

Radijske pristupne mreže

Doc. dr. sc. Gordan Šišul

Radijske mreže gradskih područja

(uvod, norme, frekvencijska područja rada i načela dodjele frekvencija)

Općenito o WMAN mrežama

- Radijske mreže gradskih područja (WMAN – *Wireless* MAN)
 - Prijenos podataka: radijsko sučelje
 - Proširenje i prilagodba WLAN tehnologije
 - Norme: u okviru IEEE radne skupine 802.16 i ETSI/BRAN projekta
 - U RH dodijeljena su frekvencijska područja 3400-3600 MHz i 24,5-26,5 GHz
- Tehnološke realizacije WMAN mreža razlikuju se po:
 - Kapacitetu
 - Načinu pristupa (vremenska, frekvencijska ili kodna raspodjela)
 - Načinu realizacije istodobnog dvosmjernog prijenosa (dupleksnog rada)
 - Simetričnosti/nesimetričnosti prijenosa za silaznu i uzlaznu vezu

Općenito o WiMAX-u

- Trenutna predviđanja: WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) najzastupljenija tehnologija unutar WMAN mreža
- Osnovne značajke WiMAX-a:
 - varijabilni kapacitet (ovisno o širini kanala, vrsti modulacije, zaštitnom kodiranju, pokretnosti korisničke opreme) do ~75 Mbit/s po baznoj postaji
 - koristi OFDM i OFDMA
 - TDD/FDD način dupleksnog rada
 - TDMA FDMA višestruki pristup
 - iznimna prilagodljivost, uporaba najnovijih tehnoloških saznanja (promjenljivi modulacijski postupci i kodiranja, inteligentne antene, MIMO tehnika...)

Namjena i obilježja frekv. područja

- Namjena
 - Širokopojasne usluge
 - povezivanje na Internet, prijenos govora, prijenos videotelefonskih signala, prijenos podataka i sl.
 - Infrastruktura mobilnih mreža
 - ovisi o politici uporabe spektra u pojedinim zemljama
- Obilježja u 3,5 GHz području
 - propagacija je općenito ograničena na približnu optičku vidljivost (moguća čak i NLOS komunikacija)
 - propagacija kroz lišće je relativno dobra
 - prijenosna udaljenost iznosi do 20 km
 - potrebna je koordinacija sa službama koje rade u istom frekvencijskom području
 - postoje različite tehnološke izvedbe sustava, a uređaji i oprema su umjerenih cijena
 - uz fiksni pristup predviđena je mogućnost korištenja i mobilnog pristupa

Obilježja frekv. područja (nastavak)

- Obilježja u 24,5 GHz području
 - propagacija je ograničena samo na optičku vidljivost
 - kao faktor u proračunu propagacije javlja se i gušenje zbog kiše
 - antene su malih dimenzija
 - prijenosna udaljenost iznosi do 10 km
 - dobre su mogućnosti ponavljanja frekvencija (*frequency reuse*)
 - potrebna je koordinacija sa službama koje rade u istom frekvencijskom području
 - raspoloživa je veća širina frekvencijskog pojasa pa su moguće veće brzine prijenosa
- Zaključno
 - sustavi koji rade u 3,5 GHz području koristit će se kao pristupne mreže, dok će sustavi u 24,5 GHz području biti više upotrebljavani kao povezne mreže (*backhaul*)

Frekvencijska područja rada WMAN-a

- Frekvencijska područja za sustave širokopoasnoga radijskog pristupa u Europi

Frekvencijsko područje	ECC/ERC dokument	Namjena (ERC REPORT 25)
3400–3600 MHz	ECC/REC 04–05; ERC/REC 13–04 ; ERC/REC 14–03; ECC/DEC 07–02	BWA
3600–3800 MHz		BWA
5725–5875 MHz	ECC/REC 06–04	BFWA
10,15–10,30 GHz	ERC/REC 13–04; CEPT/ERC/REC 12–05	FWA
10,50–10,65 GHz		FWA
24,5–26,5 GHz	ERC/REC 00–05 ; ERC/REC 13–04	FWA
27,5–29,5 GHz	ERC/REC 01–03 ; ERC/REC 13–04	FWA

- područje od najvećeg interesa: 3400-3600 MHz, u nekim državama se koristi i 3600-3800 MHz
- ECC (*Electronic Communications Committee*); nasljednik je ERC-a (*European Radiocommunications Committee*); CEPT (*The European conference of Postal and Telecommunications Administrations*)

Frekvencijska područja rada WMAN-a

- ECC je donio 30.03.2007. odluku o dostupnosti frekvencijskog područja 3400–3800 MHz za harmoniziranu primjenu BWA sustava (*ECC Decision of 30 March 2007 on availability of frequency bands between 3400–3800 MHz for the harmonised implementation of Broadband Wireless Access systems (BWA)*).
 - (ECC/DEC/(07)02) dozvoljava fleksibilne tzv. korisničke načine rada (nepokretni, nomadski, mobilni) u frekvencijskom području 3400–3600 MHz i/ili 3600–3800 MHz i limitira gustoću maksimalne izračene snage korisničke opreme na razinu od 25 dBm/MHz.
- Pod pojmom BFWA (*Broadband Fixed Wireless Access*) osim nepokretnog podrazumijeva se i nomadski pristup, dok FWA označava samo nepokretni pristup.
- U svim odlukama i preporukama ne definira se tehnologija koja se koristi u dodijeljenim područjima.

