

**Posouzení možností nasazení technologie WiFi
v kmitočtovém pásmu 5 GHz při realizaci sítí NGA**

20. 3. 2017

Verze 2.0.0.

Obsah:

1. Souhrn	5
2. Úvod	12
3. Zajištění provozu bezdrátových sítí	13
4. Využití rádiových kmitočtů v rozsahu 5470 až 5725MHz k zajišťování sítí NGA	14
4.1. Výhody a nevýhody technologií WiFi v kmitočtovém pásmu 5470 až 5725MHz pro budování přístupové sítě	14
4.2. Disponibilní pásmo rádiových kmitočtů 5470 až 5725MHz	15
4.3. Standard IEEE 802.11ac, maximální teoretická datová rychlost v rádiovém kanálu a reálná datová propustnost (throughput)	17
4.4. Posouzení maximální vzdálenosti účastníka od přístupového bodu	19
4.5. Posouzení maximálního počtu účastníků, které je možno obsloužit v rámci jednoho rádiového kanálu systému P to MP	21
4.6. Vliv rušení na parametry rádiového kanálu podle IEEE 802.11ac	25
4.7. Konfigurace přístupového bodu AP, obsazení sektorů, využití rádiových kmitočtů	26
4.8. Příklady konceptu systému pro pokrytí území konkrétní ZSJ WiFi systémem	30
4.9. Využití synchronizace v rámci WiFi outdoor systému	31
4.10. WiFi outdoor systémy v kmitočtovém pásmu 5 725 – 5850 MHz	34
5. Doporučení	38
 PŘÍLOHA 1 - Struktura sítě NGN – NGA	 39

Seznam Tabulek

TAB 1 – Domácnosti v ČR s připojením k internetu	12
TAB 2 – Způsob připojení k internetu používaný domácnostmi	12
TAB 3 – Rozdělení WiFi připojení podle rychlostí (downlink)	13
TAB 4 – WiFi kmitočtový plán pásma 5470 až 5725MHz	16
TAB 5 – Throughput	17
TAB 6 – Overhead Mikrotik, NV2	18
TAB 7 – Overhead pro kanál B = 20 MHz	18
TAB 8 – Overhead pro kanál B = 40 MHz	19
TAB 9 – Overhead pro kanál B = 80 MHz	19
TAB 10 – Energetická bilance rádiového spoje 802.11ac při konkrétních vstupních parametrech pro výpočet	20
TAB 11 – Vztah maximální teoretické/reálné datové rychlosti v rádiovém kanálu k požadované minimální citlivosti přijímače Rxmin	20
TAB 12 – Hodnoty základní hladiny Gausovského kanálového šumu NF pro jednotlivé šířky rádiového kanálu B	21
TAB 13 – Počet účastníků pro běžně dostupnou rychlost 30 Mbps, B = 20 MHz	22
TAB 14 – Počet účastníků pro běžně dostupnou rychlost 30 Mbps, B = 40 MHz	22
TAB 15 – Počet účastníků pro běžně dostupnou rychlost 30 Mbps, B = 80 MHz	23
TAB 16 – Počet účastníků pro běžně dostupnou rychlost 100 Mbps, B = 20 MHz	23
TAB 17 – Počet účastníků pro běžně dostupnou rychlost 100 Mbps, B = 40 MHz	24
TAB 18 – Počet účastníků pro běžně dostupnou rychlost 100 Mbps, B = 80 MHz	24
TAB 19 – Povolené úrovně rušivého signálu AC a NAC podle IEEE 802.11 ac	25
TAB 20 – Příklad obsazení spektra v konkrétní lokalitě a azimutu. Sídlo se 60 000 obyvateli	27
TAB 21 – Příklad obsazení spektra v konkrétní lokalitě a azimutu. Sídlo se 100 000 obyvateli	28
TAB 22 – Základní model konfigurace sítě	29
TAB 23 – Základní model konfigurace synchronizované sítě	32
TAB 24 – Příklad rádiové synchronizované sítě s využitím čtyř NAC kanálů	33
TAB 25 – Příklad rádiové synchronizované sítě s využitím tří NAC kanálů	34
TAB 26 – WiFi kmitočtový plán pásma 5470 až 5850MHz	37

Zkratky

AC	Adjacent channel, sousední rádiový kanál
AP	Access point, přístupový bod, soustředovací bod
ARS	Amatérská Radiokomunikační Služba
B	šíře rádiového kanálu
C/N	Carrier to Noise, poměr signál/šum
CAPEX	náklady na investice
ČSÚ	Český statistický úřad
DAE	Digitální agenda pro Evropu
F/B	Front to Back ratio, předo-zadní poměr rádiové antény
Gant Rx	zisk přijímací antény
Gant Tx	zisk vysílací antény
h	měrný objem srážek, určuje hydrometeorologickou oblast dle třídy
IPTV	TV šířená prostřednictvím IP – internetového protokolu
NAC	Non-Adjacent channel, nesousední rádiový kanál
NF	Noise Floor, práh gaušovského šumu v rádiovém kanálu
NGA	New Generation Access, přístupové sítě nové generace
NGN	New Generation Networks, sítě nové generace
NPRSNG	Národní plán rozvoje sítí nové generace
Nss	Number of Space Streams, počet prostorových toků
MCS	Modulation Coding Scheme, modulační kódové schéma
MU-MIMO	Multiple Users –Multiple Inputs Multiple Outputs
OPEX	provozní náklady
P-to-MP	Point to Multipoint, konfigurace sítě bod – více bodů
P – to – P	Point to Point, konfigurace sítě bod - bod
Ptx	výkon vysílače
QAM	Qadrature Amplitude Modulation, kvadrurní amplitudová modulace
RTTT	Road Transport and Traffic Telematic systems
Rx max	maximální povolená úroveň signálu na přijímači
Rx min	minimální požadovaná citlivost přijímače
VO	Všeobecné oprávnění
WiFi	Rádiový přístupový systém (technologie), zde pro vnější prostředí

1. Souhrn.

V období přibližně 2001 – 2011 došlo v ČR v oblasti elektronických komunikací k masivnímu rozvoji výstavby a využívání bezdrátových (rádiových) sítí ve vnějším prostředí (outdoor) pro přístup k síti internetu.

V současné době lze identifikovat zhruba 1 790 000 připojení k síti internetu (ČSÚ 2015). Podle kategorií rychlosti připojení lze tento objem rozdělit následujícím způsobem (stav září 2016):

	[Mbit/s]				
	30+	20-30	10-20	5-10	0-5
Průměr	25,97%	24,68%	22,56%	16,57%	10,21%
Počet	459 757	436 920	399 389	293 345	180 752

Zdroj: <http://www.dsl.cz/clanky/rychlosti-wi-fi-internetu-na-dsl-cz-v-zari-2016>

Zároveň lze odhadovat v ČR přibližný počet poskytovatelů služby připojení k internetu prostřednictvím WiFi) na cca 1 452 subjektů v přibližně 10 638 lokalitách (obce, místní části, www.internetprovsechny.cz, listopad 2016)

V ČR je regulačním orgánem umožněno využívání rádiových kmitočtů pro provoz bezdrátových sítí na základě dodržení podmínek Všeobecného oprávnění anebo Individuálního oprávnění. Přitom pro účel poskytování služby připojení k internetu jsou kmitočty využívány z velké části hlavně podle Všeobecných oprávnění.

Všeobecné oprávnění č. VO-R/12/09.2010-12 stanovuje pravidla k využívání rádiových kmitočtů a k provozování zařízení pro širokopásmový přenos dat v pásmech 2,4 GHz až 66 GHz.

Všeobecné oprávnění č. VO-R/10/05.2014-3 stanovuje pravidla k využívání rádiových kmitočtů a k provozování zařízení krátkého dosahu.

Všeobecné oprávnění č. VO-R/14/12.2012-17 stanovuje pravidla k využívání rádiových kmitočtů a k provozování zařízení v kmitočtovém pásmu 10 GHz.

Všeobecné oprávnění č. VO-R/23/09.2013-5 stanovuje pravidla k využívání rádiových kmitočtů a k provozování zařízení pevné služby v kmitočtových pásmech 71–76 GHz a 81–86 GHz.

Rádiové kmitočty v částech kmitočtového spektra, které jsou obecně označovány jako pásma 2,4 a 5 GHz, jsou využívány převážně k provozu účastnické části přístupových sítí (Příloha 1), a to v režimu P-to-MP. Nicméně v této části kmitočtového pásma jsou realizovány rovněž rádiové spoje P to P buď jako samostatné účastnické přípojky anebo i jako distribuční spoje v rámci přístupových sítí (Příloha 1).

V současnosti je jedním z hlavních cílů NPRSNG v rámci programu DAE, zajistit a rozšířit pro obyvatele ČR možnosti poskytování služby připojení k vysokorychlostnímu internetu tak, aby prostřednictvím sítí NGA bylo možno zajistit spolehlivé poskytování a podporu nejrozličnějších vyspělých digitálních služeb včetně konvergovaných služeb spočívajících plně na technologii IP, včetně možnosti spolehlivého provozu IPTV.

Dotační programy EU umožňují za účelem posílení dynamiky rozvoje sítí NGA poskytovat při dodržení stanovených pravidel státní příspěvky privátním subjektům se zaměřením prioritně na budování optických sítí. Nicméně stanovená pravidla umožňují využití poskytnutého příspěvku i k podpoře budování vyspělých bezdrátových přístupových sítí, které umožní splnění parametrů určených pro síť NGA.

Vzhledem k ojedinělé velikosti tržního segmentu WiFi sítí v ČR je předmětem tohoto materiálu posouzení možností nasazení technologie WiFi v kmitočtovém pásmu 5 GHz (podle Všeobecného oprávnění č. VO-R/12/09.2010-12) k zajišťování sítí NGA.

Výhody a nevýhody technologií WiFi v kmitočtovém pásmu 5 GHz pro budování přístupových sítí lze definovat v hlavních rysech takto:

Výhody:

- Rychlá instalace systému
- Jednoduchá montáž u účastníka
- Velmi nízké CAPEX a OPEX
- Relativně velmi rychlá návratnost investice v porovnání s kabelovou technologií

Nevýhody:

- Využití kmitočtového spektra jako sdíleného média
- Vznik intrasystémového a intersystémového rušení
- Všeobecné oprávnění dovoluje v dané oblasti uvádět do provozu stále další systémy, přitom ochrana provozovatele systému je možná pouze podle podmínek stanovených VO-R/12/09.2010-12 (čl. 2, písm. h) a zákonem č. 127/2005 Sb. (§100).
- Díky fyzikálním vlastnostem rádiového kanálu, klesá možná vzdálenost účastníka od přístupového bodu (AP) se stoupající možnou teoretickou propustností rádiového kanálu.
- Rušení (odstup užitečného signálu od šumu $-C/N$) výrazně ovlivňuje hodnotu dosažitelné propustnosti rádiového kanálu a současně spolehlivost poskytované služby.

Při posuzování možností nasazení technologie WiFi v pásmu 5 GHz při realizaci sítí NGA jsou zvažovány zejména následující faktory:

- a) Rychlost připojení
- b) Vzdálenost účastníka od přístupového bodu
- c) Maximální počet účastníků, které je možno obsloužit v rámci jednoho rádiového kanálu systému P to MP
- d) Vliv rušení na parametry rádiového kanálu
- e) Konfigurace přístupového bodu AP, obsazení sektorů, využití rádiových kmitočtů při pokrytí území
- f) Využití synchronizace v rámci WiFi outdoor systému

Ad a) Rychlost připojení

Doposud byly WiFi systémy provozovány převážně se šířkou rádiového kanálu $B = 20$ MHz. To umožňovalo dosahovat při využití normy IEEE 802.11n, MCS15 (64QAM-5/6, $N_{ss}=2$), teoretické maximální datové rychlosti v rádiovém kanálu (data rate) 144,4 Mbps, která byla podle příslušné hodnoty agregace dělena mezi obsluhované účastníky. Se stoupající běžně dostupnou (reálnou) rychlostí připojení pro účastníka byl postupně možný počet účastníků sdílejících jeden rádiový kanál omezen.

