



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet elektrotehnike i računarstva
Unska 3, 10000 Zagreb

ANALIZA UČINAKA DIGITALNOG ODAŠILJANJA TELEVIZIJE NA SPEKTAR FREKVENCIJA U VHF I UHF POJASU

(Studija)



Zagreb, 2009.

Ugovor:

Ugovor o izradi studije: *Analiza učinaka digitalnog odašiljanja televizije na spektar frekvencija u VHF i UHF pojasu*, zaključen je 8. srpnja 2009. godine pod brojem: HAKOM - 14/09, klasa 740-06/08-04/11; urbr. 251-67/312-09/12 (FER), između Hrvatske agencije za poštu i elektroničke komunikacije, kao naručitelja i Sveučilišta u Zagrebu Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, Unska 3 kao izvršitelja.

Odgovorna osoba Naručitelja:

Miljenko Krvišek, dipl.ing.el.

Odgovorna osoba Izvršitelja:

prof.dr.sc. Borivoj Modlic

Ekspertska skupina Fakulteta elektrotehnike i računarstva:

prof.dr.sc. Borivoj Modlic
prof.dr.sc. Sonja Grgić
prof.dr.sc. Tomislav Kos
prof.dr.sc. Mislav Grgić
doc.dr.sc. Gordan Šišul
Mario Cvitković, dipl.ing.el.

Ni jedan dio ove studije ne smije se umnažati, fotokopirati niti na bilo koji način reproducirati bez pisanog dopuštenja Naručitelja.

Izvod iz ponude za izradu studije: ANALIZA UČINAKA DIGITALNOG ODAŠILJANJA TELEVIZIJE NA SPEKTAR FREKVENCIJA U VHF I UHF POJASU

Hrvatska agencija za poštu i elektroničke komunikacije, kao nezavisni regulator elektroničkih komunikacija u Republici Hrvatskoj, ima i zadaću razvijanja telekomunikacijskog tržišta. U okviru tih aktivnosti Agencija je ispravno prepoznala potencijal digitalne dividende tj. spektra koji nije potreban za digitalno odašiljanje televizije u obujmu u kojem se ona odašilje analognom tehnologijom. U dokumentu *Strategija prelaska s analognog na digitalno emitiranje televizijskih programa u Republici Hrvatskoj* Vlada Republike Hrvatske dala je smjernice za buduće korištenje frekvencijskog spektra u okviru digitalne dividende.

Svrha studije je da se na jednom mjestu sakupe sva trenutna saznanja o učincima prijelaza na digitalno odašiljanje televizije kako na sam spektar frekvencija u VHF i UHF pojasu, tako i na mogućnosti razvoja novih radijskih tehnologija. U studiji se očekuju i predviđanja stanja u slijedećim razdobljima. Isto tako studija mora dati objašnjenja stanja u pojasevima frekvencija u kojima se ranije koristila analogna NMT mobilna tehnologija s prognozom primjene i razvoja radijskih tehnologija i u tom dijelu spektra.

Studija obrađuje sljedeće segmente:

- ◆ Radijske tehnologije za mobilni širokopojasni pristup:
 - kratki pregled radijskih tehnologija za mobilni pristup,
 - obilježja postojećih tehnologija za širokopojasni pristup (HSPA, HSUPA) kao i tehnologija četvrte generacije (LTE),
 - frekvencijska područja namijenjena pojedinim tehnologijama,
 - zahtjevi širokopojasnih mobilnih tehnologija u pogledu zauzetog spektra, područja pokrivanja i ostvarivih brzina prijenosa,
 - razvoj usluga u mobilnim mrežama, migracija od govora do viših razina mobilnih komunikacijskih usluga, zahtjevi korisnika,
 - utjecaj na razvoj gospodarstva i društva,
 - zapreke daljnjem razvoju, rizici za investitora,
 - regulatorna pitanja.
- ◆ Prijelaz na digitalno odašiljanje u televiziji – učinkovito korištenje spektra frekvencija u VHF i UHF području:
 - zahtjevi u pogledu spektra za digitalno odašiljanje u televiziji SD i HD kvalitete kao i za prijam u mobilnim uvjetima (DVB-H),
 - pojam „digitalne dividende“,
 - moguća širina oslobođenog pojasa frekvencija,
 - iskustva i namjere nekih europskih zemalja,
 - osobitosti VHF III područja frekvencija, mogućnosti prenamjene spektra namijenjenog analognoj televiziji, planovi drugih zemalja.
- ◆ Osiguravanje spektra frekvencija za nove mobilne usluge:
 - harmonizacija spektra na europskoj razini,
 - stajališta Europske komisije glede korištenja digitalne dividende, mogući korisnici oslobođenog pojasa frekvencija,
 - mogućnosti zajedničkog odnosno dijeljenog korištenja frekvencija,

- mogućnosti postavljanja brzih širokopojasnih mreža u tom pojasu, potrebna širina pojasa za nove mreže i raspoloživi spektar, mogući vremenski okviri uvođenja novih mreža i usluga.
- ◆ Gospodarski i socijalni učinci proširenja širokopojasne pristupne infrastrukture:
 - proširenje širokopojasne pristupne infrastrukture i njezina raspoloživost na većem dijelu državnog teritorija u službi razvoja, unaprjeđenje kompetitivnosti,
 - socijalna i kulturna vrijednost korištenja frekvencijskog pojasa digitalne dividende, osiguravanje mogućnosti širokopojasnog pristupa Internetu u fiksima ili mobilnim uvjetima za veliku većinu stanovništva,
 - analiza troškova i profita investitora u mreže.
- ◆ Strategijske teme za Hrvatsku:
 - izrada i primjena plana korištenja pojasa u okviru digitalne dividende,
 - usuglašavanje namjene spektra sa susjednim administracijama, podrška harmoniziranom pojasu za neradiodifuzijske primjene na europskoj razini,
 - procjena zahtjeva i potreba za spektrom u odnosu na njegovu raspoloživost,
 - analiza mogućnosti korištenja oslobođenog pojasa frekvencija prije stupanja na snagu odgovarajućih zaključaka WRC-07 tj. prije 17. lipnja 2015.
 - primjeri strategija nekih drugih zemalja.

Prilikom razrade pojedinih cjelina vodit će se računa i o stanju u zemljama Europske unije i položaju hrvatskih regulatornih rješenja u okviru odgovarajućih globalnih rješenja.

Zaključno studija će naznačiti očekivane smjerove razvoja učinkovite uporabe spektra digitalne dividende za pružanje novih usluga u okviru radiodifuzije ili izvan nje.

Sadržaj

Uvod	1
1. Radijske tehnologije za mobilni širokopojasni pristup.....	3
1.1. Smjerovi razvoja mobilnih tehnologija ukratko	3
1.2. Zastupljenost i predviđeni rast radijskih tehnologija za mobilni širokopojasni pristup	7
1.3. HSPA	9
1.3.1. HSDPA.....	9
1.3.2. HSUPA.....	21
1.3.3. Razvoj HSPA	25
1.3.4. HSPA+	28
1.4. Radijska tehnologija LTE	32
1.4.1. Zahtjevi koji se postavljaju pred LTE i ostvarivi rezultati.....	33
1.4.2. Ključni tehnički parametri tehnologije LTE.....	38
1.4.3. Tehnike višestrukog pristupa.....	40
1.4.4. Arhitektura mreže, protokolarni složaj i slojevi mreže....	43
1.4.5. Strukture okvira	48
1.4.6. Elementi fizičkih resursa u silaznoj vezi	50
1.4.7. Dodjeljivanje fizičkih resursa u silaznoj vezi	52
1.4.8. Dodjeljivanje fizičkih resursa u uzlaznoj vezi.....	53
1.4.9. MIMO u tehnologiji LTE.....	56
1.5. Frekvencijska područja rada mobilnih tehnologija i rezultirajuća pokrivenost	60
1.6. Razvoj usluga u mobilnim mrežama	64
1.7. Tržište mobilnih komunikacija	67
1.8. Prognoze telekomunikacijskog tržišta u RH u razdoblju do 2011. godine	70
1.9. Uloga regulatora	76
2. Prijelaz na digitalno odašiljanje u televiziji – učinkovito korištenje spektra frekvencija u VHF i UHF području.....	83
2.1. Dokumenti i odluke u svezi prijelaza na digitalno odašiljanje u televiziji	83
2.2. Područja dodjele i kanali za digitalno odašiljanje u Hrvatskoj	87

2.3.	Zahtjevi u pogledu spektra za digitalno odašiljanje u televiziji ...	90
2.4.	Uloga mreže zemaljskih odašiljača u prijemu televizije.....	93
2.5.	Pojam „digitalne dividende“ i moguća širina oslobođenog pojasa frekvencija	94
2.6.	Osobitosti VHF III pojasa frekvencija	98
2.7.	Planovi nekih europskih zemalja	99
3.	Osiguravanje spektra frekvencija za nove mobilne usluge	107
3.1.	Zakonska regulativa i harmonizacija spektra	108
3.2.	Stajališta Europske komisije glede korištenja digitalne dividende	110
3.3.	Harmonizirani uvjeti korištenja spektra u području 790 – 862 MHz	114
3.4.	Mogući korisnici oslobođenog pojasa frekvencije	116
3.5.	Mogućnosti zajedničkog odnosno dijeljenog korištenja frekvencije.....	117
3.5.1.	Kompatibilnost između radiodifuzijske mobilne TV i DVB-T	119
3.5.2.	Kompatibilnost između DVB-T i širokopojasnoga radijskog pristupa	119
3.5.3.	Najnovije aktivnosti unutar CEPT-a.....	120
3.5.4.	Zaključak vezan uz korištenje frekvencijskog područja 470 – 862 MHz	122
3.6.	Spektar frekvencija u kojem se ranije koristila NMT mobilna tehnologija	123
4.	Gospodarski i socijalni učinci proširenja širokopojasne pristupne infrastrukture	128
4.1.	Gospodarski učinci širokopojasnih mobilnih mreža u dijelu pojasa digitalne dividende.....	128
4.2.	Načela ulaganja – rizik i dobit	130
4.3.	Analiza troškova i koristi	132
4.4.	Gospodarska vrijednost UHF potpojasa	136
5.	Strategijske teme za Hrvatsku	138
5.1.	Zadaci plana korištenja frekvencijskog pojasa digitalne dividende i pojasa ranije NMT tehnologije	138
5.2.	Potrebni spektar frekvencija za digitalno odašiljanje televizije u fiksnome i mobilnom prijemu	140
5.3.	Prenamjena pojasa od 790 – 862 MHz za potrebe pružanja širokopojasnih usluga	142

5.4. Mogućnosti korištenja oslobođenog pojasa frekvencija prije 2015. godine	143
Zaključak.....	145

Uvod

Učinkovitije odašiljanje televizijskog signala digitalnom tehnologijom DVB-T u odnosu na do sad korištenu analognu tehnologiju stvorilo je jedinstvenu situaciju na području upravljanja radiofrekvencijskim spektrom. Oslobađanje dijelova do sad neprikosnovenoga radiodifuzijskog UHF pojasa za druge namjene stručnjaci, koji se bave upravljanjem i planiranjem spektra, smatraju događajem stoljeća. Jedinstvena je ocjena da se ne očekuje da će uskoro opet biti prilike za raspolaganje slobodnim frekvencijama u pojasu ispod 1 GHz.

Svrha ove studije je proučiti i prikazati razmišljanja i aktivnosti glede iskorištavanja novoraspoloživih frekvencija nakon prijelaza na digitalno odašiljanje u televiziji. Pri tom se ponajprije misli na ITU područje Regije 1 odnosno na Europu kao dio te regije. Potrebno je odrediti mogućnosti Hrvatske da stvori novu vrijednost (korist) od novih raspoloživih frekvencija imajuću u vidu zemlje iz okruženja. Sasvim je jasno da će Hrvatska slijediti preporuke nadležnih tijela Europske unije i time će biti usuglašen veći dio problematike sa susjednim državama koje su članice EU. Velik dio granice RH otpada na države koje nisu u EU i koje ne obvezuju zaključci europskih tijela i ustanova što će Hrvatskoj očekivano stvarati određene poteškoće koje ona mora svojim djelovanjem pokušati umanjiti.

Jedinstveno je stajalište u Europi da se dio oslobođenih frekvencija što prije upotrijebi za pružanje širokopojsnih mobilnih usluga pristupa. Zato su u prvom dijelu studije prikazana obilježja radijskih mobilnih tehnologija koje imaju osobine širokopojsnosti. Navedene su osobine tehnologija u svojim izvornim frekvencijskim područjima primjene, a to su više frekvencije od onih koje će se osloboditi. Komentira se i aspekt primjene na frekvencijama ispod 1 GHz.

Drugo poglavlje daje pregled vremenskih odrednica postupka prijelaza na digitalno odašiljanje televizije u Europi i relevantne hrvatske dokumente o tome. Ukratko je navedena i situacije u više zemalja.