Frekvencijska područja rada WMAN-a

- Pregled dokumenata koji pokrivaju područje radijskog pristupa:
 - ECC/REC/(04)05: Preporučene smjernice za smještaj i dodjelu u P2MP nepokretnim radijskim sustavima za frekvencijska područja 3,4–3,6 GHz i 3,6–3,8 GHz (*Recommended guidelines for accommodation and assignment of multipoint Fixed Wireless Systems in frequency bands 3.4–3.6 and 3.6–3.8 GHz*)
 - ERC/REC 13–04: Prikladna frekvencijska područja za nepokretni radijski pristup u području između 3 i 29,5 GHz (*Preferred frequency bands for fixed wireless access in the frequency range between 3 and 29.5 GHz*)
 - ERC/REC 14–03: Harmonizirani raspored radiofrekvencijskih kanala za sustave malog i srednjeg kapaciteta u pojasu 3400 MHz do 3600 MHz (*Harmonised radio frequency channel arrangements and block allocations for low and medium capacity systems in the band 3400 MHz to 3600 MHz*)
 - ECC/REC/(06)04: Korištenje frekvencijskog područja 5725–5875 MHz za širokopolasni nepokretni radijski pristup (*Use of the band 5725–5875 MHz for Broadband Fixed Wireless Access (BFWA)*)
 - ERC/REC/(00)05: Korištenje frekvencijskog područja 24,5–26,5 GHz za nepokretni radijski pristup (*Use of the band 24.5 – 26.5 GHz for Fixed Wireless Access*)

Frekvencijska područja rada WMAN-a

- ERC/REC/(01)03: Korištenje dijelova frekvencijskog područja 27,5–29,5 GHz za nepokretni radijski pristup (*Use of parts of the band 27.5–29.5 GHz for Fixed Wireless Access (FWA)*)
- T/R 13–02: Prikladan raspored kanala za nepokretne službe u području 22,0–29,5 GHz (*Preferred channel arrangements for fixed services in the range 22.0–29.5 GHz*)
- CEPT/ERC/REC 12–05: Harmonizirani raspored radiofrekvencijskih kanala za digitalne zemaljske nepokretne sustave koji rade u frekvencijskom području 10,0 GHz do 10,68 GHz (*Harmonised radio frequency channel arrangements for digital terrestrial fixed systems operating in the band 10.0 GHz to 10.68 GHz*)
- CEPT/ERC/REC 12–08: Harmonizirani raspored radiofrekvencijskih kanala i blokova za sustave malog, srednjeg i velikog kapaciteta u pojasu 3600 MHz do 4200 MHz (*Harmonised radio frequency channel arrangements and block allocations for low, medium and high capacity systems in the band 3600 MHz to 4200 MHz*). Napomena: ovo je nešto starija preporuka.

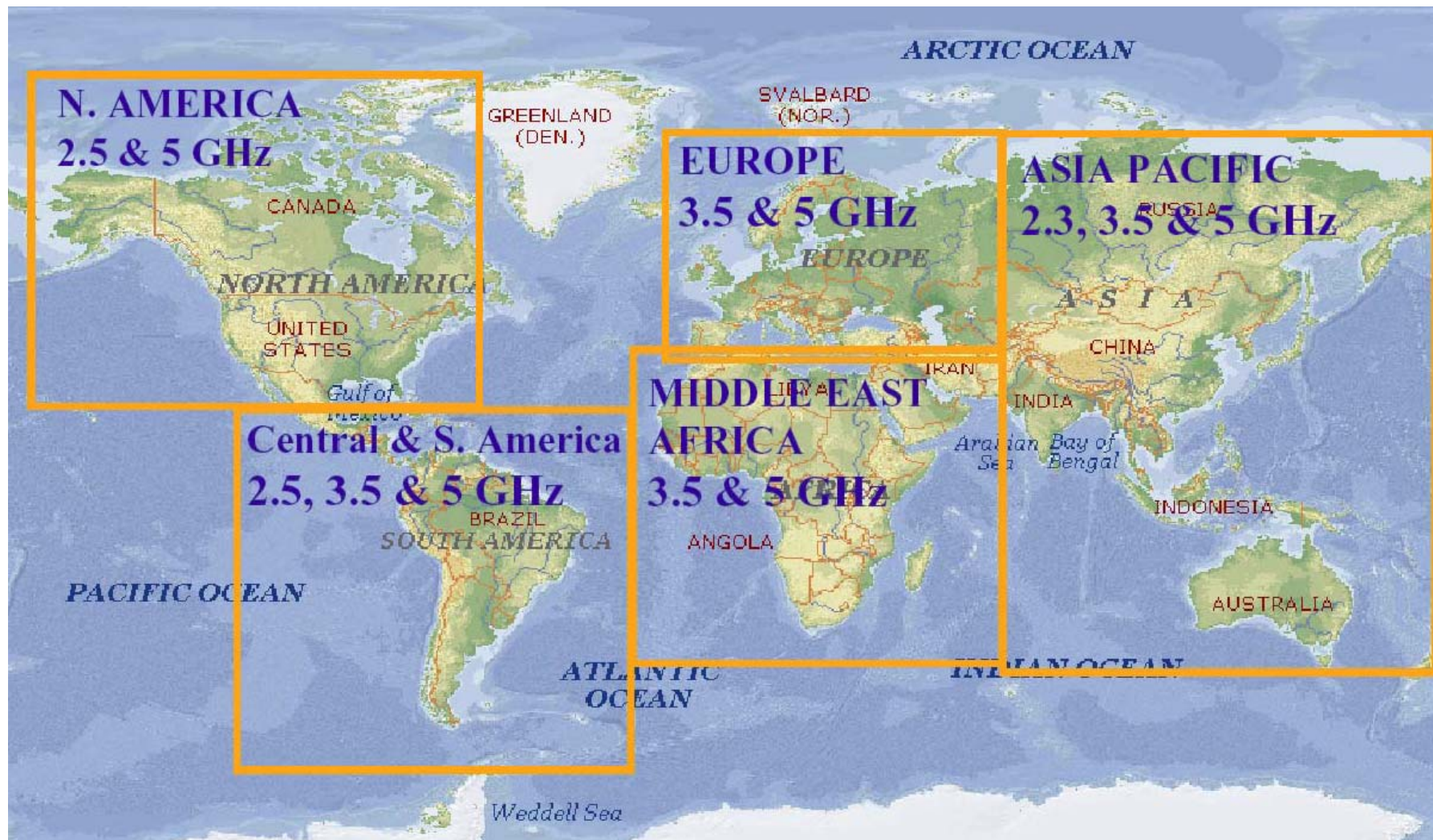
Frekvencijska područja rada WMAN-a

- ERC REPORT 25: Europska tablica namjene radiofrekvencijskog spektra u frekvencijskom području 9 kHz–1000 GHz (*The European Table Of Frequency Allocations And Utilisations In The Frequency Range 9 kHz to 1000 GHz*)
- Frekvencijska područja za sustave širokopoasnoga radijskog pristupa u Hrvatskoj

Frekvencijsko područje	ECC/ERC dokument	Namjena
3,4–3,6 GHz	ERC/REC 13–04 ; ERC/REC 14–03	FWA
24,5–26,5 GHz	T/R 13–02; ERC/REC 13–04 ; ERC/REC 00–05	FWA

