rámci *Dáta + CF-ACK*. Následne má prístupový bod taktiež dáta pre stanicu a odošle ich v rámci *Dáta + CF-POLL*. Ak už stanica nemá žiadne dáta k odoslaniu, prijaté dáta potvrdí rámcom *CF-ACK*. Ak ani AP nemá žiadne dáta, môže ukončiť interval bez súťaženia vyslaním rámca *CF-END*. Následne už začína súťaženie o prístup k médiu pomocou distribuovanej koordinačnej funkcie *DFC*.

1.4.2 Pokročilé mechanizmy prístupových metód zaisťujúce podporu kvality služieb

Kvôli stále sa zvyšujúcej popularite multimediálnych dát (ako napríklad streamované video, hudba, internetová telefónia, atď.), sa dostali siete WLAN do značných problémov. Všetky dátové toky boli upravované rovnomerne, tzn. že všetky stanice pristupovali s rovnakou prioritou k médiu a to u oboch mechanizmov *PCF* aj *DCF*. Nebolo možné rozdeliť jednotlivé dátové toky do tried, ktoré sa líšili v rôznych požiadavkách na prenosové pásmo, oneskorenie, kolísanie oneskorenia (jitter) a paketovú stratovosť. U všetkých aplikácií pracujúcich v reálnom čase sa tak vyskytoval problém s prenášaním dát v sieťach WLAN, kvôli chýbajúcim mechanizmom na

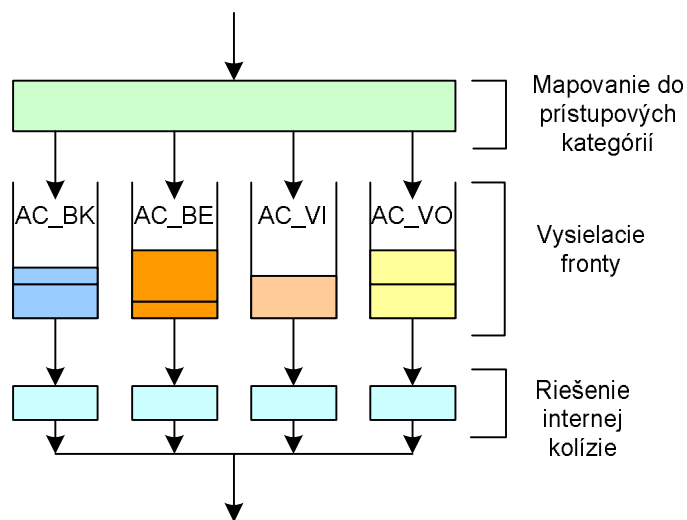
podporu QoS. Vznikal tak silný tlak na organizáciu IEEE aj samotných výrobcov, aby začali vyvíjať nový štandard 802.11e. Tento nový štandard definuje nové prístupové mechanizmy s prepracovanejšími metódami podpory QoS, ako rozšírená distribuovaná koordinačná funkcia (*EDCF* – Enhanced Distributed Coordination Function) a hybridná koordinačná funkcia (*HCF* – Hybrid Coordination Function). Na základe týchto modifikovaných koordinačných funkcií bol definovaný rozšírený distribuovaný prístup ku kanálu (*EDCA* – Enhanced Distributed Channel Access) a prístup ku kanálu riadený pomocou HCF (*HCCA* – HCF Controlled Channel Access).

1.4.2.1 Rozšírený distribuovaný prístup k médiu EDCA

Základ prístupového mechanizmu *EDCA* [vid' lit. 8] je v rozdelenie dát do kategórií prístupu (*AC*–Access Category). Každá stanica môže mať 4 kategórie s podporou ôsmich užívateľských priorít (*UP*). Jedna alebo viac *UP* môžu byť pridelené k jednej *AC*. Tieto užívateľské priority sú prebrané zo štandardu IEEE 802.1D, ich prehľad je uvedený v Tab. 2.

Tab. 2: Prehľad užívateľských priorít [8]

	Užívateľské priority (ako v 802.1D)	Predpokladané využitie	Prístupová kategória (AC)	Typ prenosu
Najnižšia	1	prenos na pozadí	0	prenos na pozadí
↓	2	nedefinované	0	prenos na pozadí
	0	Best Effort nedefinované	0	prenos Best Effort
	3	Excellent Effort	1	prenos Best Effort
	4	riadená záťaž	2	Video
	5	video (oneskorenie do 100 ms)	2	Video
	6	hlas (oneskorenie do 100 ms)	3	Hlas
	7	Najväčšia	3	Hlas



Obr. 1-13: Model prístupového mechanizmu EDCA [8]

Z Obr. 1-13 vidíme blokovú schému prístupového mechanizmu *EDCA*. Vstupný dátový prenos z vyšších vrstiev sa mapuje do štyroch prístupových kategórií (viď Tab. 3) a následne sú jednotlivé kategórie radené do vysielacích front. Každá vysielacia fronta sa správa ako virtuálna stanica ktorá súťaží o médium pomocou rozšírenej metódy *DCT*. Jednotlivé virtuálne stanice medzi sebou súťažia o tzv. *príležitosť prenosu* (*TXOP* – Transmission Opportunity). Časový interval *TXOP* udáva, kedy môžu jednotlivé virtuálne stanice inicializovať vysielanie a maximálnu dobu tohto vysielania. U metódy prístupu k médiu *EDCA* môže jednotlivé veľkosti *CW* každej zo štyroch *AC* nastaviť administrátor podľa potreby pomocou parametrov *CW_{min}* a *CW_{max}*.

Metóda *EDCA* zaviedla aj novú medzi rámcovú medzeru výberu (*AIFS* – Arbitration Interframe Space), ktorá sa dá rovnako nastaviť administrátorom. Pre nastavenú *AIFS* ale musí platiť podmienka $AIFS[AC_i] \geq DIFS$.

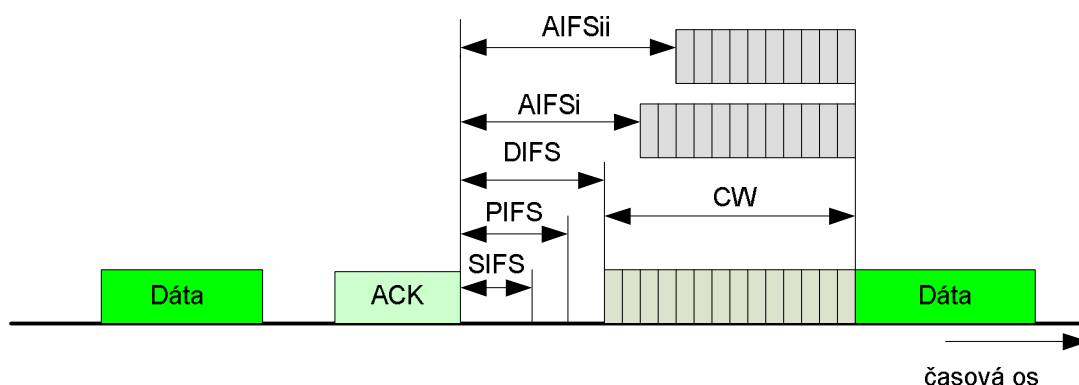
Tab. 3: Prehľad AC skupín metódy EDCA

AC kategórie EDCA		
skratka	význam	preklad
AC_BK	Background	prenos na pozadí
AC_BE	Best Effort	prenos typu Best Effort
AC_VI	Video	video prenos
AC_VO	Voice	hlasový prenos

Ak nastane situácia, že stanica má dáta k vysielaniu a prístupové kategórie sú prázdne, okamžite sa začína s prenosom. Pokiaľ je ale médium obsadené, dáta sa vložia do odpovedajúcej fronty a čaká sa na uvoľnenie média. Po uvoľnení média musia dáta z jednotlivých front čakať svoj daný interval *AIFS* a až po jeho uplynutí si môžu vygenerovať náhodný časový interval ohraničený parametrami *CW_{min}* a *CW_{max}*.

Ak vznikne situácia kedy začnú pristupovať k médiu dve virtuálne stanice v rámci jednej fyzickej stanice, médium získa virtuálna stanica s väčšou prioritou. Odmietnutá stanica vyhodnotí tento kolízny stav a zväčší si svoj interval *CW*.

Tvorcovia metódy mysleli aj na spätnú kompatibilitu s metódami *DCF*. Aby stanica vysielajúca iba s mechanizmom *DCT* nemala prednosť pred dátami s vyššou prioritou podľa 802.11e, je upravený mechanizmus dekrementácie náhodne generovaného čísla. Po uplynutí medzi rámcovej medzery *DIFS* stanica musí počkať ešte interval *slot time*, a až po uplynutí tejto doby začne so samotnou dekrementáciou generovaného intervalu. U staníc pracujúcich s *EDCA* začína dekrementácia ihneď po uplynutí *DISF*.



Obr. 1-14: Medzi rámcové medzery prístupového mechanizmu EDCA [8]

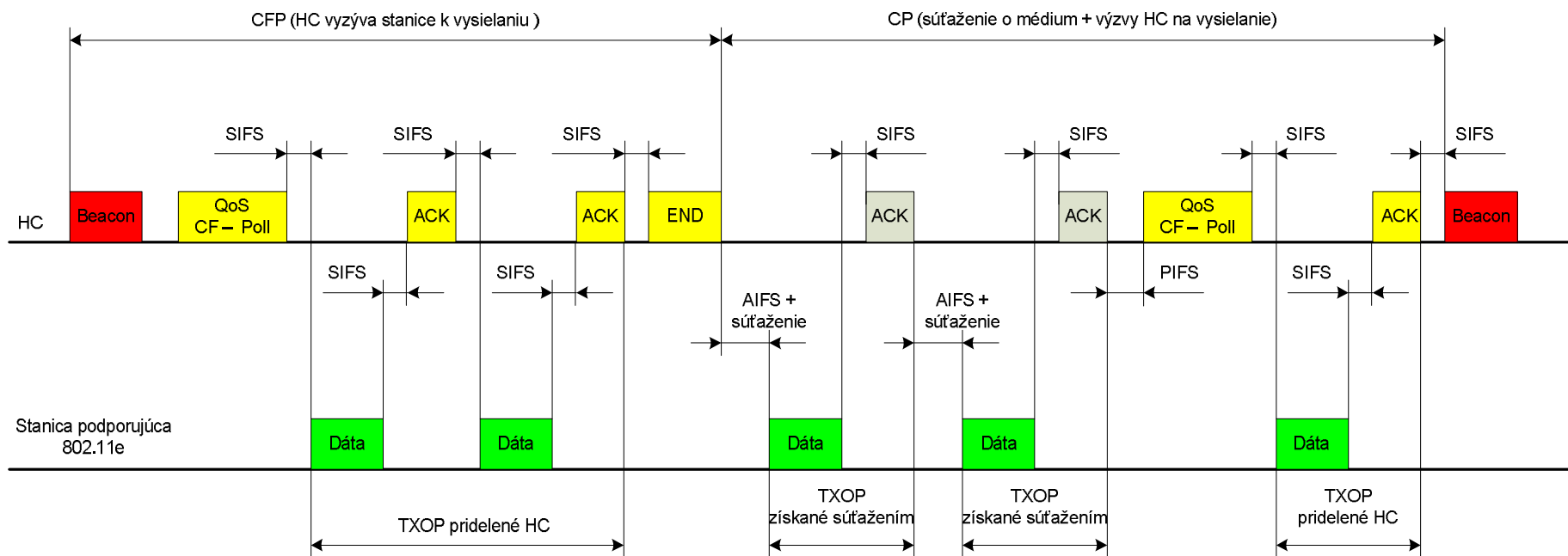
1.4.2.2 Prístup ku kanálu pomocou mechanizmu HCF (HCCA)

Mechanizmus *HCF* [viď lit. 8] štandardu 802.11e vychádza z centralizovanej koordinačnej funkcie *PCF*. *HCF* však ponúka prepracovanejšiu podporu QoS. Centrálny prvok hybridný koordinátor (*HC* – Hybrid Coordinator) preberá funkciu riadenia prístupu k médiu, samozrejme musí podporovať štandard 802.11e. Má na starosti pridelovanie príležitosti k prenosu *TXOP* kategóriám prenosu u jednotlivých bezdrôtových staníc. V porovnaní s metódou *EDCA* môže metóda *HCF* zaručiť garanciu doby prenosu a oneskorenia. *HCF* má väčšiu prioritu a preto môže pracovať v intervale *CFP* aj v intervale súťaženia *CP*.

Pri registrácii bezdrôtových staníc ku *HC*, je stanica povinná presne definovať požiadavky na sieťové prostriedky, ktoré pri dostatočných možnostiach *HC* schváli, alebo obmedzí a následne schváli. Následne sa staniciam prideluje *TXOP* na základe dohodnutých parametrov.

Samotná komunikácia sa opäť začína vyslaním rámca *Beacon*. Následne *HC* pridelí *TXOP* nejakej stanici za pomoci odoslania rámca *QoS CF-POLL*. Podobne ako u metódy *PCF* môže byť vytvorený kombinovaný rámec *Dáta + QoS CF-POLL*. Mechanizmus *HCF* môže súčasne vyslať rámec *QoS CF-POLL* niekoľkým staniciam prípadne kategóriám prístupu *AC*. Pre každú stanicu tento rámec obsahuje presný čas, kedy môže začať vysielat' a aká bude presná doba vysielania. Na základe informácie z rámca *QoS CF-POLL* si stanice nastaví svoj vektor alokácie siete (*NAV* – Network Allocation Vector), po jeho uplynutí môžu zahájiť vysielanie. Rovnako ako u metódy *PCF* končí interval *CFP* rámcem *CF-END*.

Ako môžeme vidieť z Obr. 1-15, *HCF* môže vyslať rámec *QoS CF-POLL* aj počas intervalu súťaženia, a to po ukončení dátového prenosu na médiu a následnom uplynutí intervalu *PIFS*. Rámec *QoS CF-POLL* tak počas intervalu *CP* vyzve príslušnú kategóriu prístupu k odoslaniu dát vo vyhradenom intervale *TXOP* bez súťaženia.



Obr. 1-15: Príklad komunikácie pomocou prístupového mechanizmu HCF

2 Simulácia 802.11e v OPNET Modelery

OPNET Modeler (OM) je simulačný program, ktorý slúži pre návrh, simuláciu a analýzu sietí [viď lit. 5]. OM dokáže modelovať veľmi rozsiahle siete s vynikajúcimi vlastnosťami. Hlavnou výhodou programu je jeho efektívnosť a výkonnosť.

OPNET Modeler vyvinula firma OPNET Technologies Inc. Program umožňuje modelovať a zároveň simulovať akékoľvek architektúry sietí. Základným kameňom OM je jeho grafické prostredie, vďaka ktorému je práca v ňom efektívnejšia a rýchlejšia. Veľmi dôležitou vlastnosťou OM je široká možnosť tvorby rôznych štatistík z danej simulácie. Táto vlastnosť nabáda k použitiu OM všade tam, kde je treba overiť chovanie reálneho objektu v rôznych extrémnych podmienkach (napr. chovanie serveru pri vysokej záťaži, správne nastavenie parametrov prístupových metód u WLAN apod.). Vďaka OM si môžeme overiť chovanie reálneho objektu v určitej situácii a vďaka tejto znalosti predchádzať prípadným nežiaducim stavom.

Simulácia prebieha s určitým zrýchlením, takže je možné nasimulovať mesačné chovanie siete rádovo v minútach. Najväčšia výhoda OM spočíva v jeho objemných knižniciach, ktoré majú dostupný zdrojový kód. Tento kód môžeme ďalej podľa potreby upravovať. Ďalšia dôležitá vlastnosť OM je multiplatformosť (Windows, Linux).

2.1 802.11e v OPNET Modelery

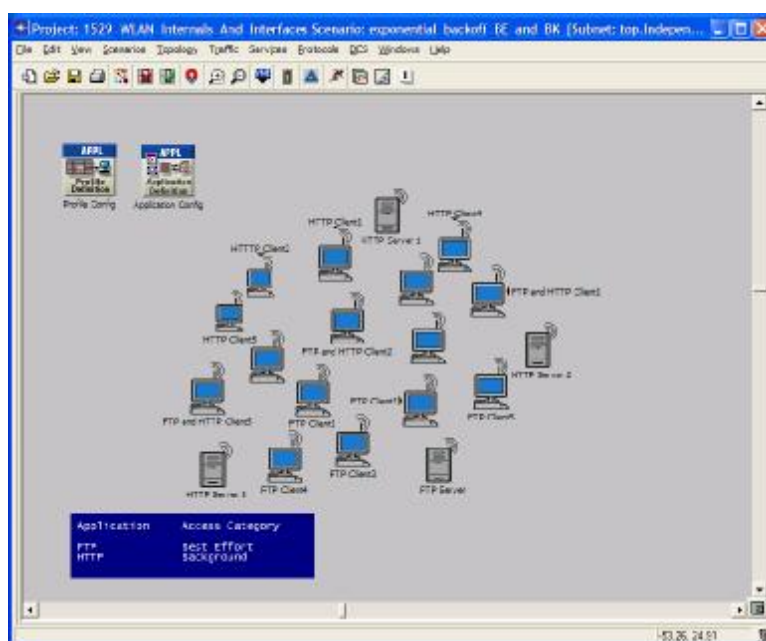
V nasledujúcej kapitole predstavím referenčný model WLAN v OM. Predstavíme si radenie sieťového prenosu rôznych aplikácií (ako napríklad Video, FTP prenos, „surfovanie“ internetom) do rôznych kategórií prístupových metód technológie 802.11e. Kategórie radenia sieťového prenosu sú rozlíšené jednotlivými parametrami ako sú *AIFS*, *CWmin*, *CWmax*, atď.

Následne si pomocou simulácie overíme výhody technológie 802.11e pri prenose multimediálnych dát.

2.2 Referenčný model WLAN v OM

Referenčný model *1529_WLAN_Internals_And_Interfaces* z OPNETWORKS 2007 [vid' lit. 6] v nasledujúcej kapitole podrobne popíšem, pretože mi slúžil ako základ pre vytvorenie vlastného modelu siete. Tento model prehľadne poukazuje na rozloženie sieťového prenosu do jednotlivých prístupových kategórií, čím zabezpečuje kvalitu poskytovaných služieb. Výsledky simulácie si môžeme zobrazit' v prehľadných grafoch, na ktorých si overíme teoretické vedomosti o rozšírených mechanizmoch prístupových metód s podporou QoS.

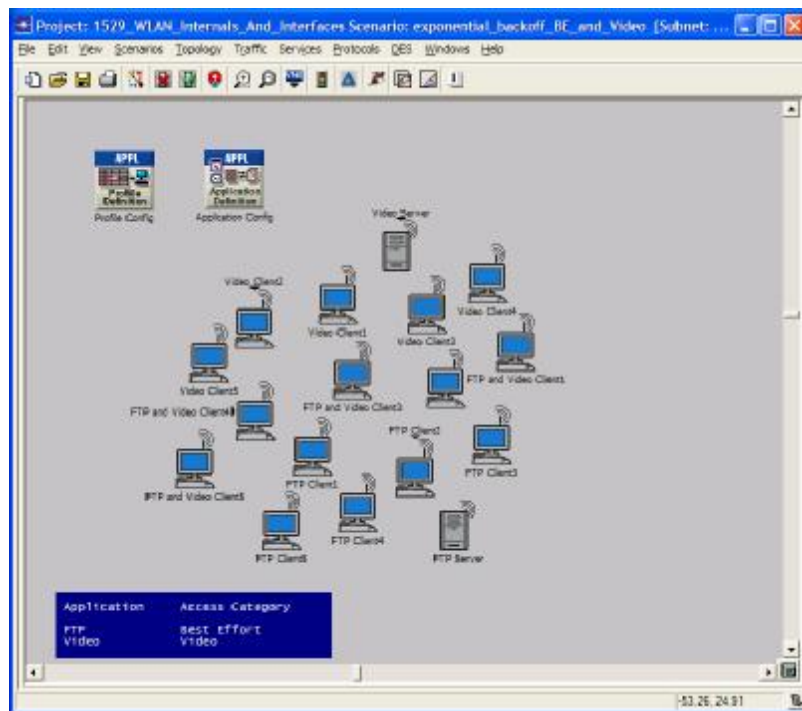
Celý model obsahuje štyri scenáre. Prvé dva scenáre obsahujú rovnakú WLAN sieť s podporou FTP a HTTP aplikácií. FTP prenos je radený do prístupovej kategórie *Best Effort* (*AC_BE*) a HTTP prenos je radený do kategórie *Background* (*AC_BK*).



Obr. 2-1: Model WLAN s FTP a HTTP prenosom

Prepínanie jednotlivých scenárov vykonávame cez menu *Scenarios > Switch to Scenario*.

Ďalšie dva scenáre obsahujú podobnú WLAN sieť, ale už s podporou FTP prenosu radeného do prístupovej kategórie *AC_BE* a Video prenosu radeného do prístupovej kategórie *Video* (*AC_VI*).



Obr. 2-2: Model WLAN s FTP a Video prenosom

2.2.1 Prehľad prvého scenára

Okno, v ktorom sú vytvorené jednotlivé siete, sa nazýva *Editor projektu*. Je to grafický editor modelujúci topológiu a fyzické prepojenie v sieti. Sieť obsahuje uzly (node) a odkazy na objekty konfigurovateľné cez dialógový box. Drag and Drop funkcia (ťahaj a pusť) editoru slúži k zostaveniu siete. Máme k dispozícii rozsiahlu paletu objektov, ktorú môžeme vyvolať cez menu *Topology > Open Object Palette*, alebo pomocou ikony z panela nástrojov vid' Obr. 2-3.

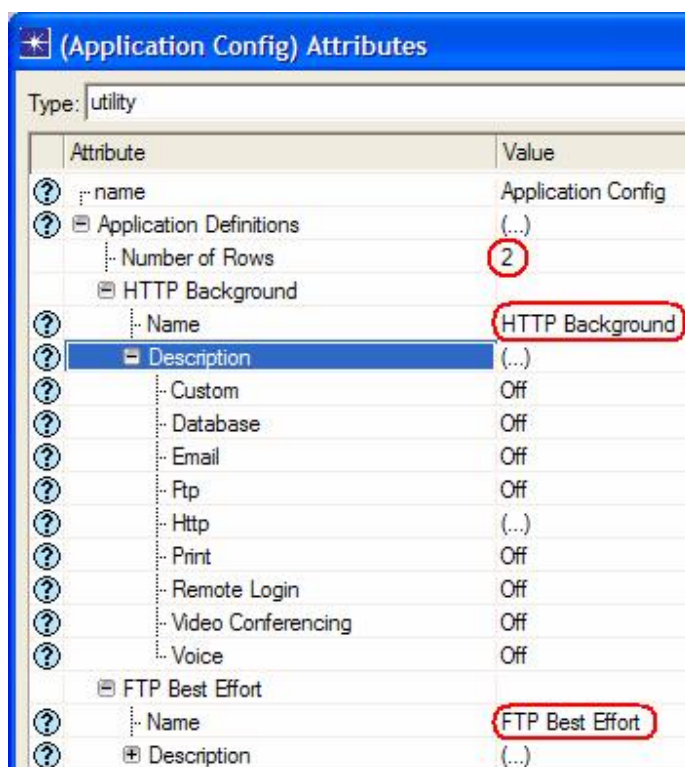


Obr. 2-3: Paleta objektov

Najskôr sa podrobnejšie zameriame na prvý scenár *exponential_backoff_BE_and_BK* s podporou FTP a HTTP. Druhý scenár *exponential_backoff_BE_and_Video* s podporou FTP prenosu a Video prenosu si podrobnejšie ukážeme v kapitole 2.2.3.

Z Obr. 2-1 vidíme, že WLAN tvorí niekoľko bezdrôtových klientov podporujúcich služby FTP a HTTP a bezdrôtové serveri podporujúce spomínané prenosy.

Po vizuálnom vytvorení WLAN siete v Editore projektu, je prvý krok nastavenie jednotlivých podporovaných aplikácií, táto možnosť sa ukrýva pod ikonou *Application Config*. Pravým tlačidlom myši na ikonke *Application Config* zvolíme *Edit Attributes*.



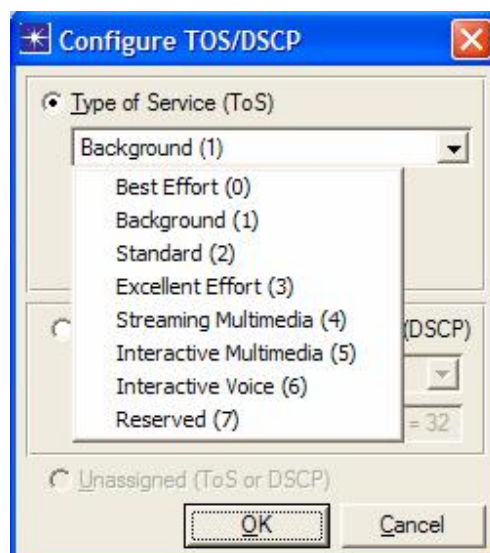
Obr. 2-4: Application Config

Z Obr. 2-4 vidíme, že daná WLAN má nastavenú podporu iba dvoch aplikácií (*Number of Rows=2*). Prvá aplikácia je pomenovaná *HTTP Background* a podporuje HTTP prenos, druhá je pomenovaná *FTP Best Effort* a podporuje FTP prenos. Pre detailnejší náhľad podporovanej aplikácie prejdeme myšou na značku „(...)“ pri aplikácii *Http*, stlačíme ľavé tlačidlo a zvolíme voľbu *View Attribute*.