V případě sítí NGA je však jedním ze zásadních požadavků zajištění spolehlivého připojení pro účastníka nejméně rychlostí 30 Mbps pro efektivní počet účastníků obsluhovaných jedním rádiovým kanálem. Je tedy nezbytné, využít jiného standardu, který dovoluje při různých šířkách rádiového kanálu B dosahovat vyšších maximálních teoretických datových rychlostí.

Reálná datová propustnost rádiového kanálu je ovšem ve skutečnosti nižší než rychlost teoretická. Je to způsobeno objemem systémových dat, která nejsou nositelem přenášené informace (služby) tzv. Overhead.

Reálná datová propustnost spoje (throughput) se pohybuje mezi 40 – 70 % maximální teoretické datové rychlosti (Max. Data rate).

Ad b) Vzdálenost účastníka od přístupového bodu

Při posuzování maximální vzdálenosti účastníka od přístupového bodu jsou zásadní dva faktory:

- Výsledek energetické bilance rádiového spoje, tedy úroveň přijímaného signálu v místě účastníka daná základními parametry systému.
- Požadavek na zajištění požadované maximální teoretické/reálné datové rychlosti v rádiovém kanálu, která je odvozena z hodnoty požadované minimální citlivosti přijímače R_{xmin} podle IEEE 802.11ac, pro příslušné MCS. Minimální požadovaná citlivost přijímače R_{xmin} pro konkrétní MCS a šíři rádiového kanálu B je předpokladem pro dosažení konkrétní maximální teoretické/reálné datové rychlosti v rádiovém kanálu.

Ad c) Maximální počet účastníků, které je možno obsloužit v rámci jednoho rádiového kanálu systému P to MP.

Při posuzování maximálního počtu účastníků, které je možno obsloužit v rámci jednoho rádiového kanálu jsou zásadní následující faktory:

- Minimální požadovaná rychlost spolehlivého připojení účastníka
- Předpokládaná agregace rychlostí v systému
- Šířka rádiového kanálu
- Předpokládaná reálná propustnost

Pro běžné parametry rádiového přístupového systému v jeho účastnické části, je-li poskytována služba prostého připojení k internetu, je většinou postačující, jak ukázala praxe, počítat pro rádiový kanál s agregací 1:4 k dosažení požadované běžně dostupné rychlosti připojení účastníka. Pokud však předpokládáme, že v rámci systému budou poskytovány i nejrůznější vyspělé digitální služby včetně konvergovaných služeb spočívajících plně na technologii IP, včetně možnosti spolehlivého provozu IPTV, ukazuje praxe, že je nutno počítat spíše s agregací 1:3 a méně.

Ad d) Vliv rušení na parametry rádiového kanálu

Rušivý signál se svojí úrovní sčítá se základním kanálovým šumem a snižuje tak ideální odstup C/N. Podmínky přenosu signálu v rádiovém kanálu se při snížení poměru C/N v reálném systému mění zejména v těchto ohledech:

- Systém ve snaze zachovat optimální odstup C/N a tím i spolehlivý přenos dat automaticky snižuje stupeň MCS a tím dochází ke snížení reálné propustnosti kanálu a tedy ke snížení hodnoty běžně dostupné rychlosti připojení, kterou systém může poskytovat účastníkovi při daném počtu účastníků.
- Současně se i zvyšuje chybovost spojení (PLR – packet loss rate) což má za následek snižování spolehlivosti při poskytování vyspělých služeb založených na IP, v současnosti zejména služby IPTV.

Vznik rušení zásadně souvisí hlavně s těmito parametry:

- Počet využitelných rádiových kanálů v pásmu a návrh kmitočtového obsazení jednotlivých AP při pokrývání území jedním operátorem.
- Počet stávajících operátorů, kteří pokrývají stejné území a šířka rádiových kanálů B, které jsou využívány.

Možné povolené úrovně rušivých signálů pro sousední rádiový kanál (AC adjacent channel) a nesousední rádiový kanál (NAC – non adjacent channel) jsou standardem IEEE 802.11ac konkrétně definovány. Jedná se o odstupy úrovně přijímaného signálu hlavního kanálu (rušeného) Rx od úrovně rušícího signálu AC a od úrovně rušícího signálu NAC na vstupu přijímače účastníka.

Kmitočtové spektrum v pásmu WiFi 5470 až 5725MHz je z velké míry využíváno operátory, kteří zajišťují provoz svých systémů převážně s využitím rádiových kanálů o $B = 20$ MHz. V uvedeném pásmu lze využívat až 10 těchto kanálů. Je tak možno sestavovat rozličné kombinace provozních kanálů s AC a NAC kanály. Je tak řešitelný návrh systému pro jednoho operátora pokrývajícího rozlehlejší území (větší počet vysílacích sektorů). Tento způsob využití kmitočtového pásma rovněž zjednodušuje vzájemnou koexistenci několika nezávislých systémů (operátorů) na zhruba identickém území. Pochopitelně cenou z takové řešení je nižší datová propustnost rádiového kanálu.

Při využívání rádiových kanálů s $B = 40$ MHz případně $B = 80$ MHz se jejich disponibilní počet v uvedeném kmitočtovém pásmu rapidně sníží stejně jako možnost sestavovat kombinace provozních kanálů s AC a NAC kanály. Snižuje se rovněž možnost opakování rádiových kmitočtů (vysílacích sektorů) na daném území stejně jako možnost vzájemné koexistence nezávislých systémů (operátorů).

- Ad e) Konfigurace přístupového bodu AP, obsazení sektorů, využití rádiových kmitočtů při pokrytí území

Z analýzy poměrů na jednom přístupovém bodu vybaveném více sektory vyplývá, že plnou kapacitu sektoru lze u nesynchronizovaného systému bez omezení využít pouze, pokud je v dané lokalitě využíván jen jeden rádiový kmitočet tedy jeden sektor.

Analýza využití rádiových kmitočtů ukázala, že bez omezení jsou na ohraničeném území (město, obec, ZSJ) využitelné pouze kombinace NAC kanálů. Analýza zřetelně ukazuje, že na menších územích s vyšší hustotou obyvatelstva a tedy s nárokem na vyšší kapacitu rádiového kanálu je návrh efektivní konfigurace sítě obtížný až nemožný.

- Ad f) Využití synchronizace v rámci WiFi outdoor systému

Norma IEEE 802.11ac předpokládá nasazení zařízení podle této specifikace zejména pro vnitřní prostředí, kde se mohou uplatnit veškeré techniky pro zvýšení kapacity a odolnosti systému. Jedná se zejména o techniku MU-MIMO, beamforming, prostorový multiplexing, atd.

U systémů navrhovaných do vnitřního prostředí lze například díky masívnímu vícecestnému šíření rádiového signálu s výhodou použít techniku MIMO spolu s dělením přenášeného datového toku až na 8 prostorových streamů. Jednou ze základních podmínek dokonalého využití všech pozitivních (fyzikálních, systémových) vlastností vícenásobného systému MIMO je jeho nasazení v prostředí s vysokým počtem odražených vln na přijímací anténě uživatele.

Jedná se tedy o prakticky neexistující přímou viditelnost mezi přístupovým bodem a uživatelem.

Protože přístupový bod bývá osazen osmi i více všesměrovými anténami může být specifickým zpracováním vstupních signálů do antén (změny fáze a amplitudy) efektivně (s minimálními náklady na cenu zařízení) měněna úroveň vysílaného signálu aktuálně do azimutu nejvyšší poptávky po přenosu dat (beamforming).

Systémy navrhované do vnějšího prostředí mají doposud jasně určenou architekturu a technické řešení, které ne zcela umožňuje za efektivní cenu realizovat všechny již zmíněné techniky pro zvýšení kapacity a odolnosti systému. Příkladně technika MIMO je používána v současnosti převážně v provedení do dvou prostorových streamů ($N_{ss} = 2$). V tomto případě je s výhodou využíváno oddělení vertikální a horizontální polarizace antén. Provedení se třemi prostorovými streamy by mělo využívat příčné polarizace antén, avšak není doposud běžně dostupné.

Předpokládá se, že první technické řešení beamformingu v systému WiFi pro vnější prostředí by mělo být dostupné v závěru roku 2016 (systém Cambium ePMP 2000). Nicméně jedná se pouze o variantu, která řeší formování vyzařovacího diagramu přijímací antény na přístupovém bodu (AP) pro směr od účastníka na AP. Je zřejmé, že výrobce systému tedy předpokládá použití dvou antén na AP, a to vysílací a přijímací.

Nicméně někteří výrobci WiFi zařízení pro vnější prostředí používají poměrně efektivní nástroj, který umožňuje efektivnější rádiové plánování rádiového systému a zvyšuje jeho celkovou kapacitu (datovou propustnost) na konkrétním území, a to i při omezené kapacitě vyhrazené části kmitočtového spektra dané zvětšením šířky použitých rádiových kanálů. Tímto nástrojem je synchronizace.

Synchronizace umožňuje zajistit provoz systému WiFi (ve vnějším prostředí) tvořeného větším počtem vysílacích sektorů a přístupových bodů tak, aby v jednom časovém okamžiku všechny přístupové body (AP-sektory) vysílaly a v dalším časovém okamžiku přijímaly rádiový signál. Toto řešení umožňuje efektivní rádiové plánování sítě a zvyšuje kapacitu systému na pokrývaném území.

Zavedení synchronizace v systému pokrývajícím určité území rádiovým signálem dovoluje s využitím několika nesousedních rádiových kanálů navrhnout přiměřeně efektivní rádiovou síť.

Nasazení efektivního synchronizovaného systému na daném území ale zásadně omezuje (až vylučuje) využívání části kmitočtového spektra v rozsahu 5 470 – 5 725 MHz dalším operátorem.

Potřeba zajištění koexistence provozu velkého množství účastnických terminálů a přístupových bodů na daném území a zajištění poskytování vyšších přístupových rychlostí vede k požadavku na využívání co nejširších souvislých úseků kmitočtového spektra.

S ohledem na uvedené skutečnosti a z toho vyplývající potřeby a s ohledem na reálný vývoj harmonizace využití kmitočtového spektra na mezinárodní úrovni je velmi aktuální očekávat konkrétní kroky národního regulátora ČTÚ, které povedou ke zpřístupnění další části kmitočtového pásma 5 GHz a jeho využívání podle všeobecného oprávnění.

U pásma 5 GHz v souvislosti s vývojem v Evropě je pravděpodobné další zpřístupnění pásma pouze v úseku 5725 – 5850 MHz. V souvislosti s velikostí tržního segmentu outdoor WiFi sítí v ČR využívajícího stávající pásmo kmitočtů 5470 – 5725 MHz, současným dynamickým vývojem a z toho vyplývajících již zmiňovanými negativními efekty lze nicméně očekávat, že ke zpřístupnění další části pásma 5 GHz v ČR by mohlo dojít v předstihu před očekávanými harmonizačními kroky po konferenci WRC-19.

Vzhledem k výjimečné velikosti tržního segmentu outdoor WiFi sítí, intenzitě využívání kmitočtového pásma 5GHz, zmíněným negativním efektům a z toho vyplývající míře systémové provozní nekázně provozovatelů bude pravděpodobně velmi důležité v předstihu před faktickým rozšířením pásma 5GHz vyřešit technicko – regulační problematiku zejména v těchto okruzích otázek:

- Nezbytnost respektování alokace dvou rádiových kanálů pro systémy rádiového určování (5635 MHz a 5645 MHz)
- Podmínky koexistence WiFi outdoor systému se systémy mytných bran a úzkopásmovými systémy ARS s velmi nízkou hodnotou hustoty výkonového toku přijímaného signálu (RTTT 5795 – 5815 MHz a ARS 5760 MHz)
- Nastavení regulačního mechanismu (evidence/registrace v rámci VO), který by pomohl řešit eventuální problémy spojené s možnou systémovou provozní nekázní (respektování systémů rádiového určování, systémů RTTT a ARS) a s očekávaným zaváděním provozu dalších technologií v pásmu 5 GHz (LAA-LTE/LTE-U)

Pro budoucí využívání úseku kmitočtů v rozsahu 5 725 – 5850 MHz nicméně bez výjimky platí veškeré poznatky a doporučení uvedené v rámci kapitol 4 a 5.