Postupci osiguravanja spektra za rad novih mreža za širokopolasni radijski pristup tema je trećeg poglavlja. Najveći dio poglavlja posvećen je postupcima harmonizacije u uporabi tog dijela spektra na razini EU. Proučene su i mogućnosti zajedničkoga odnosno dijeljenog korištenja spektra televizije na primarnoj i za televiziju pomoćnih sustava na sekundarnoj osnovi. Poglavlje se zaključuje prikazom mogućih načina korištenja frekvencijskog pojasa u kojemu je ranije radila analogna mobilna mreža po tehnologiji NMT.

Očekuju se značajni gospodarski i socijalni učinci od uvođenja širokopolasnih radijskih usluga posebice u ruralna područja. Veliki je broj faktora u igri pri tom. Poglavlje 4. prikazuje koji čimbenici utječu na konkurentnost gospodarstva kad su telekomunikacijske usluge u pitanju. Analizirano je kako postići optimalni odnos profita operatora i koristi korisnika tih usluga kao i učinci tih telekom mreža na društvo u cjelini.

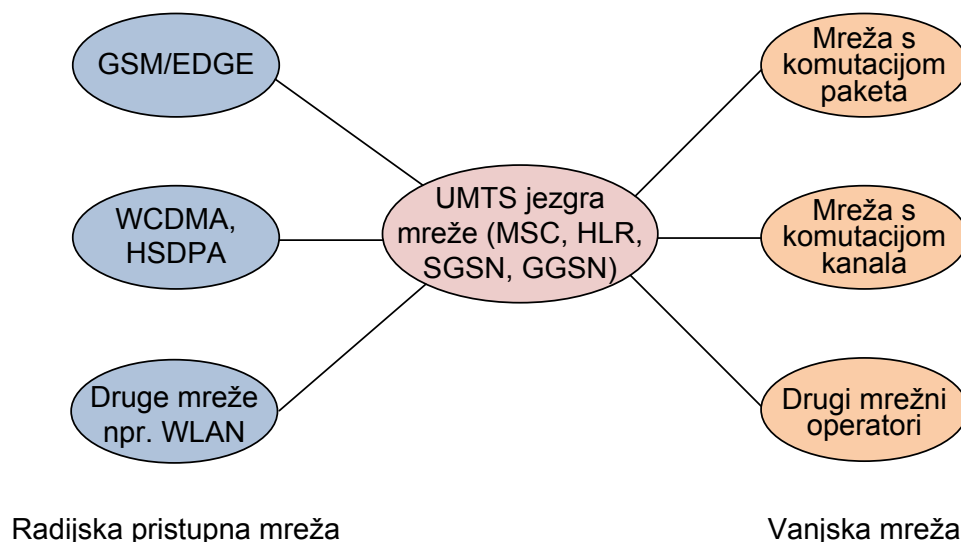
Koristeći se materijom koja je izložena ranije u petom se poglavlju ističu strategijske teme za Hrvatsku, a koje su vezane uz problematiku upravljanja novooslobođenim spektrom. Dane su preporuke za neke aktivnosti kojima bi Hrvatska pratila tendencije u EU, a koje joj pružaju mogućnost da i njezini građani i gospodarstvo koriste blagodati ekonomije obujma.

1. Radijske tehnologije za mobilni širokopojasni pristup

1.1. Smjerovi razvoja mobilnih tehnologija ukratko

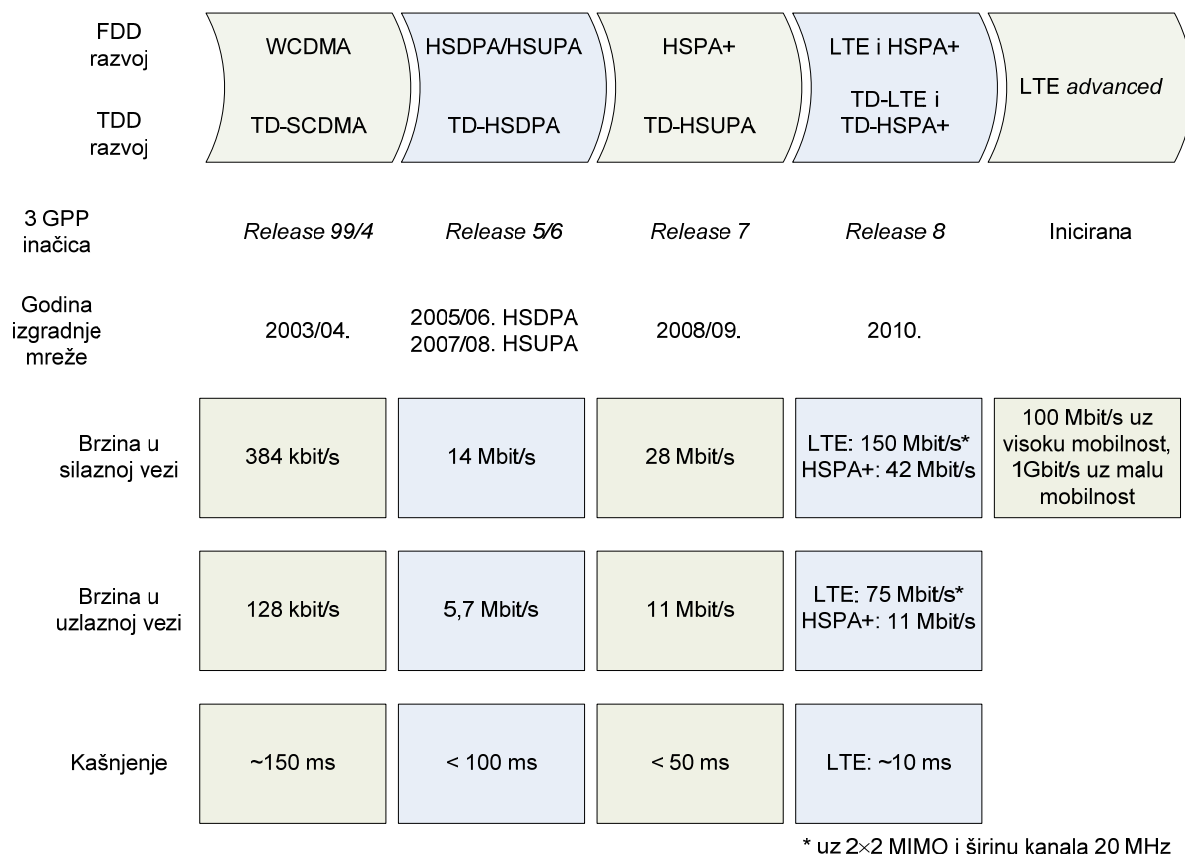
Danas je širom svijeta u uporabi treća generacija (3G) mobilnih sustava. Ta treća generacija poznata je i pod nazivom opći pokretni telekomunikacijski sustav (UMTS, *Universal Mobile Telecommunication System*), a temelji se na širokopojasnom višestrukome pristupu po kodu (W-CDMA, *Wideband Code Division Multiple Access*). Brzine prijenosa podataka koje nam nude operatori fiksnih mreža kao i trendovi u tehnologiji, nametnuli su daljnji razvoj mobilnih mreža. 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*) tako donosi brzi paketski pristup u silaznom smjeru (HSDPA, *High Speed Downlink Packet Access*) te brzi paketski pristup u uzlaznom smjeru (HSUPA, *High Speed Uplink Packet Access*) koji predstavljaju nadogradnju UMTS mreže te predstavljaju međukorak za prijelaz na mrežu četvrte generacije. Te dvije tehnologije zajedno se nazivaju brzi paketski pristup (HSPA, *High Speed Packet Access*), a u uporabi je i naziv 3,5 generacija (3,5 G). HSDPA i HSUPA predstavljaju značajno unaprjeđenje u pogledu brzine prijenosa podataka. Osim povećanja brzine prijenosa HSPA je donio i mnogo manja kašnjenja, što omogućuje ugodan rad sa aplikacijama u stvarnom vremenu. 3GPP je forum zadužen za razvoj HSPA, ali je isto tako zadužen i za normiranje WCDMA, GSM, EDGE i LTE. Osnovan je 1998. od strane Europe, Sjedinjenih Američkih Država, Koreje i Japana. Prva norma, koja se odnosi na WCDMA, donesena je od strane 3GPP-a 1999. godine pod nazivom *Release 99*. Norma *Release 5* koja je uvela HSDPA usvojena je 2002. godine dok je HSUPA uveden 2004. godine u inačici *Release 6*. UMTS se trenutno koristi u 314 komercijalnih mreža u svijetu. Ako se uspoređi s radijskim tehnologijama u nastajanju, UMTS tehnologija je već usavršena te ona profitira od razvoja i primjene koji su počeli ranih devedesetih godina prošlog stoljeća. Tehnologija je temeljito ispitana i komercijalno primijenjena. Primjena UMTS se sada ubrzava zbog primjene stabilne mrežne

infrastrukture te uporabe pouzdanih mobilnih uređaja bogatih mogućnosti. S dodatkom HSPA za brze paketske podatkovne usluge, UMTS–HSPA se brzo razvija u dominantnu globalnu mobilnu širokopojasnu mrežu. Dodatno, operateri mogu koristiti zajedničku jezgru mreže koja podržava više mreža različitih radijskih pristupa uključujući GSM, EDGE, WCDMA, HSPA kao i razvoj tih mreža. To se zove višeradijska UMTS mreža te omogućava operatorima maksimalnu fleksibilnost u pružanju različitih usluga u njihovom području pokrivanja.



Slika 1.1. Višeradijska UMTS mreža

Da bi se osiguralo da sustav ostane (dugoročno) zadovoljavajući u pogledu pružanja usluga i konkurentan ostalim tehnologijama, u studenom 2004. godine 3 GPP započeo je i s projektom dugoročnog razvoja LTE (*Long Term Evolution*) namijenjenog za unaprjeđivanje UMTS norme. Prva norma za LTE obrađena je u inačici *Release 8*, a valja spomenuti da se već radi i na inačicama *Release 9* (tzv. napredni LTE, *LTE Advanced*) i *Release 10*. Može se zaključiti da se UMTS kontinuirano razvija i nadograđuje, a to pokazuje i slika 1.2.



Slika 1.2. Evolucija UMTS sustava

U ovoj studiji, osim HSDPA/HSUPA (HSPA), obradit će se i tehnologija LTE, ali ćemo se pritom ograničiti uglavnom na inačicu *Release 8*. Specifikacije koje su obrađene u *Release 8* poznate su i pod nazivima E-UTRA (*Evolved UMTS Terrestrial Radio Access*) i E-UTRAN (*Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network*). Ponajprije treba naglasiti da je ova radijska tehnologija optimirana za paketski prijenos podataka. LTE je jedna od 5 glavnih normi koje se često nazivaju i 3,9 G, a u tu skupinu još se ubrajaju:

- 3GPP HSPA+,
- 3GPP EDGE Evolution,
- 3GPP2 Ultra-mobile Broadband (UMB),
- Mobile WiMAX (IEEE 802.16e).

LTE još nije mobilni sustav 4G, ali prema trenutnim pokazateljima može se zaključiti da će unaprijeđene inačice LTE (*Advanced LTE, Release 9*) zadovoljiti ciljeve budućega radijskog komunikacijskog sustava u što se ubraja:

- visoka spektralna učinkovitost,
- veliki kapacitet mreže s mnogo istodobnih korisnika unutar ćelije,

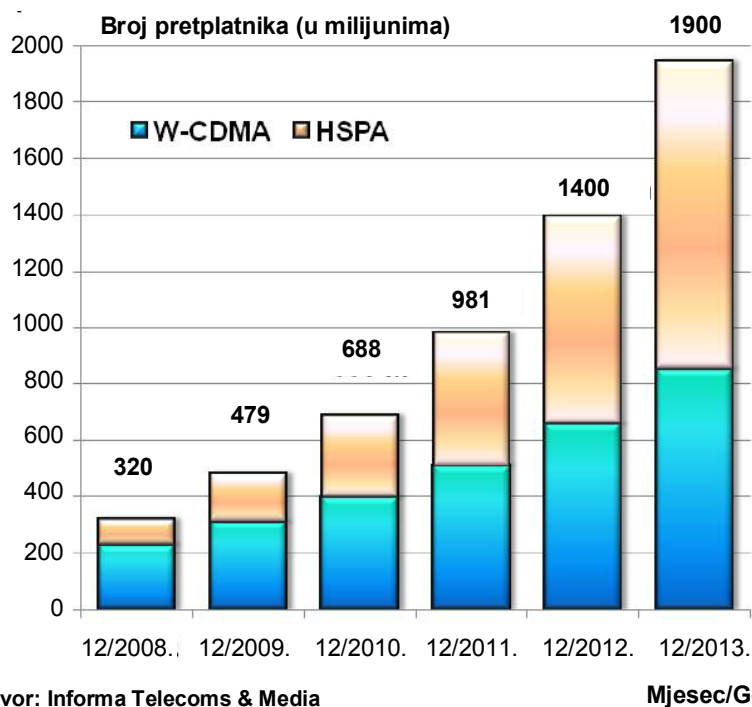
- nominalne brzine prijenosa od 100 Mbit/s za korisnike koji se kreću većim brzinama, a 1 Gbit/s za korisnike koji se sporo kreću ili stoje,
- brzine prijenosa od najmanje 100 Mbit/s između bilo kojih dviju točaka,
- prekapčanje veze između raznovrsnih vrsta mreža,
- mogućnost spajanja i globalni roaming između raznih vrsta mreža,
- visoka kvaliteta usluge za multimedijske sadržaje,
- interoperabilnost s postojećima radijskim normama,
- paketska komutacija s IP podrškom.