Attribute	Value
HTTP Specification	HTTP 1.0
Page Interarrival Time (seconds)	constant (1)
Page Properties (2 Rows)	(...)
Server Selection	(...)
RSVP Parameters	None
Type of Service	Background (1)

Obr. 2-5: Vlastnosti HTTP aplikácie

Pole *Type of Service* (ToS) je nastavené na *Background*, vid' Obr. 2-5. Po kliknutí pravým tlačidlom myši na typ služby *Background*, môžeme zmeniť hodnotu *ToS*.



Obr. 2-6: Zmena ToS

Cez ikonu *Profile Config* definujeme profily, podľa ktorých sa budú správať jednotlivé bezdrôtové stanice. Každému profilu môžeme nastaviť podporu jednej, všetkých alebo iba vybraných aplikácií. Každý profil môže mať odlišné, ale aj spoločné aplikácie. Ďalej v profile môžeme nastaviť čas, kedy sa má daná aplikácia pri štarte simulácie spustiť, koľko jej inštancií sa má spustiť, kedy má skončiť a aký dátový prenos sa má zahájiť (konštantný, exponenciálny, extrémny, normálny,...). Na ikone *Profile Config* stlačíme pravé tlačidlo myši a zvolíme *Edit Attributes*.

Attribute	Value
name	Profile Config
Profile Configuration	(...)
Number of Rows	2
HTTP Traffic Background	
Profile Name	HTTP Traffic Background
Applications	(...)
Number of Rows	1
HTTP Background	
Name	HTTP Background
Start Time Offset (seconds)	No Offset
Duration (seconds)	End of Profile
Repeatability	Once at Start Time
Operation Mode	Serial (Ordered)
Start Time (seconds)	constant (10)
Duration (seconds)	End of Simulation
Repeatability	Once at Start Time
FTP Traffic Best Effort	
Profile Name	FTP Traffic Best Effort
Applications	(...)
Operation Mode	Serial (Ordered)
Start Time (seconds)	constant (10)
Duration (seconds)	End of Simulation
Repeatability	Once at Start Time

Obr. 2-7: Profile Config

Z Obr. 2-7 vidíme, že daná WLAN má nastavenú podporu dvoch profilov (*Number of Rows* =2) a to *HTTP Background* a *FTP Traffic Best Effort*. Oba profily majú podporovanú jednu aplikáciu (*Number of Rows* =1). Aplikácia má ďalej nastavenú opakovateľnosť (*Repeatability*) inštancie jeden krát pri štarte simulácie a doba trvania inštancie (*Duration*) do konca simulácie.

Každému bezdrôtovému klientovi musí byť nastavený minimálne jeden vytvorený profil, podľa ktorého sa bude správať. Na ikonke klienta cez pravé tlačidlo myši zvolíme *Edit Attributes*. Náš *HTTP Client1* má nastavenú podporu jedného profilu (viď

Obr. 2-8) *HTTP Background* (*Number of Rows* =1). Klienti ktorý majú v názve FTP podporujú profil *FTP Traffic Best Effort*. WLAN obsahuje aj klientov, ktorý podporujú oba profily.

Attribute	Value
name	HTTP Client1
AD-HOC Routing Parameters	
ARP	
Applications	
Application: ACE Tier Configuration	Unspecified
Application: Destination Preferences	(...)
Application: Multicasting Specification	None
Application: RSVP Parameters	None
Application: Segment Size	64,000
Application: Source Preferences	None
Application: Supported Profiles	(...)
Number of Rows	1
HTTP Traffic Background	
Profile Name	HTTP Traffic Background
Traffic Type	All Discrete
Application Delay Tracking	Disabled
Application: Supported Services	None
Application: Transport Protocol Specific...	Default

Obr. 2-8: Vlastnosti HTTP klienta 1

Po nastavení aplikácií a profilov sa môžeme pozrieť na možnosti nastavenia samotných parametrov prístupových metód WLAN. Samozrejme musíme toto nastavenie vykonať ako u serverov tak aj u jednotlivých klientov.

Pravým tlačidlom myši na ikonke servera zvolíme *Edit Attributes* a pozrieme sa na nastavenie parametrov servera *HTTP Server 1* pod záložkou *Wireless LAN > Wireless LAN Parameters*.

Attribute	Value
Wireless LAN	
Wireless LAN MAC Address	Auto Assigned
Wireless LAN Parameters	(...)
BSS Identifier	Auto Assigned
Access Point Functionality	Disabled
Physical Characteristics	Direct Sequence
Data Rate (bps)	1 Mbps
Channel Settings	Auto Assigned
Transmit Power (W)	0.005
Packet Reception-Power Threshold...	-95
Rts Threshold (bytes)	None
Fragmentation Threshold (bytes)	None
CTS-to-self Option	Enabled
Short Retry Limit	7
Long Retry Limit	4
AP Beacon Interval (secs)	0.02
Max Receive Lifetime (secs)	0.5
Buffer Size (bits)	256000
Roaming Capability	Disabled
Large Packet Processing	Drop
PCF Parameters	Disabled
HCF Parameters	Default

Obr. 2-9: Wireless LAN Parameters

Z Obr. 2-9 si môžeme všimnúť niektoré základné nastavenia ako sú:

- Identifikátor BSS pridelený automaticky,
- pôsobenie ako AP zakázané (u AP musí byť povolené),
- fyzické rozhranie DSSS,
- maximálna prenosová rýchlosť nastavená na 1 Mbps,
- kanál pridelený automaticky,
- vysielací výkon 5mW,
- možnosť roamingu bezdrôtových staníc zakázaná,
- a iné.

Ďalej si môžeme všimnúť, že prístupová metóda *PCF* je zakázaná. Prístup ku zdieľanému médiu je riadený metódou zo štandardu IEEE 802.11e – *HCF*.

Po rozbalení položky *HCF Parameters* (viď Obr. 2-10) sa dostaneme k jednotlivým nastaveným parametrom.

⊕ PCF Parameters	Disabled
⊖ HCF Parameters	(...)
⋮ Status	Supported
⊖ EDCA Parameters	(...)
⊖ Access Category Parameters	(...)
⊖ Voice	(...)
⋮ CWmin	$(PHY\ CWmin + 1) / 4 - 1$
⋮ CWmax	$(PHY\ CWmin + 1) / 2 - 1$
⋮ AIFSN	2
⊕ TXOP Limits	(...)
⊕ Video	(...)
⊕ Best Effort	(...)
⊕ Background	(...)
⊕ Traffic Category Parameters (8 Rows)	Default
⋮ Block ACK Capability	Supported
⊕ AP Specific Parameters	(...)

Obr. 2-10: EDCA parametre jednotlivých AC

Pod vetvou *EDCA Parameters* nájdeme jednotlivé prístupové kategórie pre *Voice*, *Video*, *Best Effort* a *Background*. Každá zo štyroch AC má vlastne parametre *CWmin*, *CWmax*, *AIFSN* a *TXOP Limits*. Nastavené hodnoty parametrov sú zobrazené v Tab. 4.

Tab. 4: Prednastavené parametre prístupových kategórií v OM [6]

Kategórie prístupu	CWmin	CWmax	AIFSN*	Maximálne dĺžky intervalu TXOP [ms]		
				DSSS, CCK	OFDM	FHSS, IR
Voice	$(PHY\ CWmin + 1) / 4 - 1$	$(PHY\ CWmin + 1) / 2 - 1$	2	3264	1504	MSDU*
Video	$(PHY\ CWmin + 1) / 2 - 1$	PHY CWmin	2	6016	3008	MSDU
Best Effort	PHY CWmin	PHY CWmax	3	MSDU	MSDU	MSDU
Background	PHY CWmin	PHY CWmax	7	MSDU	MSDU	MSDU

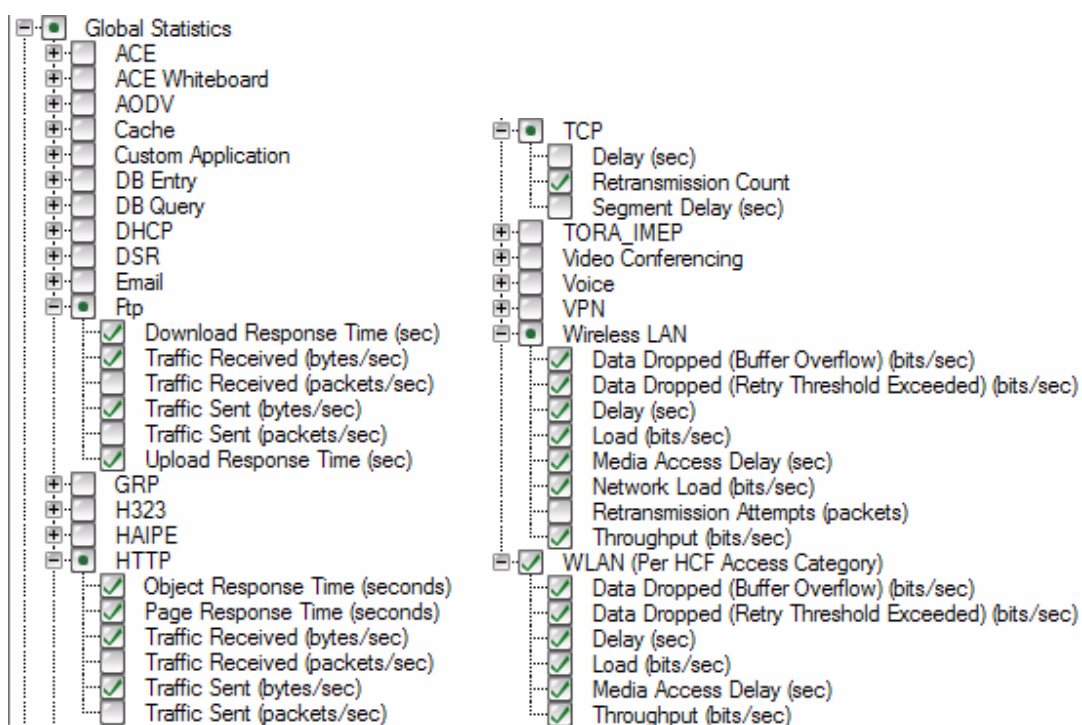
*AIFS = SIFS + AIFSN * slot time

*MSDU – MAC service data unit – servisná dátová jednotka

Z parametrov môžeme vidieť rozloženie priorít medzi jednotlivými prístupovými kategóriami. *Voice* a *Video* majú najkratšie medzi rámcové medzery *AIFS* a najmenšie časové intervaly *CWmin* a *CWmax*. Kategórie *Best Effort* a *Background* sa už značne líšia v intervaloch *CW* a *AIFS*.

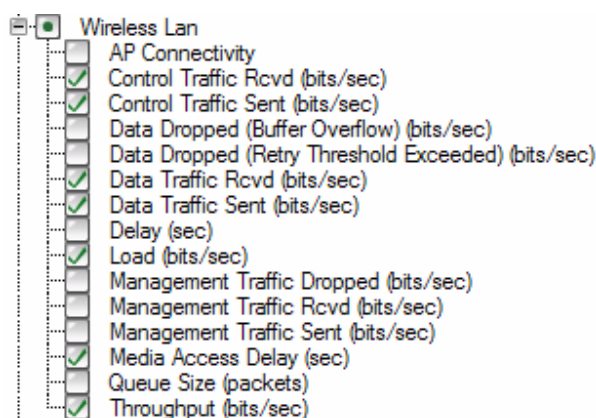
2.2.2 Simulácia prvého scenára

Samotná základná simulácia sa v OM spúšťa veľmi jednoducho, po zadaní niekoľkých parametrov. Pred samotnou simuláciou musíme najskôr určiť, ktoré parametre chceme sledovať. Na ploche *Editora projektu* stlačíme pravé tlačidlo myši a zvolíme *Choose Individual DES Statistic*. Otvorí sa nové okno, kde z *Global Statistics* - globálne štatistiky vyberieme potrebné položky. Na Obr. 2-11 vidíme sledované parametre referenčného modelu.



Obr. 2-11: Nastavenie globálnej štatistiky

Na Obr. 2-12 vidíme vybrané parametre z *Node Statistics* - uzlová štatistika.



Obr. 2-12: Nastavenie uzlovej štatistiky

Po ukončení výberu sledovaných parametrov stlačíme tlačidlo OK.

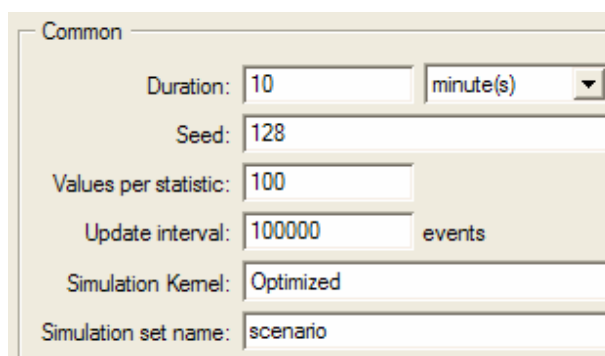
Pre spustenie simulácie vyberieme z textového menu *DES > Configure / Run Discrete Event Simulation*. Túto ponuku môžeme taktiež vyvolať cez ikonu v paneli nástrojov vid' Obr. 2-13.



Obr. 2-13: Spustenie simulácie

Následne už iba zadáme základné parametre samotnej simulácie:

- *Duration* – doba trvania sledovania siete. V našom prípade som nastavil 10 minút.
- *Values per statistic* – udáva počet nameraných hodnôt, ktoré budú slúžiť k vykresleniu grafu. Nastavil som na hodnotu 100.
- *Simulation Kernel* – špecifikuje spôsob prekladu modelu do spustiteľného kódu. Nastavil som možnosť *Optimized*.

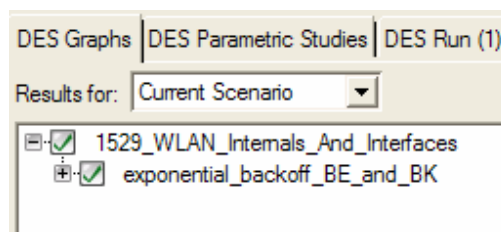


Obr. 2-14: Parametre simulácie

Simuláciu už iba spustíme tlačidlom *Run*. Následne sa nám objaví okno s informáciami o prebiehanej simulácii, ako je napr. uplynutý a odhadovaný čas simulácie, priemerný a aktuálny počet udalostí za sekundu atď. Po ukončení simulácie stlačíme tlačidlo *Close*.

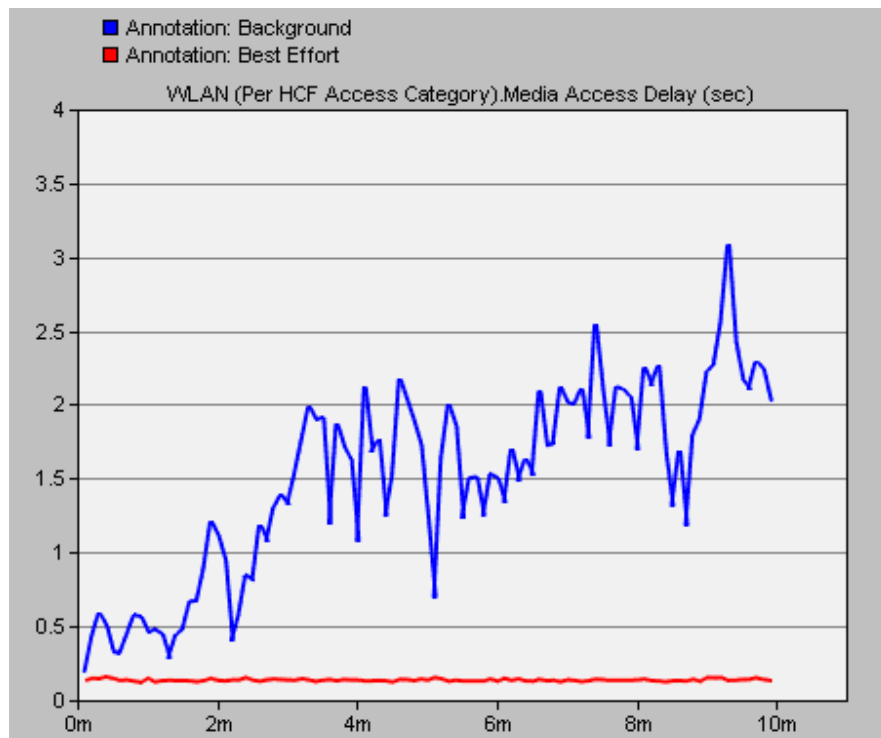
Zobrazenie výsledkov simulácie vyvoláme pravým tlačidlom myši z plochy *Editora projektu* a zvolíme *View Results*, zobrazí sa okno *Result Browser*.

Výsledky simulácie chceme zobraziť iba pre aktuálny scenár, tzn. že z menu *Results for* vyberieme *Current Scenario*, vid' Obr. 2-15.

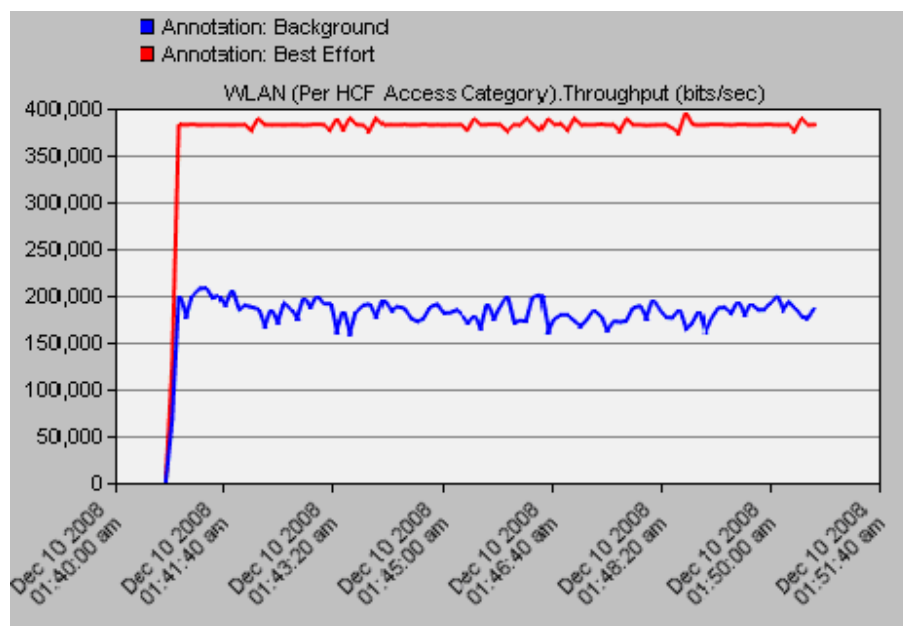


Obr. 2-15: Výber aktuálneho scenára

Ďalej sa v okne *Result Browser* zobrazí zoznam vybraných sledovaných parametrov. Jednoduchým rozbalením stromovej štruktúry sa dostaneme k žiadaným parametrom, ktoré iba zaškrtneme a na pravej strane sa nám zobrazia ich grafy. Tlačidlom *Show* sa označený graf zobrazí v novom okne. Pokiaľ v poli *Presentation* zameníme položku *Stacked Statistics* za položku *Overlaid Statistic*, môžeme si zobraziť viacero parametrov do jedného grafu. Samozrejme nesmieme miešať „hrušky s jablkami“ a zobrazovanie do jedného grafu musí mať svoje opodstatnenie (v našom prípade chceme porovnávať napr. oneskorenie prístupu ku zdieľanému médiu z kategórie *Best Effort* a *Background*, vid' Obr. 2-16.



Obr. 2-16: Oneskorenie prístupu k médiu u AC_BE a AC_BK



Obr. 2-17: Priepustnosť sieťou u AC_BE a AC_BK

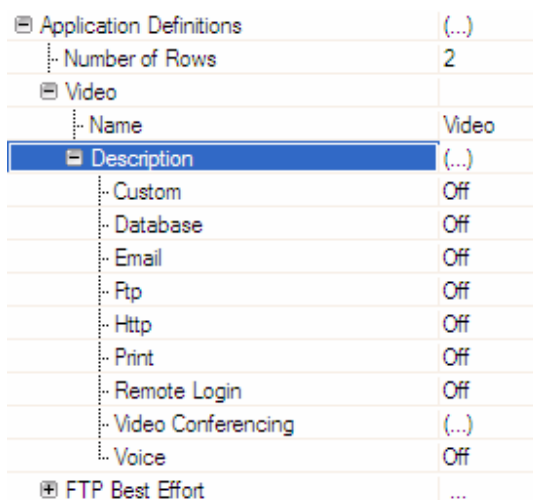
Z grafu na Obr. 2-16 je zrejmé, že prenos *Best Effort* má väčšiu prioritu čo sa týka oneskorenia prístupu k médiu. Do kategórie *Best Effort* je radený FTP prenos, ktorý má samozrejme väčší

objem dát (priepustnosť) prenesených cez sieť ako HTTP prenos radený do kategórie *Background*, vid' Obr. 2-17.

2.2.3 Prehľad druhého scenára

Cez menu *Scenarios > Switch to Scenario* zvolíme už spomínaný scenár *exponential_backoff_BE_and_Video*, vid' Obr. 2-2, s podporou FTP prenosu radeného do prístupovej kategórie *AC_BE* a Video prenosu radeného do prístupovej kategórie *AC_VI*.

FTP prenos radený do kategórie *AC_BE* zostal zachovaný ako v predchádzajúcom scenári aj z pôvodnými nastaveniami. HTTP prenos je už ale nahradený prenosom video konferenčných hovorov. Novú aplikáciu si môžeme pozrieť ak na ikonke *Application Config* stlačíme pravé tlačidlo myši a zvolíme *Edit Attributes*, vid' Obr. 2-18.



[-] Application Definitions	(...)
Number of Rows	2
[-] Video	
Name	Video
[-] Description	(...)
Custom	Off
Database	Off
Email	Off
Ftp	Off
Http	Off
Print	Off
Remote Login	Off
Video Conferencing	(...)
Voice	Off
[+] FTP Best Effort	...

Obr. 2-18: Nová Video aplikácia

Musel byť vytvorený tak tiež nový profil v *Profile Config*, vid' Obr. 2-19.

[-] Profile Configuration	(...)
Number of Rows	2
[-] FTP Traffic Best Effort	...
[-] Video	
Profile Name	Video
[-] Applications	(...)
Number of Rows	1
[-] Video	
Name	Video
Start Time Offset (seconds)	No Offset
Duration (seconds)	End of Profile
[-] Repeatability	Once at Start Time
Operation Mode	Serial (Ordered)
Start Time (seconds)	uniform (10, 20)
Duration (seconds)	End of Simulation
[-] Repeatability	Once at Start Time

Obr. 2-19: Vytvorenie profilu Video

Opäť musí byť každému uzlu (prístupovému bodu aj klientom) nastavená podpora minimálne jedného profilu. Na ikone klienta *Video Client1* stlačíme pravé tlačidlo myši a zvolíme *Edit Attributes*. Klient má nastavenú podporu jedného profilu *Video*, vid' Obr. 2-20.

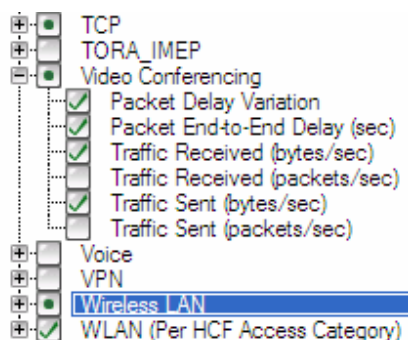
[-] Applications	
[-] Application: ACE Tier Configuration	Unspecified
[-] Application: Destination Preferences	(...)
[-] Application: Multicasting Specification	None
[-] Application: RSVP Parameters	None
Application: Segment Size	64,000
[-] Application: Source Preferences	None
[-] Application: Supported Profiles	(...)
Number of Rows	1
[-] Video	
Profile Name	Video
Traffic Type	All Discrete
[-] Application Delay Tracking	Disabled

Obr. 2-20: Nastavenie podpory profilu na klientoch

Pokiaľ máme nastavené rovnaké parametre na všetkých uzloch, môžeme pristúpiť k samotnej simulácii.

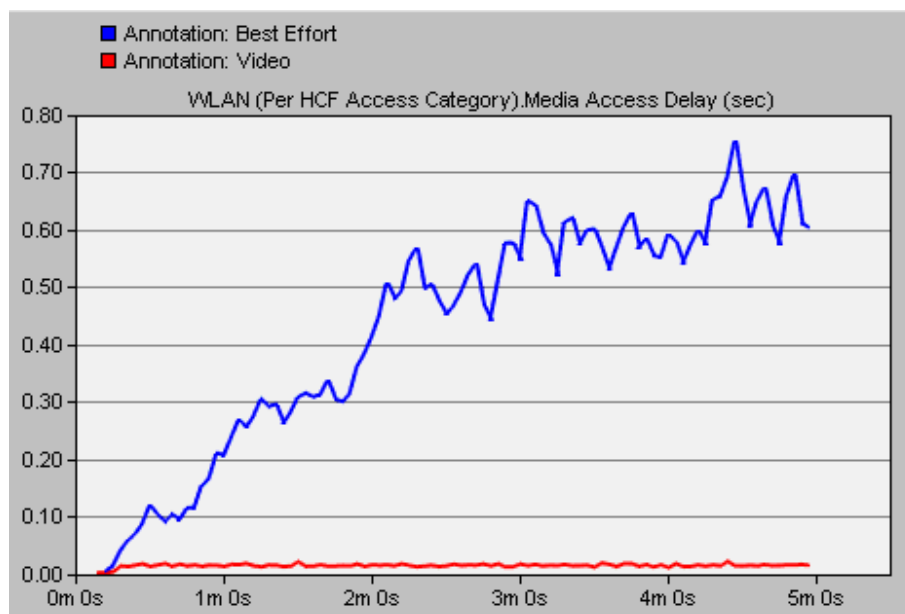
2.2.4 Simulácia druhého scenára

Z globálnych štatistík sú v tomto scenári vybrané rovnaké položky ako v predchádzajúcom scenári (viď Obr. 2-11), vynechaná je iba položka *HTTP*. Namiesto nej sú vybrané niektoré položky z *Video conferencing*, viď Obr. 2-21.