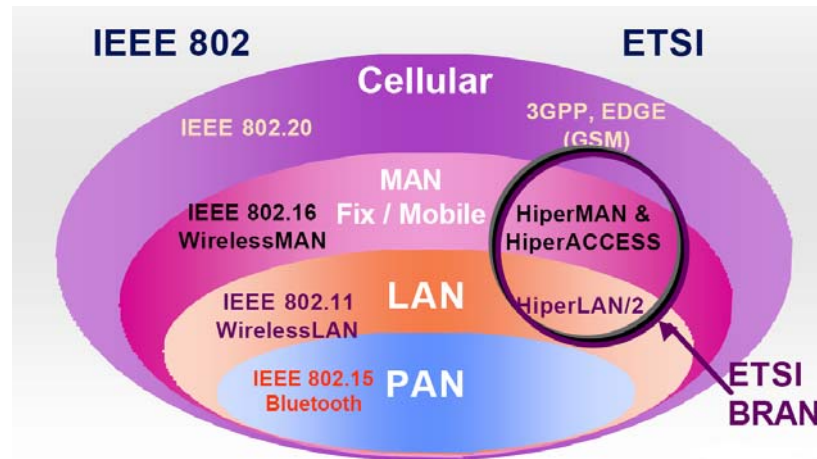
Frekvencijska područja za BWA

- Izvor: WiMAX Forum

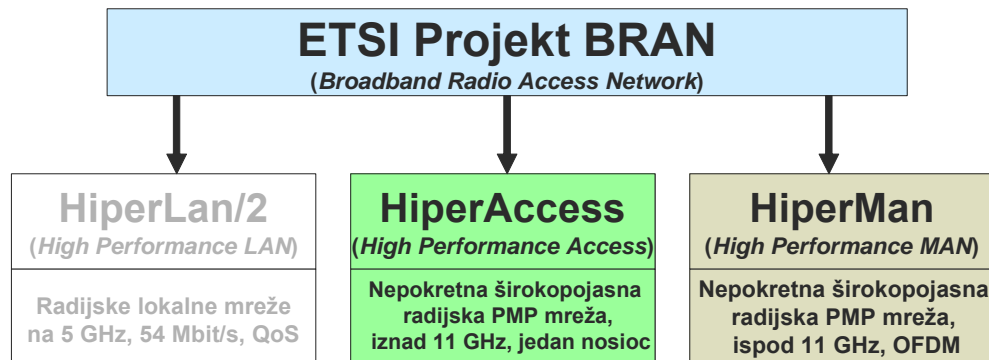


Norme za WMAN

- Razvijaju se unutar ETSI BRAN i Wireless MAN projekata



- Norme u okviru ETSI BRAN



Norme za WMAN - ETSI

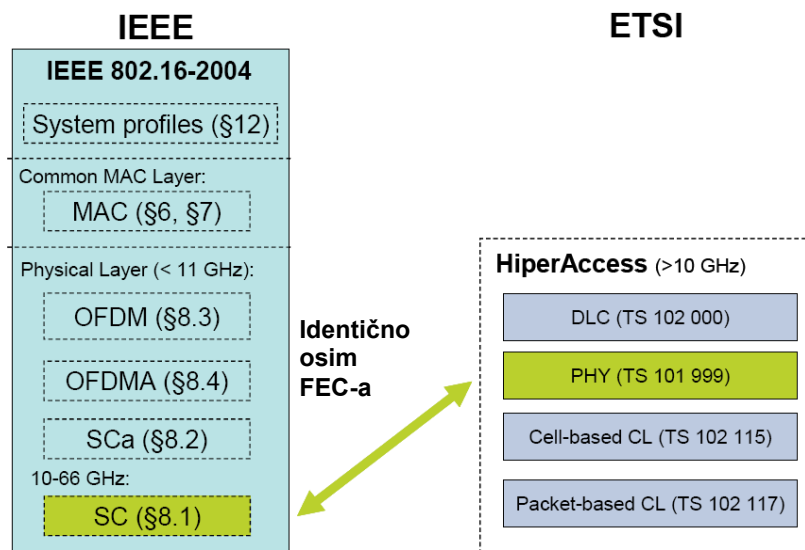
- HiperAccess

- Sustav je namijenjen za ekonomično povezivanje pojedinačnih korisnika te malih i srednjih poduzeća (SME – *Small to Medium Enterprises*) na jezgrenu mrežu, UMTS spojnu mrežu (*backhaul*). Moguće je pružanje IP usluga, prijenosa videosignala i ostalih širokopojasnih usluga, povezivanje s LAN mrežama kao i povezivanje s fiksnom telefonskom mrežom i ISDN mrežom. Fizički sloj i DLC (*Data Link Control*) sloj se razlikuju u odnosu na HiperMan sustav. Fizički sloj je prilagođen frekvencijskom području.
- Isključivo nepokretne mreže, LOS komunikacija. Prijenos se temelji na FDD i TDD tehnici, uz modulacijski postupak s jednim nositeljem (SC, *Single Carrier*). Predviđa se uporaba QPSK, 16-QAM i 64-QAM za silazni smjer, te QPSK i 16-QAM za uzlazni smjer. Za omogućavanje višestrukog pristupa rabi se TDMA. DLC sloj je prilagođen prvenstveno ATM prijenosu tako da se prenose paketi konstantne duljine, za razliku od HiperMan sustava koji je prilagođen IP prijenosu. Širina kanala iznosi 28 MHz, brzina prijenosa 22,4 MBd.