Predviđanja govore da bi 2014. moglo doći do prvih komercijalnih proizvoda baziranih na *Release 9/10*. S druge strane, IMT-A (*International Mobile Telecommunication - Advanced*) je nova buduća norma za mobilne komunikacijske sustave koja bi trebala predstavljati sljedeću generaciju IMT-2000 sustava. Norma će specificirati 4G mobilnu komunikaciju, a kako je ona u ITU (*International Telecommunication Union*) još uvijek u postupku pripreme, ne očekuje se da će biti definirana prije sredine 2010. godine. Ključna funkcija tehnologije IMT Advanced treba biti ostvarenje konvergencije između ostalih mobilnih sustava, kako bi se osigurala kontinuirana veza i osigurala različite usluge prema zahtjevima korisnika. Teži se ka omogućavanju: slične kvalitete usluge kao što ju ima fiksna komunikacijska mreža, globalnog roaminga, prekapčanja između heterogenih pristupnih mreža, te ostvarenje IP u cijelosti. IMT Advanced može omogućiti nove usluge korisnicima novoga mobilnog sustava, uz velike brzine prijenosa. Veća širina IMT spektra omogućit će veći kapacitet sustava i veću učinkovitost uz niže cijene usluga za krajnjeg korisnika. Zahtjevi za novim uslugama s velikim brzinama prijenosa podrazumijevaju i povećanje kvalitete usluga, čime one postaju još atraktivnije i poželjnije. S vremenom će sve više ljudi koristiti nove digitalne uređaje, a mobilni telefoni postat će multi-funkcionalni uređaji s jednostavnim načinom korištenja što će još više omasoviti korištenje novih usluga velikih brzina prijenosa.

Kako sada stvari izgledaju, najvjerojatniji scenarij je da će upravo LTE definirati 4G, te ga je stoga potrebno i detaljnije proučiti.

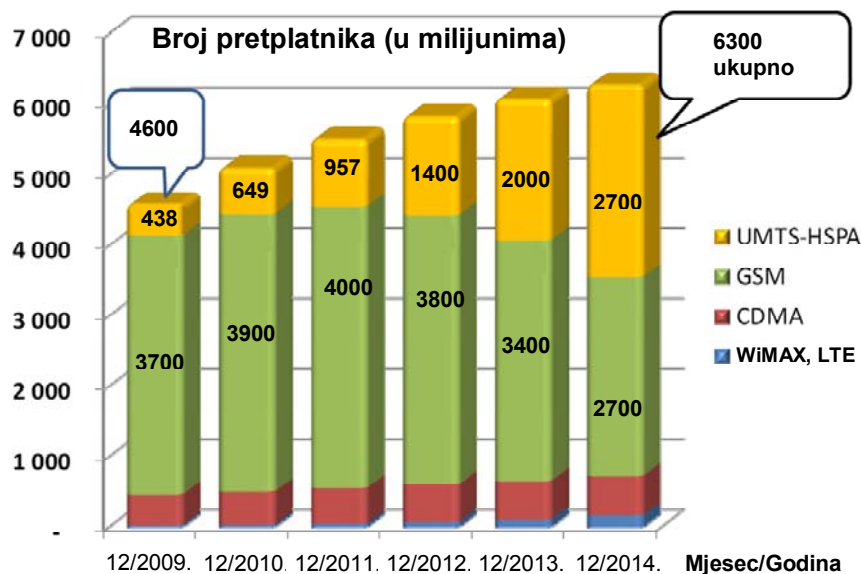
1.2. Zastupljenost i predviđeni rast radijskih tehnologija za mobilni širokopojasni pristup

Dobra prihvaćenost UMTS na svjetskoj razini (slika 1.3) podloga je optimističnim očekivanjima glede prihvaćenosti LTE. Kako će vrijeme odmicati, za očekivati je da će broj korisnika GSM mreža opadati u korist UMTS, ali će u sljedećih par godina GSM i dalje biti dominantan.



Slika 1.3. Predviđeni broj korisnika UMTS i ostalih tehnologija do 2013. godine

Značajniji rast korisnika LTE mreža očekuje se 2013/14. godine, ali će i tada taj broj biti puno manji od broja korisnika UMTS. Potvrdu toga možemo naći u istraživanjima agencije Informa Telecoms & Media od 2009. godine, a koji su prikazani na slici 1.4. i u tablici 1.1.



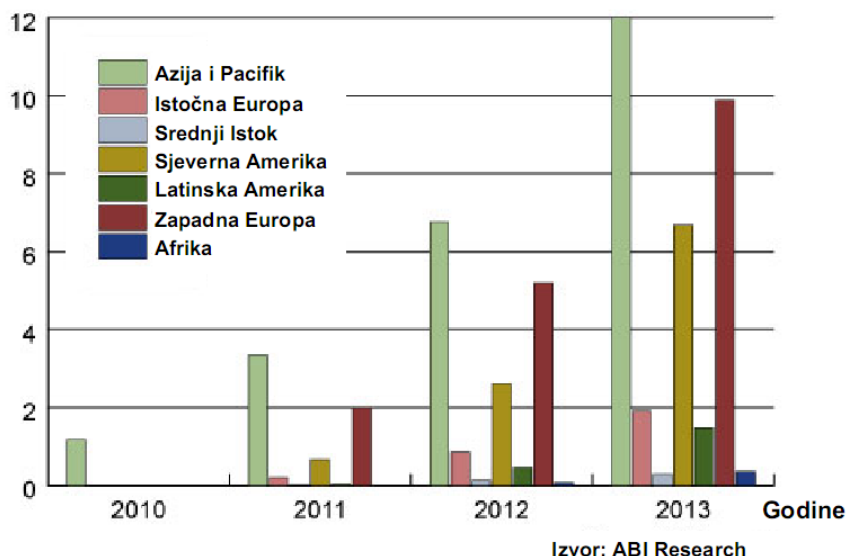
Slika 1.4. Predviđeni broj korisnika UMTS i ostalih tehnologija do 2014. godine

Tablica 1.1. Predviđeni broj korisnika WiMAX-a, LTE i HSPA do 2014. godine

Broj korisnika (u milijunima)	Godine						
	2008.	2009.	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.
WiMAX	0,5	2,8	7,5	16,7	37,1	82,1	
LTE			0,5	3,5	13,1	44,5	131,5
HSPA	304	438	649	957	1400	2000	2700

Iako mnogobrojne agencije daju različite projekcije u pogledu rasta broja korisnika, znakovito je da se one međusobno previše ne razlikuju (pogotovo u pogledu LTE), a dokaz tome je i istraživanje agencije ABI Research. Ono također predviđa veliki porast broja korisnika LTE mreža u narednim godinama. Najveći rast očekuje se u Aziji i Zapadnoj Europi (slika 1.5).

Broj pretplatnika (u milijunima)



Slika 1.5. Predviđeni broj pretplatnika LTE mreža po regijama do 2013. godine

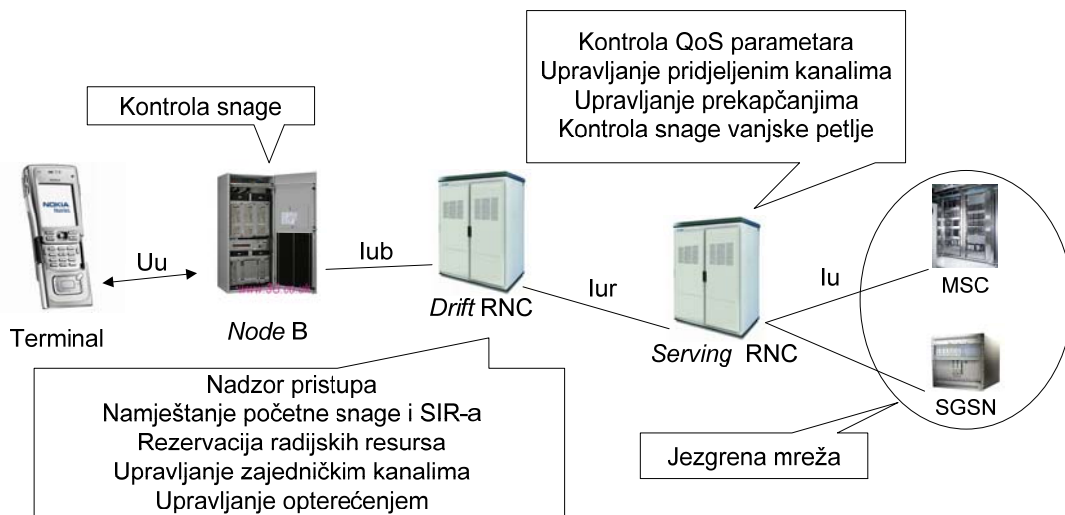
1.3. HSPA

1.3.1. HSDPA

1.3.1.1. HSDPA arhitektura i protokoli

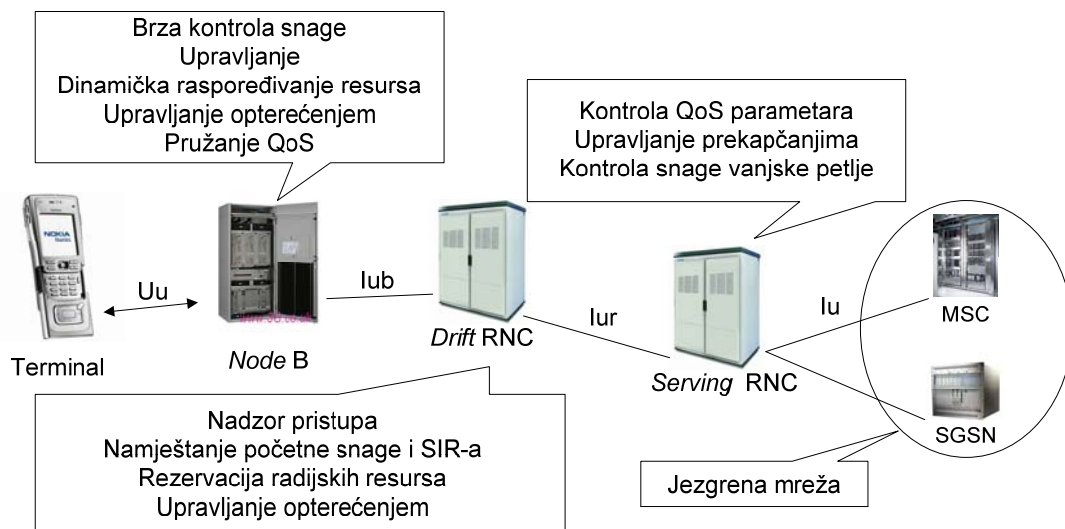
Upravljanje radijskim resursima (RRM, *Radio Resources Manager*) kod HSDPA je doživjelo promjene u odnosu na izvedbu opisanu u inačici *Release 99*. U R99 upravljačka kontrola je bila bazirana na radijskom mrežnom kontroleru ili upravljaču radijske mreže (RNC, *Radio Network Control*) dok se u baznoj postaji (BTS ili Node B) vršila uglavnom samo kontrola snage odašiljanja. Tako je u slučaju korištenja dva RNC-a upravljanje bilo podijeljeno. Uslužni RNC (SRNC, *Serving RNC*) spojen je na jezgrenu mrežu za vrijeme veze, a zadužen je za upravljanje pridijeljenim (dodijeljenim) kanalima (DCH, *Dedicated CHannels*). RNC, koji je stvarno spojen na baznu postaju, naziva se DRNC (*Drift RNC*) i on upravlja zajedničkim kanalima. Na slici 1.6. prikazana je RRM distribucija u slučaju R99.

Kako je kod HSDPA upravljanje pomaknuto u baznu postaju, došlo je do promjene u cijeloj RRM arhitekturi. Ako bi imali slučaj kao prije, kad su dva RNC bila uključena, SRNC bi zadržao kontrolu nad prekapčanjima kao i nad raspoređivanjem korisnika prema parametrima kvalitete usluge (QoS).