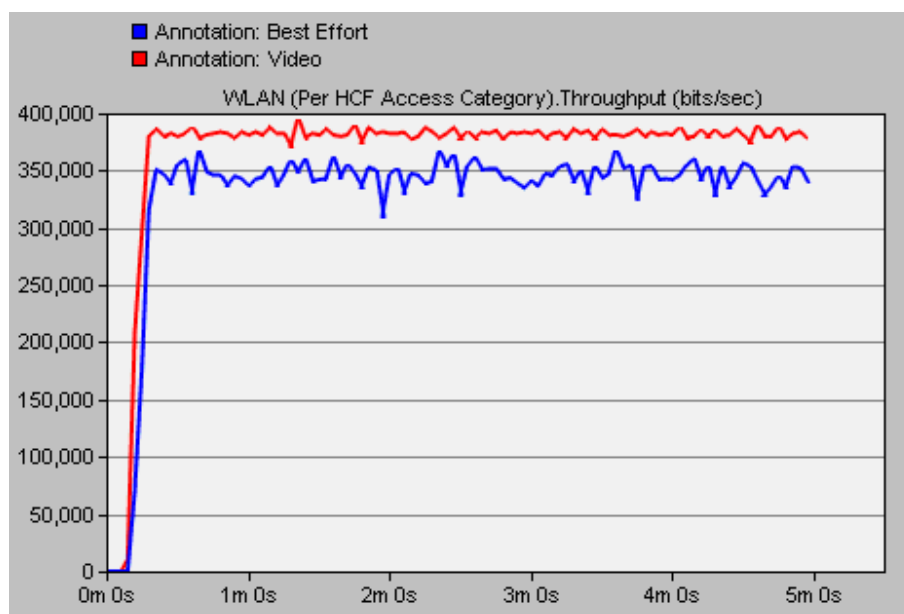
Obr. 2-21: Nastavenie globálnej štatistiky

Simuláciu a následné zobrazenie výsledkov prevádzame rovnako ako v kapitole 2.2.2.

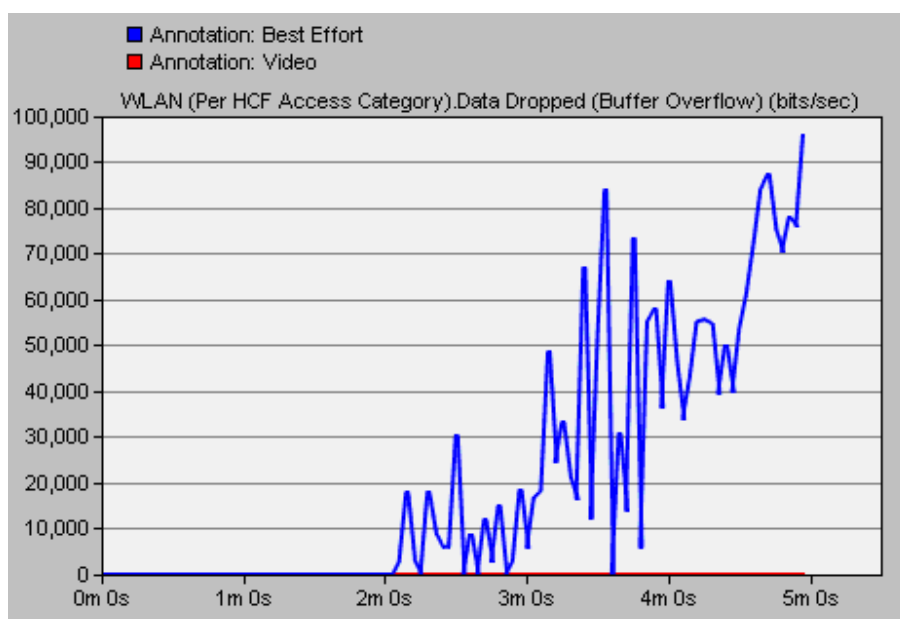


Obr. 2-22: Oneskorenie prístupu k médiu u AC_BE a AC_VI

Opäť si môžeme všimnúť, že *Video* prenos s väčšou prioritou je vo všetkých parametroch značne uprednostňovaný pred prenosom *Best Effort*. Priepustnosť dát je takmer rovnaká, ale pri pretečení zásobníka sú zahadzované prednostne dáta prenosu *Best Effort*.



Obr. 2-23: Priepustnosť sieťou u AC_BE a AC_VI



Obr. 2-24: Zahodené dáta pri pretečení zásobníka u AC_BE a AC_VI

Pri jednoduchej simulácii referenčného modelu *1529_WLAN_Internals_And_Interfaces* z OPNETWORKS 2007, sme si ukázali účinnosť štandardu 802.11e. Pri prenose rôznorodých dát sa jasne prejavuje vyššia priorita u služieb pracujúcich v reálnom čase.

2.3 Vlastný model WLAN v OM

Kvôli lepšiemu preskúmaniu WLAN modulu v OM som v tejto práci vytvoril vlastný model s niekoľkými nezávislými scenármi. V každom scenári je vytvorená iná sieť, ktorá sa zameriava vždy na iný problém bezdrôtových lokálnych sietí. Vytvorenie vlastného modelu WLAN siete budem opisovať po jednotlivých krokoch, kvôli jednoduchšiemu popisu postupu tvorby a lepšej prehľadnosti.

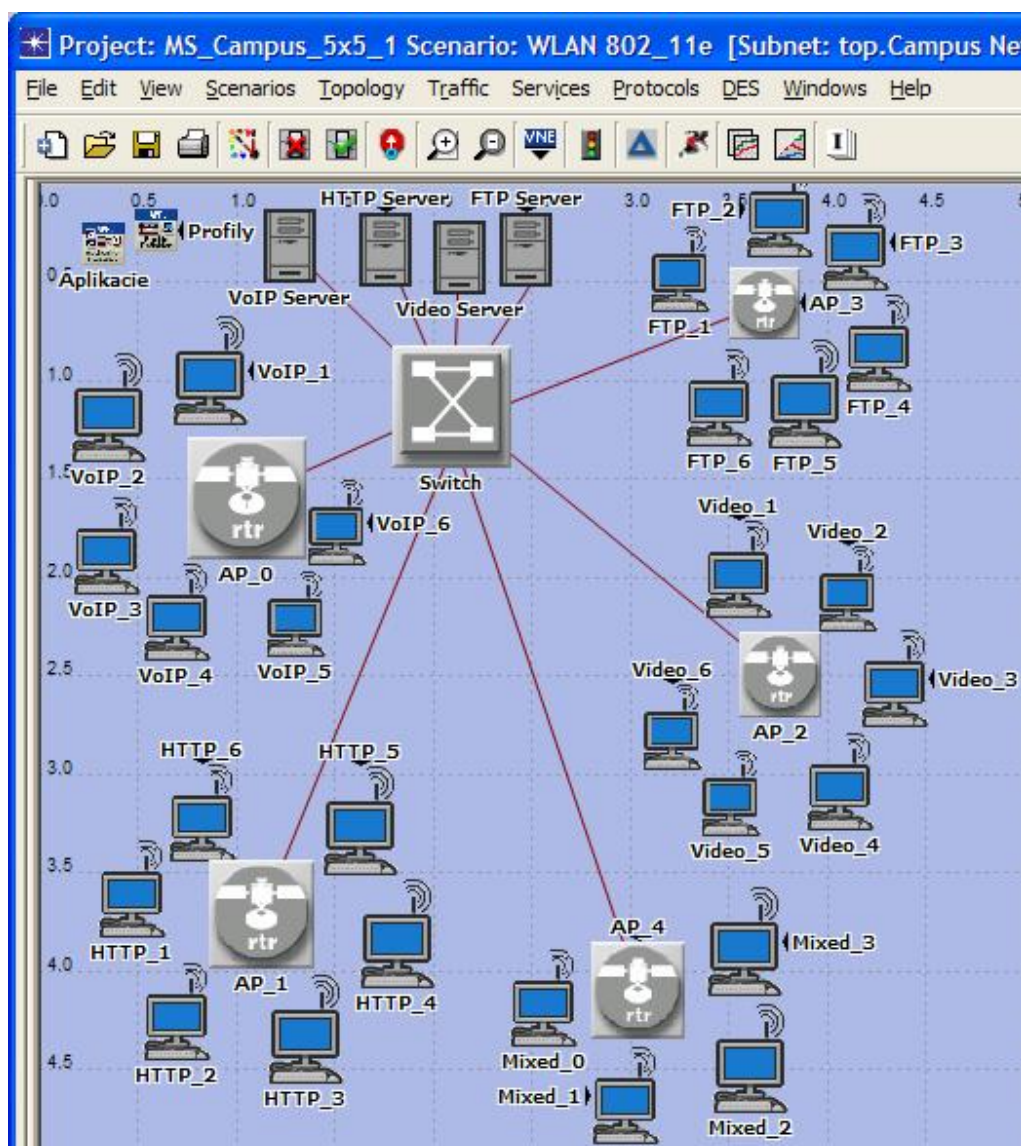
Pri vytváraní nového simulačného modelu musíme najskôr vytvoriť nový projekt. Každý projekt potom môže obsahovať viacero scenárov, ako som už vyššie spomínal.

Pri vytváraní projektu musíme definovať niektoré základné vlastnosti siete:

- topológiu siete,
- veľkosť siete,
- umiestnenie siete,
- objekty s ktorými budeme pracovať (Object Palette).

2.3.1 Vytvorenie projektu a scenára WLAN 802_11e

V prvom scenári si vytvoríme jednoduchú sieť presne podľa Obr. 2-25. Sieť je zložená z bezdrôtových klientov, ktorí sú pripojení k piatim prístupovým bodom. Ďalej sa tu nachádzajú štyri serveri podporujúce štyri základné aplikácie *VoIP*, *Video konferencia*, *FTP* a *HTTP*. Jednotlivé AP a serveri sú medzi sebou prepojené prepínačom. Nastavenie aplikácií a profilov klientov majú na starosti moduly *Application Config* a *Profile Config*.



Obr. 2-25: Model siete scenára WLAN 802.11e

Vytvorenie nového projektu a prvého scenára budeme prevádzať v nasledujúcich krokoch:

1. Spustíme OPNET Modeler.
2. Vyberieme položku *File > New > Project* a potvrdíme OK.
3. Zadáme meno projektu a meno prvého scenára. V mojom prípade som zvolil meno projektu *MS_Campus_5x5_1* a meno scenára *WLAN 802_11e*.
4. Pre vytvorenie prázdneho scenára zvolíme *Create empty scenario*.
5. Pri definovaní rozlohy siete vyberieme položku *Campus* a necháme zaškrtnutú hodnotu *Use metric unit*.

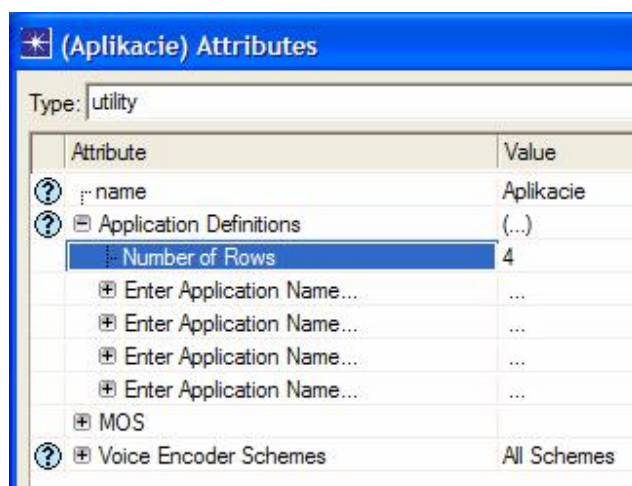
6. Zadáme požadované rozmery siete. V mojom prípade som zvolil rozmery 5 x 5 km.
7. S ponuky si ďalej vyberieme zostavu *wireless_lan_adv*, ktorá obsahuje objekty potrebné v našom modeli. Po stlačení tlačidla *Finish* ukončíme vytváranie projektu a spustí sa nám *Editor projektu* a paleta objektov.
8. Z ponúkutej palety objektov si vyberieme nasledovné komponenty:
 - *wlan_wksth_adv Mobile Node* – mobilný WLAN klient,
 - *wlan2_router_adv Fixed Node* – fixný WLAN AP,
 - *Application Config*,
 - *Profile Config*.

Zvyšné komponenty siete vyberieme z palety *ethernet*:

- *ethernet_server*,
- *ethernet16_switch* – 16 portový prepínač,
- *100BaseT Duplex Link* – prepojovacia linka 100Mbit/s.

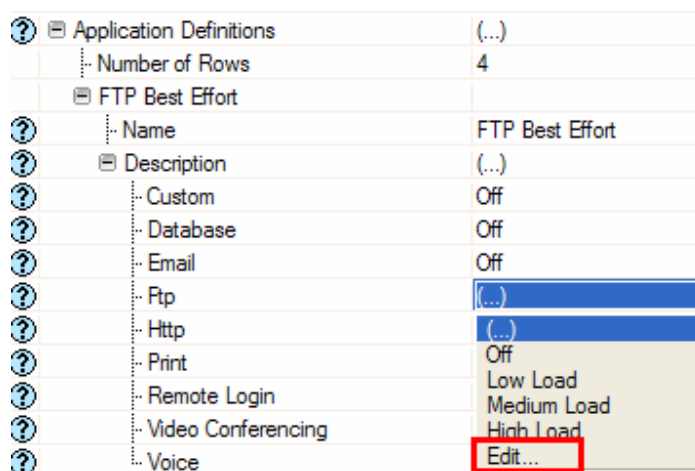
Teraz už môžeme všetky uzly (node) usporiadať, pospájať a pomenovať presne podľa Obr. 2-25. V OM je možné využívať kvôli urýchleniu práce kopírovanie uzlov pomocou skratky *ctrl+c* a *ctrl+v*.

9. Ďalším krokom je už samotná konfigurácia vytvorenej WLAN siete. V prvom rade musíme definovať všetky aplikácie, ktoré budeme využívať. Slúži k tomu modul *Application Config*. Stlačíme pravé tlačidlo myši na ikone *Application Config* a zvolíme možnosť *Edit Attributes*. Rozbalíme položku *Application Definitions* a do položky *Number of Rows* zadáme 4, viď Obr. 2-26.



Obr. 2-26: Definícia aplikácií

Prvú aplikáciu pomenujeme *FTP Best Effort* a rozbalíme položku *Description*. Ako podporovanú aplikáciu zvolíme *Ftp*. Ľavým tlačidlom myši zvolíme *Edit*, viď Obr. 2-27.



Obr. 2-27: Definícia FTP aplikácie

V položke *Type of Service* nastavíme typ aplikácie na *Best Effort*, viď Obr. 2-28.

* (Ftp) Table	
Attribute	Value
Command Mix (Get/Total)	50%
Inter-Request Time (seconds)	constant (1)
File Size (bytes)	constant (3750)
Symbolic Server Name	FTP Server
Type of Service	Best Effort (0)
RSVP Parameters	None
Back-End Custom Application	Not Used

Obr. 2-28: Konfigurácia FTP aplikácie

Druhej aplikácii dáme meno *VoIP Voice*. Po rozbalení položky *Description* zvolíme *Edit* pri aplikácii *Voice*. Tu v položke *Type of Service* zvolíme typ *Interactive Voice*.

Ďalšiu aplikáciu pomenujeme *VC Video*. Aplikácii *Video Conferencing* nastavíme v položke *Type of Service* možnosť *Interactive Multimedia*.

Poslednú aplikáciu pomenujeme *HTTP Background*. Aplikácii *Http* nastavíme v položke *Type of Service* možnosť *Background*.

Pomocou rozdelenia aplikácií do rôznych typov služieb (*Type of Service*), dokážu klienti a prístupové body deliť dátové toky do jednotlivých prístupových kategórii. Každý paket takto vo svojej hlavičke v poli *ToS* nesie informáciu o aký typ služby sa jedná a do akej prístupovej kategórie patrí.

- Po definovaní aplikácií prechádzame na definovanie profilov v module *Profile Config*. Každému klientovi sa následne priradí jeden z vytvorených profilov, podľa ktorého sa bude klient správať. Vytvoríme si 4 profily, každý profil obsiahne jednu aplikáciu.

V module *Profile Config* zvolíme možnosť *Edit Attributes*. Rozbalíme ponuku *Profile Configuration* a do položky *Number of Rows* zadáme 4.

Prvý profil nazveme *FTP*, pod položkou *Application* zvolíme *Number of Rows* 1. Tým sme danému profilu povolili jednu podporovanú aplikáciu. Pod položkou *Enter Application Name* zvolíme zo zoznamu našu vytvorenú aplikáciu *FTP Best Effort*. Následne nastavíme parametre FTP aplikácie podľa Obr. 2-29.

Attribute	Value
name	Profile
Profile Configuration	(...)
Number of Rows	4
FTP	
Profile Name	FTP
Applications	(...)
Number of Rows	1
FTP Best Effort	
Name	FTP Best Effort
Start Time Offset (seconds)	No Offset
Duration (seconds)	End of Profile
Repeatability	(...)
Operation Mode	Serial (Ordered)
Start Time (seconds)	constant (10)
Duration (seconds)	End of Simulation
Repeatability	(...)

Obr. 2-29: Parametre profilu FTP

Klient, ktorý bude mať nastavený profil FTP, po 10 sekundách od spustenia simulácie začne nadväzovať FTP spojenie (*Start Time = 10s*), ktoré bude trvať do konca simulácie (*Duration = End of Profile/End of Simulation*). Ak by sa FTP spojenie počas simulácie prerušilo, opätovné nadviazanie spojenia nie je limitované (*Repeatability = Unlimited*).

Ďalší vytvorený profil pomenujeme *HTTP*, pod položkou *Application* zvolíme *Number of Rows = 1*. Pod položkou *Enter Application Name* zvolíme ďalšiu vytvorenú aplikáciu *HTTP Background*. Nastavenie bude rovnaké ako pri FTP profile (vid' Obr. 2-29), ale štart *HTTP* aplikácie (*Start Time*) nastavíme na hodnotu 20 sekúnd. Rozdielne doby štartovania aplikácií robíme z dôvodu postupného nárastu komunikácie v sieti.

Tretí profil dostane meno *Video Conferencing* a priradíme mu aplikáciu *VC Video*. Tu štart aplikácie nastavíme na 30 sekúnd.

Posledný profil pomenujeme *VoIP* a priradíme mu aplikáciu *VoIP Voice*. Štart aplikácie nastavíme na 40 sekúnd.

11. V ďalšom kroku musíme nastaviť podporu aplikácií na jednotlivých serveroch. Klikneme pravým tlačidlom myši na prvom servery (*FTP Server*) a zvolíme *Edit Attributes*. Pod položkou *Application > Application: Supported Service* zvolíme možnosť *Edit*. Do okienka *Rows* zadáme číslo 1 a nastavíme podporu aplikácie *FTP Best Effort* presne podľa Obr. 2-30.

(Application: Supported Services) Table	
Name	Description
FTP Best Effort	Supported

1 Rows

Obr. 2-30: Nastavenie FTP servera

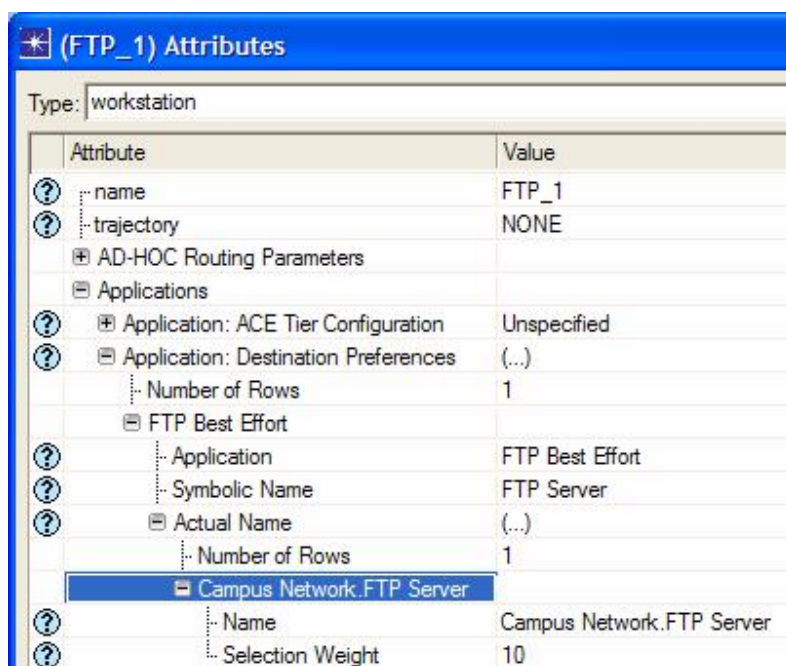
Na zvyšných serveroch podobne nastavíme podporu ostatných aplikácií.

12. Teraz môžeme každému klientovi nastaviť príslušný profil, podľa ktorého sa bude pri simulácii riadiť. Napríklad u klienta *FTP_1* zvolíme *Edit Attributes*. Pod položkou *Application > Application: Supported Profiles* zadáme možnosť *Number of Rows = 1*. A nastavíme podporovaný profil *FTP* podľa Obr. 2-31.

(FTP_1) Attributes	
Type:	workstation
Attribute	Value
name	FTP_1
trajectory	NONE
AD-HOC Routing Parameters	
Applications	
Application: ACE Tier Configuration	Unspecified
Application: Destination Preferences	(...)
Application: Source Preferences	None
Application: Supported Profiles	(...)
Number of Rows	1
FTP	
Profile Name	FTP
Traffic Type	All Discrete
Application Delay Tracking	Disabled
Application: Supported Services	None

Obr. 2-31: Nastavenie profilu na klientovi

Klientovi ďalej musíme nastaviť meno servera s podporovanou aplikáciou. Pomocou tohto nastavenia sú smerované klientske dáta na príslušný server. Nastavenie sa vykonáva pod položkou *Application > Application: Destination Preferences*, viď Obr. 2-32. Toto nastavenie musíme vykonať na všetkých klientoch.



Obr. 2-32: Nastavenie názvu servera na klientovi

Kvôli urýchleniu nastavení objektov s rovnakými vlastnosťami (u klientov je rovnaká vlastnosť rovnaký profil) môžeme využiť hromadné nastavenie parametrov. Stačí si pri stlačenej klávese *ctrl* označiť rovnaké objekty a na jednom z nich zvoliť *Edit Attributes*. Po nastavení potrebných parametrov musíme pri tlačidle *OK* označiť voľbu *Apply to selected objects* a vykonané zmeny sa nám prejavia u všetkých označených objektov.

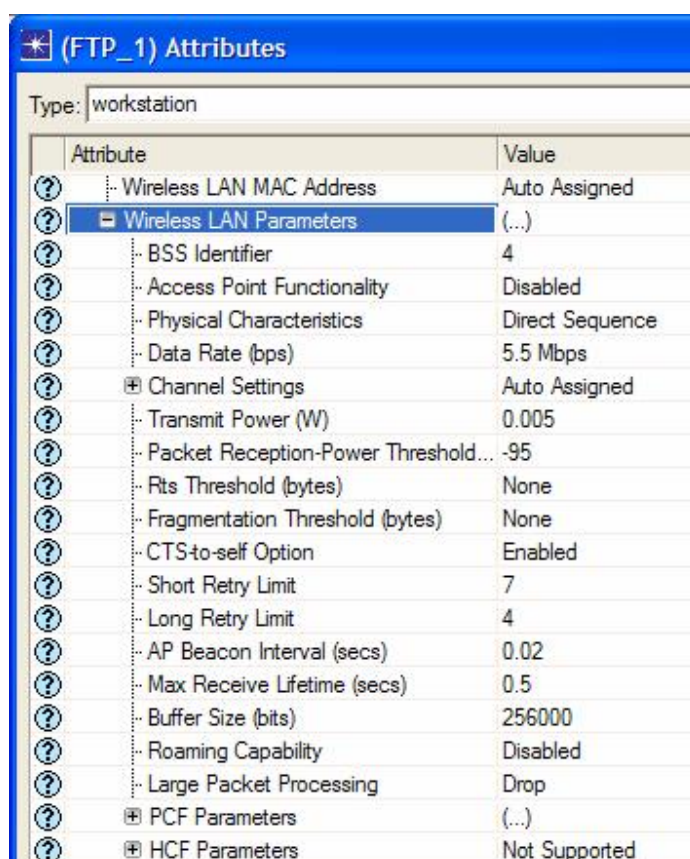
Klientov *Mixed* nastavíme podporu všetkých štyroch aplikácií. Pod položkou *Application > Application: Supported Profiles* zadáme možnosť *Number of Rows = 4* a do každého riadku zadáme meno jedného profilu. Tak isto musíme pod položkou *Application > Application: Destination Preferences* zadať možnosť *Number of Rows = 4* a nastaviť mená štyroch serverov.