Norme za WMAN - ETSI

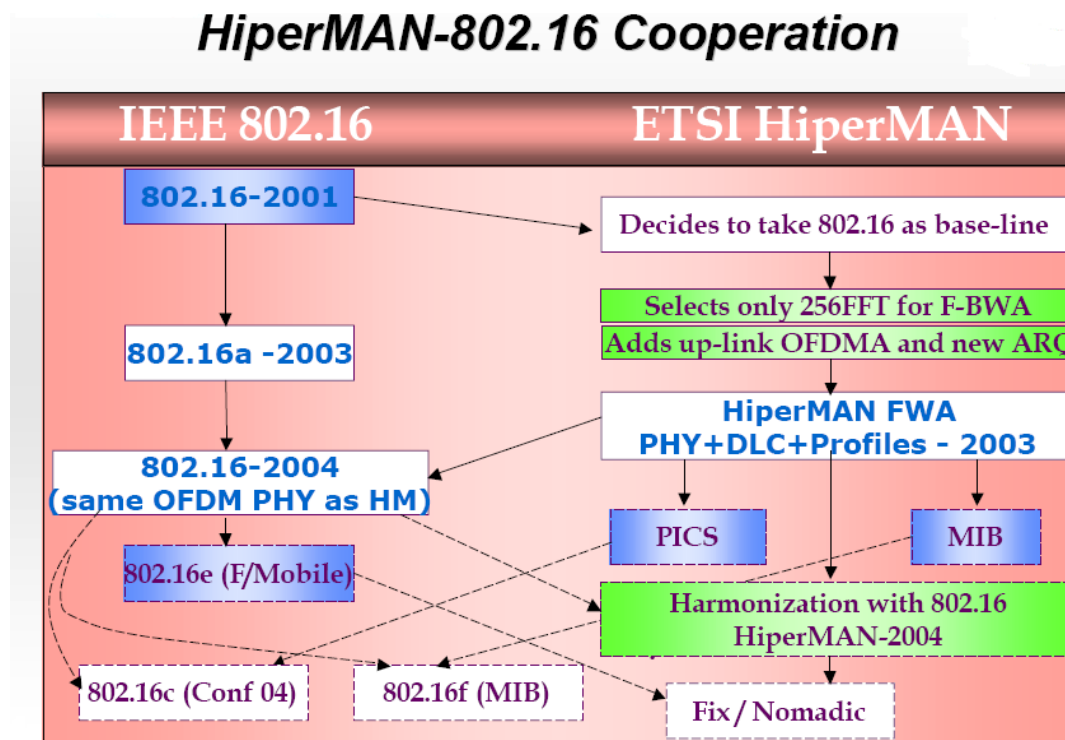
• HiperAccess (specifikacije)

- pregled HIPERACCESS sustava (ETSI TR 102 003 *Broadband Radio Access Networks (BRAN); HIPERACCESS; System Overview*);
- fizički sloj (ETSI TS 101 999 *Broadband Radio Access Networks (BRAN); HIPERACCESS; PHY protocol specification*);
- sloj za upravljanje podacima (ETSI TS 102 000 *Broadband Radio Access Networks (BRAN); HIPERACCESS; DLC protocol specification*);
- konvergencijski podslojevi za različite jezgrene mreže (ETSI TS 102 115; ETSI TS 102 117)



Norme za WMAN - ETSI

- HiperMan (*High Performance Radio Metropolitan Area Networks*)
 - 2-11 GHz područje, sustavi P2MP
 - Suradnja u normizaciji mreža vrste HiperMan i 802.16



Norme za WMAN - ETSI

- HiperMan

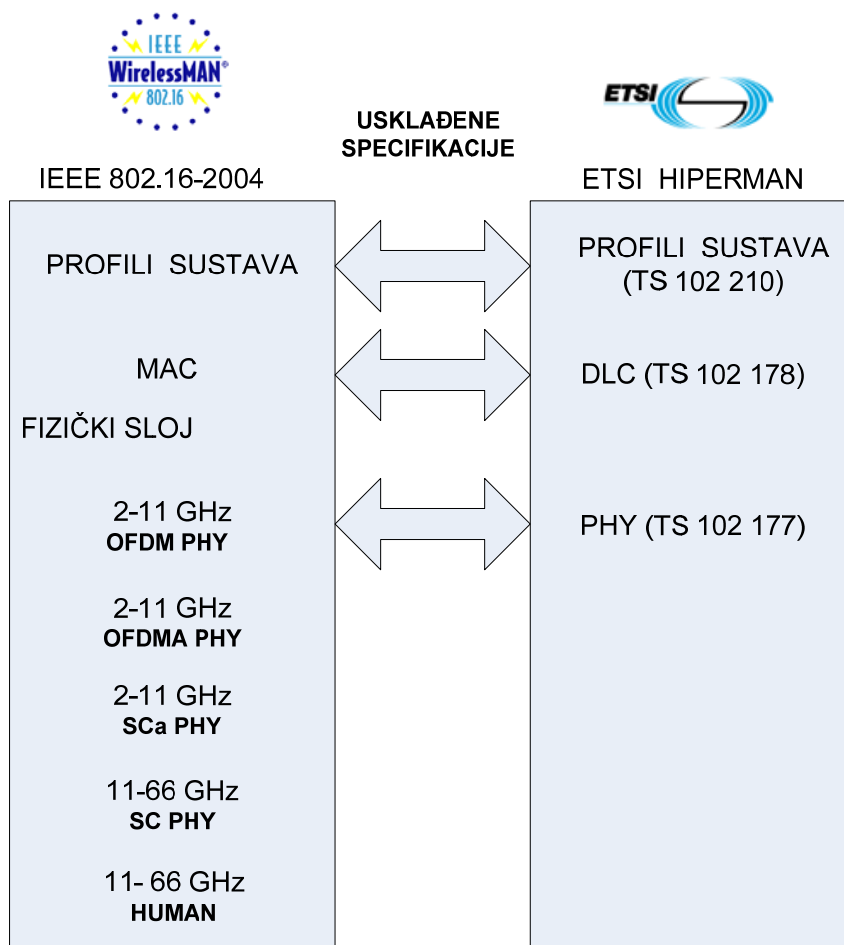
- uključuje prva dva sloja OSI referentnog modela: fizički sloj i sloj za upravljanje podacima (DLC), koji su neovisni o jezgrenoj mreži na koju se sustav povezuje.
- za prilagodbu određenoj vrsti jezgrene mreže rabe se konvergencijski podslojevi. Fizički sloj je realiziran uz primjenu OFDM modulacijske tehnike pri čemu pojedini podnosioci mogu biti modulirani primjenom QPSK, 16-QAM i 64-QAM. Ovako definirani parametri fizičkog sloja podudaraju se s parametrima fizičkog sloja definiranog u normi IEEE 802.16-2004.
- HiperMan definira samo jedan način rada fizičkog sloja i to: OFDM, FFT s 256 točaka. Norma podržava TDD i FDD način rada. DLC sloj u HiperMan mreži prilagođen je Internet-protokolu.
- Fizički sloj i DLC sloj osiguravaju upravljanje odašiljačkom snagom i parametrima modulacijskog postupka (mogu biti uključeni i postupci zaštite od pogreške)