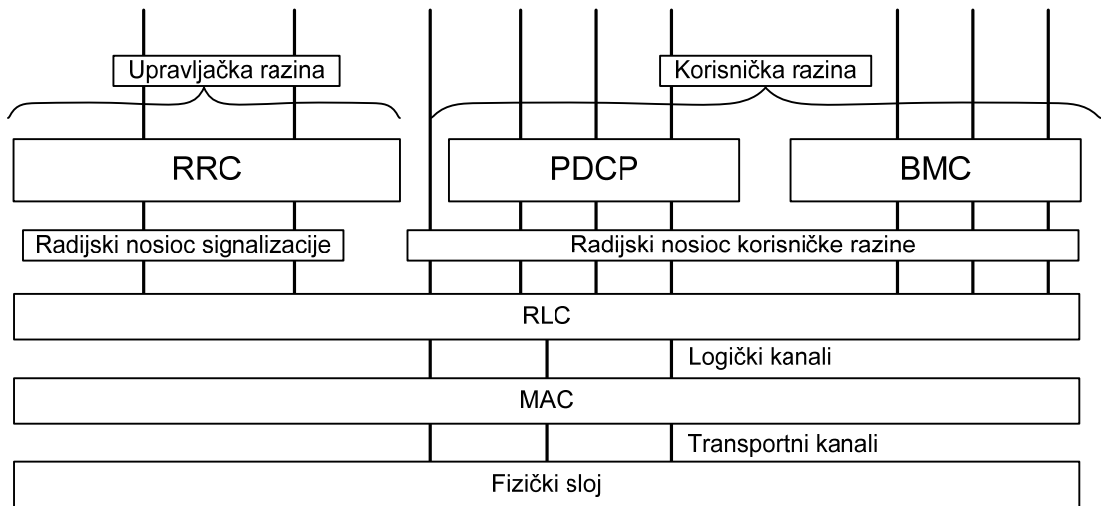
Slika 1.6. Arhitektura upravljanja radijskim resursima prema Release 99

U slučaju HSDPA situacija je nadalje pojednostavljena budući da nema mekog prekapčanja pa stoga nije potrebno više slati korisničke podatke preko Iub i Iur sučelja. Na slici 1.7. dana je detaljnija arhitektura upravljanja radijskim resursima prema inačici Release 6.



Slika 1.7. HSDPA Release 6 RRM arhitektura

Osnovna funkcionalnost različitih HSDPA protokolnih slojeva je slična s izvedbom u R99. Arhitektura se može definirati kao: korisnička razina (koja upravlja korisničkim podacima) i kao kontrolna razina. Sloj zadužen za kontrolu radijskih resursa (RRC, *Radio Resources Control*) u upravljačkoj razini upravlja svim signalima vezanima za konfiguraciju kanala koje korisnik ne vidi, kao što se može vidjeti na slici 1.8.

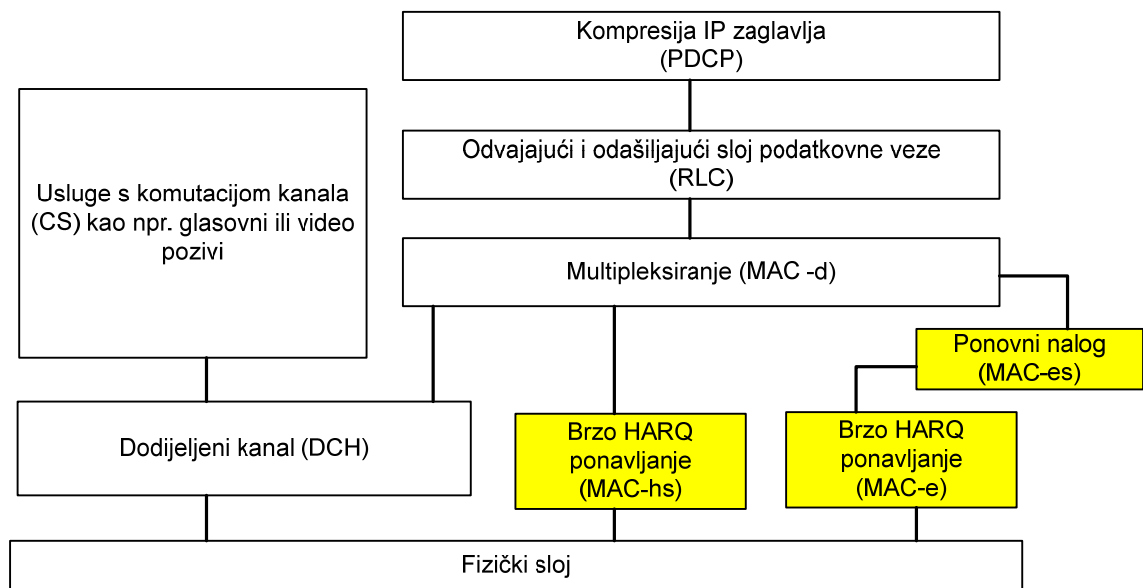


Slika 1.8. Arhitektura protokola R99 radijskog sučelja

Glavni zadatak PDCP protokola (*Packet Data Convergence Protocol*) je kompresija zaglavlja, a ona nije bitna kod usluga s prekapčanjem kanala. Kontrola radijske veze (RLC, *Radio Link Control*) upravlja razdvajanjem i ponovnim slanjem korisničkih i kontrolnih podataka. Kontrola pristupa mediju (MAC, *Media Access Control*) u R99 je fokusirana na preslikavanje logičkih kanala i upravljanje prioritetima, kao i na brzinu prijenosa podataka. BMC označava kontrolni protokol za sveodredišno i višeodredišno odašiljanje (*Broadcast/Multicast Control Protocol*).

Kod HSDPA se uvode neki novi elementi u arhitekturi. Funkcije MAC sloja kod HSDPA mogu raditi neovisno o R99 DCH funkcijama, ali prije svega uzimaju se u obzir ograničenja resursa kod radijskog sučelja (Uu). Na slici 1.9. prikazana je arhitektura radijskog sučelja na kojoj su posebno istaknuti novi protokoli za upravljanje korisničkim podacima. Kako je upravljačka funkcionalnost bazne postaje sad u MAC sloju funkcija, u baznoj postaji je novi protokol zvan MAC-hs (MAC – *high speed*).

RNC zadržava MAC-d (MAC-*dedicated*) protokol, ali mu ostaju samo funkcionalnosti prekapčanja prijenosnih kanala. Upravljanje prioritetima i organizacija sad postaju dio MAC-hs protokola.



Slika 1.9. Arhitektura HSDPA radijskog sučelja

1.3.1.2. Pregled HSDPA tehnologije

Promjena, koju donosi HSDPA tehnologija, je proširenje postojećih UMTS kanala za promet silaznom vezom (transportni kanali: DCH, DSCH, FACH) novim kanalima namijenjenim za HSDPA promet.

Značajna je i promjena u fizičkom sloju gdje se koristi prilagodljiva modulacija i kodiranje (AMC, *Adaptive Modulation and Coding*). AMC na osnovu čestih povratnih informacija o stanju kanala, odabire najbolju vrstu modulacije i shemu kodiranja kako bi se postigla najveća efektivna brzina prijenosa podataka za krajnjeg korisnika. Budući da je vrijeme odašiljanja kod HSDPA značajno smanjeno na samo 2 ms (po R99 odašiljanje je trajalo 10, 20, 40 ili 80 ms) dinamika promjene modulacije i sheme kodiranja je dosta velika. Sukladno tome i brzina prilagodbe linka i raspoređivanja je dosta veća u odnosu na R99.

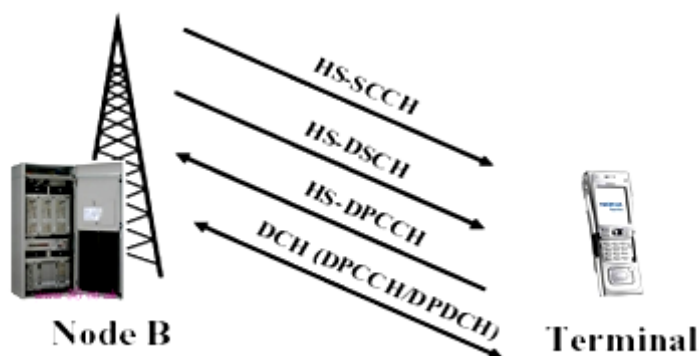
HSDPA koristi i brzi hibridni automatski zahtjev za ponovnim slanjem podataka (HARQ, *fast Hybrid Automatic Repeat request*), tehniku ponovnog slanja podataka koja posebno dolazi do izražaja kod komunikacija u lošima radijskim kanalima.

1.3.1.2.1 HSDPA kanali

Prema R99 postoje tri različita načina prijenosa podataka u silaznoj vezi: DCH, FACH (*Forward Access Channel*) i DSCH (*Down Link Shared Channel*). DCH je u osnovi kanal za prijenos korisničkih podataka i podržava sve klase usluga. DCH-u je u silaznoj vezi dodijeljen odgovarajući ortogonalni promjenjivi faktor raspršenja (SF) iz intervala 4 – 512 i to u skladu s vršnom brzinom prijenosa podataka, dok je BLER (*Block Error Rate*) kontroliran unutarnjom

i vanjskom petljom kontrole snage. Zbog toga je raspodjela snage i kodova DCH kanala poprilično neučinkovita za „praskovite“ aplikacije podataka, jer je re-alokacija kanala vrlo spora (reda 500ms). FACH spada u skupinu tzv. zajedničkih kanala. Koristi se za prijenos manje količine podataka prilikom uspostave veze ili za slanje informacija te za prijenos informacija o pomaku terminala. Niske je korisnosti jer ne podržava petlju kontrole snage. FACH se prenosi preko S-CCPCH (*Secondary Common Control Physical Channel*) s fiksnim faktorom raspršenja. DSCH je kod HSDPA zapravo samo zamijenjen sa HS-DSCH (*High Speed DSCH*) pa se DSCH ne spominje u R5 i sljedećim izdanjima.

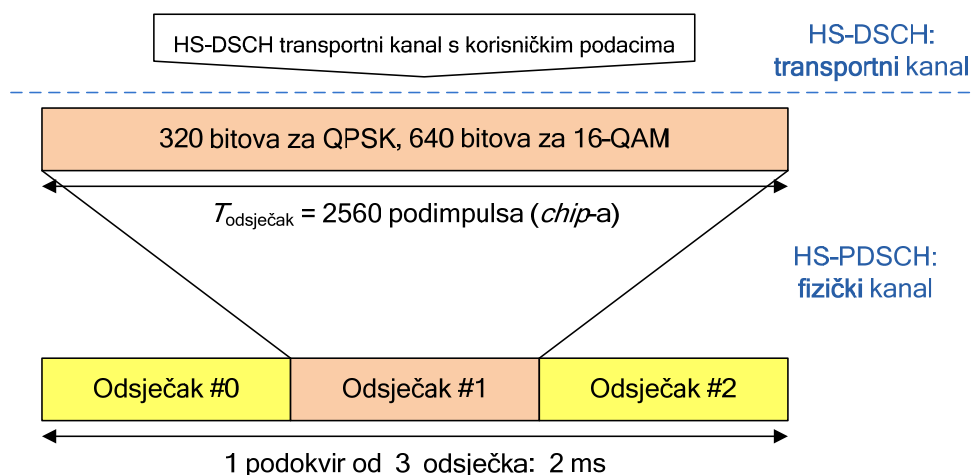
HSDPA uvodi nekoliko promjena. Za prijenos korisničkih podataka koristi se HS-DSCH (*High Speed Downlink Shared CHannel*) transportni kanal. Za prijenos povezanih informacijskih signala (kako bi se korisnički podaci ispravno prenijeli) koriste se dva kanala: HS-SCCH (*High Speed Shared Control Chanel*) u silaznoj vezi i HS-DPCCH (*High Sped Dedicated Physical Control CHannel*) u uzlaznoj vezi. Prema R6 je dodan još jedan kanal F-DPCH (*Fractional Dedicated Physical Channel*) koji pokriva operacije kada se sav promet prenosi preko HS-DSCH. Na slici 1.10. su prikazani kanali koji se koriste kod HSDPA prema R5.



Slika 1.10. Kanali koji se koriste kod HSDPA

HS-DSCH (High-speed downlink shared channel)

HS-DSCH je kanal kojim se kod HSDPA prenose korisnički podaci. Spada u transportne kanale, a preslikava se u jedan ili više HS-PDSCH (*High Speed Physical Downlink Shared Channels*) fizičkih kanala ovisno o trenutnoj brzini prijenosa podataka. HS-PDSCH djeluje na podokviru trajanja 2 ms i ima fiksni faktor raspršenja (SF) koji iznosi 16. Struktura HS-(P)DSCH kanala prikazana je na slici 1.11.



Slika 1.11. Struktura HS-(P)DSCH kanala

Glavne razlike u odnosu na R99 DCH kanal su u sljedećem:

- umjesto brze kontrole snage koristi se odgovarajuća kombinacija kodova, zaštitnih kodova i promjenjiva modulacija,
- podržava modulacije višeg reda,
- vrijeme slanja podataka je samo 2 ms,
- ponovno slanje podataka (retransmisija) i kombiniranje istih se odvija na fizičkom sloju (kod R99 se odvijala na RLC razini),
- izostanak mekog prekapčanja; podaci se šalju samo poslužujućoj baznoj postaji,
- koristi se fiksni faktor raspršenja – 16 (zbog malog vremena odašiljanja),
- koristi se samo turbo kodiranje, dok se prema R99 koristilo i konvolucijsko kodiranje,
- nema prekida prilikom odašiljanju. HS-PDSCH se ili u potpunosti odašilje ili ne odašilje tijekom 2 ms vremena odašiljanja.