- Keďže chceme vytvoriť WLAN sieť podľa štandardu 802.11e, musíme všetkým klientom a prístupovým bodom nastaviť podporu tohto štandardu. Ďalej musíme nastaviť základný parameter ako je identifikačné číslo danej podsiete (*BSS Identifier*). Každý AP a klienti pod neho patriaci, tvoria jednu podsieť. Ďalej som sieť nastavil prenosovú rýchlosť 5,5 Mbps, ktorá je pri danom počte klientov dostačujúca.

Tab. 5: Základné parametre podsietí

Prístupový bod	ID (BSS Identifier)	Klienti patriaci pod AP	Prenosová rýchlosť [Mbps]
AP_0	1	VoIP_1 - VoIP_6	5,5
AP_1	2	HTTP_1 - HTTP_6	5,5
AP_2	3	Video_1 - Video_6	5,5
AP_3	4	FTP_1 - FTP_6	5,5
AP_4	5	Mixed_1 - Mixed_4	5,5

Na jednotlivých klientoch zvolíme *Edit Attributes*. Pod položkou *Wireless LAN* > *Wireless LAN Parameters* nastavíme parametre podľa Tab. 5, vid' Obr. 2-33.



Obr. 2-33: Nastavenie základných WLAN parametrov

Nesmieme ale zabudnúť u všetkých prístupových bodov nastaviť položku *Access Point Functionality* do stavu *Enabled*.

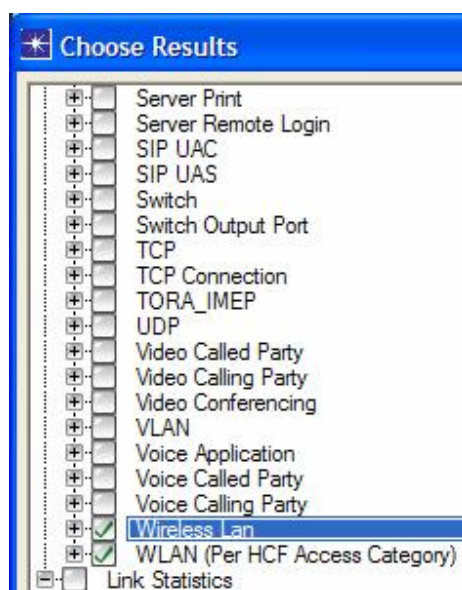
Po vykonaní nastavení základných parametrov môžeme prísť k nastaveniu spomínanej podpory štandardu 802.11e u všetkých klientov a prístupových bodov. Pod

položkou *Wireless LAN > Wireless LAN Parameters > HCF Parameters* zadáme do položky *Status = Supported*. Pod ďalšou položkou *EDCA Parameters* môžeme vidieť jednotlivé prístupové kategórie pokročilého mechanizmu EDCA (viď kap. 1.4.2.1). Jednotlivé parametre prístupových kategórii mechanizmu EDCA sme si už ukázali pri skúmaní referenčného modelu siete WLAN, viď Tab. 2. V tomto scenári ponecháme pre simuláciu prednastavené hodnoty.

14. Týmto som ukončil nastavenia prvého scenára a môžeme sa pustiť do samotnej simulácie.

2.3.2 Simulácia scenára WLAN 802_11e

Opäť ako v kapitole 2.2.2, si pred samotnou simuláciou musíme zvoliť, ktoré parametre chceme sledovať. Na ploche *Editora projektu* stlačíme pravé tlačidlo myši a zvolíme *Choose Individual DES Statistic*. Pri simulácii tohto scenára si zvolíme parametre z uzlovej štatistiky, viď Obr. 2-34.



Obr. 2-34: Nastavenie uzlovej štatistiky

Prvú simuláciu je ale lepšie zvoliť kratšiu, napríklad 5 minút, a po jej skončení skontrolovať *DES Log* štatistiku a výsledné grafy simulácie.

Každý zápis v *DES Log* štatistike obsahuje podrobný popis chýb, výstrah alebo bežných správ, viď Obr. 2-35. Ak máme v nastaveniach chybu, v tomto popise nájdeme o akú chybu sa

jedná a ako máme postupovať pri jej odstránení. Je to veľmi užitočný nástroj pri hľadaní chýb a odlaďovaní menších nedostatkov.

	Severity	Time	Event	Node	Category	Class	SubClass	Message
1	Notice	0.000000000000	267	Campus Network.Profile	Configuration	Application	Setup	WARNING(S):...
2	Notice	0.000000000000	267	Campus Network.Profile	Configuration	Application	Setup	WARNING(S):...
3	Notice	0.000000000000	267	Campus Network.Profile	Configuration	Application	Setup	WARNING(S):...
4	Notice	0.000000000000	267	Campus Network.Profile	Configuration	Application	Setup	WARNING(S):...
5	Notice	0.000000000000	356	Campus Network.AP_1	Results	RIP	Performance	SYMPTOM(S):...
6	Notice	0.020000000000	538	Campus Network.AP_1	Configuration	Wireless LAN	Distance Limit Exceeded	WARNING:...

Obr. 2-35: DES Log štatistika

Najskôr si teda pustíme 5 minútovú simuláciu, viď kapitola 2.2.2. Po jej skončení vidíme počet zápisov v *DES Log* štatistike (viď Obr. 2-36). Tieto záznamy sa dajú prezerať ak na ploche *Editora projektu* stlačíme pravé tlačidlo myši a zvolíme *Open DES Log*.

Simulation progress	
Simulation Completed.	
Simulated Time: 5m 00s	Events: 1,251,278
Speed: Average: 332,256 events/sec.	Current: - events/sec.
DES Log: 8 entries	

Obr. 2-36: Počet zápisov v DES Log štatistike

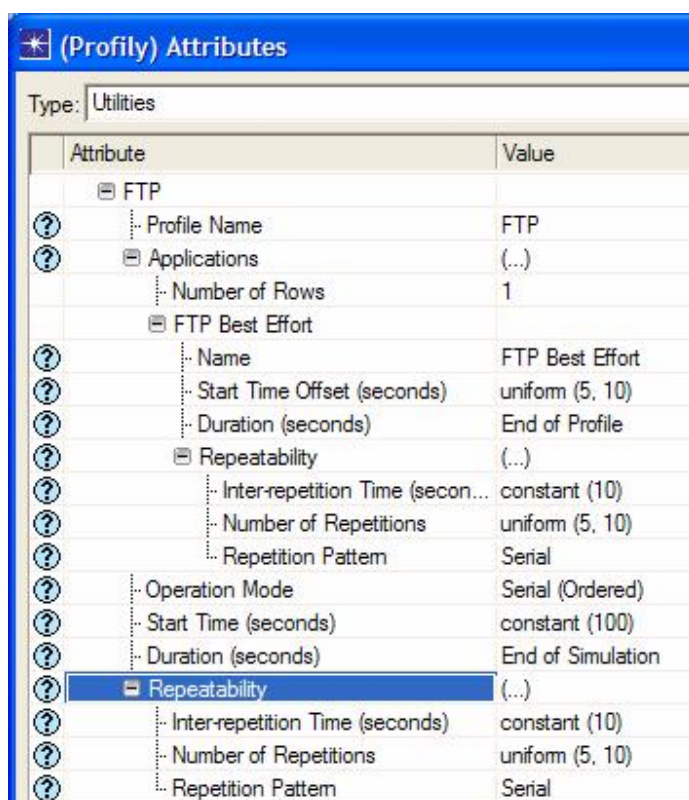
V poslednom stĺpci výpisu nájdeme správu, ak na ňu klikneme ľavým tlačidlom myši, zobrazí sa nám jej podrobnejší popis. V mojom prípade sa týkali prvé štyri varovania nesprávnej konfigurácie v module *Profile Config*. Opakovateľnosť aplikácii (*Repeatability*) priradených jednotlivým profilom by nemala byť nastavená neobmedzene, pokiaľ máme zvolenú dobu trvania profilu do konca simulácie. My ale chceme mať profil aktívny až do konca simulácie, preto na všetkých aplikáciách nastavíme obmedzenú opakovateľnosť, viď Obr. 2-37. Nastavil som opakovateľnosť na hodnotu *uniform(5, 10)*, čo znamená, že počet opakovaní sa určí uniformným rozdelením medzi čísla 5 a 10 (môžeme tak isto zadať opakovateľnosť napr. konštantnú alebo exponenciálnu).

Ďalšie štyri zápisy sa týkajú doby spustenia aplikácií po štarte simulácie. Je lepšie ak spustíme jednotlivé aplikácie až po dobe 100 sekúnd od štartu simulácie. Preto hodnoty spúšťania jednotlivých aplikácií zmeníme na hodnoty 100 (HTTP), 500 (FTP), 900 (Video konferencia)

a 1300 sekúnd (VoIP). Nesmieme ale zabudnúť, že sme zmenili štart jednotlivých aplikácií, a pri spustení novej 5 minútovej simulácie sa do jej skončenia niektoré aplikácie nestihnú spustiť.

Ďalší zápis ma upozornil na príliš veľkú vzdialenosť klienta od prístupového bodu. Aby bol dodržaný štandard 802.11e, oneskorenie vzniknuté prenosom dát od AP ku klientovi alebo naopak, nesmie byť väčšie ako 1 μ s, čo je približne 300 metrov.

Ostatné správy sú už nezaujímavé, popisujú straty jednotlivých paketov a podobne.

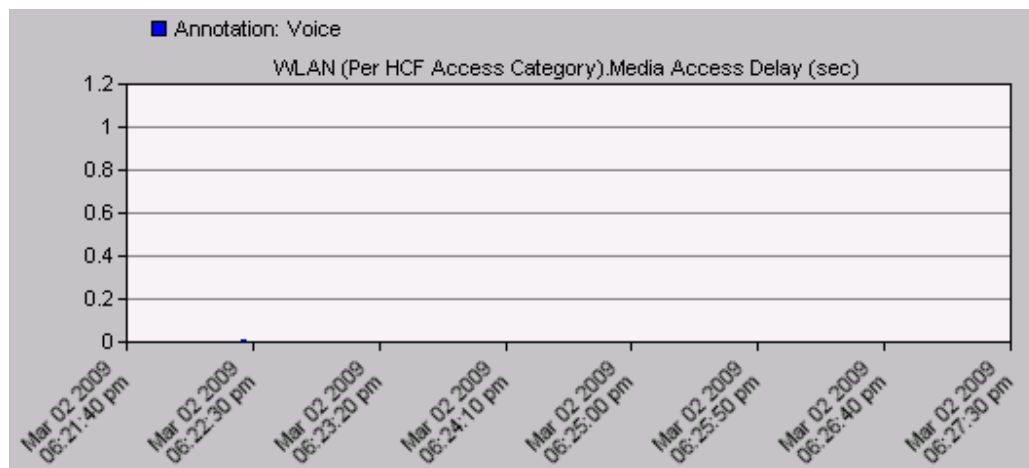


Obr. 2-37: Nastavenie opakovanosti profilu

Teraz môžeme prísť k funkčnej kontrole grafov krátkej simulácie. Pri tejto kontrole si overíme, či nám každý klient komunikuje podľa definovaného profilu. Zobrazenie grafov opäť prevádzame ako v kapitole 2.2.2.

V mojom prípade však všetci klienti s podporou profilu *VoIP* nezahájili žiadnu komunikáciu, žiadnu komunikáciu nevykazoval ani prístupový bod *AP_0*, vid' Obr. 2-38. Zmiešaný klienti (*Mixed*) ale komunikáciu *VoIP* presne podľa profilu zahájili, to značí, že aplikácia aj profil je nastavený korektné. Keďže som ale neobjavil žiadnu chybu nastavení, vyskúšal som klientovi *VoIP_6* pridať k podpore profilu *VoIP* aj podporu profilu *HTTP*.

Následne sa mi na prístupovom bode *AP_0* aj ostatných klientoch komunikácia *VoIP* rozbehla. Príčinu tohto správania som nezistil.

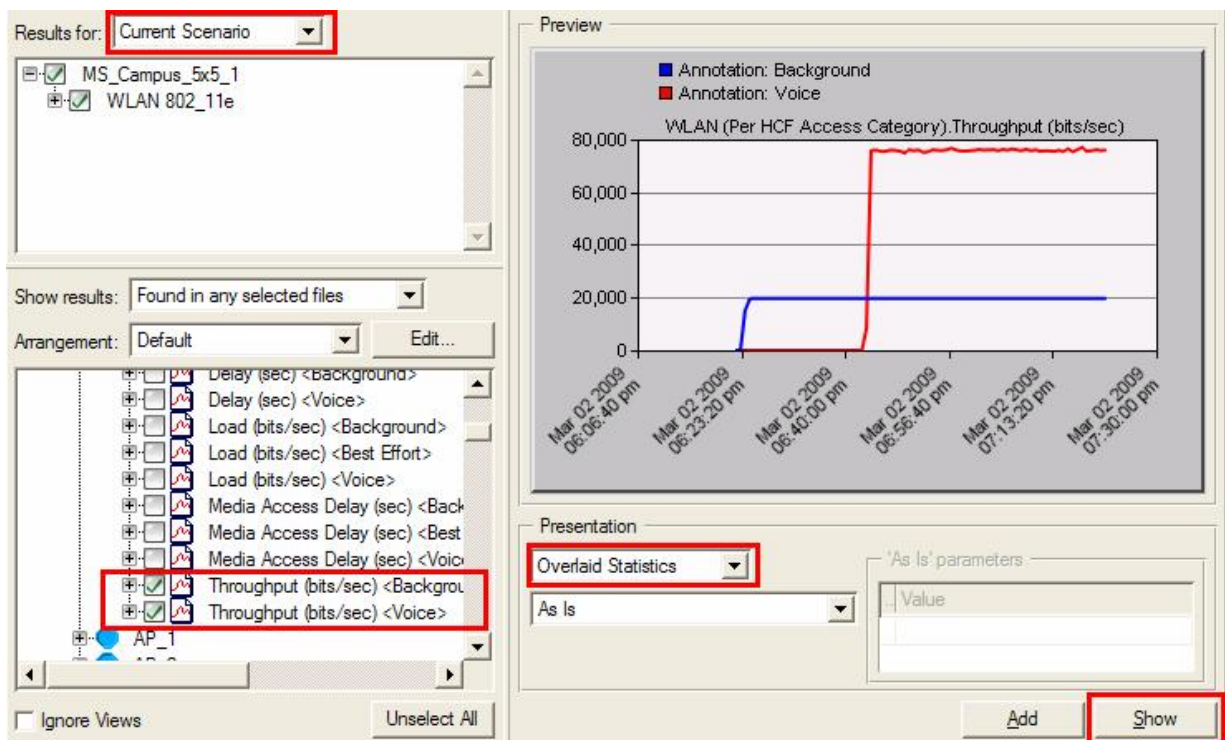


Obr. 2-38: Príklad nenadviazanej komunikácie kategórie Voice

Po odladení konfiguračných chýb a funkčnej kontrole klientov, môžeme spustiť dlhšiu simuláciu. Dobu simulácie som zvolil 1 hodinu. Pri dlhších simuláciách sa sieťová komunikácia viac ustáli a my môžeme lepšie odhadnúť celkové správanie siete.

Zobrazenie výsledkov simulácie vyvoláme pravým tlačidlom myši z plochy *Editora projektu* a zvolíme *View Results*, zobrazí sa okno *Result Browser*, vid' Obr. 2-39. Výsledky simulácie chceme zobrazit' iba pre aktuálny scenár, tzn. že z menu *Results for* vyberieme *Current Scenario*. Výsledné grafy simulácie máme zoradené po jednotlivých objektoch v stromovej štruktúre. Je tu veľké množstvo sledovaných parametrov, ktoré si môžeme zobrazit', ja sa však zameriam iba na prístupové body a ich najdôležitejšie parametre z hľadiska štandardu 802.11e.

Pri prezeraní grafov som ale prišiel na jednu chybu OPNET Modeleru. Ak si chcem zobrazit' graf oneskorenia prístupu k médiu kategórie *Voice* na *AP_0*, graf žiadne hodnoty nemá. Ak si ale toto oneskorenie pozriem na klientoch *VoIP*, tieto grafy už merané hodnoty majú. To znamená, že ak komunikácia na klientoch beží a má v grafoch merané svoje parametre, komunikácia beží aj na prístupovom bode. Kvôli tejto chybe je niekedy ťažšie získať graf, ktorý by sme chceli porovnať s ostatnými klientmi. Táto chyba OM sa však objavuje iba náhodne.



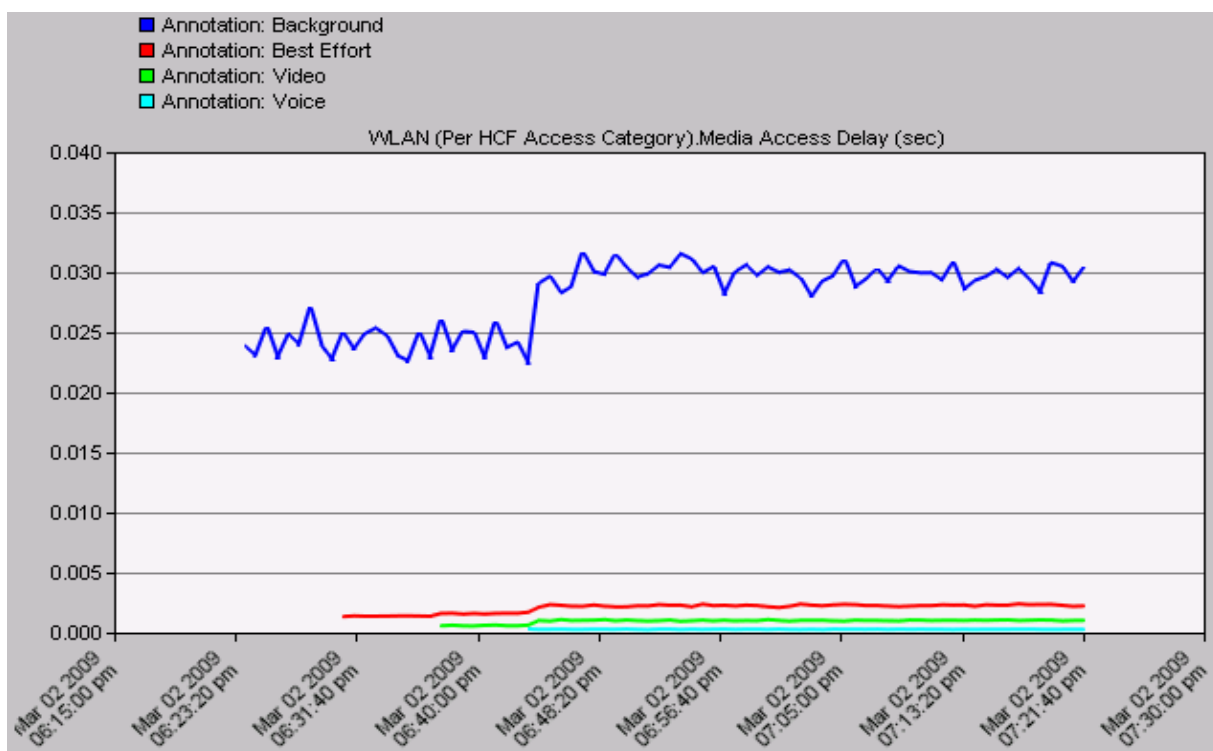
Obr. 2-39: Zobrazenie výsledkov simulácie

Zobrazenie výsledkov simulácie si nastavíme na aktuálny scenár, v poli *Presentation* zameníme položku *Stacked Statistics* za položku *Overlaid Statistic*, vyberieme si parametre ktoré chceme zobraziť graficky a zvolíme možnosť *Show*.

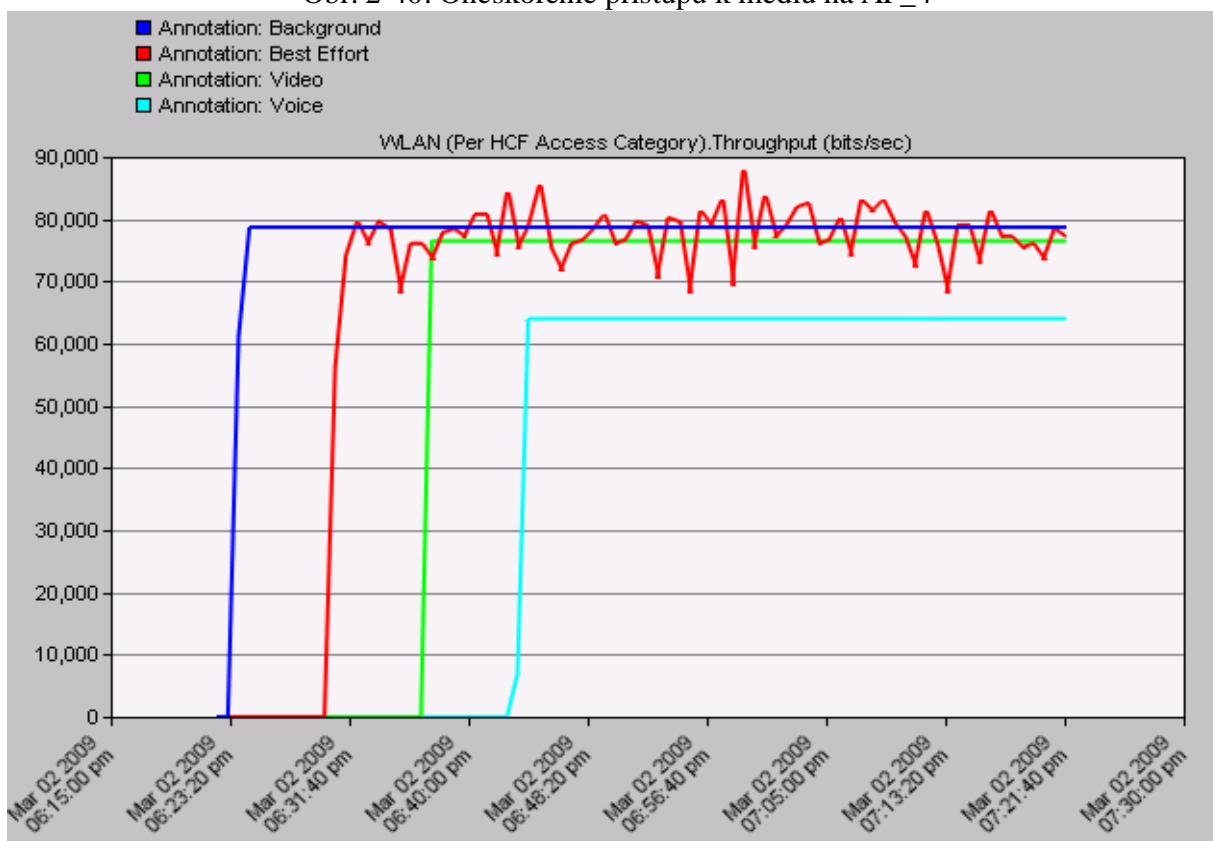
Z náhľadu grafu *AP_0* na Obr. 2-39 môžeme vidieť aj komunikáciu kategórie *Background*, ktorú som povolil na klientovi *VoIP_6*.

Najviac vypovedajúci graf nám vznikol na zmiešaných klientoch a prístupovom bode *AP_4*, kde sú spustené všetky štyri aplikácie. Ak si na *AP_4* pozrieme graf oneskorenia prístupu k médiu, pekne vidíme prioritnú funkciu jednotlivých prístupových kategórii, vid' Obr. 2-40. Na priebehoch grafu môžeme vidieť postupné spúšťanie aplikácií. Pri spustení hlasovej aplikácie je najviac ovplyvnená kategória *Background*, ktorej sa skokovo zvýšilo oneskorenie. Kategórie *Best Effort* a *Video* sú spustením hlasovej aplikácie ovplyvnené ďaleko menej.

Ak sa pozrieme na graf priepustnosti dát sieťou (vid' Obr. 2-41), tu už veľké rozdiely medzi kategóriami nie sú. Kategórie sa medzi sebou v prenášanom množstve dát výrazne nelíšia, pretože prístupový bod nie je preťažený. Samozrejme ak by k preťaženiu došlo, priepustnosť kategórii z nižšou prioritou by výrazne klesla a oneskorenie prístupu k médiu by naopak stúplo.



Obr. 2-40: Oneskorenie prístupu k médiu na AP_4



Obr. 2-41: Priepustnosť dát na AP_4

2.3.3 Vplyv počtu klientov na kvalitu služieb

V predchádzajúcom scenári sme si vytvorili model siete štandardu 802.11.e. Z výsledných grafov simulácie sme si overili podporu kvality služieb QoS u aplikácií pracujúcich v reálnom čase. Najdôležitejšie parametre QoS u týchto aplikácií je oneskorenie prístupu ku zdieľanému médiu a kolísanie tohto oneskorenia (*Jitter*).

Ďalším dôležitým parametrom u hlasových aplikácií je MOS faktor (Mean Opinion Score). MOS hodnotí stupeň kvality v rámci stupnice od 1 do 5, kde 1 znamená najhoršiu kvalitu, 5 znamená kvalitu najlepšiu. Kvalitu hodnotí štatisticky smerodajná skupina ľudí, z ktorých názoru sa potom výsledný MOS zostaví, viď Tab. 6.