Na základě posouzení možností nasazení technologie WiFi v pásmu 5 GHz při realizaci sítí NGA je doporučováno:

- **WiFi systém využívající standard 802.11ac - v nesynchronizované verzi** použít pro zajištění sítě NGA pouze v oblasti, která je geograficky limitována a optimálně oddělena terénním reliéfem od okolního osídlení.

Bez omezení lze využít pouze jeden sektor v jednom přístupovém místě.

Při vhodném výběru místa pro přístupový bod lze při využití rádiového kanálu o $B = 40$ MHz zajistit spolehlivé připojení běžně dostupnou rychlostí alespoň 30 Mbit/s pro 26 účastníků a běžně dostupnou rychlostí alespoň 100 Mbit/s pro 8 účastníků.

Při využití rádiového kanálu o $B = 80$ MHz je možno zajistit spolehlivé připojení běžně dostupnou rychlostí alespoň 30 Mbit/s pro 56 účastníků a běžně dostupnou rychlostí alespoň 100 Mbit/s pro 17 účastníků.

Vždy je nutno zvážit míru aktuální obsazenosti kmitočtového pásma v lokalitě.

Využití kmitočtového spektra dalším operátorem je pak pásmu 5 470 – 5725 GHz značně omezeno. Další operátor může provozovat pouze nesousední rádiové kanály ke kanálům využívaným prvním operátorem, a to o $B = 40$ MHz nebo $B = 20$ MHz.

Použití nesynchronizované verze systému WiFi plně zachovává původní zejména ekonomické výhody v porovnání s kabelovými systémy.

- **WiFi systém využívající standard 802.11ac v synchronizované verzi** lze použít pro oblasti s hustějším osídlením. Počet přístupových míst a počet sektorů je omezen kapacitou použité synchronizační jednotky. V tomto případě lze zajistit připojení pro desítky či stovky účastníků v dané oblasti, a to jak běžně dostupnou rychlostí alespoň 30 Mbit/s tak i běžně dostupnou rychlostí alespoň 100 Mbit/s.

Využití kmitočtového spektra v pásmu 5 470 – 5 725 MHz dalším operátorem je při využití 3 kmitočtů pro realizaci sítě omezeno na jeden rádiový kanál o $B = 40\text{MHz}$ případně omezený počet rádiových kanálů o $B = 20\text{MHz}$.

Využití kmitočtového spektra v pásmu 5 470 – 5 725 MHz dalším operátorem je při využití 4 kmitočtů pro realizaci sítě v dané lokalitě vyloučeno.

Efektivita nasazení synchronizované verze systému WiFi se snižuje přímo úměrně s vyspělostí použitého synchronizačního systému. Zejména jsou ale výrazně oslabovány původní ekonomické výhody systémů WiFi v porovnání s kabelovými systémy.

2. Úvod

V období přibližně 2001 – 2011 došlo v ČR v oblasti elektronických komunikací k masívnímu rozvoji výstavby a využívání rádiových (bezdrátových) WiFi sítí ve vnějším prostředí (outdoor) pro přístup k síti internetu.

V roce 2015 se tento tržní segment nacházel přibližně v následující kondici:

TAB 1

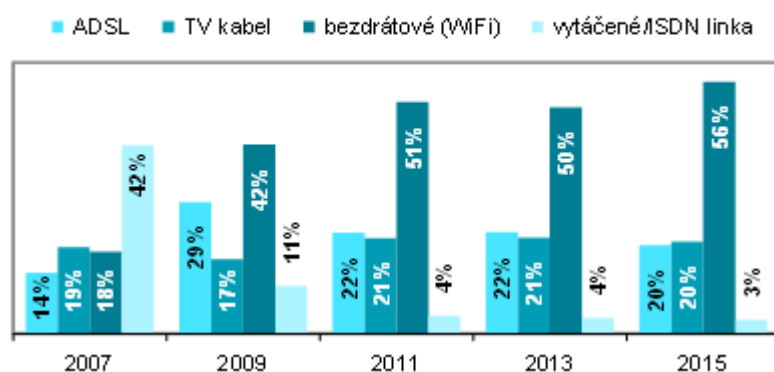
Domácnosti v ČR s připojením k internetu

	2013	2014	2015
Celkem	67,0	72,1	73,1

Jedná se o podíl z celkového počtu domácností. V závěru roku 2015 ČSÚ uvádí počet 4 324 650 domácností v ČR.

TAB 2.

Způsob připojení k internetu používaný domácnostmi*



*podíl z celkového počtu domácností s internetem celkem a v dané skupině

Zdroj: ČSÚ, Šetření o využívání ICT v domácnostech a mezi jednotlivci, Informační společnost v číslech - 2016

<https://www.czso.cz/csu/czso/informacni-spolecnost-v-cislech-2016>

Na konci roku 2015 bylo uváděno 3 161 320 domácností s připojením k internetu a z toho 1 770 340 domácností využívalo pevného bezdrátového WiFi připojení.

Přibližný počet subjektů – poskytovatelů služby: 1 455 v celkem 10 638 lokalitách (obce, místní části)

Zdroj: <http://www.internetprovsechny.cz/wifi/>

V září 2016 bylo uváděno následující rozdělení pevného připojení podle krajů a podle pěti rychlostních kategorií:

TAB 3

Rozdělení WiFi připojení podle rychlostí (downlink)

	[Mbit/s]				
	30+	20-30	10-20	5-10	0-5
Karlovarský	26,7%	25,0%	22,0%	17,2%	9,1%
Plzeňský	26,4%	25,1%	23,9%	16,1%	8,2%
Jihočeský	27,2%	25,3%	22,3%	15,8%	9,4%
Ústecký	26,7%	24,5%	22,3%	16,9%	9,5%
Liberecký	22,5%	22,3%	21,9%	18,8%	14,5%
Středočeský	25,7%	24,7%	23,0%	16,2%	10,3%
Praha	28,1%	25,9%	22,5%	15,2%	8,2%
Královéhradecký	25,6%	25,0%	22,2%	16,3%	10,9%
Pardubický	23,0%	22,9%	22,4%	19,2%	12,6%
Vysočina	25,7%	25,2%	23,2%	15,6%	10,4%
Jihomoravský	27,2%	26,0%	23,0%	14,5%	9,4%
Olomoucký	25,9%	24,2%	22,3%	17,5%	10,2%
Moravskoslezský	27,5%	25,2%	22,3%	15,9%	9,2%
Zlínský	25,4%	24,3%	22,6%	16,7%	11,0%
Průměr	25,97%	24,68%	22,56%	16,57%	10,21%
Počet	459 757	436 920	399 389	293 345	180 752

Zdroj: <http://www.dsl.cz/clanky/rychlosti-wi-fi-internetu-na-dsl-cz-v-zari-2016>

3. Zajištění provozu bezdrátových sítí.

V ČR je regulačním orgánem umožněno využívání rádiových kmitočtů pro provoz bezdrátových sítí na základě dodržení podmínek Všeobecného oprávnění anebo Individuálního oprávnění.

Všeobecné oprávnění č. VO-R/12/09.2010-12 stanovuje pravidla k využívání rádiových kmitočtů a k provozování zařízení pro širokopásmový přenos dat v pásmech 2,4 GHz až 66 GHz.

Všeobecné oprávnění č. VO-R/10/05.2014-3 stanovuje pravidla k využívání rádiových kmitočtů a k provozování zařízení krátkého dosahu.

Všeobecné oprávnění č. VO-R/14/12.2012-17 stanovuje pravidla k využívání rádiových kmitočtů a k provozování zařízení v kmitočtovém pásmu 10 GHz.

Všeobecné oprávnění č. VO-R/23/09.2013-5 stanovuje pravidla k využívání rádiových kmitočtů a k provozování zařízení pevné služby v kmitočtových pásmech 71–76 GHz a 81–86 GHz.

Provoz zařízení podle všeobecného oprávnění:

Rádiové kmitočty v částech kmitočtového spektra využívané, které jsou obecně označovány jako pásma 2,4 a 5 GHz, jsou převážně využívány k zajišťování provozu účastnické části přístupových sítí, a to v režimu P-to-MP. Nicméně v této části kmitočtového pásma jsou realizovány rovněž rádiové

spoje P to P buď jako samostatné účastnické přípojky anebo i jako distribuční spoje v rámci přístupových sítí.

Části kmitočtového spektra v oblasti 10, 17, 24, 60 a 71 až 86 GHz jsou využívány převážně pro rádiové spoje typu P to P buď jako samostatné přípojky anebo jako distribuční spoje v přístupové části sítě.

Provoz zařízení podle individuálního oprávnění:

Části kmitočtového spektra v oblasti zejména 11, 23 GHz ale i další, jsou využívány převážně pro rádiové spoje typu P to P buď jako samostatné přípojky anebo jako distribuční spoje v přístupové části sítě. Výjimkou je část kmitočtového spektra v oblasti 3,5 GHz, která je využívána pro přístupové sítě v konfiguraci P-to-MP.

4. Využití rádiových kmitočtů v rozsahu 5470 až 5725 MHz k zajišťování sítí NGA.

V současnosti je jedním z hlavních cílů NPRSNG v rámci programu DAE, zajistit a rozšířit pro obyvatele ČR možnosti poskytování služby připojení k vysokorychlostnímu internetu tak, aby prostřednictvím sítí NGA bylo možno zajistit spolehlivé poskytování a podporu nejrůznějších vyspělých digitálních služeb včetně konvergovaných služeb spočívajících plně na technologii IP, včetně možnosti spolehlivého provozu IPTV.

Dotací programy EU umožňují za účelem posílení dynamiky rozvoje sítí NGA poskytovat při dodržení stanovených pravidel státní příspěvky privátním subjektům se zaměřením prioritně na budování optických sítí. Nicméně stanovená pravidla umožňují využití poskytnutého příspěvku i k podpoře budování vyspělých bezdrátových přístupových sítí, které umožní splnění parametrů určených pro sítě NGA.

Vzhledem k ojedinělé velikosti tržního segmentu WiFi sítí v ČR je předmětem posouzení možnost využití technologií WiFi v kmitočtovém pásmu 5470 až 5725MHz označovaného jako „pásmo 5 GHz“ (podle Všeobecného oprávnění č. VO-R/12/09.2010-12) k zajišťování sítí NGA.

4.1. Výhody a nevýhody technologií WiFi v kmitočtovém pásmu 5470 až 5725MHz pro budování přístupové sítě

Výhody:

- Rychlá instalace systému
- Jednoduchá montáž u účastníka
- Velmi nízké CAPEX a OPEX,
- Relativně velmi rychlá návratnost investice v porovnání s kabelovou technologií

Nevýhody:

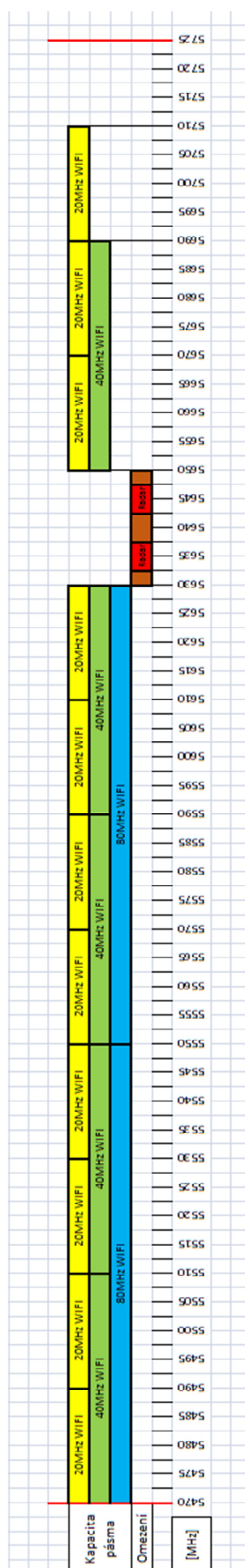
- Využití kmitočtového spektra jako sdíleného média.
- Vznik intrasystémového a intersystémového rušení.
- Všeobecné oprávnění dovoluje v dané oblasti uvádět do provozu stále další systémy odlišných provozovatelů, přitom ochrana provozovatele je možná pouze podle podmínek stanovených VO (čl. 2, písm. h) a zákonem č. 127/2005 Sb. (§100).
- Díky fyzikálním vlastnostem rádiového kanálu, klesá možná vzdálenost účastníka od přístupového bodu (AP) se stoupající možnou propustností rádiového kanálu.