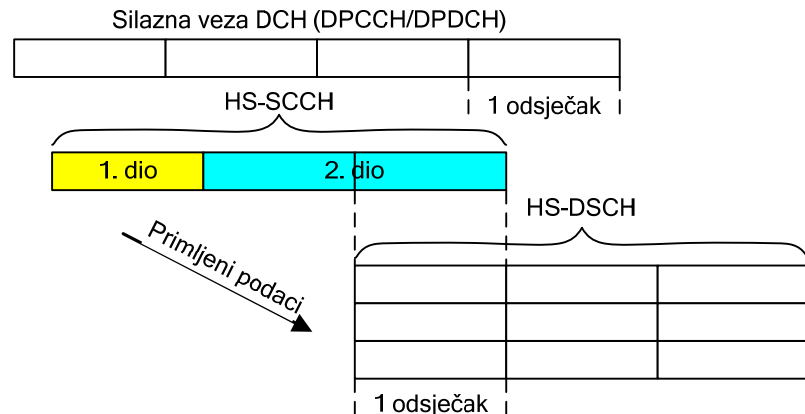
Važno svojstvo HS-DSCH je dinamička priroda dijeljenja resursa tijekom 2 ms rezerviranog perioda. Kad se podaci šalju korisniku rezervira se HS-PDSCH kanal te se odašilje tijekom cijelog intervala u trajanju od 2 ms. Ako je količina podataka mala (ili nema podataka) ne smanjuje se brzina prijenosa podataka, već se uopće ne obavlja odašiljanje.

HS-SCCH (High-speed shared control channel)

HS-SCCH spada u skupinu fizičkih kanala fiksne brzine prijenosa. On sa dva odsječka pomaka prethodi HS-DSCH kanalu (slika 1.12). Taj pomak omogućuje prenošenje vremenski bitnih informacija bez kojih terminal ne bi ispravno demodulirao korisničke podatke u HS-(P)DSCH kanalu. U HS-SCCH kanalu koristi se faktor raspršenja 128 pa je tako moguće prenijeti 40 bitova po vremenskom odsječku. Kod HS-SCCH se ne koriste pilotski signali ili kontrola snage, ali se referentna faza uzima jednakom kao kod

HS-DSCH. Kako određeni dio informacije (kod za sažimanje informacije iz raspršenih podataka) mora biti dostupan prije korištenja HS-DSCH, HS-SCCH je razdijeljen u dva dijela:

- prvi dio nosi informacije potrebne za ispravno sažimanje podatka, kao i informacije o korištenoj modulaciji,
- drugi dio sadrži manje hitne informacije, kao npr. koji način ponovnog slanja podataka se koristi, pokazatelj da li je odašiljanje povezano sa prijašnjim ili je novo.

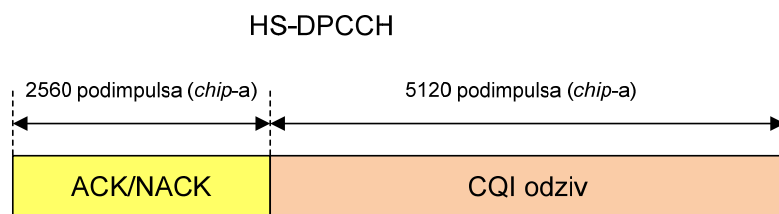


Slika 1.12. Relativni vremenski pomak HS-SCCH i HS-DSCH kanala

Vrijeme između HS-SCCH i HS-DSCH (dakle razmak od 2 odsječka) omogućava terminalu ispravan rad.

HS-DPCCH (High speed dedicated physical control channel)

Kod HSDPA tehnologije i bazna postaja (Node B) treba povratnu informaciju od strane terminala kako bi mogla koristiti prilagodbu veze (AMCI i ponovno slanje podataka). Ta povratna informacija je nošena preko HS-DPCCH fizičkog kanala. HARQ povratna veza obavještava baznu postaju da li su primljeni paketi ispravno ili neispravno dekodirani.



Slika 1.13. HS-DPCCH struktura

Informacija o kvaliteti kanala (CQI, *Channel Quality Information*) daje informaciju baznoj postaji o brzini podataka koju terminal

može primiti u danom trenutku. Na slici 1.13. je dana struktura HS-DPCCH kanala. HS-DPCCH koristi fiksni faktor raspršenja od 256, a sastoji od 3 vremenska odsječka koji traju 2 ms. Prvi vremenski odsječak se koristi za HARQ (ACK/NACK) informacije, dok se ostala dva koriste za CQI informacije. HARQ informacija se uvijek šalje kada je podatak, dekodiran uz pomoć HS-SCCH, ispravno primljen. Za oba skupa vremenskih odsječaka postoji odvojeni parametar za kontrolu prijama. Ponekad je potrebno odašiljati preko više 2 ms intervala. Takav slučaj se dogodi kad se terminal nalazi na rubu ćelije pa dostupna snaga nije dovoljna za kvalitetnu povratnu vezu. Kontrola snage bazne postaje koja ne sudjeluje u prijenosu podataka, može smanjiti snagu HS-DPCCH odašiljanja ako se terminal nalazi u području mekog prekapčanja. Stoga je u R6 napravljeno poboljšanje HS-DPCCH rada na rubu ćelije. Poboljšanje je postignuto tako da su na DPCCH dodani preambula i postambula, ali su HARQ i CQI bitovi ostali nepromijenjeni.

1.3.1.2.2 Prilagodljiva modulacija i kodiranje

Brzi radijski prijenos podataka, kakav je i HSDPA zahtjeva robusne i spektralno učinkovite tehnike komunikacije za uvjete komuniciranja u kanalima zahvaćenih fadingom (tzv. *flat fading* kanali). U slučaju da se oblik prijenosnog kanala može procijeniti i ta procjena poslati natrag prema odašiljaču, tad se način odašiljanja može prilagoditi svojstvima kanala. Mnoge tehnike odašiljanja se ne koriste prilagodbom u uvjetima fadinga. Te neprilagodljive metode zahtijevaju fiksnu marginu veze u cilju održavanja prihvatljivih svojstava sustava kad je kvaliteta kanala loša. Prema tome, takvi sustavi su projektirani za tzv. najgori slučaj (*worst case*) kanala, a rezultiraju nedovoljnom iskoristivošću potpunog kapaciteta kanala. Prilagodba signala fadingu omogućava mnogo učinkovitiju iskoristivost kanala, jer snaga i razina kodiranja mogu biti dodijeljeni tako da se maksimalno prilagode svojstvima prijenosnog kanala. Upravo takva funkcionalnost nalazi svoju primjenu i u HSDPA sustavima. Brza prilagodba veze prilagođava oblik odaslanog signala uvjetima na radijskom sučelju upotrebljavajući najpovoljniju modulaciju u danom trenutku.

Upotreba prilagodljive modulacije i kodiranja (AMC) je jedna od najvažnijih tehnika u normama radijskih sustava treće generacije sa svrhom dobivanja velike spektralne učinkovitosti u kanalima s fadingom. Osnovna ideja AMC-a je dinamička promjena modulacije i načina kodiranja u uzastopnim okvirima. Odluka o upotrebi prikladne modulacije se donosi na strani prijavnika prema promatranim uvjetima kanala zajedno s povratnom informacijom sa strane odašiljača unutar svakog okvira. Prilagodljiva modulacija je način poboljšavanja kompromisa između spektralne učinkovitosti i BER-a (*Bit Error Rate*). Moguće je napraviti optimizaciju Rayleighevog kanala proučavanjem dinamike fadinga. Periodi plitkih fadinga ili

visokog dobitka će povećati trenutni odnos signal/šum (SNR, *Signal-to-Noise Ratio*) dozvoljavajući upotrebu modulacijskih tehnika veće brzine s malom vjerojatnošću pogreške. Periodi dubokih fadinga će smanjiti efektivni SNR i prisiliti nas na uporabu modulacijskih tehnika manje brzine u svrhu održavanja robusnosti odašiljanja.

Pitanje je kako promijeniti modulacijsku shemu kad to zahtijevaju uvjeti prijenosnog kanala. Drugim riječima, mora se pronaći način da sustav odluči koja je modulacijska tehnika najprihvatljivija za trenutne uvjete u radijskom kanalu. Neki autori smatraju da je BER na prijamoj strani dobar parametar kanala za donošenje odluke dok drugi pak preferiraju procjenu SNR-a radijske veze. Pouzdana procjena BER-a je poprilično kompleksna unutar kratkih vremenskih perioda i prema tome ograničava brzinu prilagodbe.

Sljedeće pitanje, koje se postavlja, je kako odlučiti koje će se razine SNR-a koristiti za pojedinu modulacijsku tehniku. Odgovor praktički leži u svojstvima dodanog bijelog šuma (AWGN, *Additive White Gaussian Noise*) i otpornosti pojedine modulacijske tehnike na njega. Osnovni modulacijski postupak, koji se koristi u WCDMA sustavima te je i prenesen na HSDPA sustave, je QPSK. Osim QPSK modulacije, HS-DSCH kanal također koristi i 16-QAM modulaciju koja omogućuje visoke brzine prijenosa podataka. Iz svega navedenog slijedi da se različite vrste modulacija (tablica 1.2) kao i načini kodiranja (bazirano na transportnom formatu i TFRC kombinaciji) mogu koristiti da omoguće različite vršne brzine prijenosa (npr. 119 kbit/s/kodu sa QPSK i $\frac{1}{4}$ kodiranja, 712 kbit/s/kodu za 16-QAM i $\frac{3}{4}$ kodiranje). U osnovi, kad korisnik ima bolje uvjete u radijskom kanalu (tj. nalazi se bliže baznoj postaji) bit će mu dodijeljena veća brzina prijenosa. Pojedini korisnik može primiti maksimalno 15 kodova što daje vršnu brzinu prijenosa od 10,8 Mbit/s. Međutim, maksimalna specificirana vršna brzina HSDPA prijenosa je 14 Mbit/s s 16-QAM modulacijom i bez kodiranja (efektivna razina kodiranja je 1, a korisniku je dodijeljeno svih 15 kodova). Postizanje navedene brzine u stvarnom sustavu je dosta teško, jer bi to zahtijevalo neopterećen sustav koji posluhuje samo jednog korisnika, a koji se nalazi vrlo blizu bazne postaje.

Tablica 1.2. Brzine prijenosa podataka u ovisnosti o AMC

Modulacija	Omjer koda	Maksimalni tok podataka [Mbit/s]
QPSK	1/4	1,8
QPSK	2/4	3,6
QPSK	3/4	5,3
16-QAM	2/4	7,2
16-QAM	3/4	10,7

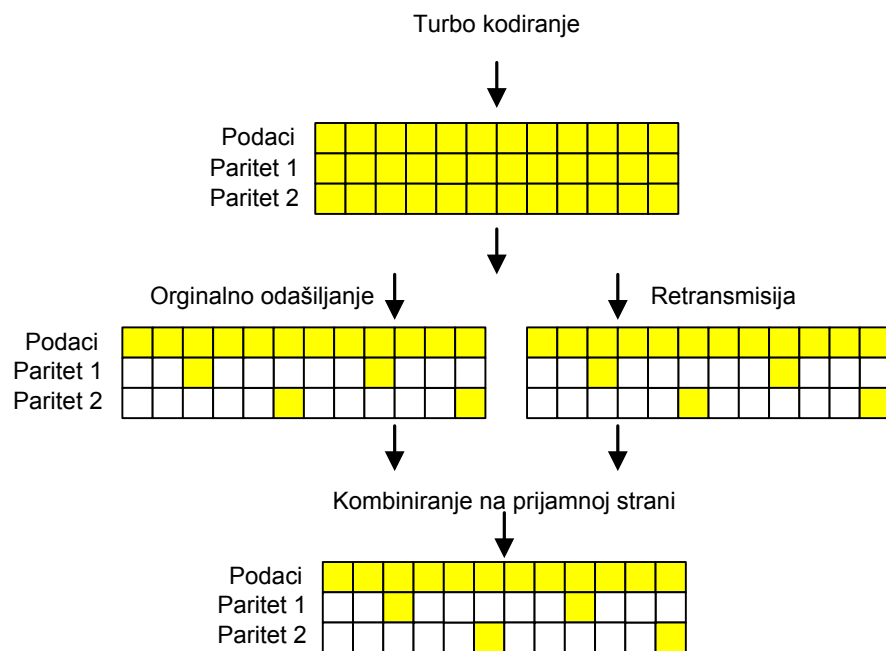
Za razliku od QPSK, demodulacija 16-QAM signala zahtijeva amplitudnu referencu u terminalu. Kako se to postiže ovisi od terminala do terminala. Jednu mogućnost predstavlja korištenje procjene prijenosnog kanala prema CPICH-u te dobivanje odnosa između HS-DSCH i CPICH odašiljačkih snaga putem postupka usrednjavanja.