Norme za WMAN - ETSI

- HiperMan (specifikacije)
 - fizički sloj (ETSI TS 102 177 *Broadband Radio Access Networks (BRAN); HiperMAN; Physical (PHY) layer*)
 - sloj za upravljanje podacima (ETSI TS 102 178 *Broadband Radio Access Networks (BRAN); HiperMAN; Data Link Control (DLC) layer*)
 - funkcionalne zahtjeve sustava (ETSI TR 101 856 *Broadband Radio Access Networks (BRAN); Functional Requirements for Fixed Wireless Access systems below 11 GHz: HIPERMAN*)
 - testiranja koja potvrđuju prilagođenje u radu između IEEE 802.16d-2004 i HIPERMAN-a (ETSI TS 102 385)
 - elektromagnetsku kompatibilnost za rad u nelicenciranom području

Norme za WMAN - ETSI

- HiperMan (usklađenost s IEEE normama)



Norme za WMAN - IEEE

- IEEE radna skupina 802.16
 - razmatra mreže u tri frekvencijska područja: 2 – 11 GHz, 10 – 66 GHz i frekvencijsko područje 5 – 6 GHz za čiju uporabu se ne plaća naknada (*licence-exempt frequencies*, frekvencijska područja razlikuju se u Europi i USA)
 - norma **802.16-2004**
 - Odnosi na nepokretni i nomadski pristup, a objavljena je u listopadu 2004. godine. To je popravljena i združena verzija prijašnjih normi.
 - norma **802.16e** (označava se i kao **802.16e-2005**)
 - Odnosi se na pokretne korisnike. Objavljena je u veljači 2006. Nema kompatibilnosti između uređaja koji rade po ovim dvjema normama (**802.16-2004.**i **802.16e**)

WiMAX Forum

- U travnju 2001. godine utemeljena je međunarodna udruga proizvođača 802.16 uređaja, tzv. WiMAX Forum.
 - Cilj djelovanja je ispitivanje kompatibilnosti i omogućavanje zajedničkog rada uređaja različitih proizvođača koji rade u skladu s IEEE 802.16 normama.
 - Iz više predviđenih načina (modova) rada izabire se jedan te provodi ispitivanje mogućnosti zajedničkog rada uređaja različitih proizvođača.
 - Ukoliko pojedini uređaj na zadovoljavajući način prođe takva ispitivanja, dobiva oznaku "WiMAX", koja znači da određeni uređaj ima mogućnost zajedničkog rada s drugim WiMAX uređajima u određenom frekvencijskom području i načinu (modu) rada.




Norme za WMAN - IEEE

- Pregled normi iz skupine IEEE 802.16

Norma	Naziv/Opis
802.16	WiMAX, frekvencijsko područje 10–66 GHz
802.16a	WiMAX za nepokretnu korisničku opremu, frekvencijsko područje ispod 11 GHz
802.16b	WirelessHUMAN za sustave u frekvencijskim područjima 5 – 6 GHz
802.16c	Detaljniji profili sustava za rad u frekvencijskom području 10 – 66 GHz
802.16d	WiMAX norma s dodacima u skladu s WiMAX Forumom
802.16–2004	Zamijenio je 802.16/.16a/.16d (uključuje OFDMA)
802.16e	WiMAX za pokretnu korisničku opremu (brzina do 120 km/h, FFT veličine 128, 512, 1024 i 2048)
802.16–1	Radijsko sučelje, frekvencijsko područje 10 – 66 GHz
802.16.2	Koegzistencija između BWA sustava, zamijenjeno s 802.16.2–2004
802.16.2–2004	Koegzistencija
802.16.2a	Preporučeno djelovanje za ostvarivanje koegzistencije između FBWA sustava
802.16.3	Radijsko sučelje za FBWA sustave u frekvencijskom području ispod 11 GHz (npr. ISM, PCS, MMDS, UNII područje)
Napomena: FBWA– <i>Fixed Broadband Wireless Access</i> , ISM– <i>Industrial, Scientific and Medical</i> , PCS– <i>Personal Communications Systems</i> , MMDS– <i>Multichannel Multipoint Distribution Service</i> , UNII– <i>Unlicensed National Information Infrastructure</i>	

Usporedba normi

- Usporedba normi za nepokretni radijski pristup
 - IEEE norma 802.16-2004 definira više načina rada tj. objedinjuje istovremeno HiperMAN i HiperAccess