- Rušení (odstup užitečného signálu od šumu $-C/N$) výrazně ovlivňuje hodnotu dosažitelné propustnosti rádiového kanálu a současně spolehlivost poskytované služby.

4.2. Disponibilní pásmo rádiových kmitočtů 5470 až 5725MHz.

TAB 4 ukazuje typický příklad možného využití kmitočtového pásma souborem rádiových kanálů. Je vyznačena šířka rádiových kanálů $B = 20, 40$ a 80 MHz. Počet možných rádiových kanálů je přiměřeně snížen alokací dvou rádiových kanálů pro systémy rádiového určování, což jsou v podmínkách ČR dva meteorologické radary na středových kmitočtech 5635 MHz a 5645 MHz. V tomto kmitočtovém pásmu lze tedy provozovat 11 rádiových kanálů se šířkou $B = 20$ MHz nebo 5 rádiových kanálů se šířkou $B = 40$ MHz či 2 rádiové kanály se šířkou $B = 80$ MHz. Jsou možné i vzájemné kombinace rádiových kanálů s rozdílnou šířkou B .

TAB 4 – WiFi kmitočtový plán pásma 5470 až 5725MHz



4.3. Standard IEEE 802.11ac, maximální teoretická datová rychlost v rádiovém kanálu a reálná datová propustnost (throughput)

Doposud byly WiFi systémy provozovány převážně se šířkou rádiového kanálu $B = 20$ MHz. To umožňovalo dosahovat při využití normy IEEE 802.11n, MCS15 (64QAM-5/6, $N_{ss}=2$), maximální teoretické datové rychlosti v rádiovém kanálu (data rate) 144,4 Mbps, která byla podle příslušné hodnoty agregace dělena mezi obsluhované účastníky. Se stoupající běžně dostupnou (reálnou) rychlostí připojení pro účastníka byl postupně možný počet účastníků sdílejících jeden rádiový kanál omezován.

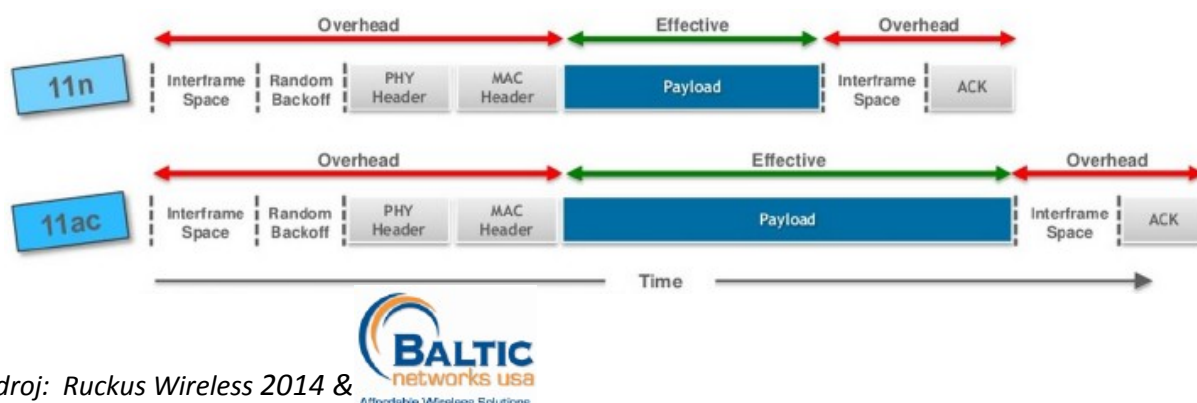
V případě sítí NGA je však jedním ze zásadních požadavků zajištění spolehlivého připojení pro účastníka nejméně rychlostí 30 Mbps pro efektivní počet účastníků obsluhovaných jedním rádiovým kanálem. Je tedy nezbytné, využít jiného standardu, který dovoluje při různých šířkách rádiového kanálu B dosahovat vyšších maximálních teoretických datových rychlostí.

Reálná datová propustnost rádiového kanálu je ovšem ve skutečnosti nižší. Je to způsobeno především objemem systémových dat, která nejsou nositelem přenášené informace (služby) tzv. Overhead.

Reálná datová propustnost spoje (throughput) = 40 – 70 % maximální teoretické datové rychlosti (Max. Data rate).

TAB 5 ukazuje princip poměru užitečná data (payload)/ Overhead.

TAB 5 – Throughput



Zdroj: Ruckus Wireless 2014 &

Praktický příklad poměru payload/overhead je uveden v TAB 6, a to pro šest různých P to MP systémů.

Uvedené hodnoty overhead platí pro následující parametry přístupového bodu a přijímače v systému P to MP:

Mikrotik, SXT5, NV2, MCS7, 64QAM-5/6, $N_{ss}=2$, $B=20$ MHz, max. propustnost **144,4 Mbps**.

$P_{tx} = 30$ dBm, $G_{ant Rx} = 17$ dBi

Rozsah vzdáleností přijímačů od AP 90 – 350 m.

TAB 6 – Overhead Mikrotik, NV2

		Reálná propustnost kanálu [Mbps]		Reálná propustnost kanálu [%]		Overhead [%]	
Označení Rx stanice	Vzdálenost Rx stanice od AP[m]	Min	Max	Min	Max	Min	Max
1	240 - 260	53	94,9	36,7%	65,7%	63,3%	34,3%
2	100 - 270	51	86	35,3%	59,6%	64,7%	40,4%
3	150-230	66	74,5	45,7%	51,6%	54,3%	48,4%
4	90-270	64,8	102,6	44,9%	71,1%	55,1%	28,9%
5	170-350	59,8	92,8	41,4%	64,3%	58,6%	35,7%
6	201-224	74,7	98,8	51,7%	68,4%	48,3%	31,6%
		Průměr		42,6%	63,4%	57,4%	36,6%

Přehled maximálních teoretických datových rychlostí (data rate) pro jednotlivá modulační kódová schémata (MCS) standardu 80.11ac spolu s odpovídající reálnou datovou propustností při overhead 35% a pro šířky rádiových kanálů B = 20 MHz, 40 MHz a 80 MHz je uveden v TAB 7 až TAB 9.

TAB 7 – Overhead pro kanál B = 20 MHz

B = 20 MHz, GI = 400 ns				
	Nss = 1		Nss = 2	
VHT - MCS	Data rate [Mbps]	Throughput[Mbps]	Data rate [Mbps]	Throughput[Mbps]
0	7,2	4,7	14,4	9,4
1	14,4	9,4	28,9	18,8
2	21,7	14,1	43,3	28,1
3	28,9	18,8	57,8	37,6
4	43,3	28,1	86,7	56,4
5	57,8	37,6	115,6	75,1
6	65,0	42,3	130	84,5
7	72,2	46,9	144,4	93,9
8	86,7	56,4	173,3	112,6
9	N/A	N/A	N/A	N/A

TAB 8 – Overhead pro kanál B = 40 MHz

B = 40 MHz, GI = 400 ns				
	Nss = 1		Nss = 2	
VHT - MCS	Data rate [Mbps]	Throughput[Mbps]	Data rate [Mbps]	Throughput[Mbps]
0	15,0	9,8	30	19,5
1	30,0	19,5	60	39,0
2	45,0	29,3	90	58,5
3	60,0	39,0	120	78,0
4	90,0	58,5	180	117,0
5	120,0	78,0	240	156,0
6	135,0	87,8	270	175,5
7	150,0	97,5	300	195,0
8	180,0	117,0	360	234,0
9	200	130,0	400	260,0

TAB 9 – Overhead pro kanál B = 80 MHz

B = 80 MHz, GI = 400 ns				
	Nss = 1		Nss = 2	
VHT - MCS	Data rate [Mbps]	Throughput[Mbps]	Data rate [Mbps]	Throughput[Mbps]
0	32,5	21,1	65	42,3
1	65,0	42,3	130	84,5
2	97,5	63,4	195	126,8
3	130,0	84,5	260	169,0
4	195,0	126,8	390	253,5
5	260,0	169,0	520	338,0
6	292,5	190,1	585	380,3
7	325,0	211,3	650	422,5
8	390,0	253,5	780	507,0
9	433,3	281,6	866,7	563,4

4.4. Posouzení maximální vzdálenosti účastníka od přístupového bodu

Při posuzování maximální vzdálenosti účastníka od přístupového bodu jsou zásadní dva faktory:

- Výsledek energetické bilance rádiového spoje, tedy úroveň přijímaného signálu v místě účastníka daná základními parametry systému.
- Požadavek na zajištění požadované maximální teoretické/reálné datové rychlosti v rádiovém kanálu, která je odvozena z hodnoty požadované minimální citlivosti přijímače Rxmin podle IEEE 802.11ac, pro příslušné MCS.

TAB 10 Energetická bilance rádiového spoje 802.11ac při konkrétních vstupních parametrech pro výpočet

$P_{tx} = +30 \text{ dBm}$

$G_{antx} = G_{anttx} = 17 \text{ dBi}$

Rádiový kmitočet $f = 5,6 \text{ GHz}$

Srážková oblast – hydrometeory $h = 32 \text{ mm/hod}$

Délka trasy [km]	Úroveň Rx [dBm]
0,1	-43,7
0,2	-49,9
0,3	-53,6
0,4	-56,4
0,5	-58,1
1	-64,1
1,5	-67,7
2	-70,2

TAB 11 Vztah maximální teoretické/reálné datové rychlosti v rádiovém kanálu (TAB 7,8,9) k požadované minimální citlivosti přijímače R_{xmin} .

			Min. citlivost R_{xmin} [dBm]			Ideální C/N [dB]
			B = 20 MHz	B = 40 MHz	B=80 MHz	B=20,40,80 MHz
MCS 0	BPSK	1/2	-82	-79	-76	18,9
MCS1	QPSK	1/2	-79	-76	-73	21,9
MCS 2	QPSK	3/4	-77	-74	-71	23,9
MCS 3	16QAM	1/2	-74	-71	-68	26,9
MCS 4	16QAM	3/4	-70	-67	-64	30,9
MCS 5	64QAM	2/3	-66	-63	-60	34,9
MCS 6	64QAM	3/4	-65	-62	-59	35,9
MCS 7	64QAM	5/6	-64	-61	-58	36,9
MCS 8	256QAM	3/4	-59	-56	-53	41,9
MCS 9	256QAM	5/6	-57	-54	-51	43,9

Minimální požadovaná citlivost přijímače R_{xmin} pro konkrétní MCS a šíři rádiového kanálu B je předpokladem pro dosažení konkrétní maximální teoretické/reálné datové rychlosti v rádiovém kanálu (TAB 7, 8, 9). Uvedené hodnoty však platí pouze, pokud se systém nachází v prostředí, kde je

možno zachovat ideální poměr C/N, tedy odstup úrovně signálu R_{xmin} od základní hladiny Gausovského kanálového šumu NF (viz TAB. 12)

TAB 12 Hodnoty základní hladiny Gausovského kanálového šumu NF pro jednotlivé šířky rádiového kanálu B

NF _(80MHz)	-94,9	dBm
NF _(40MHz)	-97,9	dBm
NF _(20MHz)	-100,9	dBm

Příklad:

Rádiový kanál o šířce $B = 80$ MHz je přijímán ve vzdálenosti 0,2 km.