1.3.1.2.3 Brzi hibridni automatski zahtjev za ponovnim slanjem podataka

Prilikom odašiljanja i primanja podataka javljaju se pogrešno primljeni podaci uslijed loše kvalitete kanala. Da bi se došlo do točnih podataka koristi se postupak ponovnog slanja podataka (retransmisija), sve dok se oni ne prime ispravno. Pritom se neispravni podaci odbacuju, a to utječe na smanjenje efektivne brzine prijenosa podataka. Da bi se to poboljšalo, HSDPA koristi hibridnu tehniku ponovnog slanja podataka (HARQ) kod koje se ne odbacuju neispravno primljeni podaci već se oni koriste da bi se ispravno primila informacija. Kod odašiljanja HARQ se sastoji od dvije razine funkcionalnosti koje omogućavaju mijenjanje količine redundantnih podataka kad se koristi različita retransmisija. Kao što se može naslutiti iz prije spomenutog, HARQ ima dva načina rada:

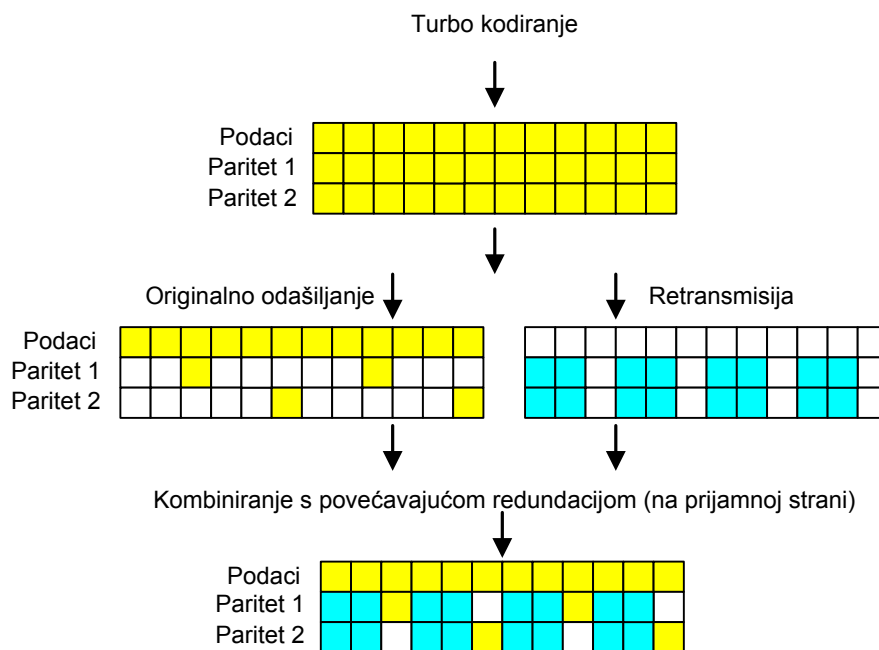
- rad s identičnom retransmisijom i,
- rad s različitom retransmisijom.

Slučaj identične retransmisije, kod koje se koriste isti podaci u ponovnom slanju podataka, se naziva „meko kombiniranje“ (*soft combining*). Princip rada je prikazan na slici 1.14.



Slika 1.14. Slučaj kombiniranja kod identične retransmisije

Unatoč bilo kojem broju retransmisija broj operacija uspoređivanja je uvijek isti za svako odašiljanje istog paketa. Prijamnik terminala mora spremi primljene uzorke podataka. Stoga se javlja pitanje koliko je memorije razumno imati za tu namjenu u terminalu. Činjenica da retransmisijom upravlja bazna postaja čini cijeli postupak upotrebljivim. Da je retransmisijom upravljao RNC kašnjenje bi bilo preveliko, što bi pak za brze prijenose podataka zahtijevalo previše memorije u terminalu.



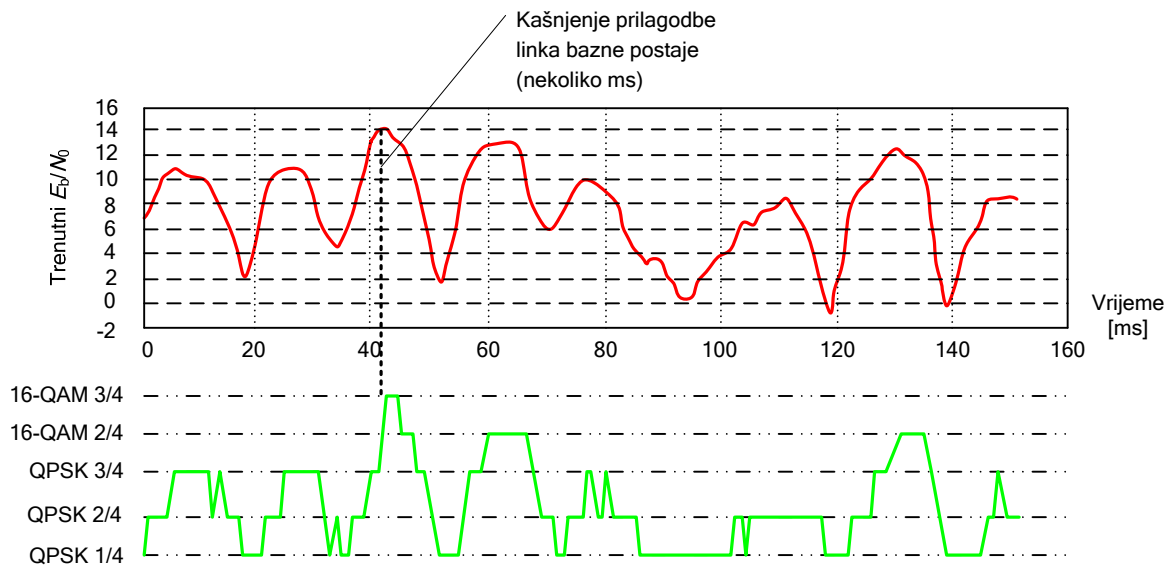
Slika 1.15. HARQ princip sa različitim retransmisijom

Različita retransmisija, koja se još naziva „povećavajuća redundancija“ (*incremental redundancy*) koristi različite informacije između dviju uzastopnih retransmisija. Relativan broj paritetnih bitova se mijenja između retransmisija. Ovo rješenje zahtijeva više memorije od prijašnjeg pa mora biti prilagođeno mogućnostima terminala. Terminal koji ima puno memorije može raditi s ovom vrstom retransmisije i pri najvećim brzinama podataka. Način rada je prikazan na slici 1.15. Funkcija broja uspoređivanja se mijenja između različitih retransmisija i stvarna izvedba kanalnog kodiranja može se izvesti za svako odašiljanje ili se podaci mogu zadržati u virtualnoj memoriji.

Ako fizički sloj ne uspije odraditi cjelokupni postupak (ili dođe do maksimalnog broja retransmisija) onda RLC sloj preuzima daljnje upravljanje retransmisijom. To se događa u slučajevima promjene ćelije koja odašilje HS-DSCH ili u slučaju jako lošeg pokrivanja.

1.3.1.2.4 Dodjeljivanje pristupa

Prilagodba veze podešava parametre prijenosa podataka prema trenutnim radijskim uvjetima na način da odabire modulaciju koja će se koristiti kao i količinu redundantnih podataka. Prilagodba je vrlo dinamična budući da se odvija svake 2 ms. Umjesto smanjivanja utjecaja brze promjene radijskih uvjeta kontrolom snage HS-DSCH koristi promjenjivu brzinu prijenosa, dok snaga ostaje ista. Na slici 1.16. je prikazan način prilagodbe veze. To se pokazalo kao bolja metoda (kontrola snage ne može koristiti veliki opseg promjene snage) posebno za usluge koje dopuštaju kratke promjene brzine prijenosa podataka.

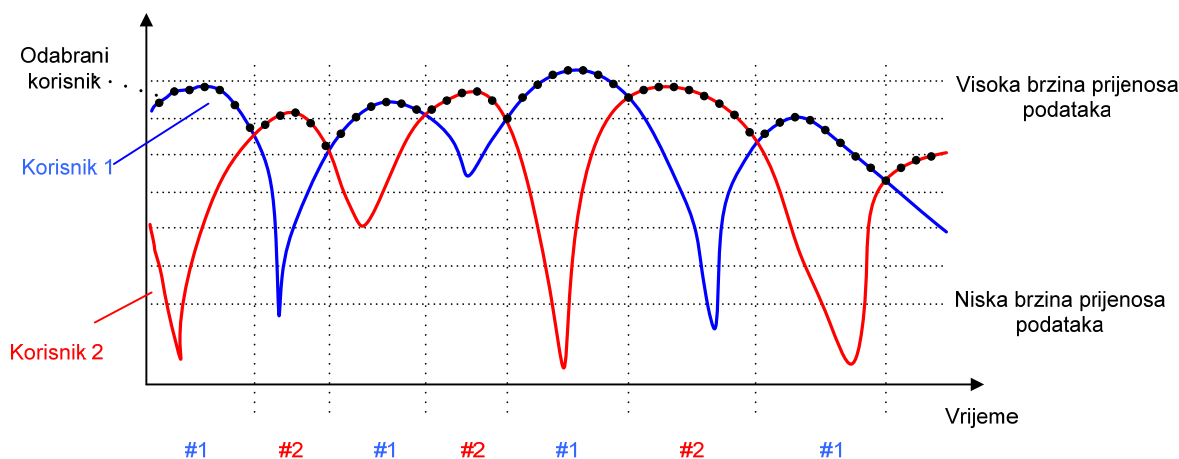


Slika 1.16. Prilagodba veze

Prilagodba veze se zasniva na CQI informacijama iz HS-DPCCH kanala. CQI informacije se koriste kod metode dodjeljivanja pristupa. Kako HS-DSCH kanal koristi više korisnika potrebna je metoda određivanja pristupa. Metoda određivanja pristupa određuje koji će terminal odašiljati podatke i kojom brzinom u određenom vremenu. Metoda je ugrađena u baznu postaju te je dio MAC-hs protokola. U suradnji sa prilagodbom veze, on određuje brzinu odašiljanja za svaki 2 ms period.

Osnovna ideja metode je da se daje prednost terminalu koji ima kvalitetniji kanal (slika 1.17). HSDPA koristi tri algoritma za dodjeljivanje pristupa:

- proporcionalni algoritam upravljanja,
- round Robin algoritam,
- maksimalni omjer S/N .



Slika 1.17. Metoda dodjeljivanja pristupa

Algoritam s maksimalnim omjerom S/N dodjeljuje kanal samo korisniku s najboljom vezom, ali ne raspoređuje pravedno uporabu kanala.

Round Robin algoritam je najpravedniji algoritam jer uzima u obzir samo vrijeme počeka. Korisnik koji je duže čekao na primanje ili na slanje podataka ima prednost u odnosu na onog koji je manje čekao. Iako je to najpravedniji algoritam njegove performanse su veoma loše, jer često daje prednost korisnicima koji imaju loš kanal pa su im brzine prijenosa male, a korisnici koji mogu imati veliku brzinu prijenosa moraju čekati na svoj red.

1.3.2. HSUPA

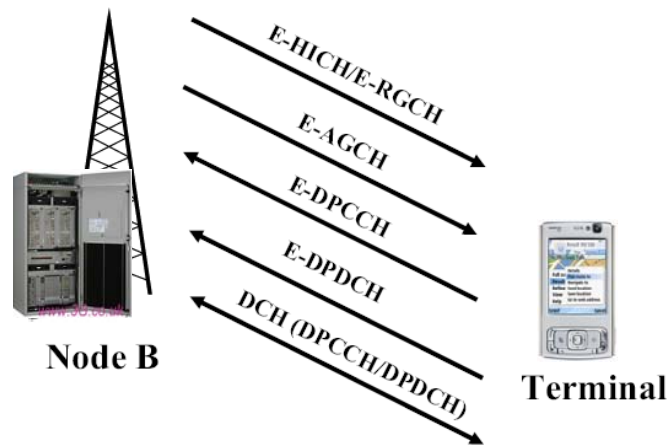
HSUPA, tehnologija predstavljena u WCDMA 3GPP *Release 6*, dodaje u WCDMA novi prijenosni kanal koji se naziva napredni pridijeljeni kanal (E-DCH, *Enhanced Dedicated Channel*). Taj kanal spada u skupinu transportnih kanala koji nose korisničke podatke u uzlaznom smjeru veze. Na fizičkom sloju taj kanal se preslikava u dva fizička kanala:

- E-DPDCH (E-DCH *Dedicated Physical Data Channel*), koji nosi korisničke podatke,
- E-DPCCH (E-DCH *Dedicated Physical Control Channel*) koji prenosi kontrolne informacije povezane s E-DPDCH.