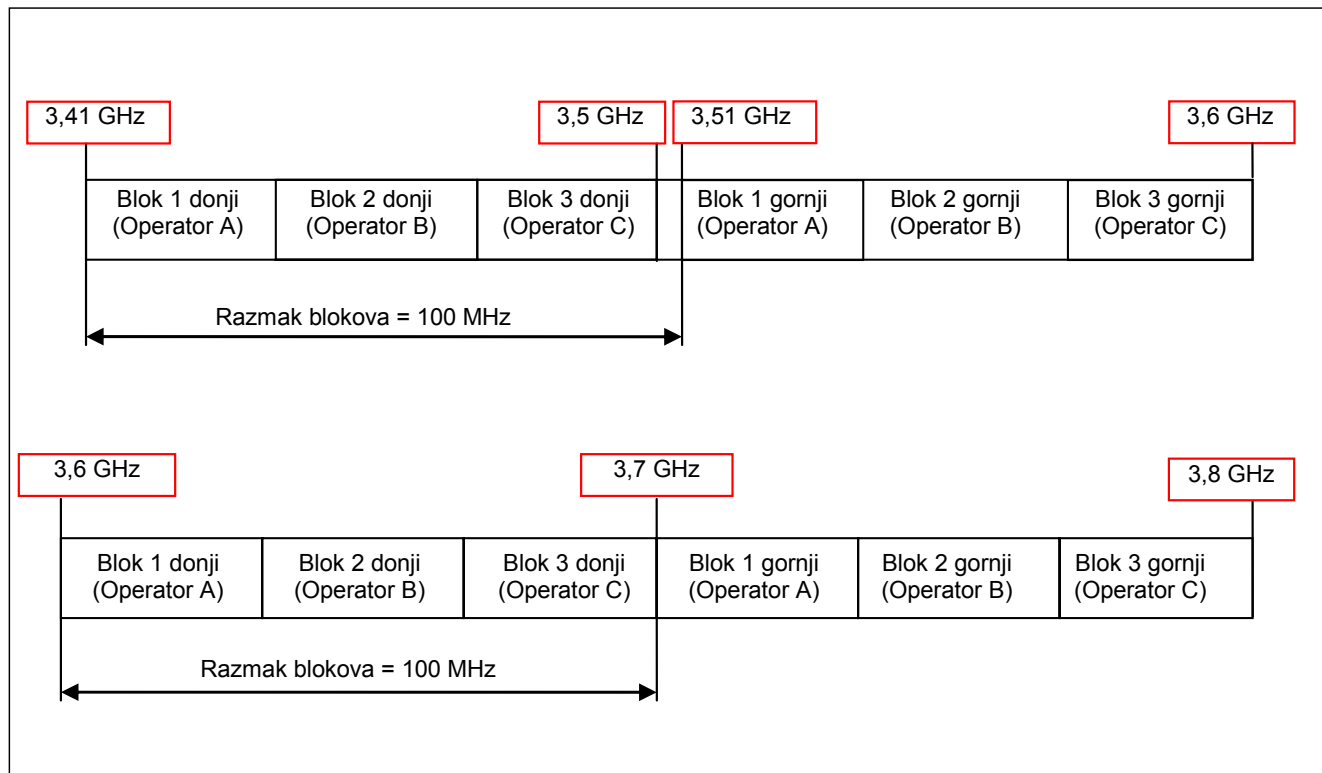
		Fizički sloj	MAC sloj
IEEE 802.16 		IEEE Std. 802.16-2004	
ETSI BRAN 	HiperMAN	ETSI TS 102 177	ETSI TS 102 178
	HiperAccess	ETSI TS 101 999	ETSI TS 102 000

Načela dodjele frekvencija

- Obradit će se samo područje 3,4-3,8 GHz
 - Dodjela frekvencija za P2MP mreže provodi se u skladu s preporukom ECC/REC (04)05.
 - Temeljne preporuke su sljedeće:
 - preporuke se odnose na P2MP sustave,
 - frekvencijski blokovi se dodjeljuju kontinuirano,
 - u slučaju da nacionalni regulator ne slijedi kontinuiranu dodjelu frekvencijskih blokova treba obratiti pozornost na zaštitne pojaseve,
 - regulator ne treba postavljati dodatne zahtjeve unutar dodijeljenih blokova (raspored kanala, središnje frekvencije).
 - Reference se nadovezuju na prethodne preporuke CEPT ERC/REC 14-03 i 12-08
 - Ako se operatorima pruža mogućnost izbora načina dupleksnog rada tada se frekvencijsko područje dijeli u uparene blokove. Može se dodjeljivati i neuparene blokove za TDD način rada.

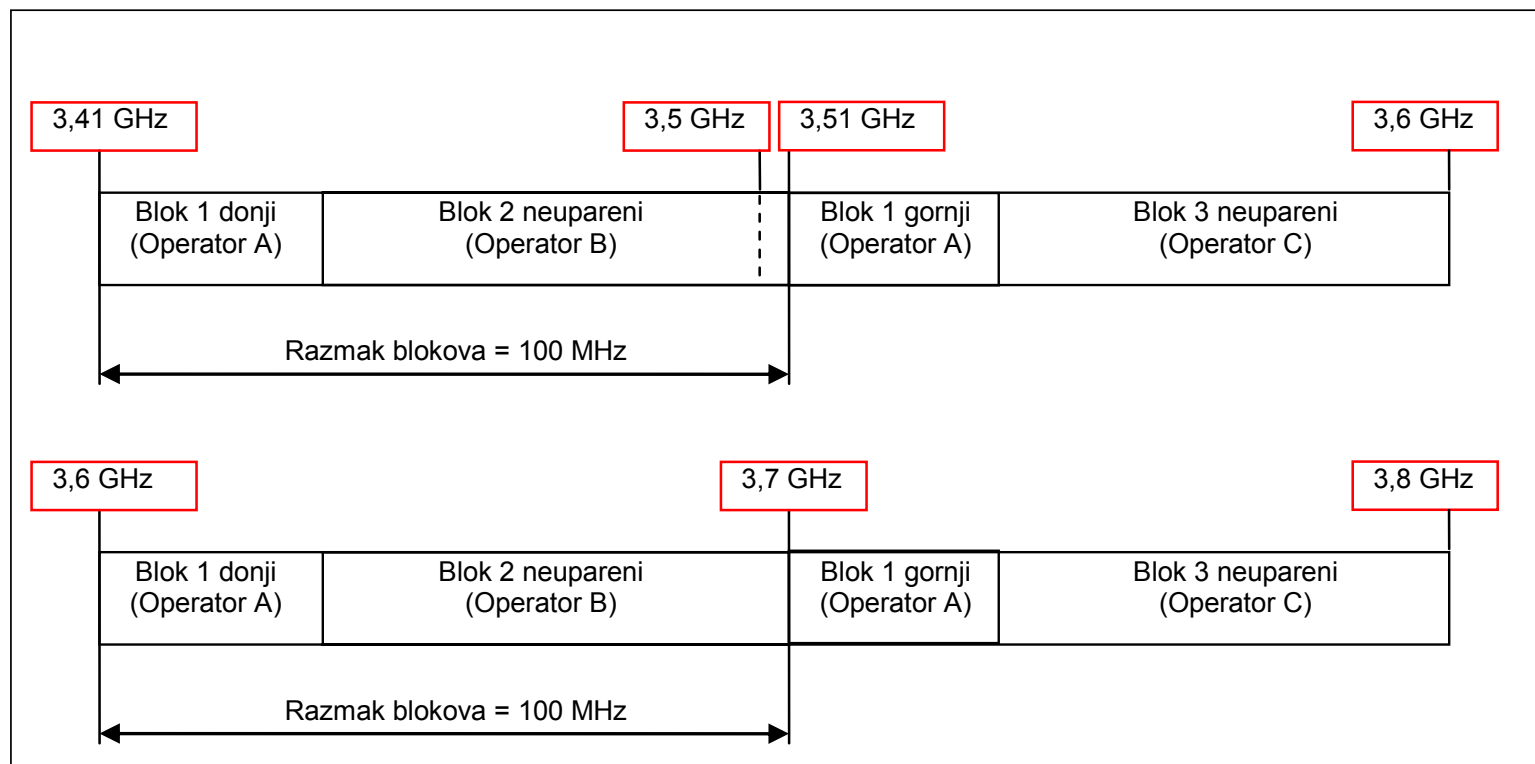
Načela dodjele frekvencija

- Dodijeljeni blokovi unutar nekog geografskog područja moraju po veličini biti jednaki ili jako slični.
- Frekvencijski razmak između uparenih blokova iznosi 100 MHz, a samo u iznimnim slučajevima on može biti 50 MHz.
- Načelo podjele u uparene blokove