Jakou reálnou propustnost (throughput) lze v rádiovém kanálu dosáhnout?

Řešení:

- TAB. 10 – signál je ve vzdálenosti 0,2 km přijímán s úrovní $R_x = -49,9$ dBm.
- TAB. 11 – pro kanál o $B = 80$ MHz, MCS9 (256QAM-5/6) je požadována minimální citlivost přijímače $R_{xmin} = -51$ dBm.
- TAB. 9 – v rádiovém kanálu o $B = 80$ MHz, MCS 9, $N_{ss} = 2$, lze dosáhnout data rate = 866,7 Mbps, což odpovídá při předpokládaném overhead 35% reálné propustnosti 563,4 Mbps.

4.5. Posouzení maximálního počtu účastníků, které je možno obsloužit v rámci jednoho rádiového kanálu systému P to MP.

Při posuzování maximálního počtu účastníků, které je možno obsloužit v rámci jednoho rádiového kanálu jsou zásadní dva faktory:

- Minimální požadovaná rychlost spolehlivého připojení účastníka
- Předpokládaná agregace rychlostí v systému
- Šířka rádiového kanálu
- Předpokládaná konkrétní propustnost

Pro běžné parametry rádiového přístupového systému v jeho účastnické části, je-li poskytována služba prostého připojení k internetu, je většinou postačující, jak ukázala praxe, počítat pro rádiový kanál s agregací 1:4 k dosažení požadované běžně dostupné rychlosti připojení účastníka. Pokud však předpokládáme, že v rámci systému budou poskytovány i nejrůznější vyspělé digitální služby včetně konvergovaných služeb spočívajících plně na technologii IP, včetně možnosti spolehlivého provozu IPTV, ukazuje praxe, že je nutno počítat spíše s agregací 1:3 a méně.

TAB. 13 až 18 uvádí předpokládané počty účastníků, které by bylo možno obsloužit v rádiovém kanálu při konkrétní požadované běžně dostupné rychlosti spolehlivého připojení na účastníka a příslušné šířce rádiového kanálu B. Hodnota agregace je uvažována 1:3.

TAB 13 Počet účastníků pro běžně dostupnou rychlost 30 Mbps, B = 20 MHz

B = 20 MHz, GI = 400 ns						
	Nss = 1			Nss = 2		
VHT - MCS	Data rate [Mbps]	Throughput[Mbps]	Max počet účastníků v sektoru	Data rate [Mbps]	Throughput[Mbps]	Max počet účastníků v sektoru
0	7,2	4,7	0	14,4	9,4	0
1	14,4	9,4	0	28,9	18,8	0
2	21,7	14,1	0	43,3	28,1	0
3	28,9	18,8	0	57,8	37,6	4
4	43,3	28,1	0	86,7	56,4	6
5	57,8	37,6	4	115,6	75,1	8
6	65,0	42,3	4	130	84,5	8
7	72,2	46,9	5	144,4	93,9	9
8	86,7	56,4	6	173,3	112,6	11
9	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

TAB 14 Počet účastníků pro běžně dostupnou rychlost 30 Mbps, B = 40 MHz

B = 40 MHz, GI = 400 ns						
	Nss = 1			Nss = 2		
VHT - MCS	Data rate [Mbps]	Throughput[Mbps]	Max počet účastníků v sektoru	Data rate [Mbps]	Throughput[Mbps]	Max počet účastníků v sektoru
0	15,0	9,8	0	30	19,5	0
1	30,0	19,5	0	60	39,0	4
2	45,0	29,3	0	90	58,5	6
3	60,0	39,0	4	120	78,0	8
4	90,0	58,5	6	180	117,0	12
5	120,0	78,0	8	240	156,0	16
6	135,0	87,8	9	270	175,5	18
7	150,0	97,5	10	300	195,0	20
8	180,0	117,0	12	360	234,0	23
9	200	130,0	13	400	260,0	26

TAB 15 Počet účastníků pro běžně dostupnou rychlost 30 Mbps, B = 80 MHz

B = 80 MHz, GI = 400 ns						
	Nss = 1			Nss = 2		
VHT - MCS	Data rate [Mbps]	Throughput[Mbps]	Max počet účastníků v sektoru	Data rate [Mbps]	Throughput[Mbps]	Max počet účastníků v sektoru
0	32,5	21,1	0	65	42,3	4
1	65,0	42,3	4	130	84,5	8
2	97,5	63,4	6	195	126,8	13
3	130,0	84,5	8	260	169,0	17
4	195,0	126,8	13	390	253,5	25
5	260,0	169,0	17	520	338,0	34
6	292,5	190,1	19	585	380,3	38
7	325,0	211,3	21	650	422,5	42
8	390,0	253,5	25	780	507,0	51
9	433,3	281,6	28	866,7	563,4	56

TAB 16 Počet účastníků pro běžně dostupnou rychlost 100 Mbps, B = 20 MHz

B = 20 MHz, GI = 400 ns						
	Nss = 1			Nss = 2		
VHT - MCS	Data rate [Mbps]	Throughput[Mbps]	Max počet účastníků v sektoru	Data rate [Mbps]	Throughput[Mbps]	Max počet účastníků v sektoru
0	7,2	4,7	0	14,4	9,4	0
1	14,4	9,4	0	28,9	18,8	0
2	21,7	14,1	0	43,3	28,1	0
3	28,9	18,8	0	57,8	37,6	0
4	43,3	28,1	0	86,7	56,4	0
5	57,8	37,6	0	115,6	75,1	0
6	65,0	42,3	0	130	84,5	0
7	72,2	46,9	0	144,4	93,9	0
8	86,7	56,4	0	173,3	112,6	3
9	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

TAB 17 Počet účastníků pro běžně dostupnou rychlost 100 Mbps, B = 40 MHz

B = 40 MHz, GI = 400 ns						
	Nss = 1			Nss = 2		
VHT - MCS	Data rate [Mbps]	Throughput[Mbps]	Max počet účastníků v sektoru	Data rate [Mbps]	Throughput[Mbps]	Max počet účastníků v sektoru
0	15,0	9,8	0	30	19,5	0
1	30,0	19,5	0	60	39,0	0
2	45,0	29,3	0	90	58,5	0
3	60,0	39,0	0	120	78,0	0
4	90,0	58,5	0	180	117,0	4
5	120,0	78,0	0	240	156,0	5
6	135,0	87,8	0	270	175,5	5
7	150,0	97,5	0	300	195,0	6
8	180,0	117,0	4	360	234,0	7
9	200	130,0	4	400	260,0	8

TAB 18 Počet účastníků pro běžně dostupnou rychlost 100 Mbps, B = 80 MHz

B = 80 MHz, GI = 400 ns						
	Nss = 1			Nss = 2		
VHT - MCS	Data rate [Mbps]	Throughput[Mbps]	Max počet účastníků v sektoru	Data rate [Mbps]	Throughput[Mbps]	Max počet účastníků v sektoru
0	32,5	21,1	0	65	42,3	0
1	65,0	42,3	0	130	84,5	0
2	97,5	63,4	0	195	126,8	4
3	130,0	84,5	0	260	169,0	5
4	195,0	126,8	4	390	253,5	8
5	260,0	169,0	5	520	338,0	10
6	292,5	190,1	6	585	380,3	11
7	325,0	211,3	6	650	422,5	13
8	390,0	253,5	8	780	507,0	15
9	433,3	281,6	8	866,7	563,4	17

4.6. Vliv rušení na parametry rádiového kanálu podle IEEE 802.11 ac

Rušivý signál se svojí úrovní sčítá se základním kanálovým šumem a snižuje tak ideální odstup C/N podle TAB 11. Závislost propustnosti kanálu na odstupu S/N popisuje Shannon – Hartleyův vztah.

$$C_0 = B * \log_2 * \left(1 + \frac{C}{N}\right)$$

C_0 Propustnost rádiového kanálu [Mbps]

B Šířka rádiového kanálu [MHz]

C/N Odstup Signál – Šum v rádiovém kanálu

Podmínky přenosu signálu v rádiovém kanálu se při snížení poměru C/N v reálném systému mění zejména v těchto ohledech:

- Systém ve snaze zachovat optimální odstup C/N a tím i spolehlivý přenos dat automaticky snižuje stupeň MCS a tím dochází ke snížení reálné propustnosti kanálu a tedy ke snížení hodnoty běžně dostupné rychlosti připojení, kterou systém může poskytovat účastníkovi při daném počtu účastníků.
- Současně se i zvyšuje chybovost spojení (PLR – packet loss rate) což má za následek snižování spolehlivosti při poskytování vyspělých služeb založených na IP, v současnosti zejména služby IPTV.

Vznik rušení zásadně souvisí hlavně s těmito parametry:

- Počet využitelných rádiových kanálů v pásmu a návrh kmitočtového obsazení jednotlivých AP při pokrývání území jedním operátorem.
- Počet stávajících operátorů, kteří pokrývají stejné území a šířka rádiových kanálů B, které jsou využívány.

Možné povolené úrovně rušivých signálů pro sousední rádiový kanál (AC adjacent channel) a nesousední rádiový kanál (NAC – non adjacent channel) jsou uvedeny v TAB 19. Jedná se o odstupy úrovně přijímaného signálu hlavního kanálu (rušeného) Rx od úrovně rušícího signálu AC a od úrovně rušícího signálu NAC na vstupu přijímače účastníka.

TAB 19 Povolené úrovně rušivého signálu AC a NAC podle IEEE 802.11ac

MCS	AC, 20,40,80 MHz [dB]	NAC, 20,40,80 MHz [dB]
0	16	32
1	13	29
2	11	27
3	8	24
4	4	20
5	0	16
6	-1	15
7	-2	14
8	-7	9
9	-9	7

Kmitočtové spektrum v pásmu WiFi 5470 až 5725MHz je z velké míry využíváno operátory, kteří zajišťují provoz svých systémů převážně s využitím rádiových kanálů o $B = 20$ MHz. Jak ukazuje TAB 4 lze využívat v uvedeném kmitočtovém pásmu až 10 těchto kanálů. Je tak možno sestavovat rozličné kombinace provozních kanálů s AC a NAC kanály. Je tak řešitelný návrh systému pro jednoho operátora pokrývajícího rozlehlejší území (větší počet vysílacích sektorů). Tento způsob využití kmitočtového pásma rovněž zjednodušuje vzájemnou koexistenci několika nezávislých systémů (operátorů) na zhruba identickém území. Pochopitelně cenou z takové řešení je nižší datová propustnost rádiového kanálu.

Praktický příklad obsazenosti kmitočtového spektra 5470 až 5725MHz několika WiFi systémy je uveden v TAB 20 a 21.

Při využívání rádiových kanálů s $B = 40$ MHz případně $B = 80$ MHz se jejich disponibilní počet v uvedeném kmitočtovém pásmu rapidně sníží stejně jako možnost sestavovat kombinace provozních kanálů s AC a NAC kanály. Snižuje se rovněž možnost opakování rádiových kmitočtů (vysílacích sektorů) na daném území stejně jako možnost vzájemné koexistence nezávislých systémů (operátorů).

4.7. Konfigurace přístupového bodu AP, obsazení sektorů, využití rádiových kmitočtů

Analýza poměrů na jednom AP vybaveném více Tx anténami do více azimutů.

Pro AP není využita synchronizace.

Použitá anténa:

Carrier Clas (výrobce RF elements)

90 deg/pro -3dB

Potlačení zisku na 60 deg = cca 8 dB

Gtx = 20 dBi

F/B (předo-zadní) poměr: min 29 dB

Ptx = 30 dBm

a) Antény rozevřené po 120 deg.

$Rx \text{ rušící} = Ptx - 8 \text{ dB} + 12 \text{ dB} = + 34 \text{ dBm}$

Při použití identických rádiových kanálů je signál vždy rušen neboť maximální povolená úroveň přijímaného signálu na přijímači $Rx_{max} = -30 \text{ dBm}$. Úroveň rušícího signálu je zcela mimo limit. Při využití rádiových kanálů AC a NAC je úroveň rušícího signálu rovněž zcela mimo povolené limity.