Istodobno, u silaznoj vezi pridodana su sljedeća tri nova kanala u kontrolne svrhe, a kako bi se mogao koristiti navedeni E-DPDCH:

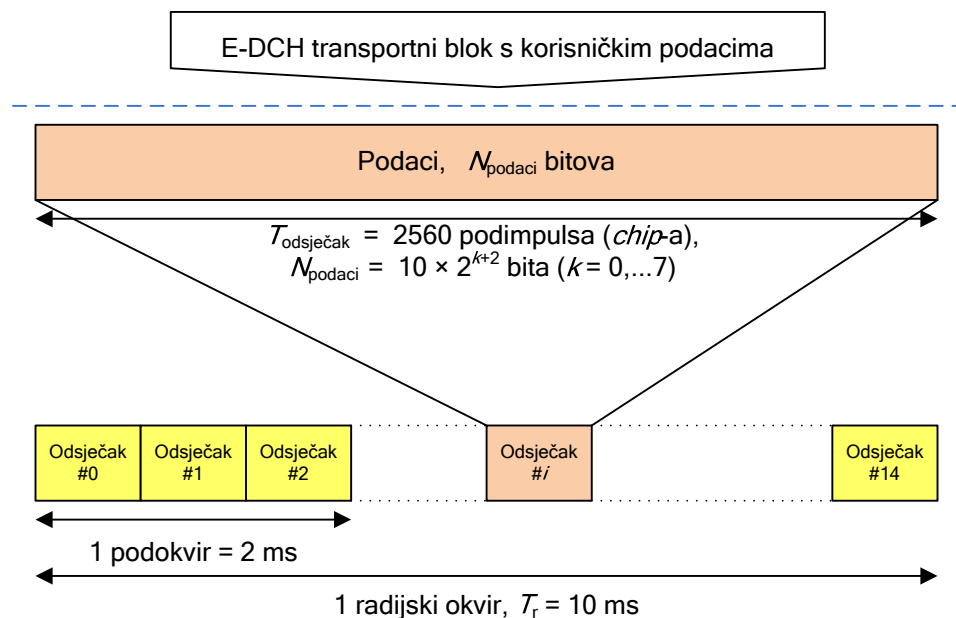
- E-AGCH (E-DCH *Absolute Grant Channel*),
- E-RGCH (E-DCH *Relative Grant Channel*),
- E-HICH (E-DCH *Hybrid ARQ Indicator Channel*) koji prenosi ACK/NACK informacije.

Raspored kanala za HSUPA dan je na slici 1.18.



Slika 1.18. Raspored kanala za HSUPA (silazna veza izvedena je ovdje kao R99 DCH)

Obrazlaganje pojedinih kanala prelazi okvire ove studije, stoga ćemo se samo zadržati na E-DPDCH kanalu budući je on najinteresantniji za promatranje. Struktura E-DPDCH kanala pokazana je na slici 1.19. E-DCH transportni blok preslikava se u jedan podokvir duljine trajanja 2 ms ili u jedan radijski okvir duljine trajanja 10 ms (preslikavanje ovisi o TTI konfiguraciji). BPSK se koristi kao modulacijski postupak, a faktor raspršenja (SF) može poprimiti vrijednosti od 2 do 256.



Slika 1.19 Struktura E-DPDCH kanala

U samim počecima tehnologija se nije zvala HSUPA već E-DCH, ali se zbog tadašnje primjene HSDPA u industriji prihvatio slični naziv. Napredna uzlazna veza poboljšava performanse u uzlaznom smjeru te pritom smanjuje kašnjenje, povećava brzine prijenosa

podataka i kapacitet te tako predstavlja prirodni dodatak HSDPA tehnologiji za paketske aplikacije visokih performansi.

Napredna uzlazna veza koristi nekoliko novih mogućnosti te kao i HSDPA ima minimalni utjecaj na nadogradnju postojećeg radijskog sučelja. Isto tako ona, uz već postojeće, donosi nove MAC cjeline kod korisničkih uređaja, baznih postaja i RNC-a. Velike brzine prijenosa u uzlaznom smjeru su veoma poželjne i s korisničke strane i sa strane mreže. Pritom je jako važno da su relativno visoke brzine prijenosa dostupne na bilo kojoj korisničkoj lokaciji tj. da je pokrivanje što veće. HSUPA kao i HSDPA koristi iste frekvencijske nosioce opisane u inačici *Release 99*. Kako bi HSUPA tehnologija ispunila zadane ciljeve rabi se nekoliko noviteta:

- višekodno odašiljanje,
- kratko vrijeme odašiljanja,
- brzi hibridni zahtjev za ponovnim slanjem podataka,
- brzo raspoređivanje.

Iako se slične tehnike koriste kod HSDPA, postoji nekoliko osnovnih razlika između uzlazne i silazne veze. Dijeljeni resursi kod uzlaznog smjera predstavljaju smetnju (ukupna primljena snaga) na baznoj postaji, koja ovisi o podijeljenim resursima snage svakom korisničkom uređaju. U silaznom smjeru dijeljeni resursi se sastoje od odašiljačke snage i kanalnih kodova te su centralizirani na baznoj postaji. Ta razlika ima velik utjecaja na samu tehniku raspoređivanja.

Tablica 1.3. Usporedba osnovnih karakteristika kod HSDPA, HSUPA i DCH

Svojstva	R99 (DCH)	HSDPA (HS-DSCH)	HSUPA (E-DCH)
Promjenjivi faktor raspršenja	Da	Ne	Da
Brza kontrola snage	Da	Ne	Da
Prilagodljiva modulacija	Ne	Da	Ne
BTS upravljanje	Ne	Da	Da
Brzi L1 HARQ	Ne	Da	Da
Meko prekapčanje	Da	Ne	Da
TTI duljina [ms]	80; 40; 20; 10	2	10; 2

Novi kanal u uzlaznom smjeru, predstavljen kod HSUPA, za razliku od HSDPA se ne dijeli između korisnika već je pridijeljen samo jednom korisniku. Pritom se mogu koristiti do četiri koda u svrhu povećanja brzine prijenosa u uzlaznom smjeru.

1.3.2.1. Kratko vrijeme odašiljanja

Kod WCDMA 3GPP *Release 99* u uzlaznom smjeru se koriste vremena odašiljanja u trajanju od 10 ms, 20 ms i 40 ms. Napredna uzlazna veza koristi vrijeme odašiljanja od 2 ms ili 10 ms. Kraće vrijeme odašiljanja značajno smanjuje ukupno vrijeme kašnjenja te pruža mogućnost primjene drugih tehnika i bržeg slanja podataka.

1.3.2.2. Brzi hibridni zahtjev za ponovnim slanjem podataka

Brzi hibridni zahtjev za ponovnim slanjem podataka je sličan već prije opisanom kod HSDPA. Bazna postaja može brzo zatražiti ponovno slanje pogrešno prenesenih podataka, što omogućuje veću otpornost na smetnje te smanjuje kašnjenje kod ponovnog slanja podataka. Kod HSUPA tehnologije moguće je meko prekapčanje te pri tome sve uključene bazne postaje pokušavaju dekodirati primljene podatke. Ako je poslana potvrda o primitku od barem jedne bazne postaje korisnički uređaj smatra da su podaci uspješno poslani. Brzi hibridni zahtjev za ponovnim slanjem podataka, koji koristi meko kombiniranje, ne samo da omogućuje otpornost na nepredvidive smetnje već i poboljšava učinkovitost veze.

1.3.2.3. Brzo raspoređivanje

Zajednički resurs u uzlaznoj vezi, koji se dijeli između korisničkih uređaja, je razina podnošljive smetnje tj. ukupna primljena snaga na strani bazne postaje. Iznos zajedničkih resursa u uzlaznoj vezi, kojeg koriste terminali, ovisi o brzini prijenosa podataka. Uglavnom, korištenje veće brzine prijenosa podataka zahtijeva i veću odašiljačku snagu, a time se onda troši više resursa.

Brzo raspoređivanje omogućuje brzu preraspodjelu resursa između korisničkih uređaja, iskorištavajući svojstvo „praskovitosti“ u odašiljanju paketa podataka. Isto tako, ono omogućuje mreži prihvaćenje većeg broja korisnika koji koriste velike brzine prijenosa podataka te se brzo prilagođava promjenjivim smetnjama. To vodi k povećanju kapaciteta, ali i vjerojatnosti da će korisnik iskusiti velike brzine prijenosa podataka.

Algoritam za raspoređivanje nije normiran pa se mogu koristiti različite strategije raspoređivanja. Ta fleksibilnost je korisna kad različita okruženja i tipovi prometa imaju različite zahtjeve na strategiju raspoređivanja. Tako npr. korisnička oprema može biti upravljana od samo jedne bazne postaje ili pak od nekoliko baznih postaja istodobno. U kasnijim slučajevima, meko prekapčanje mora biti podržano za naprednu uzlaznu vezu. Korisnički uređaj se ne informira samo o smetnji u vlastitoj ćeliji već i o smetnjama u susjednim ćelijama. Na taj način se izlazna snaga korisničkog uređaja može smanjiti ako je razina smetnje prevelika u susjednim ćelijama. Meko prekapčanje, koje je podržano u uzlaznoj vezi omogućuje dobitak od diverzitija do 1,5 dB.

1.3.2.4. HSUPA kategorije uređaja

HSUPA zahtijeva nove korisničke uređaje koji moraju imati dobitak od obrade signala kao bi mogli upravljati novim, ranije opisanim, funkcionalnostima. Definirano je sedam različitih kategorija uređaja u svrhu ostvarenja različitih brzina prijenosa podataka (tablica 1.4). Uglavnom se korisnički uređaji razlikuju u vremenu odašiljanja. Neke kategorije podržavaju samo vrijeme odašiljanja od 10 ms, dok neke kategorije podržavaju oba vremena odašiljanja: 2 ms i 10 ms. Druga razlika je u broju kodova koji se koriste prilikom raspršenja. Početna HSUPA tehnologija je bila bazirana na kategoriji 3 uređaja te je podržavala brzine prijenosa podataka od 1,4 Mbit/s.

Tablica 1.4. Kategorije HSUPA korisničkih uređaja

Kategorija uređaja	Kodovi × raspršenje	Vrijeme odašiljanja (TTI)	Vršna brzina prijenosa podataka 10 ms TTI	Vršna brzina prijenosa podataka 2 ms TTI
Kategorija 1	1 × SF4	10 ms	0,73 Mbit/s	-
Kategorija 2	2 × SF4	oba	1,46 Mbit/s	1,46 Mbit/s
Kategorija 3	2 × SF4	10 ms	1,46 Mbit/s	-
Kategorija 4	2 × SF2	oba	2,0 Mbit/s	2,96 Mbit/s
Kategorija 5	2 × SF2	10 ms	2,0 Mbit/s	-
Kategorija 6	2 × SF2 + 2 × SF4	oba	2,0 Mbit/s	5,76 Mbit/s
Kategorija 7	2 × SF2 + 2 × SF4	oba	4,0 Mbit/s	11,5 Mbit/s

1.3.3. Razvoj HSPA

OFDM sustavi su privukli dosta pažnje kroz tehnologije kao što su 3GPP LTE i WiMAX. Međutim kod smanjene širine kanala pristup po kodu se može mjeriti s OFDMA pristupom. Iz tog razloga dodatno se radi na razvoju HSPA tj. i u HSPA se uvode naprednije radijske tehnologije. To ne samo da ostavlja HSPA konkurentnim, već i produžuje život značajnim infrastrukturnim ulaganjima operatora.

Unaprjeđenja za HSPA definirana su u *Release 7*, dok su neka završena u *Release 8*. Ona uključuju naprednije prijarnike, MIMO, kontinuiranu paketsku povezanost (CPC), modulacije višeg reda i jednotunelsku arhitekturu.

1.3.3.1. Napredniji prijamnici

Jedno od važnih unaprjeđenja je u naprednijim prijamnicima za koje je 3GPP definirao velik broj izvedbi, odnosno podijelio ih je po tipovima. Te izvedbe uključuju: tip 1 (koristi diverziti u mobilnom prijamniku), tip 2 (koristi ujednačavanje kanala) i tip 3 (koristi kombinaciju prijamnog diverzitija i ujednačavanja kanala). Uređaji tipa 3i, koji još nisu dostupni, koristit će i poništenje smetnji. Bitno je napomenuti da tipovi prijamnika nisu povezani s inačicom tehnologije, pa će tako prijamnici tipa 3i moći raditi i povećati kapacitet u *Release 5* mreži.

Prvi pristup uključuje uporabu diverzitija na strani mobilnog prijamnika. Tehnika se oslanja na optimalnu kombinaciju prijamnog signala koji dolazi od više razdvojenih prijamnih antena. Zahvaljujući razmještanju antena primljeni signali mogu imati nezavisne fading karakteristike, a njihovim kombiniranjem signali se mogu učinkovitije dekodirati što rezultira i povećanjem kapaciteta u silaznom smjeru (koristi se u kombinaciji s ujednačavanjem kanala). Prijamni diverziti je djelotvoran i kod malih uređaja kao npr. PC modemske kartice ili inteligentnih telefona.

Trenutna arhitektura prijamnika (koja se oslanja na Rake prijamnik) je djelotvorna kod brzina prijenosa podataka od nekoliko Mbit/s. Međutim, kod većih brzina prijenosa podataka, tj. u slučaju kraćih vremena trajanja simbola i višestaznih smetnji, dolazi do intersimbolne smetnje i smanjenja performansi Rake prijamnika. Taj se problem može riješiti naprednijom arhitekturom prijamnika s ujednačavanjem kanala koje onda dovodi do povećanja kapaciteta u odnosu na HSDPA prijamnik koji koristi samo diverziti. Alternativan pristup s naprednijim prijamnicima uključuje poništenje smetnje i poopćen Rakeov prijamnik (G-Rake). Različiti proizvođači koriste različite pristupe. Zahtjevi na mogućnosti naprednijih prijamnika su definirani u *Release 6* inačici. Kombinacija diverzitija i ujednačavanja kanala je izrazito popularna jer pokazuje dobre rezultate neovisno o radijskom kanalu.