Načela dodjele frekvencija

– Načelo podjele u neuparene blokove



Načela dodjele frekvencija

– Preporučene veličine blokova

Preporučene veličine blokova [MHz] <i>uparena izvedba</i>	Preporučene veličine blokova [MHz] <i>neuparena izvedba</i>
$17,5 \times 2$	35
21×2	42
35×2	70
42×2	84

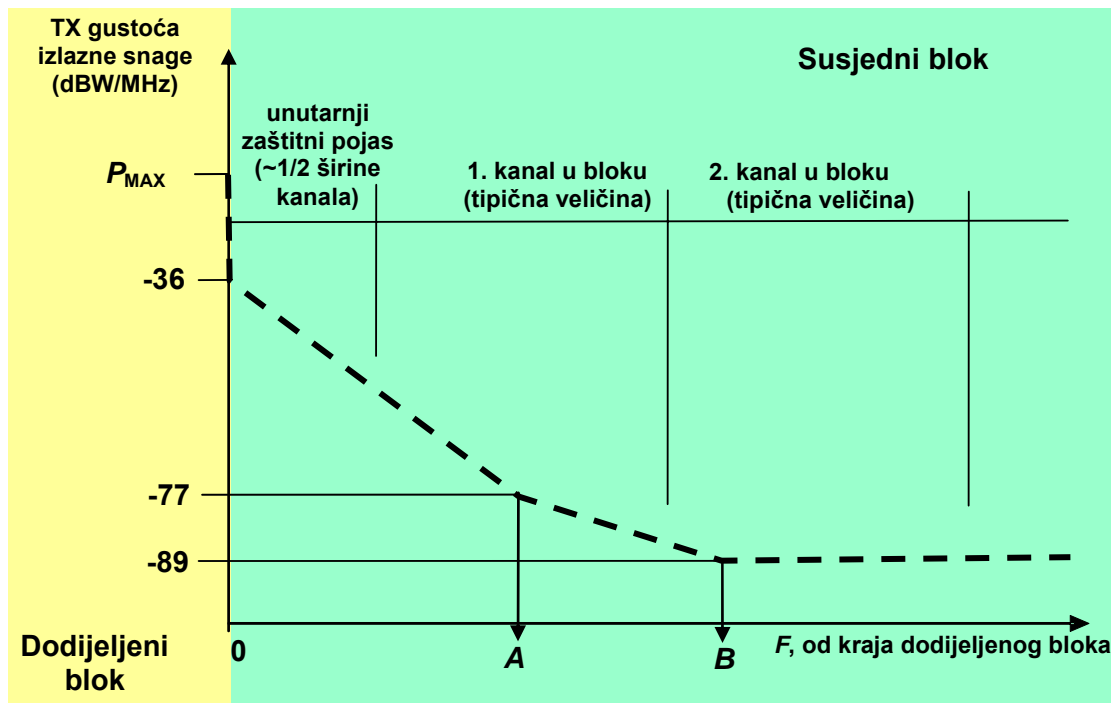
- Napomena: ako regulator odluči imati vanjske zaštitne pojaseve, veličina blokova se može smanjiti za oko 20 %. Ove veličine blokova su prikladne za veličine kanala do 7 MHz

Načela dodjele frekvencija

- Vidljivo je da je veličina blokova određena za ćelijski sustav koji koristi 4 kanala s razmakom od tipično 3,5 ili 7 MHz. Uobičajeno je da u slučaju kontinuirano dodijeljenih blokova vrijedi:
 - uz kanalni raster od 3,5 MHz, širina bloka iznosi ~17,5 do 21 MHz;
 - uz kanalni raster od 7 MHz, širina bloka iznosi ~35 do 42 MHz.
- Trenutno frekvencijske širine blokova, koje su dodijeljene operatorima, razlikuju se u različitim zemljama i kreću se od ~10 MHz do ~28 MHz.
- Ako između dodijeljenih susjednih blokova nema zaštitnog pojasa, preporuča se uporaba spektralne maske koja definira kraj bloka. Ta maska vrijedi za baznu postaju.

Načela dodjele frekvencija

- Spektralna maska za obilježja zračenja bazne postaje



Karakteristične točke za spektralnu masku bazne postaje	Definicija (% od veličine dodijeljenog bloka)
A	20 %
B	35 %

- Napomena: Postoci se računaju u odnosu na veličinu manjeg dodijeljenog bloka, ako su blokovi različitih veličina

Načela dodjele frekvencija

- Objašnjenje spektralne maske za bazne postaje

Frekvencijski pomak	Granične vrijednosti spektralne maske [dBW/MHz]
$\Delta F = 0$	-36
$0 < \Delta F < A$	$-36 - 41 \cdot (\Delta F / A)$
A	-77
$A < \Delta F < B$	$-77 - 12 \cdot ((\Delta F - A) / (B - A))$
$\Delta F \geq B$	-89

- U slučaju korištenja vanjskog zaštitnog pojasa (blokovi se ne nadovezuju jedan na drugi), veličina zaštitnog pojasa treba biti približno jednaka 25 % veličine najvećeg bloka

Zauzeća frekvencijskih pojaseva u RH

- Napravljena je podjela frekvencijskog područja 3410 – 3600 MHz na blokove
- Blokovi su upareni, s dupleksnim razmakom od 100 MHz, veličina blokova je 2×14 MHz i 2×21 MHz.
- Između blokova predviđen je jedan kanal razmaka (3,5 MHz)
- Sustavi u RH planirani su u skladu sa starijom preporukom ERC/REC 14–03. Mora se napomenuti da je novija preporuka ECC/REC (04)05 donesena tek 2006. godine.