(TAB 10,19)

b) Antény rozevřené po 180 deg, protilehlé.

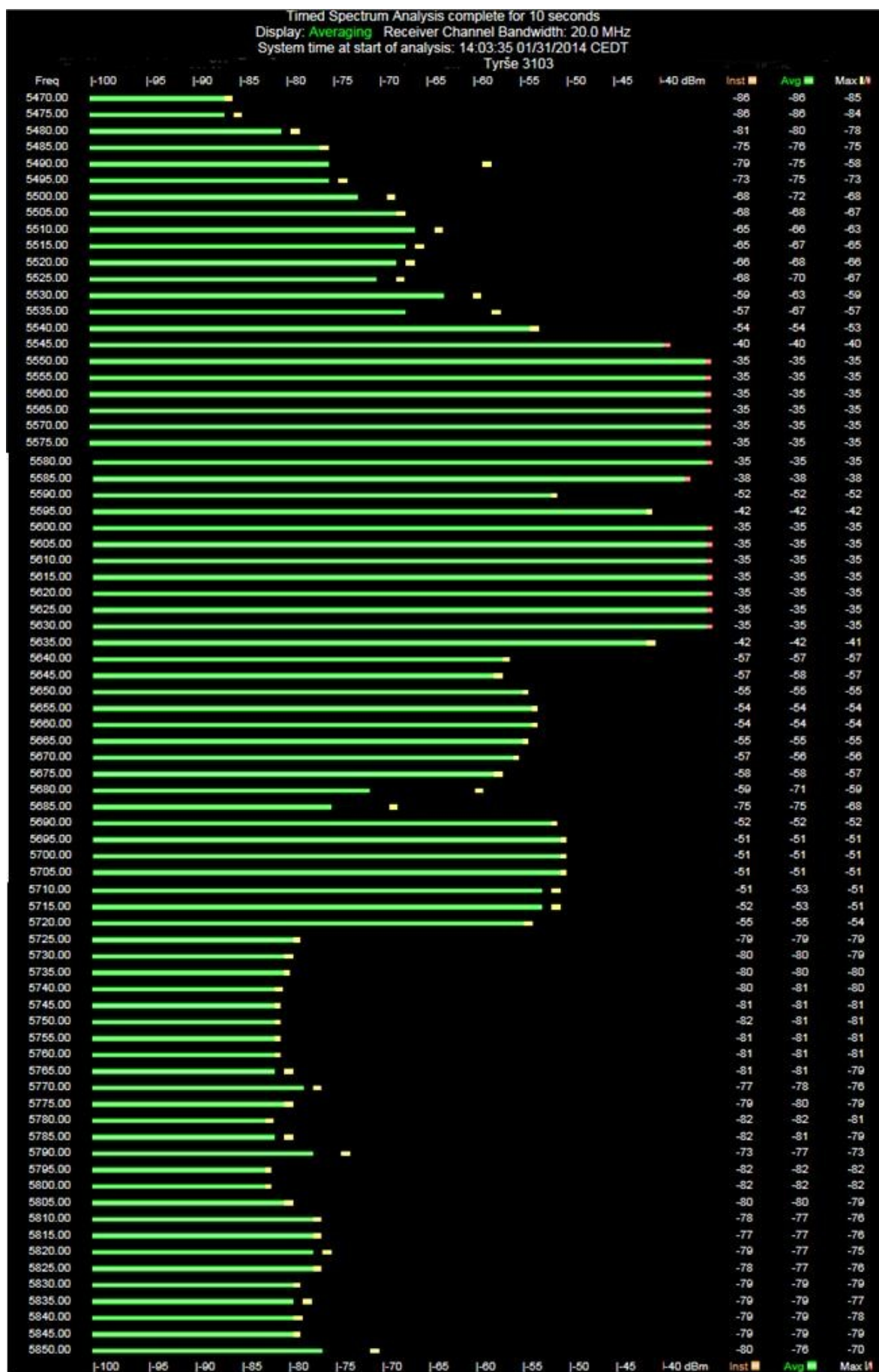
$Rx \text{ rušící} = Ptx - 29\text{dB} - 9\text{dB} = - 8 \text{ dBm}$

Při použití identických rádiových kanálů je signál vždy rušen neboť maximální povolená úroveň přijímaného signálu na přijímači $Rx_{max} = -30 \text{ dBm}$. Úroveň rušícího signálu je zcela mimo limit. Při využití rádiových kanálů AC a NAC je úroveň rušícího signálu rovněž zcela mimo povolené limity.

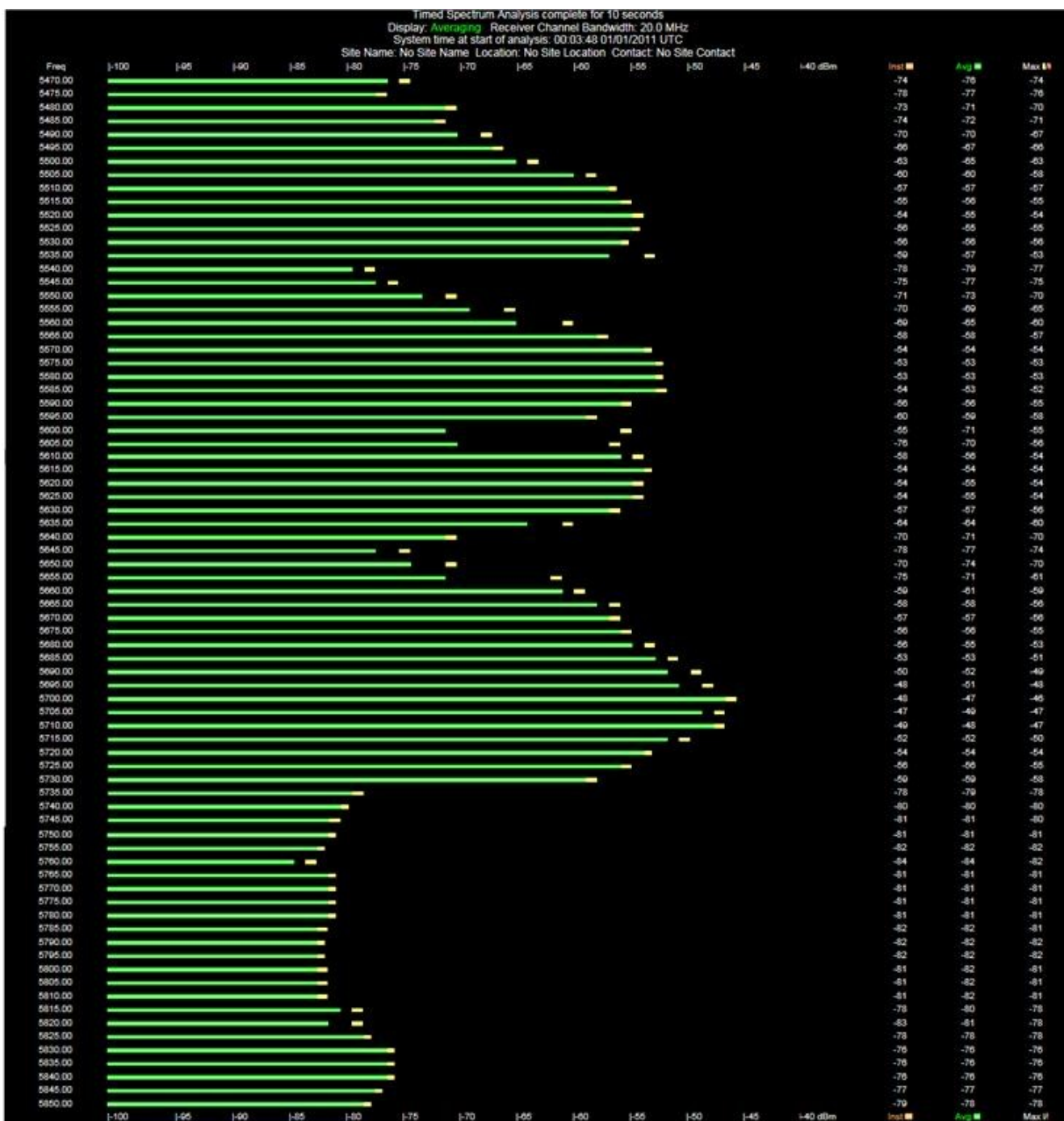
(TAB 10,19). Výpočet ovšem platí pouze pro ideální prostředí bez dodatečného rušení.

Bez omezení lze tedy v jedné lokalitě využívat pouze jeden rádiový kanál tedy jeden sektor, pokud není využita synchronizace.

TAB 20 Příklad obsazení spektra v konkrétní lokalitě a azimutu. Sídlo se 60 000 obyvateli

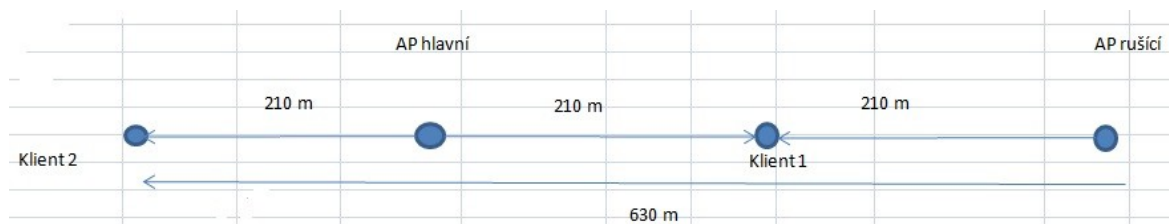


TAB 21 Příklad obsazení spektra v konkrétní lokalitě a azimutu. Sídlo se 100 000 obyvateli



Analýza poměrů vzájemného rušení v základním modelu konfigurace sítě

TAB 22 Základní model konfigurace sítě



Parametry systémů:

AP

$P_{tx} = 1W = 30 \text{ dBm}$, $B = 20 \text{ MHz}$, Max střední výk. hustota = $50 \text{ mW/MHz} = 17 \text{ dBm/MHz}$

$G_{tx} = 17 \text{ dBi}$

$H_{tx} = 15 \text{ m}$

$H_{rx} = 6 \text{ m}$

$F = 5,6 \text{ GHz}$

Oblast $h = 32 \text{ mm/hod}$

Účastník

Integrovaná klientská jednotka Mikrotik SXT

$G_{rx} = 17 \text{ dBi}$

$F/B = 15 \text{ dB}$

V jednotlivých variantách je vyšetřován vždy nejkritičtější případ, kdy AP hlavní přijímá signál z K1 a zároveň přichází rušící signál z AP rušící. Zároveň se předpokládá maximální teoretická datová rychlost 866,9 Mbit/s (MCS 9, $N_{ss} = 2$).

Var. 1 – Identický rádiový kanál, $B = 80 \text{ MHz}$ na AP hlavní i AP rušící

V konfiguraci podle modelu je při $N_{ss} = 2$ a MCS9 podle 802.11ac hodnota $C/N = 6 \text{ dB}$, spoj nelze realizovat (TAB 11).

Pro zajištění propustnosti kanálu 866,7 Mbps by měly být AP vzdáleny minimálně cca **48 km**.

Var. 2 – Identický rádiový kanál, $B = 80 \text{ MHz}$ na AP hlavní a $B = 40 \text{ MHz}$ na AP rušící

V konfiguraci podle modelu je při $N_{ss} = 2$ a MCS9 podle 802.11ac hodnota $C/N = 3 \text{ dB}$, spoj nelze realizovat (TAB 11).

Pro zajištění propustnosti kanálu 866,7 Mbps by měly být AP vzdáleny minimálně cca **48 km**.

Var. 3 – Sousední AC rádiové kanály, $B = 40 \text{ MHz}$ na AP hlavní a $B = 40 \text{ MHz}$ na AP rušící

V konfiguraci podle modelu je při $N_{ss} = 2$ a MCS9 podle 802.11ac hodnota $C/N = 6 \text{ dB}$,

Pro MCS 9 je stanoven limit AC rejection = -9 dB (TAB 19).