Tab. 6: Subjektívne testovanie kvality služieb pomocou MOS

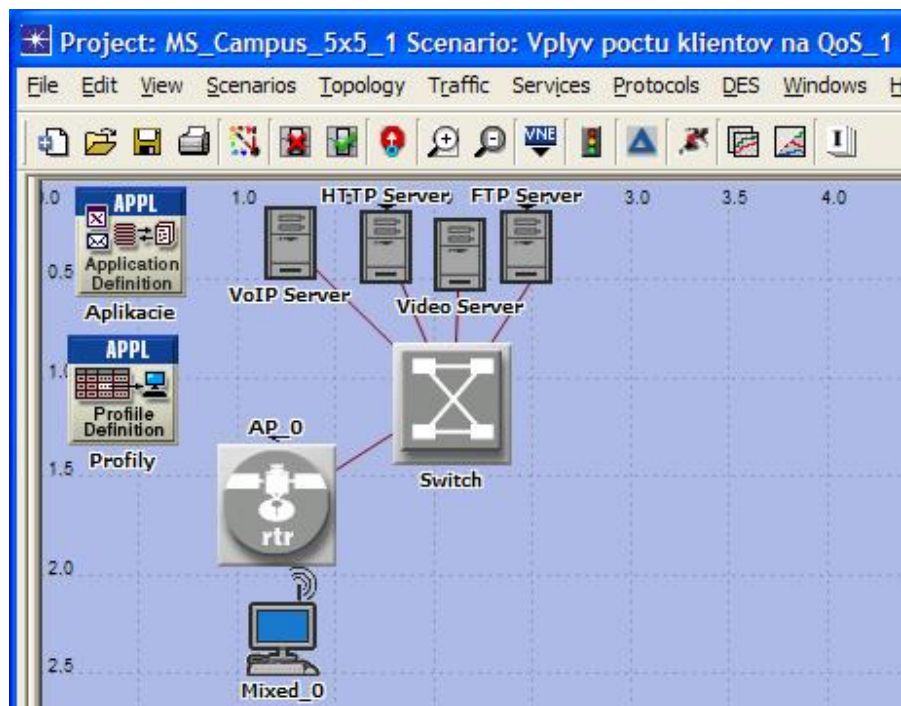
Číselné vyjadrenie MOS	Kvalita z pohľadu subjektu testovania	Vynaložená snaha o porozumenie
5	vynikajúca	Porozumenie bez nutnosti dávať pozor
4	dobrá	Nutné dávať pozor, bez snahy o porozumenie
3	dostačujúca	Nútená snaha o porozumenie
2	slabá	Nútená veľká snaha o porozumenie
1	nevyhovujúca	Neporozumenie

Pre overenie vplyvu počtu klientov na kvalitu služieb si vytvoríme ďalšie štyri scenáre. V každom scenári budeme zvyšovať počet klientov a po spoločnej simulácii porovnáme ich výsledky v jednom grafe, pre názornejšiu ukážku.

Vytvorenie nových scenárov budeme prevádzať v nasledujúcich krokoch:

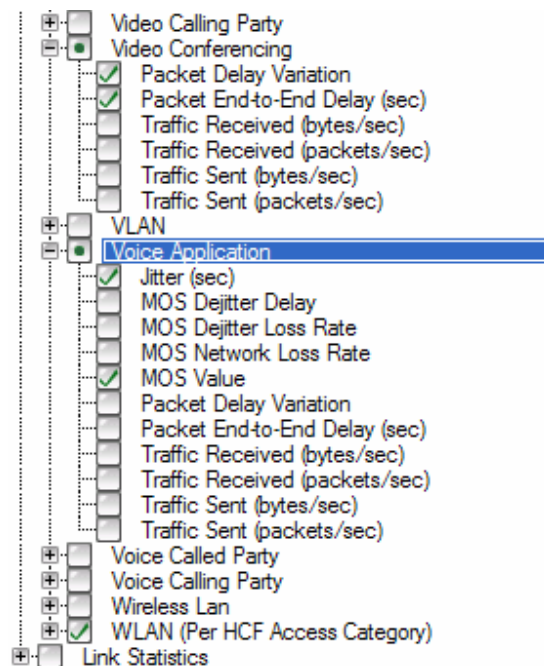
1. Aby sme si vytváranie týchto scenárov uľahčili, použijeme prvý scenár ako základ. V menu *Scenarios* zvolíme možnosť *Duplicate Scenario* a nový scenár nazveme *Vplyv počtu klientov na QoS_1*. Týmto si zachováme už vytvorené aplikácie a profily.
2. V nastavení profilov iba upravíme doby štartov jednotlivých aplikácií na hodnoty 100 (*HTTP*), 200 (*FTP*), 300 (*Video konferencia*) a 400 sekúnd (*VoIP*), aby sa aplikácie spustili už po niekoľkých minútach od štartu simulácie.

3. Skopírovaním prvého scenára sme si zachovali taktiež nastavené serveri. Tie môžeme ponechať pripojené na *Switch*, ponecháme si jeden prístupový bod a jedného zmiešaného klienta, vid' Obr. 2-42. Ostatné objekty môžeme vymazať.



Obr. 2-42: Scenár Vplyv počtu klientov na QoS_1

4. Nastavenia prístupového bodu a klienta ponecháme, zmeníme iba identifikátor siete *BSS Identifier = 1*, vid' Obr. 2-33.
5. Oproti predchádzajúcemu scenáru ale rozšírime parametre, ktoré chceme pri simulácii sledovať. Na ploche *Editora projektu* stlačíme pravé tlačidlo myši a zvolíme *Choose Individual DES Statistic*. Pri simulácii tohto scenára si zvolíme parametre z uzlovej štatistiky podľa Obr. 2-43.



Obr. 2-43: Zvolenie parametrov štatistiky

6. Opäť zvolíme v menu *Scenarios* možnosť *Duplicate Scenario* a nový scenár nazveme *Vplyv poctu klientov na QoS_2*. Pridáme ďalšieho zmiešaného klienta (*ctrl+c* a *ctrl+v*). Je dobré, ak si prístupový bod a klientov pomenujeme odlišnými menami. Pri prezeraní výsledných grafov simulácie tak dokážeme jednoducho priradiť, do ktorého scenára patrí prístupový bod a jeho klient/-i. Pre prístupový bod teda zvolíme meno *AP_1* a pre klientov *Mixed_1* a *Mixed_2*.
7. Opäť zvolíme v menu *Scenarios* možnosť *Duplicate Scenario* a nový scenár nazveme *Vplyv poctu klientov na QoS_3*. Pridáme ďalších dvoch zmiešaných klientov a všetky objekty opäť premenujeme.
8. A posledný krát zvolíme v menu *Scenarios* možnosť *Duplicate Scenario*, scenár nazveme *Vplyv poctu klientov na QoS_4*. Pridáme ďalších štyroch zmiešaných klientov a premenujeme všetky objekty. Týmto krokmi jednoducho vytvoríme štyri scenáre s počtom jeden, dvaja, štyria a ôsmi klienti.
9. Následne zvolíme v menu *Scenarios* možnosť *Manage Scenarios*. V položke *Results* u každého scenára zadáme *recollect* alebo *collect*. Tým nastavíme, že sa tieto štyri scenáre budú simulovať zároveň. Ďalej nastavíme dobu simulácie na 1 hodinu, vid' Obr. 2-44.

#	Scenario Name	Saved	Results	Sim Duration	Time Units
1	WLAN 802_11e	saved	up to date	1.0	hour(s)
2	Vplyv poctu klientov na QoS_1	saved	<recollect>	1.0	hour(s)
3	Vplyv poctu klientov na QoS_2	saved	<recollect>	1.0	hour(s)
4	Vplyv poctu klientov na QoS_3	saved	<recollect>	1.0	hour(s)
5	Vplyv poctu klientov na QoS_4	saved	<recollect>	1.0	hour(s)

Obr. 2-44: Nastavenie hromadnej simulácie

10. Voľbu potvrdíme tlačidlom OK, čím spustíme spoločnú simuláciu.

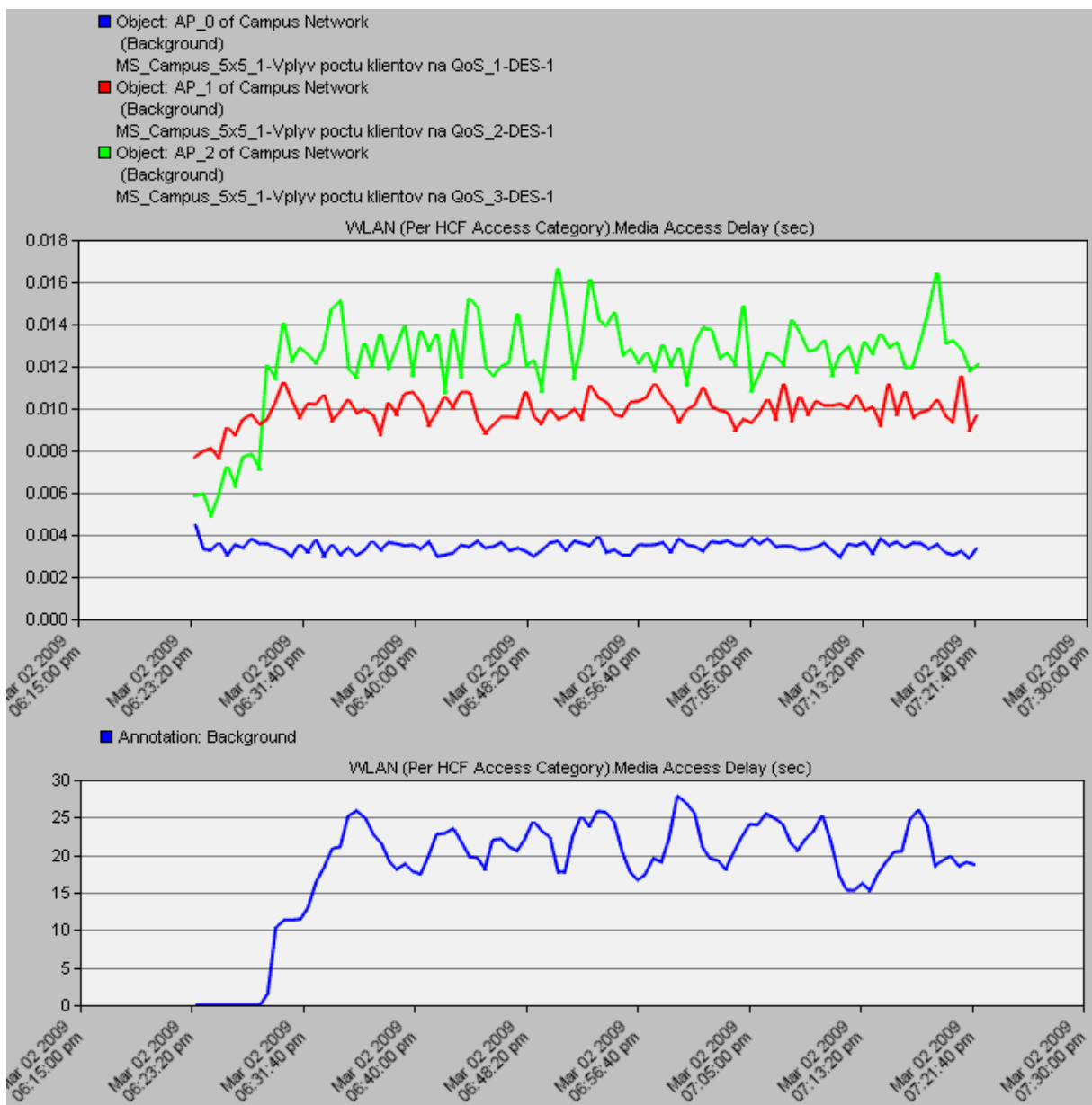
2.3.4 Simulácia scenárov vplyvu počtu klientov na kvalitu služieb

Spoločná simulácia bude trvať samozrejme dlhšie. Po jej ukončení si na ploche *Editora projektu* stlačíme pravé tlačidlo myši a zvolíme *View Results*, zobrazí sa okno *Result Browser*.

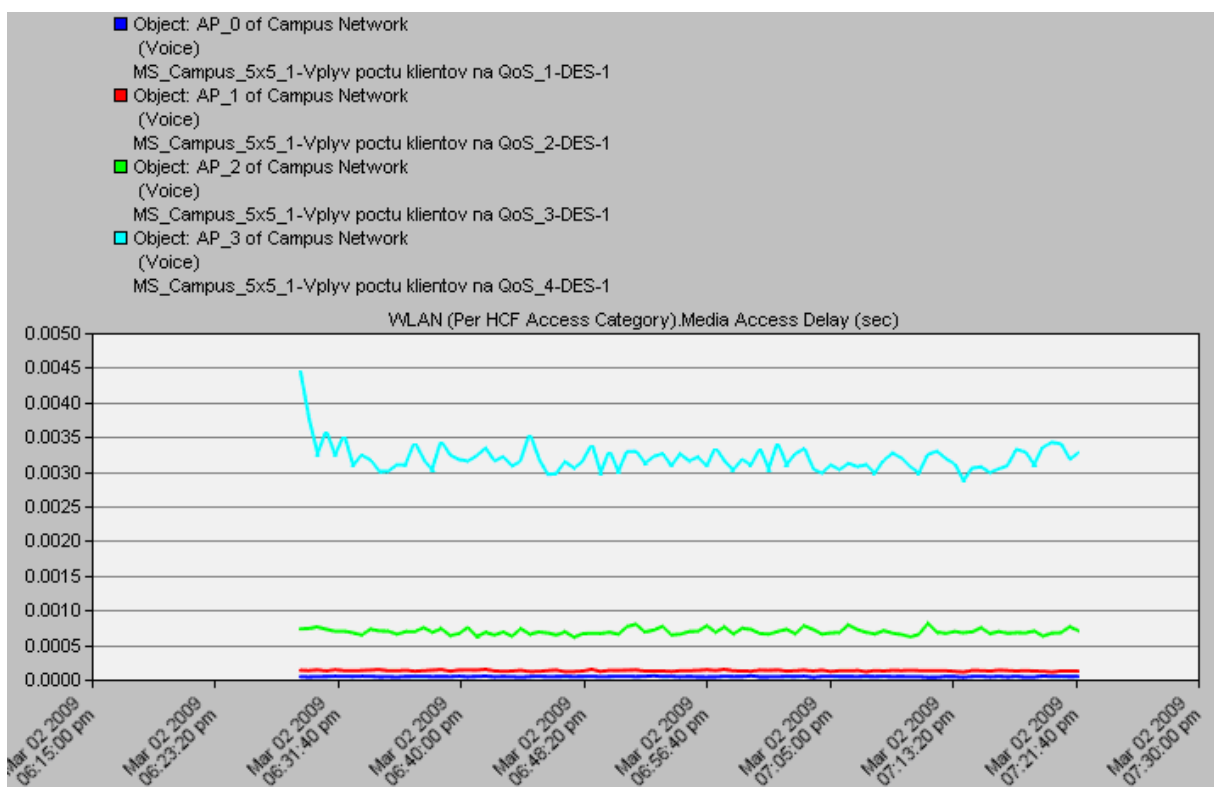
Výsledky simulácie však už nechceme zobrazíť iba pre aktuálny scenár, ale pre aktuálny projekt, preto z menu *Results for* vyberieme *Current Project*, vid' Obr. 2-15. Teraz si už iba stačí označiť všetky scenáre, ktorých výsledky si chceme prezerať. V našom prípade zvolíme štyri odsimulované scenáre.

Najskôr sa pozrieme na priebeh grafov oneskorenia prístupu k médiu na jednotlivých prístupových bodoch u kategórie *Background*. Pri zobrazení do jedného grafu zistíme, že oneskorenie tejto prístupovej kategórie u posledného scenára z ôsmimi klientmi je mnoho násobne vyššie ako u predchádzajúcich, preto som radšej zobrazil dva grafy, vid' Obr. 2-45. Znamená to, že u posledného scenára sa začalo prejavovať preťaženie AP. Na preťaženie prístupový bod zareagoval uprednostnením kategórií s vyššou prioritou, ako môžeme vidieť u kategórie *Voice* na Obr. 2-46. Aj v tejto kategórii samozrejme môžeme vidieť rozdiely v oneskorení, ale QoS je stále dodržané.

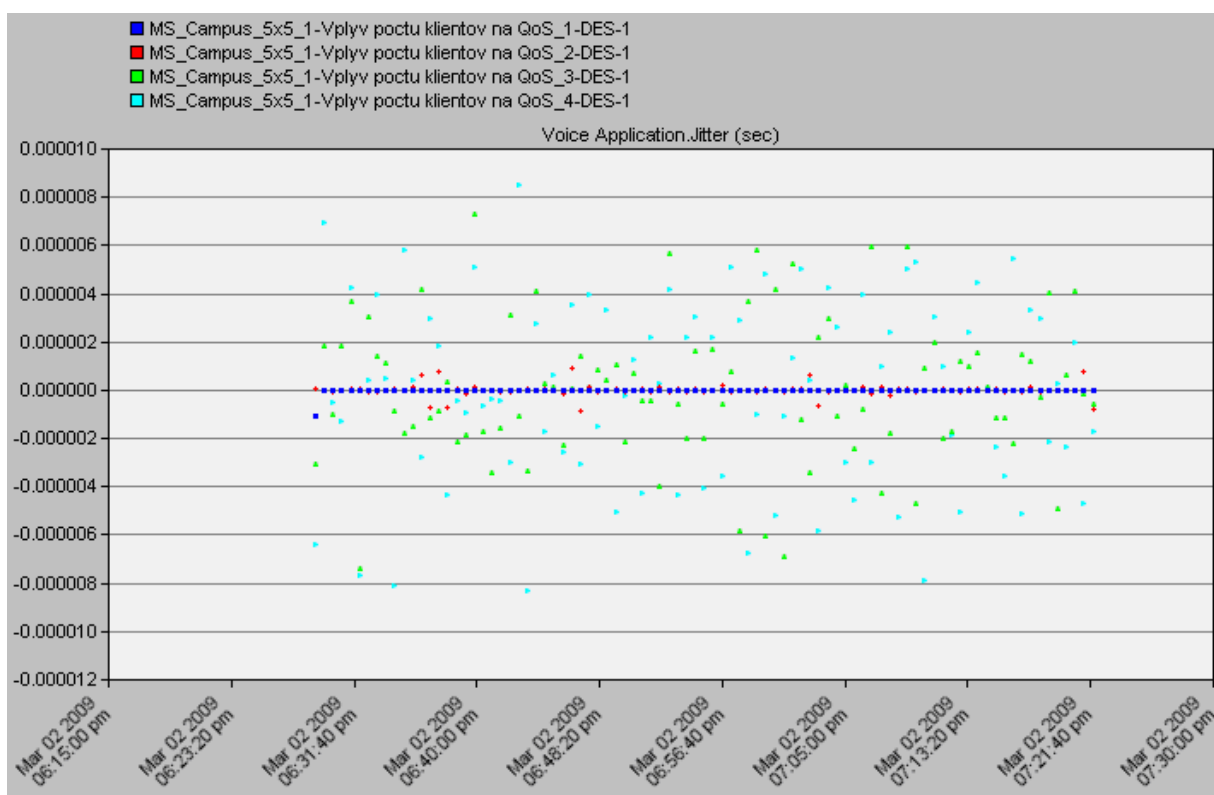
Ďalší pekný graf, ktorý poukazuje na rozdiely v dodržiavaní QoS pri rôzne zaťažených sieťach, môžeme vidieť na *VoIP Serveri*, vid' Obr. 2-47. Aby bola prenášaná hlasová aplikácia čo najkvalitnejšia a najrozumiteľnejšia, kolísanie oneskorenia musí byť pod 30 ms.



Obr. 2-45: Oneskorenie prístupu k médiu u kategórie Background



Obr. 2-46: Oneskorenie prístupu k médiu u kategórie Voice



Obr. 2-47: Kolísanie oneskorenia (Jitter) na VoIP serveri

2.3.5 Vytvorenie scenára WLAN APs and Bridges

Tento scenár sa venuje problematike dosahu signálu bezdrôtovej siete. Aby každý klient mal dostatočne kvalitnú úroveň signálu, musí sa nachádzať v určitej vzdialenosti od prístupového bodu. Vyhovujúca úroveň kvality signálu sa aj pri väčších vzdialenostiach dá zabezpečiť dvoma jednoduchými spôsobmi.

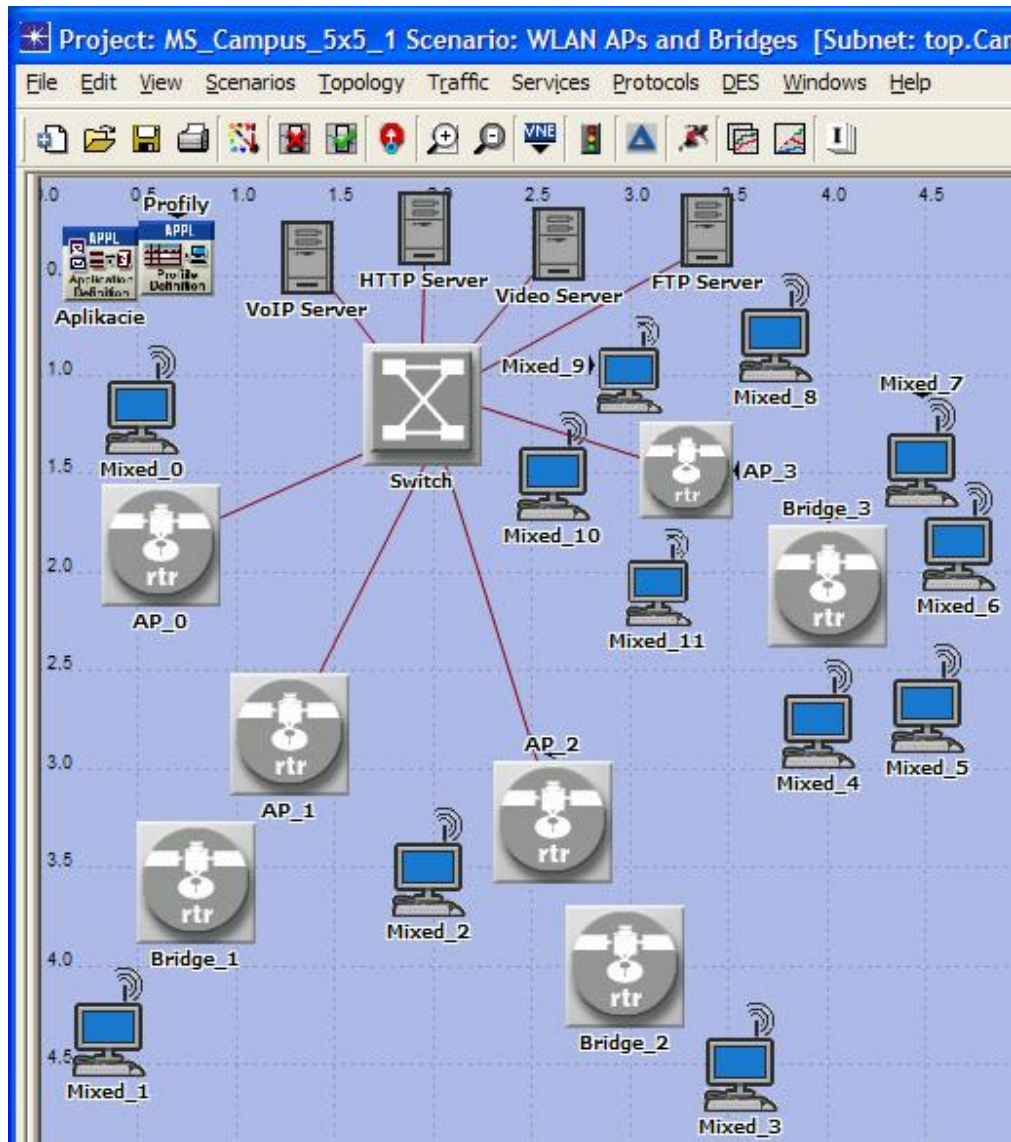
Prvý spôsob je zvýšiť vysielaný výkon prístupového bodu aj klienta. Ak sa ale nachádzajú v blízkosti dve alebo viac WLAN sietí, môže to viesť k ich vzájomnému rušeniu.

Druhý spôsob ako zväčšíme dosah prístupového bodu je použitie ďalšieho prístupového bodu v *Repeater móde*, tzv. bezdrôtový most (Bridge), vid' kap. 1.2. Tento spôsob predĺženia dosahu sa využíva častejšie, aj keď má taktiež svoje nevýhody. Nevýhody tohto riešenia sa budeme snažiť preskúmať v nasledujúcom scenári.