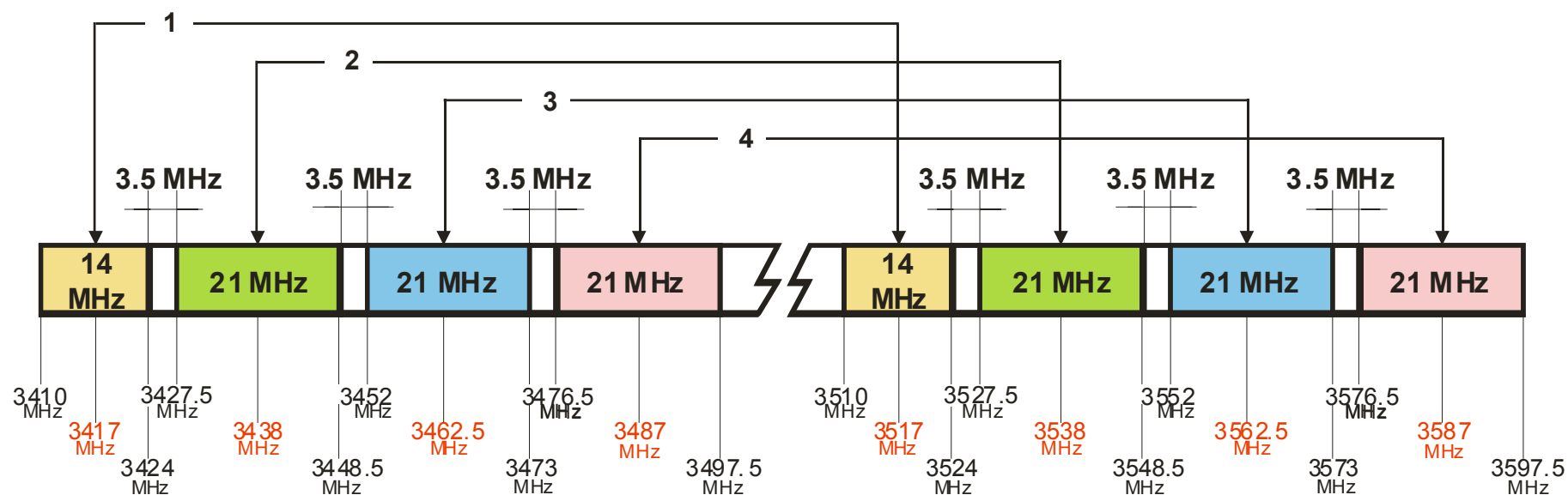
Zauzeća frekvencijskih pojaseva u RH

- Podjela frekvencijskog područja 3410 – 3600 MHz na blokove u Republici Hrvatskoj

Blok			Donji pojas			Gornji pojas	Širina bloka
			Središnja frekvencija			Središnja frekvencija	
1	Od	3410 MHz	3417 MHz	od	3510 MHz	3517 MHz	2×14 MHz
	Do	3424 MHz		do	3524 MHz		
2	Od	3427,5 MHz	3438 MHz	od	3527,5 MHz	3538 MHz	2×21 MHz
	Do	3448,5 MHz		do	3548,5 MHz		
3	Od	3452 MHz	3462,5 MHz	od	3552 MHz	3562,5 MHz	2×21 MHz
	Do	3473 MHz		do	3573 MHz		
4	Od	3476,5 MHz	3487 MHz	od	3576,5 MHz	3587 MHz	2×21 MHz
	Do	3497,5 MHz		do	3597,5 MHz		

Zauzeća frekvencijskih pojaseva u RH

- Podjela frekvencijskog područja 3410 – 3600 MHz na blokove u Republici Hrvatskoj



Dodijeljene koncesije u RH

	1. BLOK 14 MHz	2. BLOK 21 MHz	3. BLOK 21 MHz	4. BLOK 21 MHz
Grad Zagreb	Nexcom	WIMAX Telecom	Odašiljači i veze	VIPNET
Zagrebačka županija	Nexcom		Odašiljači i veze	WIMAX Telecom
Karlovačka županija		WIMAX Telecom	Odašiljači i veze	
Sisačko-moslavačka županija		WIMAX Telecom	Odašiljači i veze	
Bjelovarsko-bilogorska županija		WIMAX Telecom	Odašiljači i veze	
Požeško-slavonska županija		WIMAX Telecom	Odašiljači i veze	
Krapinsko-zagorska županija	WIMAX Telecom	Novi Net		Odašiljači i veze
Varaždinska županija				
Koprivničko-križevačka županija				
Virovitičko-podravska županija				
Međimurska županija	Odašiljači i veze	Novi Net	Optima Telekom	WIMAX Telecom
Osječko-baranjska županija	Nexcom	WIMAX Telecom	Optima Telekom	Odašiljači i veze

Dodijeljene koncesije u RH

	1. BLOK 14 MHz	2. BLOK 21 MHz	3. BLOK 21 MHz	4. BLOK 21 MHz
Brodsko-posavska županija	Ideal telekomunikacije	WIMAX Telecom	Odašiljači i veze	Nexcom
Vukovarsko-srijemska županija				
Istarska županija	Nexcom	WIMAX Telecom		Odašiljači i veze
Primorsko-goranska županija	Odašiljači i veze	WIMAX Telecom	Optima Telekom	Nexcom
Ličko-senjska županija	Ideal telekomunikacije	WIMAX Telecom	Nexcom	Odašiljači i veze
Zadarska županija	WIMAX Telecom	Nexcom	Odašiljači i veze	
Šibensko-kninska županija	Nexcom	WIMAX Telecom	Odašiljači i veze	
Splitsko-dalmatinska županija	Optima Telekom	WIMAX Telecom	Odašiljači i veze	Nexcom
Dubrovačko-neretvanska županija	WIMAX Telecom	Dubrovnik Telekom	Odašiljači i veze	

Dodijeljene koncesije u RH

- Koncesije su dodijeljene po županijama
- Iznimke su:
 - Jedinstveno područje koncesije od 4 susjedne županije:
 - Krapinsko-zagorska, Varaždinska, Koprivničko-križevačka i Virovitičko-podravska županija
 - Jedinstveno područje koncesije od 2 susjedne županije:
 - Brodsko-posavska i Vukovarsko-srijemska županija