Pro zajištění propustnosti kanálu 866,7 Mbps by měly být AP vzdáleny nejméně **590 m** (z pův. 420m).

Var. 4 – Sousední AC rádiové kanály, B=80MHz na AP hlavní a B=40MHz na AP rušící

V konfiguraci podle modelu je při Nss=2 a MCS9 podle 802.11ac hodnota C/N = 3 dB,

Pro MCS 9 je stanoven limit AC rejection = -9 dB (TAB 19).

Pro zajištění propustnosti kanálu 866,7 Mbps by měly být AP vzdáleny nejméně **840 m** (z pův. 420m)

Var. 5 – Nesousední NAC rádiové kanály

V konfiguraci podle modelu je stanoven při Nss=2 a MCS9 podle 802.11ac limit NAC rejection = +7 dB.

K rušení v rámci systému nedojde.

Analýza zřetelně ukazuje, že na menších územích s vyšší hustotou obyvatelstva a tedy s nárokem na vyšší kapacitu rádiového kanálu bude návrh efektivní konfigurace sítě obtížný až nemožný.

4.8. Příklad konceptu systému pro pokrytí území konkrétní ZSJ WiFi systémem

Příklad 1

Z výsledků GeoSběru dat byla vybrána ZSJ č. 37745, Prostřední Suchá v obci Havířov.



Plocha ZSJ nedosahuje 2 km čtverečných.

Parametry ZSJ:

Počet provozovatelů WiFi: 5

Počet disponibilních přípojek WiFi současnost: 119

Počet disponibilních přípojek WiFi výhled: 879

Do tří let je podle sběru dat předpoklad vybudovat na území ZSJ 760 disponibilních WiFi přípojek s běžně dostupnou rychlostí připojení 30+ Mbit/s.

Pokud by byly použity AP každý s jedním sektorem o B=80MHz(MCS9, Nss=2) a propustností sektoru (Throughput) 563,4 Mbit/s, je možno předpokládat (při agregaci 1:3) maximální počet 56 účastníků

v sektoru, ve kterém bude poskytováno každému účastníkovi připojení s rychlostí alespoň 30 Mbps.(TAB 15)

Pro zajištění 760 disponibilních přípojek by tedy bylo nutno na území ZSJ uvést do provozu 13 až 14 sektorů.

S ohledem na výsledky předchozích analýz tento koncept nemá řešení.

4.9. Využití synchronizace v rámci WiFi outdoor systému

Norma IEEE 802.11ac předpokládá nasazení zařízení podle této specifikace zejména pro vnitřní prostředí, kde se mohou uplatnit veškeré techniky pro zvýšení kapacity a odolnosti systému. Jedná se zejména o techniku MU-MIMO, beamforming, prostorový multiplexing, atd.

U systémů navrhovaných do vnitřního prostředí lze například díky masivnímu více-cestnému šíření rádiového signálu s výhodou použít techniku MIMO spolu s dělením přenášeného datového toku až na 8 prostorových streamů. Jednou ze základních podmínek dokonalého využití všech pozitivních (fyzikálních, systémových) vlastností vícenásobného systému MIMO je jeho nasazení v prostředí s vysokým počtem odražených vln na přijímací anténě uživatele. Jedná se tedy o prakticky neexistující přímou viditelnost mezi přístupovým bodem a uživatelem.

Protože přístupový bod bývá osazen osmi i více všesměrovými anténami může být specifickým zpracováním vstupních signálů antén (změny fáze a amplitudy) efektivně (s minimálními náklady na cenu zařízení) měněna úroveň vysílaného signálu aktuálně do směru nejvyšší poptávky po přenosu dat (beamforming).

Systémy navrhované do vnějšího prostředí mají doposud jasně určenou architekturu a technické řešení, které ne zcela umožňuje za efektivní cenu realizovat všechny již zmíněné techniky pro zvýšení kapacity a odolnosti systému. Příkladně technika MIMO je používána v současnosti převážně v provedení do dvou prostorových streamů ($N_{ss} = 2$). V tomto případě je s výhodou využíváno oddělení vertikální a horizontální polarizace antén. Provedení se třemi prostorovými streamy by mělo využívat příčné polarizace antén, avšak není doposud běžně dostupné.

Příklad příčné polarizace antén:



Zdroj:



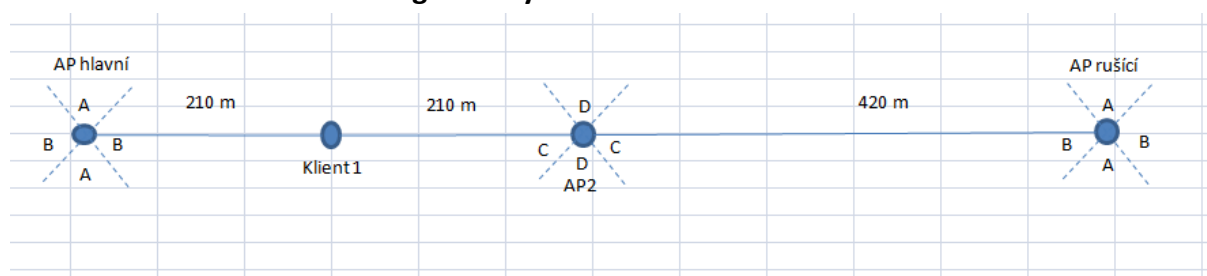
Vzájemné oddělení mezi polarizacemi by mělo být větší než 30 dB, což je obtížné a nákladně řešitelné.

Předpokládá se, že první technické řešení beamformingu v systému WiFi pro vnější prostředí by mělo být dostupné v závěru roku 2016 (systém Cambium ePMP 2000). Nicméně jedná se pouze o variantu, která řeší formování vyzařovacího diagramu přijímací antény na přístupovém bodu pro směr od účastníka na přístupový bod. V současnosti jsou náklady pouze na pořízení této přijímací antény odhadovány zhruba ve výši 2 000,- USD. Je zřejmé, že výrobce systému tedy předpokládá použití dvou antén na AP, a to vysílací a přijímací.

Nicméně někteří výrobci WiFi zařízení pro vnější prostředí používají poměrně efektivní nástroj, který umožňuje efektivnější rádiové plánování rádiového systému a zvyšuje jeho celkovou kapacitu (datovou propustnost) na konkrétním území, a to i při omezené kapacitě vyhrazené části kmitočtového spektra dané zvětšením šířky použitých rádiových kanálů. Tímto nástrojem je synchronizace.

Synchronizace umožňuje zajistit provoz systému WiFi (ve vnějším prostředí) tvořeného větším počtem vysílacích sektorů a přístupových bodů tak, aby v jednom časovém okamžiku všechny přístupové body (AP-sektory) vysílaly a v dalším časovém okamžiku přijímaly rádiový signál. Toto řešení umožňuje efektivní rádiové plánování sítě a zvyšuje kapacitu systému na pokrývaném území.

TAB 23 Základní model konfigurace synchronizované sítě



Při využití rádiových kanálů o $B = 40$ MHz lze pro plánování využít např. následující kmitočty (TAB 4):

A = 5 495 MHz

B = 5 545 MHz

C = 5 600 MHz

D = 5 695 MHz

Pro posouzení možné míry vzájemného rušení je kritická lokalita označená jako Klient 1. V lokalitě je přijímán ve stejném časovém okamžiku signál z AP hlavní a zároveň je rušen signálem z AP rušící, a to na identickém rádiovém kanálu.

Jsou uvažovány následující parametry systému:

AP

$P_{tx} = 1W = 30$ dBm, $B = 40$ MHz, Max střední výk. hustota = $20mW/MHz = 14$ dBm/MHz

$G_{tx} = 17$ dBi

$H_{tx} = 15$ m

$H_{rx} = 6$ m

$F = 5,6$ GHz

Oblast $h = 32$ mm/hod

Klient 1:

Integrovaná klientská jednotka ePMP 1000 Cambium

$G_{rx} = 14$ dBi

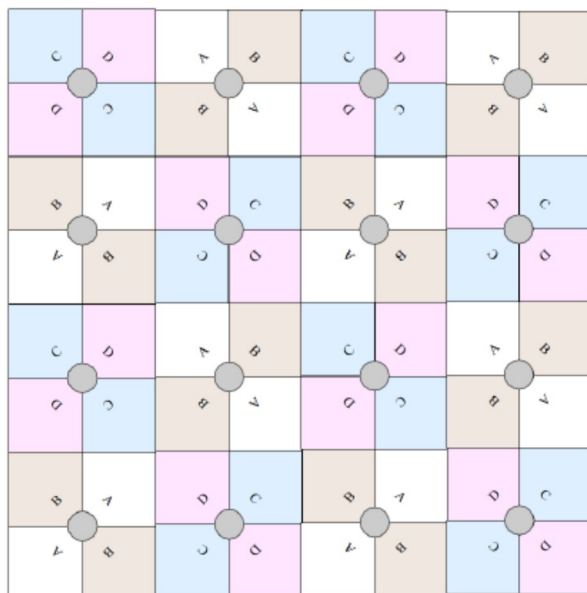
$F/B = 20$ dB

Příklad pro identický rádiový kanál, $B = 40$ MHz na AP hlavní i AP rušící.

V lokalitě Klient 1 je za uvedených podmínek předpokládán v rádiovém kanálu B odstup rušivého signálu od rušeného $C/N = 29,6$ dB. Tomuto C/N odpovídá snížená propustnost kanálu s hodnotou pro MCS 4 tedy 180 Mbps (pro MCS 9, 400 Mbps je potřebná hodnota $C/N = 43,9$, viz TAB 11).

Zavedení synchronizace v systému pokrývajícím určité území rádiovým signálem tedy dovoluje s využitím několika vhodně volených rádiových kanálů (TAB 4) navrhnout přiměřeně efektivní rádiovou síť. Kapacita sektoru je však díky velikosti poměru C/N omezena.

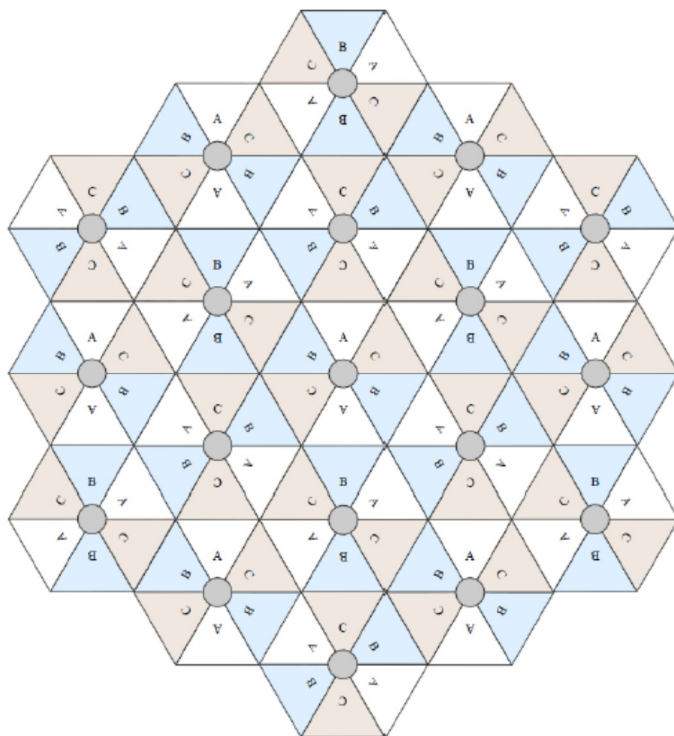
TAB 24 Příklad rádiové synchronizované sítě s využitím čtyř NAC kanálů



Zdroj: Cambium Networks

Při poloměru jedné buňky 210m lze v rámci uvedeného příkladu zajistit prostřednictvím 16 přístupových bodů se 64 sektory poskytování služby připojení k internetu s běžně dostupnou rychlostí nejméně 30 Mbit/s pro účastníka přibližně 768 účastníkům (TAB 14). Poskytování služby připojení k internetu s běžně dostupnou rychlostí nejméně 100 Mbit/s pro účastníka přibližně 256 účastníkům (TAB 17).