Vytvorenie nového scenára budeme prevádzať v nasledujúcich krokoch:

1. Aby sme si vytváranie aj tohto scenára uľahčili, použijeme opäť prvý scenár ako základ. Na prvý scenár sa prepneme ak v menu *Scenarios* zvolíme možnosť *Switch To Scenario* a klikneme na prvý scenár. Následne v menu *Scenarios* zvolíme možnosť *Duplicate Scenario* a nový scenár nazveme *WLAN APs and Bridges*. Serveri môžeme ponechať pripojené na *Switch*, ponecháme si aj jeden prístupový bod a jedného klienta *Mixed_0*.
2. Ponecháme si tak isto aj modul *Application Config* a *Profile Config*, ostatné objekty môžeme zmazať. V nastavení profilov iba upravíme doby štartov jednotlivých aplikácií na hodnoty 100 (*HTTP*), 500 (*FTP*), 900 (*Video konferencia*) a 1300 sekúnd (*VoIP*), aby sa aplikácie spúšťali postupne. Pri postupne zvyšovanej záťaži na sieti môžeme prehľadnejšie sledovať vplyvy zaťaženia a oneskorenia prenosu na kvalitu poskytovaných služieb.
3. Nový prvok *Bridge* vložíme cez paletu objektov, vid' Obr. 2-3. Zvolíme si objekt *wlan2_router_adv Fixed Node*.
4. Teraz už za pomoci kopírovania objektov vytvoríme WLAN sieť presne podľa Obr. 2-48.
5. Zapojenie siete je členené do niekoľkých podsietí. Každú podsieť tvorí jeden prístupový bod alebo prístupový bod a bezdrôtový most, odlišujú sa od seba identifikátorom podsiete (*BSS Identifier*).

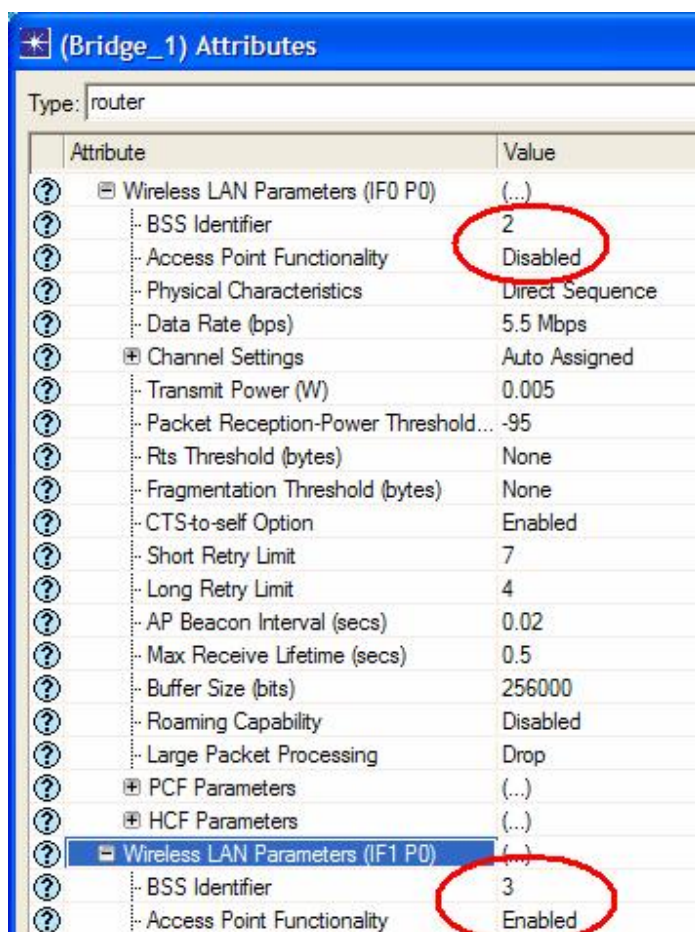
Každý most má dve bezdrôtové rozhrania, tzn. musí mať nastavené dva identifikátory podsiete. Jedným rozhraním je pripojený k prístupovému bodu a na druhé rozhranie sú pripojený klienti.



Obr. 2-48: Scenár WLAN APs and Bridges

Pozrime si konkrétne nastavenie objektu *Bridge_1* v našom modeli. Na tomto objekte stlačíme pravé tlačidlo myši a zvolíme *Edit Attributes*. Pod položkou *Wireless LAN* nájdeme ďalšie dve položky z názvom *Wireless LAN Parameters (IF0 P0)* a *Wireless LAN Parameters (IF1 P0)*. Pod týmito položkami sa nastavujú rozhrania bezdrôtového mostu, vid' Obr. 2-49. Ako je z obrázka vidieť, rozhraniu *IF0 P0* musíme zakázať funkčnosť prístupového bodu, rozhraniu *IF1 P0* už ale funkčnosť prístupového bodu povoliť musíme, pretože na toto rozhranie sa budú pripájať klienti.

Nastavenie identifikátorov podsiete u zvyšných objektov siete nájdeme v Tab. 7 a Tab. 8.



Obr. 2-49: Nastavenie bezdrôtových rozhraní na objekte Bridge_1

Tab. 7: Nastavenie identifikátora podsiete u prístupových bodov scenára

Prístupový bod	BSS ID	Klienti pariaci do podsiete
AP_0	1	Mixed_0
AP_1	2	Bridge_1
AP_2	4	Mixed_2, Bridge_2
AP_3	6	Mixed_8 až 11, Bridge_3

Tab. 8: Nastavenie identifikátora podsiete u bezdrôtových mostov scenára

Bezdrôtový most	BSS ID IF0 P0	BSS ID IF1 P0	Klienti pariaci do podsiete rozhrania IF1 P0
Bridge_1	2	3	Mixed_1
Bridge_2	4	5	Mixed_3
Bridge_3	6	7	Mixed_4 až 7

- Po ukončení nastavenia identifikátorov podsieti už iba zvolíme parametre uzlových štatistík, ktoré chceme počas simulácie sledovať. Zvolíme si rovnaké parametre ako pri prvom scenári (viď Obr. 2-34) a môžeme prejsť k samotnej simulácii.

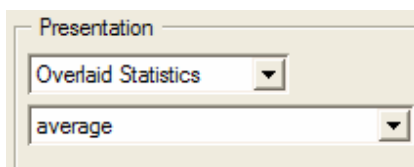
2.3.6 Simulácia scenára WLAN APs and Bridges

Ako som už vyššie spomínal, použitie bezdrôtového mostu má taktiež svoje nevýhody. Prvá nevýhoda je, že musíme investovať finančné prostriedky do kúpy nového zariadenia. Druhá nevýhoda, podľa mňa dôležitejšia, je zväčšenie oneskorenia prenášaných dát, čo má negatívny vplyv na výslednú kvalitu poskytovaných služieb. Sieť som sa snažil navrhnuť tak, aby sme z výsledných grafov simulácie mohli vidieť, aké oneskorenie nám vnesie bezdrôtový most do celkového oneskorenia medzi klientom a prístupovým bodom. Použil som taktiež aj rôzne zaťažené podsiete, preto môžeme sledovať ďalšie prídavné oneskorenie, ktoré vzniká pri súťažení staníc o zdieľané prenosové médium.

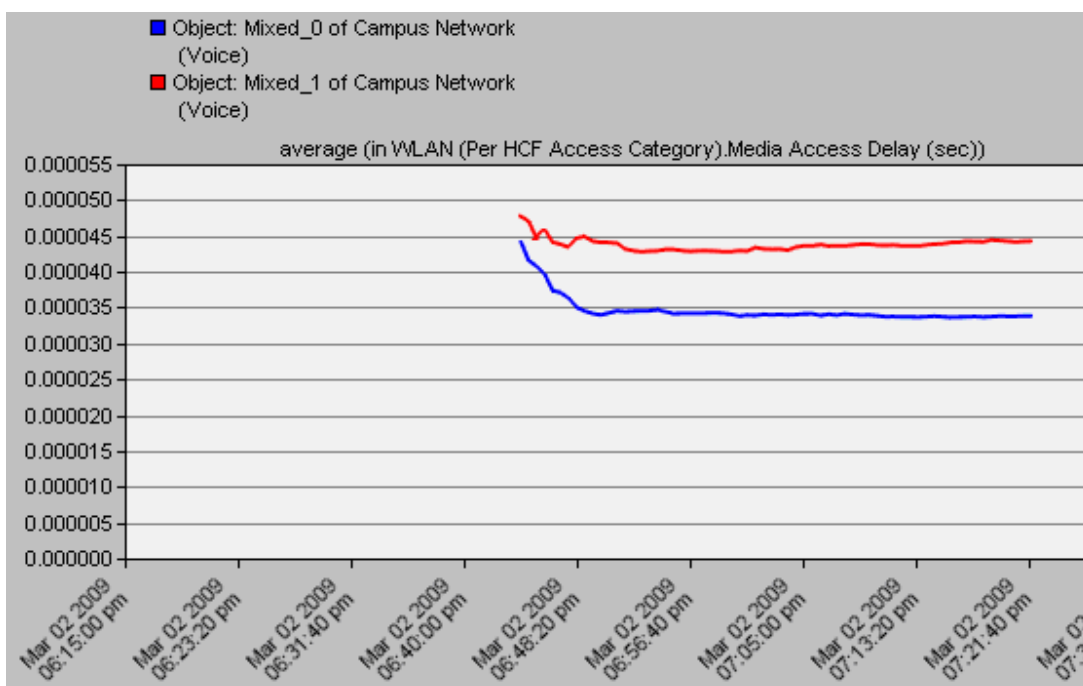
Ak chceme porovnať napr. dve hodnoty oneskorenia, ako v tomto prípade, názornejšie je ak si zobrazíme priemerné hodnoty nameraných veličín (*average*), čím dosiahneme prehľadnejšiu grafickú prezentáciu, viď Obr. 2-50.

Na Obr. 2-51 som porovnal oneskorenie prístupu k médiu u klientov *Mixed_0* a *Mixed_1* prístupovej kategórie *Voice*. Tu môžeme krásne vidieť prídavné oneskorenie, ktoré vnáša do komunikácie bezdrôtový most.

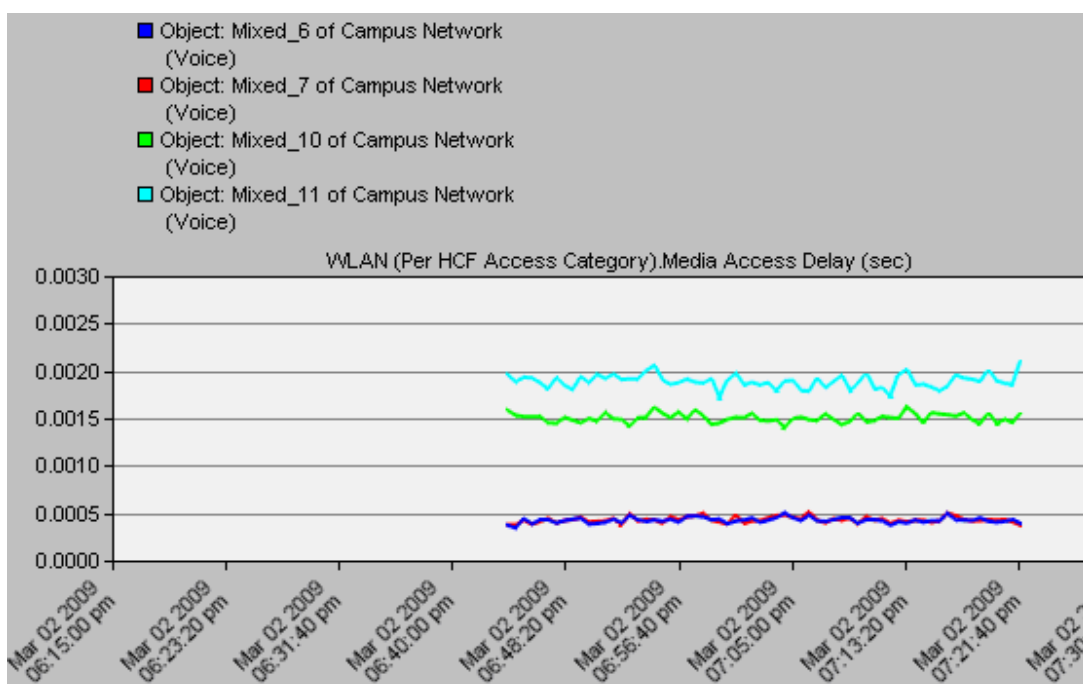
Z Obr. 2-52 môžeme vidieť, že klienti č. 6 a 7 patriaci pod prístupový bod *AP_3* majú viditeľne menšie oneskorenie ako klienti č. 10 a 11 patriaci pod bezdrôtový most *Bridge_3*. Musíme si ale uvedomiť, že bezdrôtový most súťaží o prístup k médiu za štyroch na neho pripojených klientov, preto majú títo klienti zákonite väčšie oneskorenie.



Obr. 2-50: Zobrazenie stredných hodnôt nameraných veličín

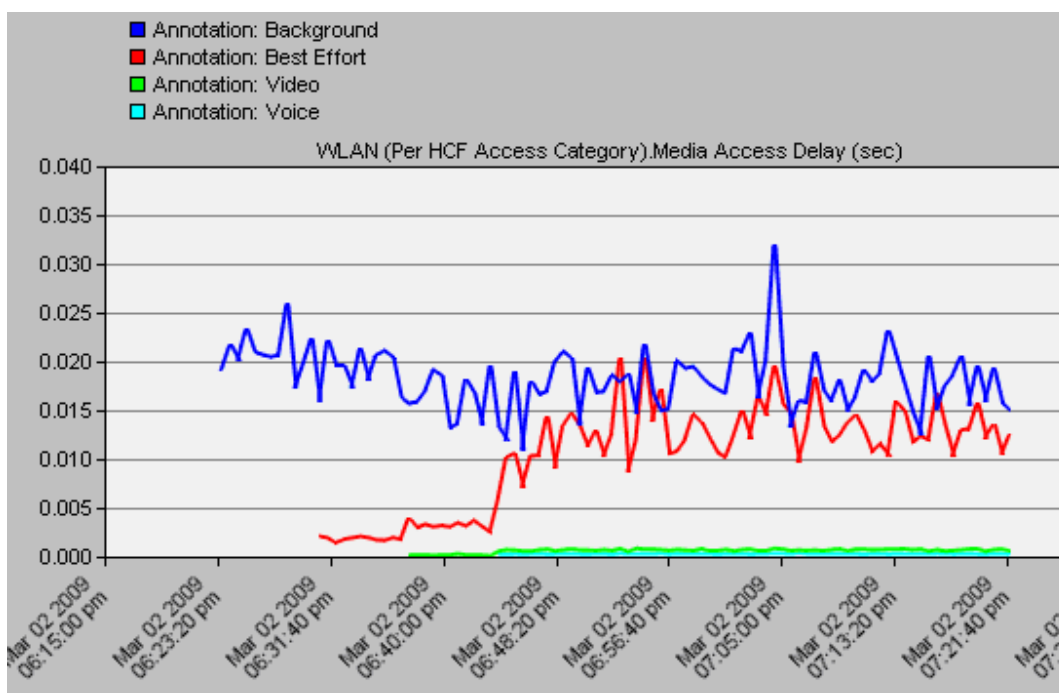


Obr. 2-51: Prídavné oneskorenie bezdrôtového mostu



Obr. 2-52: Oneskorenie prístupu k médiu na AP_3 a Bridge_3

Aj v tomto scenári môžeme vidieť uprednostnenie prenosu dát aplikácii pracujúcich v reálnom čase, vid' Obr. 2-53. Po spustení video a hlasovej aplikácie viditeľne stúplo oneskorenie prístupu k médiu aplikácie FTP, radenej do kategórie *Best Effort*.



Obr. 2-53: Klient Mixed_4 - oneskorenie prístupu k médiu

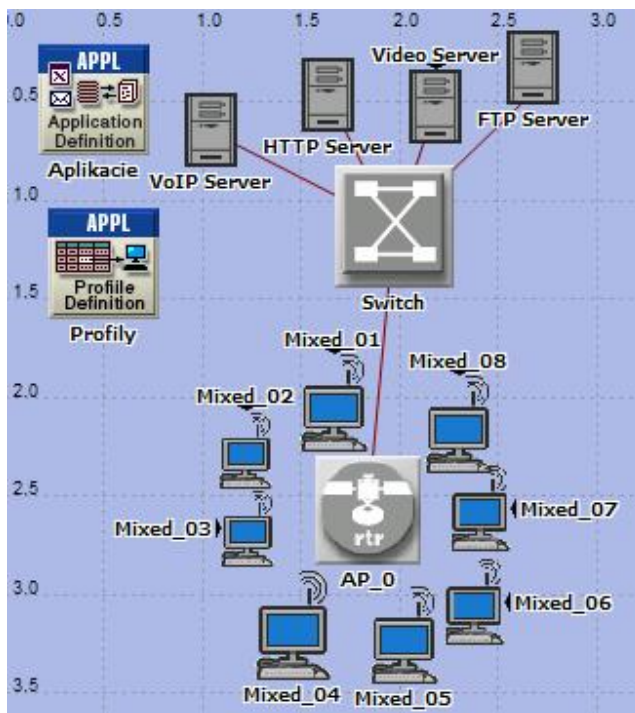
2.3.7 Scenáre „Porovnanie QoS u 802.11b a 802.11e“

V tejto kapitole sa budem venovať praktickej ukážke porovnania dvoch bezdrôtových technológií 802.11b a 802.11e v dvoch nezávislých scenároch. V ďalších dvoch scenároch som sa venoval zásahu do štandardných nastavení prístupových metód technológie 802.11e, viď Tab. 4. Zmenil som hodnoty medzi rámcových medzier (*AIFS*) a časový interval okna súťaženia (*CW*) u jednotlivých prístupových kategórii mechanizmu *EDCA*. Po spoločnej simulácii som výsledné grafy medzi sebou porovnal, pričom som sa zameril na výslednú úroveň kvality služieb.

Vytvorenie nových scenárov budeme prevádzať v nasledujúcich krokoch:

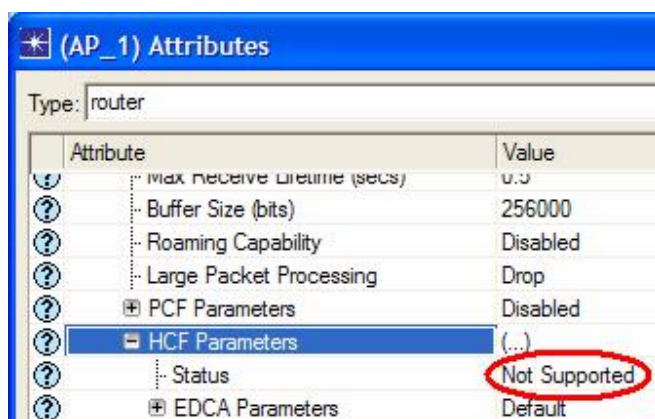
1. Aby sme si vytváranie týchto scenárov opäť uľahčili, použijeme prvý scenár ako základ. Nový scenár pomenujeme *Porovnanie_QoS_802_11e*.
2. Serveri môžeme ponechať pripojené na *Switch*, ponecháme si aj jeden prístupový bod, jedného zmiešaného klienta a modul *Application Config* a *Profile Config*. Ostatné objekty môžeme vymazať. Nastavenia prístupového bodu a klienta ponecháme, zmeníme iba

identifikátor siete *BSS Identifier* = 1, príklad vid' Obr. 2-33. Následne už pomocou kopírovania objektov vytvoríme WLAN presne podľa Obr. 2-54.



Obr. 2-54: Scenár „Porovnanie_QoS_802_11e“

3. Opäť v menu *Scenarios* zvolíme možnosť *Duplicate Scenario* a nový scenár pomenujeme *Porovnanie_QoS_802_11b*.
4. Prístupový bod aj všetkých klientov opäť nesmieme zabudnúť premenovať, kvôli prezeraniu výsledných grafov spoločnej simulácie. V tomto scenári musíme u prístupového bodu aj všetkých klientov zrušiť podporu mechanizmu *EDCA*. Na prístupovom bode stlačíme pravé tlačidlo myši a zvolíme *Edit Attributes*. Pod položkou *Wireless LAN* > *Wireless LAN Parameters* > *HCF Parameters* zmeníme položku *Status* na *Not Supported*, vid' Obr. 2-55. To isté vykonáme aj u všetkých klientov, použijeme ale hromadné nastavenie parametrov, vid' kapitola 2.3.1 bod 12.
5. Prepne sa do scenára *Porovnanie_QoS_802_11e*, v menu *Scenarios* zvolíme možnosť *Duplicate Scenario* a nový scenár nazveme *Porovnanie_QoS_zmena_AIFS*. Prístupový bod aj všetkých klientov opäť premenujeme.



Obr. 2-55: Zrušenie podpory mechanizmu EDCA

6. V tomto scenári som zmenil štandardné hodnoty medzi rámcovej medzery výberu AIFS mechanizmu EDCA. Nastavenie vykonáme na prístupovom bode zvlášť a na všetkých klientoch opäť hromadne. Na prístupovom bode stlačíme pravé tlačidlo myši a zvolíme *Edit Attributes*. Pod položkou *Wireless LAN > Wireless LAN Parameters > HCF Parameters > EDCA Parameters > Access Category Parameters > Voice* môžeme zmeniť hodnotu medzi rámcovej medzery výberu AIFS, viď Obr. 2-56. Hodnoty u zvyšných kategórií prístupu zvolíme podľa Tab. 9.

Tab. 9: Zmena nastavenia medzi rámcovej medzery výberu AIFS

Prístupová kategória	Prednastavená hodnota AIFSN	Nová hodnota AIFSN
Voice	2	5
Video	2	5
Best Effort	3	8
Background	7	12

Attribute	Value
PCF Parameters	Disabled
HCF Parameters	(...)
Status	Supported
EDCA Parameters	(...)
Access Category Parameters	(...)
Voice	(...)
CWmin	$(\text{PHY CWmin} + 1) / 4 - 1$
CWmax	$(\text{PHY CWmin} + 1) / 2 - 1$
AIFSN	5
TXOP Limits	Default

Obr. 2-56: Zmena medzi rámcovej medzery AIFS

7. Pre vytvorenie posledného scenára v menu *Scenarios* zvolíme možnosť *Duplicate Scenario* a scenár pomenujeme *Porovnanie_QoS_zmena_CW*. Prístupový bod aj všetkých klientov opäť premenujeme.
8. V tomto scenári som zmenil štandardné hodnoty intervalu okna súťaženia CW mechanizmu EDCA. Nastavenie vykonáme na prístupovom bode zvlášť a na klientoch hromadne. Na prístupovom bode stlačíme pravé tlačidlo myši a zvolíme *Edit Attributes*. Pod položkou *Wireless LAN > Wireless LAN Parameters > HCF Parameters > EDCA Parameters > Access Category Parameters > Voice* môžeme zmeniť hodnotu intervalu okna súťaženia, vid' Obr. 2-56. Hodnoty u zvyšných kategórii prístupu zvolíme podľa Tab. 10.

Tab. 10: Zmena nastavenia intervalu okna súťaženia CW

Prístupová kategória	Prednastavená hodnota CW		Nová hodnota CW	
	CWmin	CWmax	CWmin	CWmax
Voice	$(PHY\ CW_{min} + 1)/4 - 1$	$(PHY\ CW_{min} + 1)/2 - 1$	$(PHY\ CW_{min} + 1)/4 - 1$	32767
Video	$(PHY\ CW_{min} + 1)/2 - 1$	PHY CWmin	$(PHY\ CW_{min} + 1)/2 - 1$	32767
Best Effort	PHY CWmin	PHY CWmax	PHY CWmin	65535
Background	PHY CWmin	PHY CWmax	PHY CWmin	65535

9. Následne zvolíme v menu *Scenarios* možnosť *Manage Scenarios*. V položke *Results* u každého zo štyroch novo vytvorených scenárov zadáme *recollect* alebo *collect*, čím nastavíme spoločnú simuláciu. Dobu simulácie nastavíme na 1 hodinu a stlačíme OK.

2.3.8 Simulácia scenárov „Porovnanie QoS u 802.11b a 802.11e“

Po ukončení simulácie na ploche *Editora projektu* stlačíme pravé tlačidlo myši a zvolíme *View Results*, zobrazí sa okno *Result Browser*.