TAB 25 Příklad rádiové synchronizované sítě s využitím tří NAC kanálů



Zdroj: Cambium Networks

Pro tento druhý příklad buňkové sítě je v lokalitě Klient 1 za uvedených podmínek předpokládán v rádiovém kanálu B odstup rušivého signálu od rušeného $C/N = 34$ dB. Tomuto C/N odpovídá snížená propustnost kanálu pro MCS 5 tedy 240 Mbps (pro MCS 9, 400 Mbps je potřebná hodnota $C/N = 43,9$, viz TAB 11).

Při poloměru jedné buňky 210m lze v rámci uvedeného příkladu zajistit prostřednictvím 19 přístupových bodů se 114 sektory poskytování služby připojení k internetu s běžně dostupnou rychlostí nejméně 30 Mbit/s pro účastníka přibližně 1824 účastníkům (TAB 14). Poskytování služby připojení k internetu s běžně dostupnou rychlostí nejméně 100 Mbit/s pro účastníka přibližně 570 účastníkům (TAB 17).

Nasazení efektivního synchronizovaného systému nicméně vylučuje na daném území efektivní využívání části kmitočtového spektra v rozsahu 5 470 – 5 725 MHz dalším operátorem.

Znovu je připomínáno, že uvedené výpočty jsou provedeny v teoretické rovině bez uvážení jakéhokoliv přídatného rušení, terénních překážek či zástavby, vícecestného šíření či dalších vlivů.

4.10. WiFi outdoor systémy v kmitočtovém pásmu 5 725 – 5850 MHz

Unikátní velikost tržního segmentu outdoor WiFi sítí v ČR využívajících k zajišťování služby připojení k internetu kmitočtové pásmo 5 470 – 5 725 MHz (podle Všeobecného oprávnění č. VO-R/12/09.2010-12) vede mimo jiné ke vzniku negativních efektů (kap. 4.1):

- Využití kmitočtového spektra jako sdíleného média více operátory v dané geograficky vymezené lokalitě
- Vznik intrasystémového a intersystémového rušení.

- Všeobecné oprávnění dovoluje v dané oblasti uvádět do provozu stále další systémy odlišných provozovatelů, přitom ochrana provozovatele je možná pouze podle podmínek stanovených VO (čl. 2, písm. h) a zákonem č. 127/2005 Sb. (§100).
- Díky fyzikálním vlastnostem rádiového kanálu, klesá možná vzdálenost účastníka od přístupového bodu (AP) se stoupající možnou propustností rádiového kanálu.
- Rušení (odstup užitečného signálu od šumu $-C/N$) výrazně ovlivňuje hodnotu dosažitelné propustnosti rádiového kanálu a současně spolehlivost poskytované služby.

Přitom je stále zřetelnější intenzivní snaha operátorů WiFi outdoor sítí poskytovat svým účastníkům službu se stále vyšší rychlostí připojení. Na místo současných 6 či 8 Mbit/s ve směru k účastníkovi jsou stále více nabízeny služby s rychlostí 10, 20 i 30+ Mbit/s. Při definované šířce využitelného kmitočtového pásma tento posun vede k zesilování zmíněných negativních efektů, a to zejména ke zvyšování úrovně intrasystémového a intersystémového rušení, snižování připojitelného počtu účastníků na jeden přístupový bod a zvláště pak ke snižování spolehlivosti poskytované služby připojení k internetu.

Nicméně snaha operátorů o navyšování rychlosti je logicky zcela v souladu s NPRSNG, jehož cílem v rámci programu DAE s pomocí dotačního programu EU je zajistit a rozšířit pro obyvatele ČR možnosti poskytování služby připojení k vysokorychlostnímu internetu tak, aby prostřednictvím sítí NGA bylo možno zajistit spolehlivé poskytování a podporu nejrůznějších vyspělých digitálních služeb včetně konvergovaných služeb spočívajících plně na technologii IP, včetně možnosti spolehlivého provozu IPTV.

Potřeba zajištění koexistence provozu velkého množství účastnických terminálů a přístupových bodů na daném území a zajištění poskytování vyšších přístupových rychlostí vede k požadavku na využívání co nejširších souvislých úseků kmitočtového spektra.

S ohledem na uvedené skutečnosti a z toho vyplývající potřeby a s ohledem na reálný vývoj harmonizace využití kmitočtového spektra na mezinárodní úrovni je velmi aktuální očekávat konkrétní kroky národního regulátora ČTÚ, které povedou ke zpřístupnění další části kmitočtového pásma 5 GHz a jeho využívání podle všeobecného oprávnění.

U pásma 5 GHz vzhledem k současnému a očekávanému vývoji v Evropě je pravděpodobné další zpřístupnění pásma pouze v úseku 5725 – 5850 MHz. V souvislosti s velikostí tržního segmentu outdoor WiFi sítí v ČR využívajícího stávající pásmo kmitočtů 5470 – 5725 MHz, současným dynamickým vývojem a z toho vyplývajících již zmiňovanými negativními efekty lze nicméně očekávat, že ke zpřístupnění další části pásma 5 GHz v ČR by mohlo dojít v předstihu před očekávanými harmonizačními kroky po konferenci WRC-19.

Kmitočtové pásmo 5 GHz by pak bylo zpřístupněno v rozsahu 5470 – 5850 MHz. Původní šířka kmitočtového pásma by byla navýšena o dalších 125 MHz tedy o 49% z původních 255 MHz na 380 MHz.

Při nezbytném respektování alokace dvou rádiových kanálů pro systémy rádiového určování, což jsou v podmínkách ČR dva meteorologické radary na středových kmitočtech 5635 MHz a 5 645 MHz, by bylo možno provozovat v pásmu 5GHz po jeho rozšíření až 18 rádiových kanálů se šířkou $B = 20$ MHz nebo 9 rádiových kanálů se šířkou $B = 40$ MHz či 4 rádiové kanály se šířkou $B = 80$ MHz (viz TAB 26). Jsou možné i vzájemné kombinace rádiových kanálů s rozdílnou šířkou B .

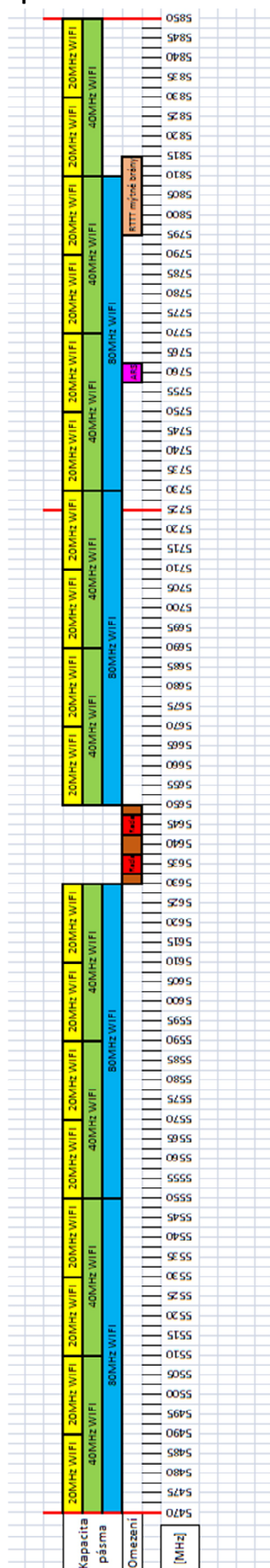
Teoreticky při zachování stávající úrovně poskytovaných služeb by například bylo možno navýšit počet operátorů v dané geograficky vymezené oblasti o 49% (tedy z 1 na 2 či z 6 na 9).

Vzhledem k výjimečné velikosti tržního segmentu outdoor WiFi sítí, intenzitě využívání kmitočtového pásma 5GHz, zmíněným negativním efektům a z toho vyplývající míře systémové provozní nekázně provozovatelů bude pravděpodobně velmi důležité v předstihu před faktickým rozšířením pásma 5GHz vyřešit technicko – regulační problematiku zejména v těchto okruzích otázek:

- Nezbytnost respektování alokace dvou rádiových kanálů pro systémy rádiového určování (5635 MHz a 5645 MHz, ve smyslu zejména ECC Report 192)
- Podmínky koexistence WiFi outdoor systému se systémy mýtných bran a úzkopásmovými systémy ARS s velmi nízkou hodnotou hustoty výkonového toku přijímaného signálu (RTTT 5795 – 5815 MHz a ARS 5760 MHz)
- Nastavení regulačního mechanismu (evidence/registrace v rámci VO), který by pomohl řešit eventuální problémy spojené s možnou systémovou provozní nekázní operátorů (respektování systémů rádiového určování, systémů RTTT a ARS) a s očekávaným zaváděním provozu dalších technologií v pásmu 5 GHz (LAA-LTE/LTE-U)

Pro budoucí využívání úseku kmitočtů v rozsahu 5 725 – 5850 MHz nicméně bez výjimky platí veškeré poznatky a doporučení uvedené v rámci kapitol 4 a 5.

TAB 26 – WiFi kmitočtový plán pásma 5470 až 5850MHz



5. Doporučení.

Předchozí uvedené informace vedou k následujícím doporučením:

- a) **WiFi systém využívající standard 802.11ac** - je doporučováno v **nesynchronizované verzi** použít pro zajištění sítě NGA pouze v oblasti, která je geograficky limitována a optimálně oddělena terénním reliéfem od okolního osídlení.

Bez omezení lze využít pouze jeden sektor v jednom přístupovém místě.

Při vhodném výběru místa pro přístupový bod lze při využití rádiového kanálu o $B = 40$ MHz zajistit spolehlivé připojení běžně dostupnou rychlostí alespoň 30 Mbit/s pro 26 účastníků a běžně dostupnou rychlostí alespoň 100 Mbit/s pro 8 účastníků (TAB 14).

Při využití rádiového kanálu o $B = 80$ MHz je možno zajistit spolehlivé připojení běžně dostupnou rychlostí alespoň 30 Mbit/s pro 56 účastníků a běžně dostupnou rychlostí alespoň 100 Mbit/s pro 17 účastníků (TAB 17).

Vždy je nutno zvážit míru aktuální obsazenosti kmitočtového pásma v lokalitě.

Využití kmitočtového spektra dalším operátorem je pak pásmu 5 470 – 5725 GHz značně omezeno. Další operátor může provozovat pouze nesousední rádiové kanály ke kanálům využívaným prvním operátorem, a to o $B = 40$ MHz nebo $B = 20$ MHz (TAB 4).

Použití nesynchronizované verze systému WiFi plně zachovává původní zejména ekonomické výhody v porovnání s kabelovými systémy.

- b) **WiFi systém využívající standard 802.11ac** - v **synchronizované verzi** lze použít pro oblasti i s poměrně hustým osídlením. Počet přístupových míst a počet sektorů je omezen kapacitou použité synchronizační jednotky. V tomto případě lze zajistit připojení pro desítky až stovky účastníků v dané oblasti, a to jak běžně dostupnou rychlostí alespoň 30 Mbit/s tak i běžně dostupnou rychlostí alespoň 100 Mbit/s.

Využití kmitočtového spektra v pásmu 5 470 – 5725 MHz dalším operátorem je při využití 3 kmitočtů pro realizaci sítě omezeno na jeden rádiový kanál o $B = 40$ MHz případně omezený počet rádiových kanálů o $B = 20$ MHz (TAB 4).

Využití kmitočtového spektra v pásmu 5 470 – 5725 MHz dalším operátorem je při využití 4 kmitočtů pro realizaci sítě v dané lokalitě vyloučeno.

Efektivita nasazení synchronizované verze systému WiFi se snižuje úměrně s vyspělostí použitého synchronizačního systému. Zejména jsou ale výrazně oslabovány původní ekonomické výhody systémů WiFi v porovnání s kabelovými systémy.