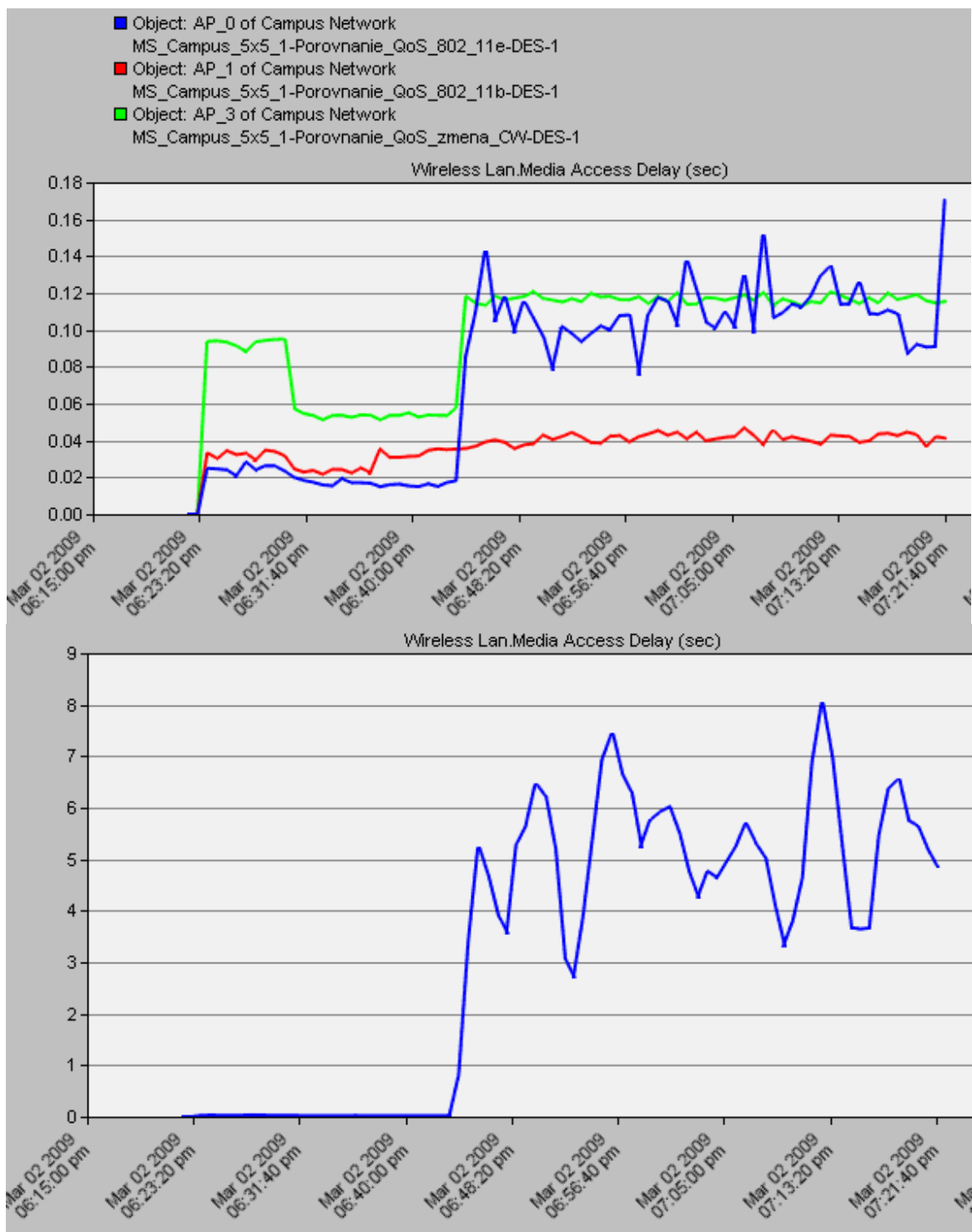
Skopírovaním prvého scenára sa nám zachovali taktiež zvolené parametre uzlovej štatistiky, ktoré chceme pri simulácii sledovať, vid' Obr. 2-34.

Výsledky simulácie si chceme zobrazit' pre štyri práve odsimulované scenáre, preto z menu *Results for* vyberieme *Current Project*, vid' Obr. 2-15. Teraz si už iba stačí označiť všetky scenáre, ktorých výsledky si chceme prezerať.

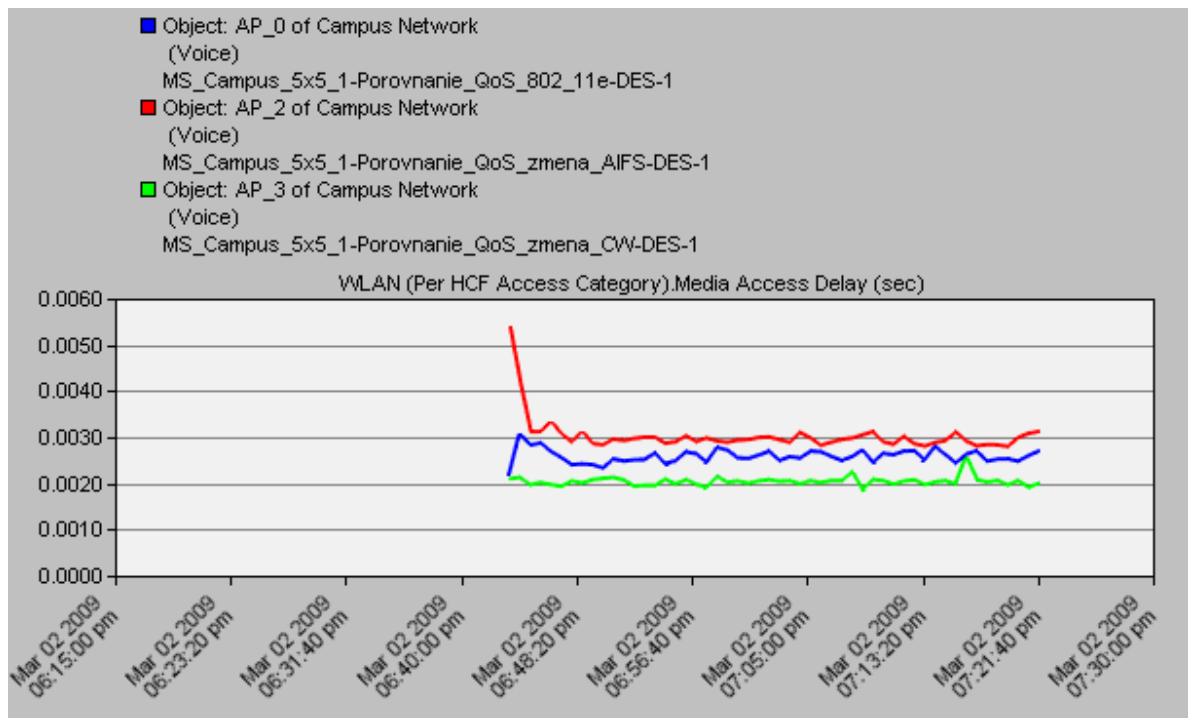
U každého objektu uzlovej štatistiky pod položkou *Wireless Lan* nájdeme priemerné hodnoty sledovaných parametrov. Priemerná hodnota sa vypočítava z hodnôt všetkých prístupových kategórii. Z tejto položky si pre zobrazenie vyberieme priemernú hodnotu oneskorenia prístupu k médiu všetkých štyroch prístupových bodov. Priemernú hodnotu oneskorenia som zvolil preto, že druhý scenár vytvorený podľa technológie 802.11b nemá dátový prenos triedený do jednotlivých prístupových kategórii. V tomto scenári všetky dáta aplikácii prístupujú k zdieľanému prenosovému kanálu s rovnakou pravdepodobnosťou.

Pretože priemerné oneskorenie prístupu k médiu u scenára so zmenou intervalu AIFS je príliš veľké, zobrazil som ho zvlášť, vid' Obr. 2-57. Oneskorenie u scenára s podporou 802.11b počas celej simulácie takmer konštantné a hlavne menšie ako u zvyšných troch scenárov, kde sa oneskorenie podstatne zvýši po štarte hlasovej aplikácie.

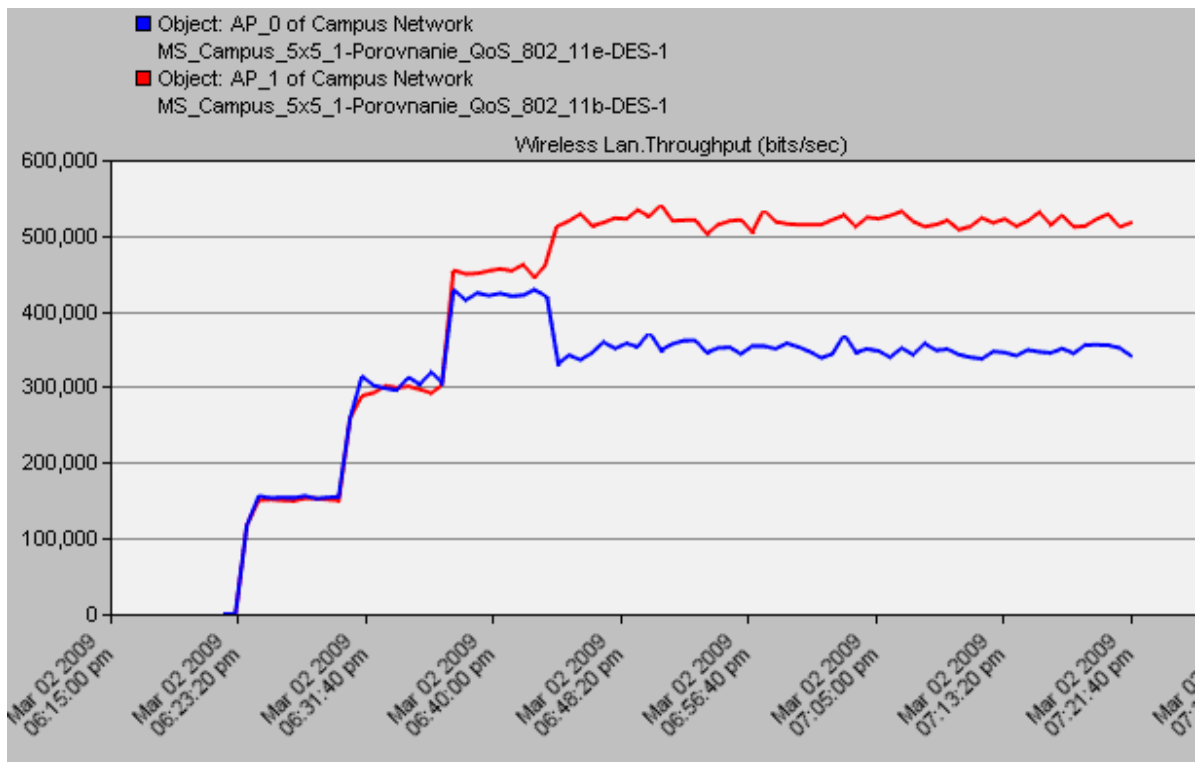
To, že priemerná hodnota oneskorenia je veľká, ešte neznamená, že kvalita poskytovaných služieb u týchto scenárov je nedostačujúca. Ak sa pozrieme na Obr. 2-58 zistíme, že aj keď priemerné oneskorenie scenára so zmenenou medzi rámcovou medzerou AIFS bolo ďaleko za únosnou hranicou kvality služieb, oneskorenie prístupovej kategórie *Voice* tohto scenára sa pohybuje na úrovni do 3 ms, čo je vynikajúca hodnota.



Obr. 2-57: Priemerné oneskorenie prístupu k médiu



Obr. 2-58: Oneskorenie prístupu k médiu kategórie Voice



Obr. 2-59: Pripustnosť technológií 802.11b a 802.11e

Porovnajme si priepustnosť dát sieťou u technológie 802.11b a technológie 802.11e. Z Obr. 2-59 môžeme vidieť skokový nárast priepustnosti presne podľa spúšťaní jednotlivých aplikácií. Po spustení poslednej hlasovej aplikácie priepustnosť stúpla už iba u 802.11b. U 802.11e nám priepustnosť dokonca o niečo poklesla. Je to spôsobené tým, že pri väčšom objeme prenášaných dát priepustnosť siete o niečo poklesne, ale kvalita poskytovaných služieb u aplikácii pracujúcich v reálnom čase je stále na vysokej úrovni. Pri vytváraní vlastnej siete je preto iba na nás, či uprednostníme väčšiu priepustnosť alebo vyššiu kvalitu služieb.

Pri porovnaní výsledkov scenára s podporov 802.11e bez zásahu do jeho prednastavených parametrov a scenára so zmenenou medzi rámcovou medzerou AIFS, môžeme vidieť, že aj malý zásah môže vyvolať veľkú odozvu. Preto je potrebné dobre zvážiť každý zásah do parametrov jednotlivých prístupových kategórií.

2.3.9 Scenár „Vplyv mobility staníc na kvalitu služieb“

Najdôležitejšia vlastnosť bezdrôtových technológií je ich mobilita a práve kvôli mobilite stúpa ich obľúbenosť a veľmi časté využitie. Samozrejme aj mobilita si zo sebou nesie určité záporné vlastnosti. V ideálnom rádiovom kanále sa šíri signál od vysielačnej antény k prijímačnej anténe po jedinej priamej dráhe, na ktorej dochádza iba k útlmu signálu a k jeho časovému oneskoreniu. V reálnom rádiovom kanáli ale pôsobí na signál rada rôznych javov, ktoré môžu spôsobiť jeho znehodnotenie, ako napr. rôzne typy únikov signálu spôsobené mnohocestným šírením vln, atmosférické a priemyselné rušenia, možnosť neustále meniacej sa polohy prijímača atď. Všetky tieto záporné vlastnosti šírenia signálu sa snažíme kompenzovať použitím tzv. ekvalizácie rádiového kanála, riešenej vo fyzickom rozhraní bezdrôtových technológií (viď lit. [3]). Konečný výsledok celého snaženia o kompenzáciu nelinearity rádiového kanála je výsledná úroveň kvality prijímaného signálu.

Overenie vplyvu mobility klienta na výslednú kvalitu služieb technológie 802.11e môžeme overiť pomocou simulácie v prostredí OPNET Modeler. Pre tento účel som vytvoril nový scenár s názvom „WLAN mobilita“.

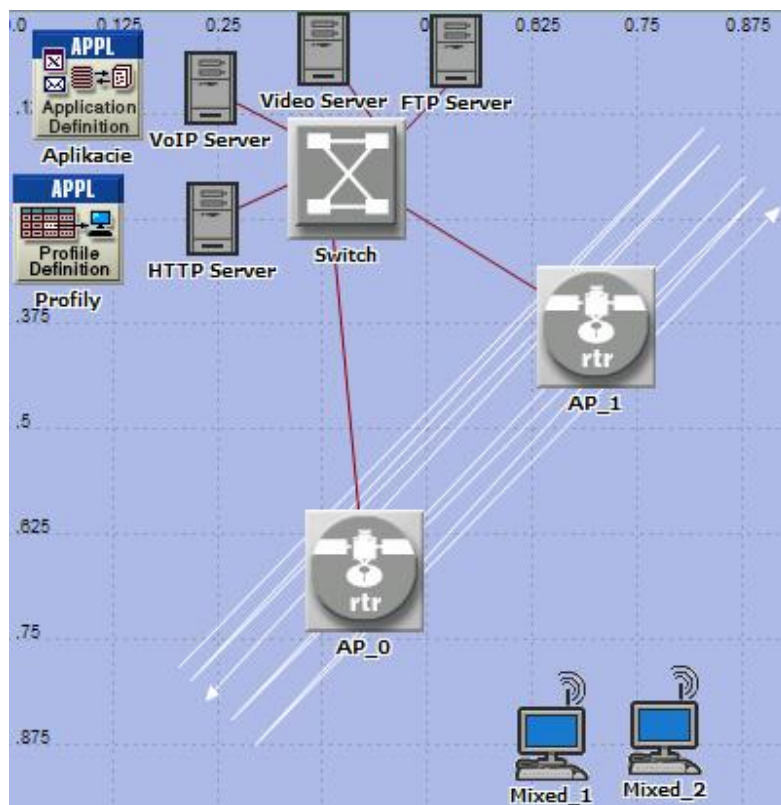
Mobilita bezdrôtových klientov sa zabezpečuje pomocou protokolu Mobile IPv4. Tento protokol umožňuje staniciam voľný pohyb medzi rôznymi sieťami (roaming) bez nutného

prerušená bežiacich aplikácii. Samozrejme vyžaduje si to určité nastavenia mobilných staníc a príslušných prístupových bodov, medzi ktorými sa bude stanica pohybovať.

Podrobne vysvetlení funkciu roamingu bezdrôtových technológií 802.11x vid' [5]. Nájde tu tak isto aj podrobný popis nastavenia jednotlivých objektov WLAN siete v OPNET Modeleri, podľa ktorého som sa pri vytváraní vlastného scenára riadil.

Vytvorenie nového scenára budeme prevádzať v nasledujúcich krokoch:

1. Vytvoril som nový projekt, pretože projekt ktorý som využíval v predchádzajúcich scenároch simuloval rozmery siete o rozlohe 5 x 5 km. Nový projekt má rozlohu 1 x 1 km, vid' postup v kapitole 2.3.1 krok 1 až 7. Nový scenár som pomenoval „WLAN mobilita“.
2. Pomocou kopírovania si do nového scenára skopírujeme všetky objekty z prvého scenára a vytvoríme novú sieť, vid' Obr. 2-60. Môžeme samozrejme vytvoriť o mnoho zložitejšiu sieť z viacerými prístupovými bodmi a klientmi s rôznymi trajektóriami pohybu, no výsledná simulácia a jej grafy sú potom oveľa neprehľadnejšie. Na jednoduchšej sieti oveľa názornejšie poukážem na výslednú kvalitu poskytovaných služieb.
3. Pomocou postupu vid' lit. [5] som nastavil podporu mobility staníc technológie 802.11e.
4. Zmeníme si časovanie spúšťania jednotlivých aplikácii (vid' kap. 2.3.1 bod 10.) na hodnoty 100 (*HTTP*), 3600 (*FTP*), 7200 (*Video konferencia*) a 10800 sekúnd (*VoIP*). Znamená to, že pri štarte simulácie sa najskôr spustí aplikácia HTTP a každú ďalšiu hodinu bude spustená ďalšia aplikácia.
5. Vytvoril som vlastné trajektórie pohybu pre obe stanice, ktoré sú prispôbené spúšťaniu jednotlivých aplikácii. Prvý klient *Mixed_1* začne svoj pohyb v ľavom dolnom rohu siete pri prístupovom bode AP_0 a za jednu hodinu sa presunie do protiľahlého rohu siete k AP_2. Následne sa spustí druhá aplikácia FTP a klient sa začne presúvať do bodu odkiaľ vyštartoval. Opäť mu cesta potrvá jednu hodinu. Takto sa bude presúvať 4 krát, pričom pri poslednom presune budú bežať všetky štyri aplikácie. Druhý klient *Mixed_1* bude mať rovnaké správanie, vyštartuje však z pravého horného rohu do protiľahlého rohu.
6. Z uzlovej štatistiky zvolíme parametre, ktoré chceme pri simulácii sledovať, vid' Obr. 2-34.



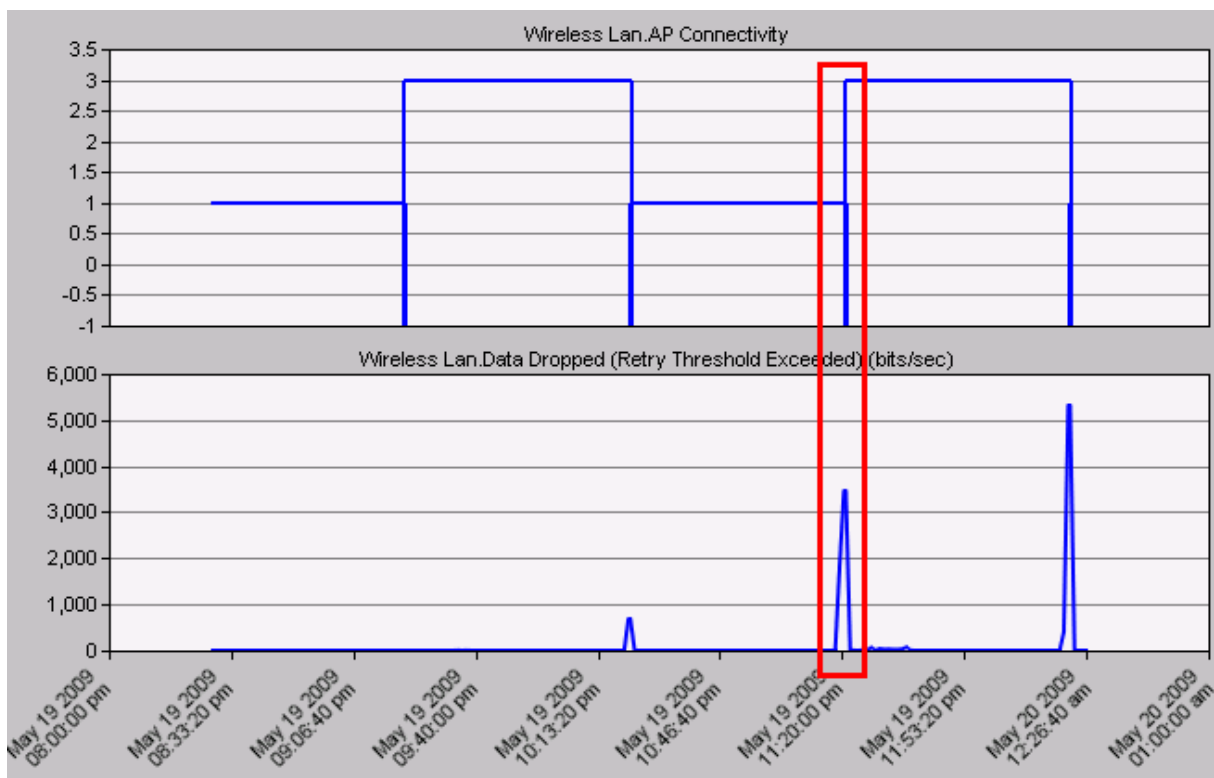
Obr. 2-60: Model siete scenára WLAN mobilita

2.3.10 Simulácia scenára „Vplyv mobility staníc na kvalitu služieb“

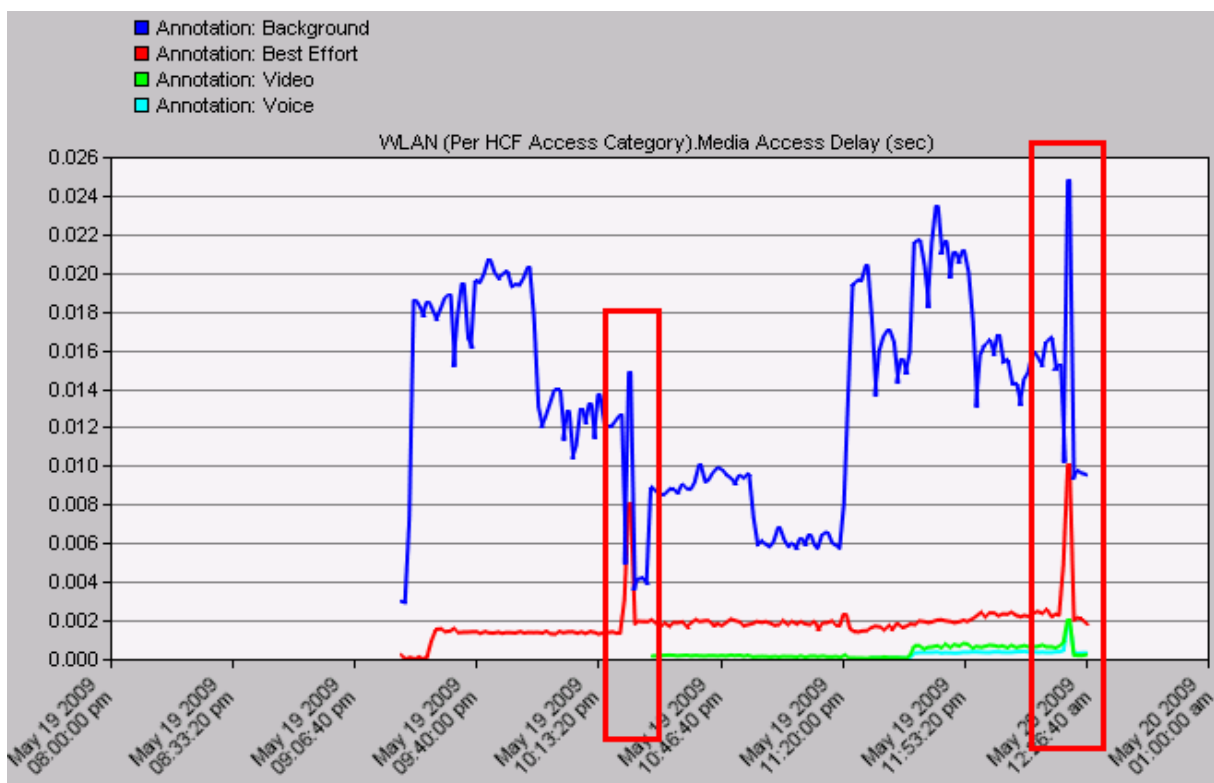
Po vykonaní predchádzajúcich nastavení môžeme prejsť k samotnej simulácii. Pretože časovanie pohybu staníc máme nastavené na štyri hodiny, aj simuláciu spustíme na štyri hodiny.

Pri mobilite klientov je veľmi dôležité, aby sme zaistili v každom mieste ich pohybu dostatočnú úroveň kvality signálu. Najskôr si teda overíme, či klienti boli počas celej simulácie pripojení aspoň k jednému prístupovému bodu. Ak na ploche *Editora projektu* stlačíme pravé tlačidlo myši a zvolíme *View Results*, zobrazí sa okno *Result Browser*. Pod položkou *Node Statistics > Campus Network > Mixed_1 > Wireless Lan > AP Connectivity* (viď Obr. 2-61) môžeme vidieť, či bol klient *Mixed_1* vždy pripojený k AP. Pokiaľ nám vznikajú medzery v pokrytí, musíme pridať vysielač výkon prístupových bodov alebo ich presunúť bližšie ku sebe.

Ku grafu pokrytia na Obr. 2-61 som pridal aj graf stratených dát (Data Dropped). Ako môžeme vidieť, v mieste prepnutia klienta z jedného prístupového bodu na druhý došlo ku krátkodobej strate dát.



Obr. 2-61: Konektivita a stratovosť dát klienta Mixed_1

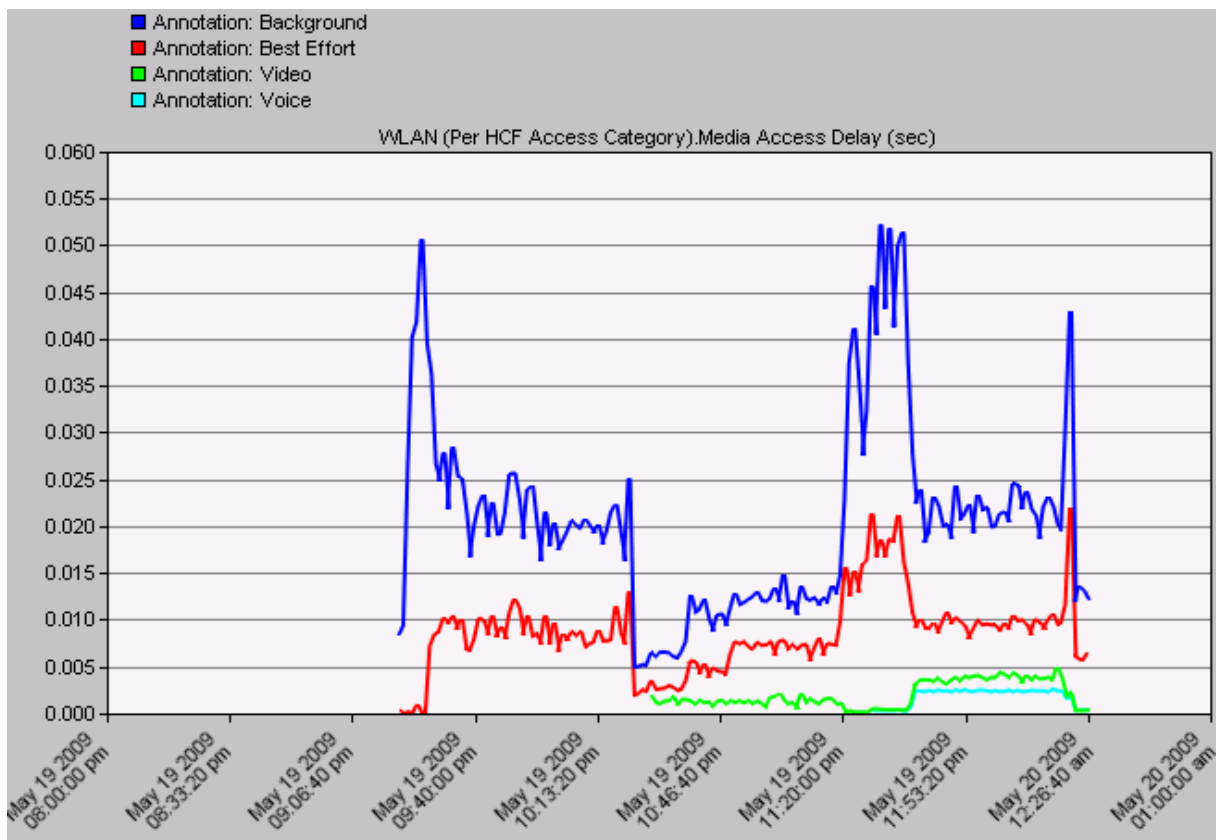


Obr. 2-62: Oneskorenie prístupu k médiu u pohybujúceho sa klienta

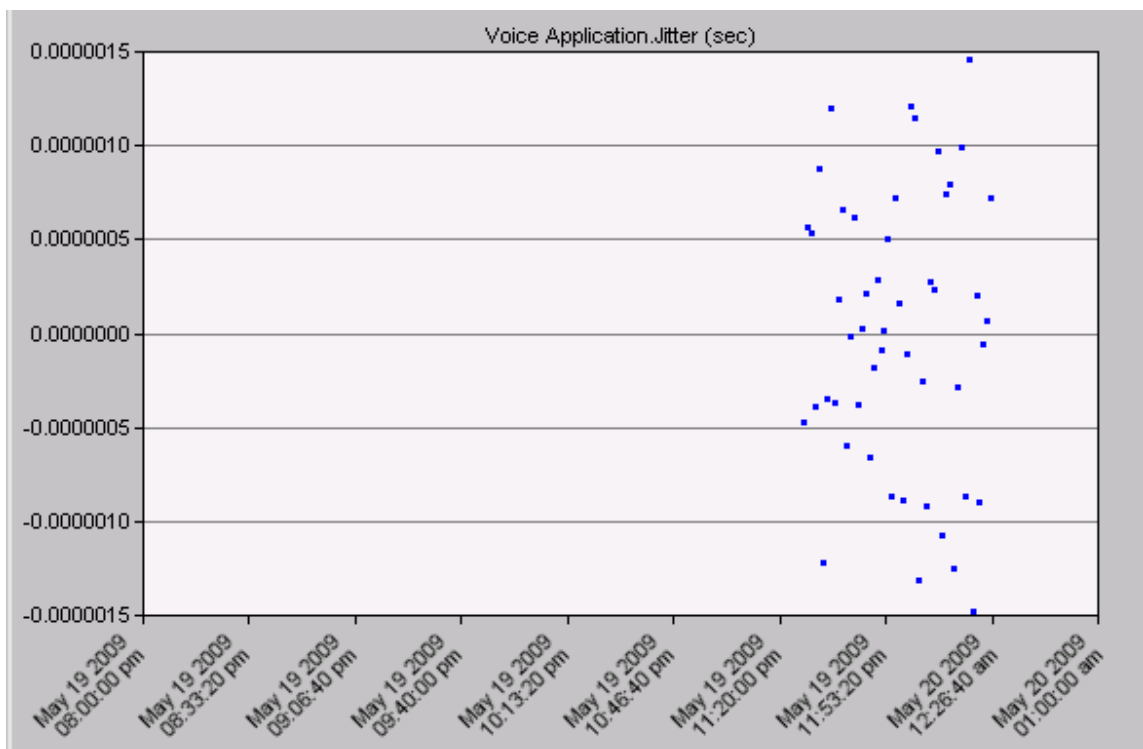
Z Obr. 2-62 je jasné, že mobilita klientov o niečo zhoršuje výslednú kvalitu poskytovaných služieb, hlavne čo sa týka dát patriacich do prístupovej kategórie s nižšou prioritou *AC_BK*. Kvalita služieb u aplikácii pracujúcich v reálnom čase je ale na vysokej úrovni. Aj po pridaní ďalších štyroch klientov je úroveň kvality služieb vynikajúca, vid' Obr. 2-63.

Kolísanie oneskorenia tohto scenára (vid' Obr. 2-64) je už pri šiestich klientoch o niečo horšie ako kolísanie oneskorenia s ôsmimi klientmi u predchádzajúceho scenára, vid' Obr. 2-47. Tento nárast vznikol mobilitou jednotlivých staníc.

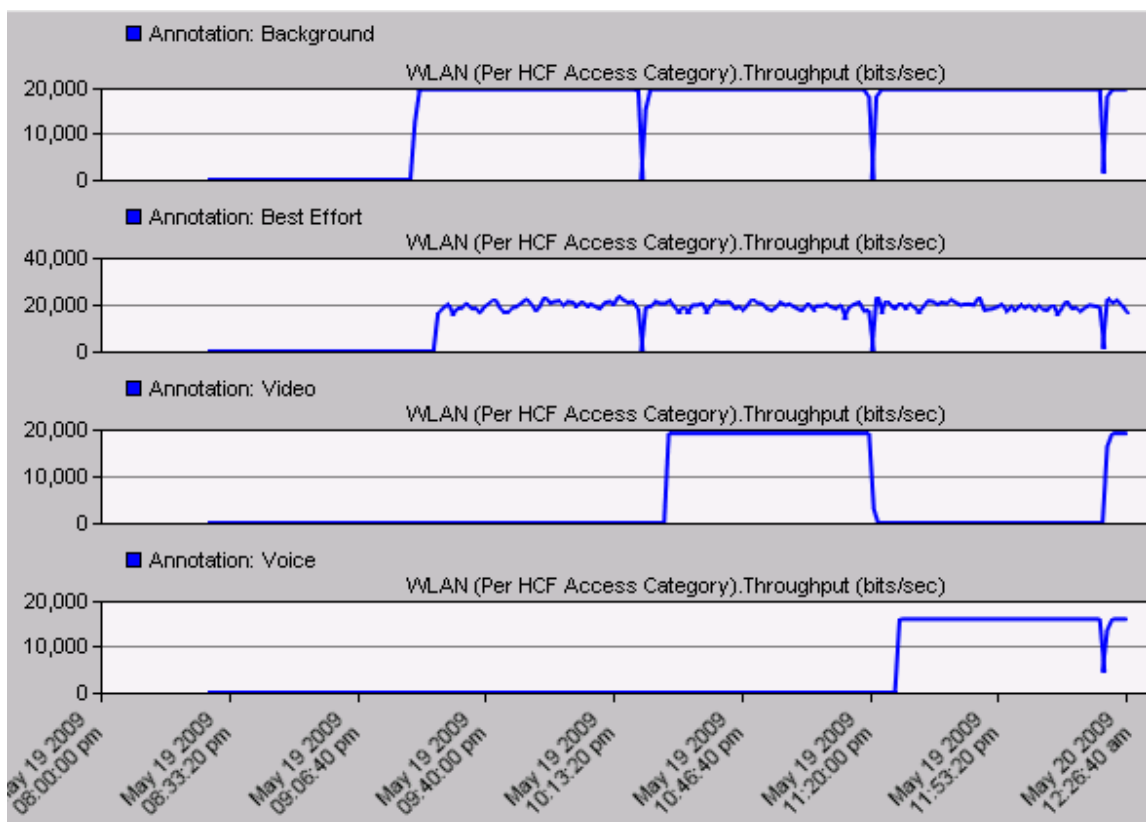
Na Obr. 2-65 môžeme vidieť priebeh priepustnosti prístupového bodu AP_0 pre jednotlivé prístupové kategórie.



Obr. 2-63: Oneskorenie prístupu k médiu u siete so šiestimi klientmi



Obr. 2-64: Kolísanie oneskorenia (Jitter) na VoIP serveri



Obr. 2-65: Priepustnosť prístupového bodu AP_0 pre jednotlivé prístupové kategórie

3 Záver

Prvú kapitolu práce som venoval stručnému prehľadu štruktúry bezdrôtových lokálnych sietí a ich fyzickému rozhraniu. Predstavil som základné možnosti riadenia prístupu ku zdieľanému médiu u technológií 802.11a/b/g pomocou metód PCF a DCF. Následne som predstavil na nový štandard 802.11e a jeho pokročilé metódy riadenia prístupu EDCA a HCF s podporou riadenia kvality služieb.

Ďalšia kapitola je venovaná overením teoretických vedomostí pomocou simulačného prostredia OPNET Modeler. Po podrobnom preštudovaní referenčného modelu WLAN siete z OPNETWORKS 2007, som vytvoril vlastný model. Model siete je rozdelený do niekoľkých nezávislých scenárov.

V prvom scenári som vytvoril funkčný model siete technológie 802.11e so štyrmi aplikáciami, s ktorých každá je radená do inej prístupovej kategórie mechanizmu EDCA. Jednotlivé kroky zostavovania scenára v OPNET Modeleri som podrobne zdokumentoval.

Ďalší scenári je venovaný overovaniu vplyvu počtu klientov na výslednú kvalitu služieb. Mechanizmus riadenia kvality služieb technológie 802.11e v tomto scenári fungoval dokonale. Z výsledných grafov jasne vyplýva jeho funkčnosť aj pri väčšom počte klientov.

Ďalší scenár sa venuje problematike dosahu signálu bezdrôtových sietí a jeho predĺžením pomocou tzv. „bezdrôtového mostu“. Z grafov simulácie môžeme jednoducho odčítať prídavné oneskorenie prenášaných dát, ktoré do komunikácie vnáša bezdrôtový most. Opäť sa aj pri zvýšenom počte klientov potvrdila vysoká úroveň riadenia kvality služieb.

V ďalších dvoch scenároch som porovnal kvalitu služieb technológie 802.11b a technológie 802.11e. Pri rovnakom počte klientov bola kvalita multimediálnych dát prenášaných pomocou 802.11e na vyššej úrovni, priemerná doba oneskorenia bola ale v porovnaní z 802.11b horšia. Rovnako bola horšia aj priepustnosť dát. Preto je potrebné pri vytváraní vlastnej siete vedieť, či chceme uprednostniť kvalitu prenosu dát multimediálnych aplikácii, alebo chceme dosiahnuť čo najväčšiu priepustnosť dát sieťou.

Prístupové kategórie mechanizmu EDCA majú v OPNET Modeleri prednastavené parametre určujúce prioritu danej kategórie. Medzi tieto parametre patrí medzi rámcová medzera AIFS a časový interval okna súťaženia ohraničený parametrami CWmin a CWmax. V dvoch

scenároch som vykonal zásah do nastavení týchto parametrov a sledoval som odozvu na výslednú kvalitu služieb. Pri zásahu do parametrov CWmin a CWmax som veľký rozdiel v priemernej dobe oneskorenia prístupu k médiu nespozoroval, tak isto aj úroveň kvality zostala takmer nezmenená. Po zásahu do hodnôt medzi rámcovej medzery AIFS sa priemerná doba oneskorenia prístupu k médiu podstatne zhoršila, ale kategória patriaca multimedialnej aplikácii Voice zostala stále na vynikajúcej úrovni. Znamená to, že aj pri zásahu do základných parametrov mechanizmu EDCA, sa potvrdila vysoká úroveň riadenia kvality služieb technológie 802.11e.

V poslednom scenári som overoval vplyv mobility klientov na kvalitu poskytovaných služieb. Aj keď pri roamingu do siete susedného prístupového bodu vznikali menšie problémy s oneskorením prístupu k zdieľanému médiu pre dáta aplikácii radených do kategórii Best Effort a Background, výsledná garancia kvality multimedialných služieb bola aj pri viacerých klientoch veľmi vysoká.

Vo všetkých vytvorených scenároch technológia 802.11e dokazovala vysokú úroveň kvality poskytovaných služieb pre aplikácie pracujúce v reálnom čase. Všetky prísne požiadavky na oneskorenie prenosu a kolísanie toto oneskorenia boli vo vysokej miere dodržané, čím sa potvrdila funkčnosť pokročilých metód riadenia prístupu ku zdieľanému bezdrôtovému kanálu. Vo vytvorenom modeli WLAN siete sa mi podarilo splniť všetky body zadania.

LITERATÚRA:

- [1] BABIAK, Julo. *Mikrovlné siete: Ktorého poskytovateľa si vybrať?* [online]. 2003 , 30.6.2003 [cit. 2008-12-01]. Dostupný z WWW: <<http://www.inet.sk/clanok/1100/mikrovlne-siete-ktoreho-poskytovateľa-si-vybrať>>.
- [2] GIERTLI, Tomáš. *Quality of Service : Hodnotenie kvality služieb v systémoch prenosu údajov* [online]. Prvé vydanie. 2006 [cit. 2009-05-05]. Dostupný z WWW: <http://www.qos-diplomka.webzdarma.cz/3_METRIKY/325.HTM>.
- [3] HANUS, Stanislav. *Bezdrátové a mobilní komunikace*. 1. vyd. Praha : RadioMobil a.s., 2003. Dostupný z WWW: <<http://www.feec.vutbr.cz/et/index.php?obor=B-TLI>>. ISBN 80-214-1833-8. Ekvalizace, s. 68-69.
- [4] KOCUR, Z., ŠAFRÁNEK, M.. *Bezdrátové systémy v přístupové síti* [online]. 2008 , 3.2.2008 [cit. 2008-12-01]. Dostupný z WWW: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?navezclanku=bezdratove-systemy-v-pristupove-siti&cislocclanku=2008020002>>.
- [5] MOLNÁR, Karol, ZEMAN, Otto, SKOŘEPA, Michal. *Moderní síťové technologie : Laboratorní cvičení*. VUT v Brně : [s.n.], 2008. 103 s. Dostupný z WWW: <<http://www.utko.feec.vutbr.cz/~molnar/>>.
- [6] OPNET Technologies Inc.. *Understanding Wireless LAN Model Internals and Interfaces, Discrete Event Simulation for R&D*, OPNETWORK 2007, Washington, D.C., 2007
- [7] OPNET Technologies Inc.. *OPNET Modeler Product Documentation Release 14.5*, OPNET Modeler, 2008
- [8] PRASAD, Anand R., PRASAD, Neeli R. *802.11 WLANs and IP Networking : security, QoS, and mobility*. [s.l.] : [s.n.], 2005. 318 s. ISBN 1-58053-789-8.
- [9] STEJSKAL, Petr. *Bezdrátové síť Wi-Fi* [online]. 2003-2004 [cit. 2008-12-01]. Dostupný z WWW: <<http://www-kiv.zcu.cz/~simekm/vyuka/pd/zapocty-2003/wi-fi/index.php?id=0>>.

ABECEDNÝ ZOZNAM SKRATIEK

AC	Access Category – kategória prístupu
AIFS	Arbitration Interframe Space – medzi rámcová medzera výberu
AP	Access Point – prístupový bod
BSS	Basic Service Set – základná sada služieb
CFP	Contention Free Period – interval bez súťaženia
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance – náhodná prístupová metóda s vyhýbaním sa kolíziám
CW	Contention Window – okno súťaženia
DCF	Distributed Coordination Function – distribuovaná koordinačná funkcia
DIFS	Distributed Coordination Function Interframe Space – medzi rámcová medzera distribuovanej koordinačnej funkcie
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum – priama sekvencia v rozprestretom spektre
EDCA	Enhanced Distributed Channel Access – rozšírený distribuovaný prístup ku kanálu
ESS	Extended Service Set – rozšírená sada služieb
HC	Hybrid Coordinator – hybridný koordinátor
HCF	Hybrid Coordination Function – hybridná koordinačná funkcia
IBSS	Independent Basic Service Set – nezávislá základná sada služieb
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
MOS	Mean Opinion Score – subjektívne hodnotenie kvality prenosu
NAV	Network Allocation Vector – vektor alokácie siete
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplex – ortogonálny multiplex s kmitočtovým delením
PCF	Point Coordination Function – centralizovaná koordinačná funkcia
PIFS	Point Coordination Function Interframe Space – medzi rámcová medzera centralizovanej koordinačnej funkcie
QoS	Quality of Service – kvalita služieb
QSTA	QoS Station – bezdrôtová stanica s podporou QoS
SIFS	Short Interframe Space – krátka medzi rámcová medzera
TXOP	Transmission Opportunity – príležitosť prenosu
WLAN	Wireless Local Area Network – bezdrôtová lokálna sieť

ZOZNAM PRÍLOH

ZOZNAM OBRÁZKOV.....	88
ZOZNAM TABULIEK.....	90
DIGITÁLNA PRÍLOHA.....	91

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 1-1: Príklad spojenia typu bod – bod.....	10
Obr. 1-2: Príklad spojenia typu bod – skupina bodov.....	10
Obr. 1-3: Príklad spojenia typu ad-hoc	10
Obr. 1-4: Root mode.....	14
Obr. 1-5: Bridge mode	14
Obr. 1-6: Repeater mode.....	14
Obr. 1-7: Rozšírená sada služieb	15
Obr. 1-8: Princíp rozprestretia spektra [4]	16
Obr. 1-9: Spôsob priameho rozprestierania spektra [1]	17
Obr. 1-10: Sub–nosné vlny systému OFDM [4]	18
Obr. 1-11: Základné medzi rámcové medzery [8]	19
Obr. 1-12: Časový priebeh komunikácie v móde PCF [8]	21
Obr. 1-13: Model prístupového mechanizmu EDCA [8].....	23
Obr. 1-14: Medzi rámcové medzery prístupového mechanizmu EDCA [8]	24
Obr. 1-15: Príklad komunikácie pomocou prístupového mechanizmu HCF	26
Obr. 2-1: Model WLAN s FTP a HTTP prenosom.....	28
Obr. 2-2: Model WLAN s FTP a Video prenosom.....	29
Obr. 2-3: Paleta objektov	29
Obr. 2-4: Application Config.....	30
Obr. 2-5: Vlastnosti HTTP aplikácie.....	31
Obr. 2-6: Zmena ToS	31
Obr. 2-7: Profile Config.....	32
Obr. 2-8: Vlastnosti HTTP klienta 1	33
Obr. 2-9: Wireless LAN Parameters	34
Obr. 2-10: EDCA parametre jednotlivých AC	35
Obr. 2-11: Nastavenie globálnej štatistiky.....	36
Obr. 2-12: Nastavenie uzlovej štatistiky	37
Obr. 2-13: Spustenie simulácie.....	37
Obr. 2-14: Parametre simulácie	38
Obr. 2-15: Výber aktuálneho scenára.....	38
Obr. 2-16: Oneskorenie prístupu k médiu u AC_BE a AC_BK.....	39
Obr. 2-17: Priepustnosť sieťou u AC_BE a AC_BK	39
Obr. 2-18: Nová Video aplikácia.....	40
Obr. 2-19: Vytvorenie profilu Video.....	41
Obr. 2-20: Nastavenie podpory profilu na klientoch.....	41
Obr. 2-21: Nastavenie globálnej štatistiky.....	42
Obr. 2-22: Oneskorenie prístupu k médiu u AC_BE a AC_VI.....	42
Obr. 2-23: Priepustnosť sieťou u AC_BE a AC_VI	43
Obr. 2-24: Zahodené dáta pri pretečení zásobníka u AC_BE a AC_VI	43
Obr. 2-25: Model siete scenára WLAN 802.11e.....	45
Obr. 2-26: Definícia aplikácií.....	47
Obr. 2-27: Definícia FTP aplikácie	47
Obr. 2-28: Konfigurácia FTP aplikácie.....	48
Obr. 2-29: Parametre profilu FTP	49

Obr. 2-30: Nastavenie FTP servera	50
Obr. 2-31: Nastavenie profilu na klientovi	50
Obr. 2-32: Nastavenie názvu servera na klientovi	51
Obr. 2-33: Nastavenie základných WLAN parametrov	52
Obr. 2-34: Nastavenie uzlovej štatistiky	53
Obr. 2-35: DES Log štatistika	54
Obr. 2-36: Počet zápisov v DES Log štatistike	54
Obr. 2-37: Nastavenie opakovateľnosti profilu	55
Obr. 2-38: Príklad nenadviazanej komunikácie kategórie Voice	56
Obr. 2-39: Zobrazenie výsledkov simulácie	57
Obr. 2-40: Oneskorenie prístupu k médiu na AP_4	58
Obr. 2-41: Priepustnosť dát na AP_4	58
Obr. 2-42: Scenár Vplyv počtu klientov na QoS_1	60
Obr. 2-43: Zvolenie parametrov štatistiky	61
Obr. 2-44: Nastavenie hromadnej simulácie	62
Obr. 2-45: Oneskorenie prístupu k médiu u kategórie Background	63
Obr. 2-46: Oneskorenie prístupu k médiu u kategórie Voice	64
Obr. 2-47: Kolísanie oneskorenia (Jitter) na VoIP serveri	64
Obr. 2-48: Scenár WLAN APs and Bridges	66
Obr. 2-49: Nastavenie bezdrôtových rozhraní na objekte Bridge_1	67
Obr. 2-50: Zobrazenie stredných hodnôt nameraných veličín	68
Obr. 2-51: Prídavné oneskorenie bezdrôtového mostu	69
Obr. 2-52: Oneskorenie prístupu k médiu na AP_3 a Bridge_3	69
Obr. 2-53: Klient Mixed_4 - oneskorenie prístupu k médiu	70
Obr. 2-54: Scenár „Porovnanie_QoS_802_11e“	71
Obr. 2-55: Zrušenie podpory mechanizmu EDCA	72
Obr. 2-56: Zmena medzi rámcovej medzery AIFS	72
Obr. 2-57: Priemerné oneskorenie prístupu k médiu	75
Obr. 2-58: Oneskorenie prístupu k médiu kategórie Voice	76
Obr. 2-59: Priepustnosť technológie 802.11b a 802.11e	76
Obr. 2-60: Model siete scenára WLAN mobilita	79
Obr. 2-61: Konektivita a stratovosť dát klienta Mixed_1	80
Obr. 2-62: Oneskorenie prístupu k médiu u pohybujúceho sa klienta	80
Obr. 2-63: Oneskorenie prístupu k médiu u siete so šiestimi klientmi	81
Obr. 2-64: Kolísanie oneskorenia (Jitter) na VoIP serveri	82
Obr. 2-65: Priepustnosť prístupového bodu AP_0 pre jednotlivé prístupové kategórie	82

ZOZNAM TABULIEK

Tab. 1-1: Prehľad hodnôt časových intervalov [8].....	20
Tab. 1-2: Prehľad užívateľských priorít [8].....	22
Tab. 1-3: Prehľad AC skupín metódy EDCA.....	23
Tab. 2-1: Prednastavené parametre prístupových kategórií v OM [6].....	35
Tab. 2-2: Základné parametre podsietí.....	52
Tab. 2-3: Subjektívne testovanie kvality služieb pomocou MOS	59
Tab. 2-4: Nastavenie identifikátora podsiete u prístupových bodov scenára	67
Tab. 2-5: Nastavenie identifikátora podsiete u bezdrôtových mostov scenára	67
Tab. 2-6: Zmena nastavenia medzi rámcovej medzery výberu AIFS	72
Tab. 2-7: Zmena nastavenia intervalu okna súťaženía CW.....	73

DIGITÁLNA PRÍLOHA

DVD disk obsahuje:

- Ø elektronická verzia diplomovej práce (DP_MŠ_2009.pdf),
- Ø funkčný model siete v prostredí OPNET Modeler (súbor op_models).