Ovakva unaprjeđenja sustava su veoma privlačna jer ne zahtijevaju skoro nikakve promjene u mreži osim povećanja kapaciteta unutar infrastrukture koja podržava širi pojas. Osim toga, mreža podržava i kombinaciju u radu ovih različitih uređaja. Znači u mreži mogu normalno koegzistirati stariji uređaji i oni napredniji koji posjeduju određena unaprjeđenja. Proizvođači uređaja mogu selektivno primijeniti poboljšanja na svoje uređaje visokih performansi.

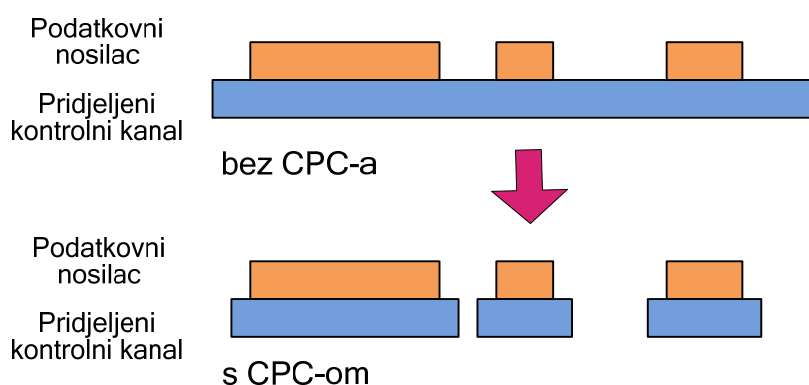
1.3.3.2. MIMO

Druga standardna mogućnost za poboljšavanje osobina mreže je MIMO, odnosno tehnika koja zahtijeva više odašiljačkih i više prijamnih antena. Izraz MIMO se najčešće koristi za slučaj prostornog multipleksiranja. Odašiljač šalje različite tokove podataka preko svake antene. MIMO iskorištava višestaznost i pritom se

oslanja na putovanje signala različitim nepovezanim komunikacijskim vezama. To rezultira višestrukim podatkovnim vezama koje rade u znatnoj mjeri paralelno, a pritom se koristi i adekvatno kodiranje. Sve skupa dovodi do povećanja kapaciteta. Od MIMO-a bi velike koristi mogla imati tzv. HSPA „hot spot“ mjesta (zračne luke, kampovi, trgovački centri ...). Korištenje mobilnog diverzitetija kod potpuno opterećenih mreža, uz postojanje smetnji od susjednih ćelija, skromno će povećati ukupni dobitak (procjene kazuju 20 do 33 %). U odnosu na antenski sustav 1×1, korištenjem MIMO tehnike u konfiguraciji 2×2 može se propusnost povećati do 80 posto po ćeliji (dobici variraju ovisno o radijskim kanalima). 3GPP je definirao prostorno multipleksirajući MIMO u inačici *Release 7*. MIMO će se detaljnije obraditi u poglavlju koji obrađuju LTE tehnologiju.

1.3.3.3. Kontinuirana paketska povezanost (CPC)

U inačici *Release 7* definirana je kontinuirana paketska povezanost. Njena primjena smanjuje smetnje u uzlaznom smjeru veze. Smetnje nastaju od paketskih podataka pridijeljenog fizičkog kontrolnog kanala kad nema korisničkih podataka za odašiljanje (slika 1.20). To ograničava broj mogućih istodobno spojenih HSUPA korisnika. CPC omogućava isprekidano odašiljanje u uzlaznom smjeru i isprekidan prijam u silaznom smjeru, pri čemu modem može isključiti svoj prijamnik nakon nekog vremena u kojem nema HSDPA aktivnosti. Velika korist od CPC ostvaruje se prilikom korištenja VoIP-a u uzlaznom smjeru. Pritom se može bolje iskoristiti energija baterije u mobilnom uređaju jer se može ugasiti odašiljač između slanja VoIP paketa.



Slika 1.20. Prikaz kontinuirane paketske povezanosti

1.3.3.4. Modulacije višeg reda

Performanse sustava mogu se povećati i korištenjem modulacija višeg reda. HSPA rabi 16-QAM u silaznom smjeru i QPSK u uzlaznom smjeru. Veće propusnosti mogu se postići dodavanjem

64-QAM-a u silaznom smjeru i 16-QAM-a u uzlaznom smjeru. Međutim, modulacije višeg reda zahtijevaju bolji odnos signal/šum. Stoga se složeniji modulacijski postupci obično rabe uz kombiniranje s drugim naprednijim tehničkim rješenjima (diverziteti, ujednačavanje).

1.3.4. HSPA+

Koristeći prednosti raznih tehnologija, 3GPP je normirao određeni broj novih mogućnosti u inačici *Release 7*. Među njima definirane su modulacije višeg reda i MIMO. Tako unaprjeđenu HSPA tehnologiju naziva se zajedničkim imenom HSPA+ (u uporabi je i termin HSPA *Evolved*). HSPA+ opisan je (njegov daljnji razvoj) i u inačici *Release 8* i *Release 9*.

Cilj HSPA+ tehnologije je:

- potpuno iskoristiti CDMA pristup prije prelaska na OFDM u 3GPP LTE,
- postići performanse slične LTE pri pojasu širine od 5 MHz,
- omogućiti paralelni rad HSPA+ i LTE,
- omogućiti rad isključivo s paketskim podacima (i govor se prenosi paketima),
- biti unatrag kompatibilna s ranijim inačicama uz dozvoljavanje korištenja uređaja jedne ili druge tehnologije bez smanjivanja performansi,
- ostvariti laki prijelaz s HSPA tehnologije.

Ovisno o značajkama koje se koriste, HSPA+ može čak premašiti mogućnosti mreže po normi IEEE 802.16e-2005 (mobilni WiMAX) pri jednakoj širini spektra.

Tablica 1.5. Razvoj HSPA propusnosti

Tehnologija	Vršna brzina prijenosa u silaznom smjeru [Mbit/s]	Vršna brzina prijenosa u uzlaznom smjeru [Mbit/s]
HSPA <i>Release 6</i>	14,4	5,76
HSPA+ <i>Release 7</i> , DL 64-QAM, UL 16-QAM	21,1	11,5
HSPA+ <i>Release 7</i> , 2×2 MIMO, DL 16-QAM, UL 16-QAM	28,0	11,5
HSPA+ <i>Release 8</i> , 2×2 MIMO, DL 64-QAM, UL 16-QAM	42,2	11,5
HSPA+ <i>Release 9</i> , 2×2 MIMO, dva nosioca	84	23,0

Vršna brzina prijenosa od 42 Mbit/s, koja je definirana u *Release 8*, povećat će se u inačici *Release 9* uz pomoć 2×2 MIMO i dvostruke

širine pojasa tj. 84 Mbit/s. Buduća izdanja HSPA+ će možda koristiti i četiri puta veću širinu pojasa što će dodatno povećati propusnost.

HSPA+ će isto tako imati manje vrijeme kašnjenja, ispod 50 ms, i poboljšano vrijeme uspostavljanja paketske veze, ispod 500 ms.

HSPA+ tehnologija s brzinom od 28 Mbit/s u silaznoj vezi će biti dostupna za primjenu do kraja 2009. godine, dok će tehnologija s brzinama prijenosa od 42 Mbit/s u silaznom smjeru i 11,5 Mbit/s u uzlaznom smjeru biti spremna za uporabu 2010. godine.

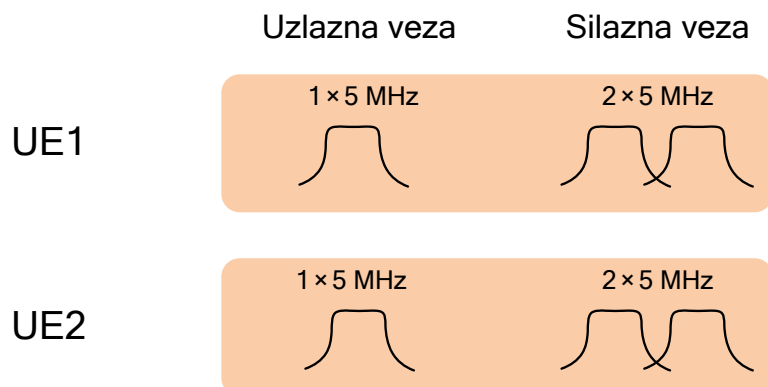
Za očekivati je da će operatori u početku primijeniti HSPA+ u malim ograničenim područjima (*hotspot*) kao što su zračne luke, poslovni kampovi te mreže unutar zgrada.

Iako se u većini rasprava o HSPA+ naglašava brzina prijenosa podataka, isto tako je bitno da se udvostručuje kapacitet, a kašnjenje u mreži smanjuje se ispod 25 ms. Vrijeme uspostave prijenosa podataka, koje je manje od 200 ms, poboljšat će korisnički doživljaj trajne spojenosti na mrežu, dok će smanjena potrošnja energije kod VoIP-a omogućiti 50 % dulje trajanje razgovora.

Nadogradnja na HSPA+ uključuje programsku nadogradnju postojeće opreme ili sklopovska proširenja. Neke nadogradnje će biti jednostavnije od drugih, npr. nadogradnja podrške za 64-QAM će biti jednostavnija od uvođenja MIMO tehnike. Kod mreža koje već koriste diverziti u uzlaznom smjeru lakše će se primijeniti MIMO.

1.3.4.1. HSPA s dva nosioca

3GPP je definirao tu mogućnost rada u inačici *Release 8*. Ideja je povezati dva susjedna HSPA nosioca (dva susjedna kanala širine 5 MHz) u svrhu povećanja ukupne brzine prijenosa podataka, a što je prikazano na slici 1.21. U tom izdanju (*Release 8*) MIMO se nije razmatrao, a s tim postavkama moguće je postići udvostručenje brzine prijenosa podataka od 21 Mbit/s na 42 Mbit/s.

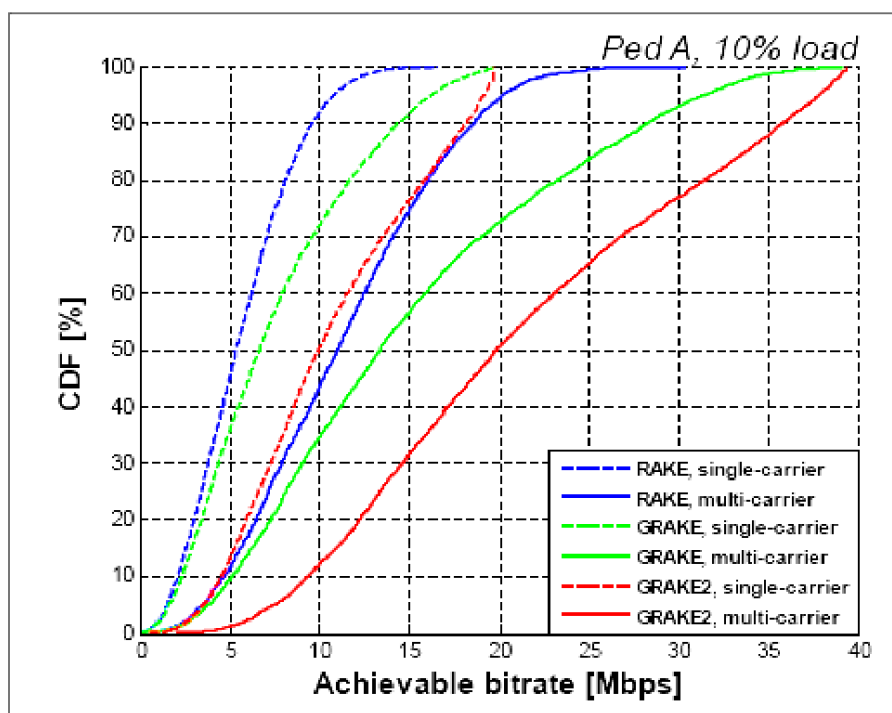


Slika 1.21. Korištenje dva nosioca u silaznom smjeru i jednog nosioca u uzlaznom smjeru

Neke prednosti ovakvog pristupa su:

- povećanje spektralne učinkovitosti za 20 % u odnosu na onu koja se može postići s 2×2 MIMO,
- značajno povećanje brzine prijenosa podataka, posebno u slabije opterećenim mrežama,
- jednaka brzina prijenosa podataka kao kod korištenja 2×2 MIMO, ali s manjim troškovima nadogradnje,
- upravljanje paketima preko dva nosioca vodi k boljoj iskoristivosti resursa. Za *Release 10* razmatra se uporaba i četiri kanala.

Na slici 1.22. prikazana je analiza performansi kada se koriste dva nosioca pri čemu je korištena kumulativna funkcija distribucije (CDF, cumulative distribution function). CDF prikazuje vjerojatnost postizanja određene brzine prijenosa podataka. Iz slike se vidi dosljedno udvostručenje brzine prijenosa podataka korištenjem ove metode.



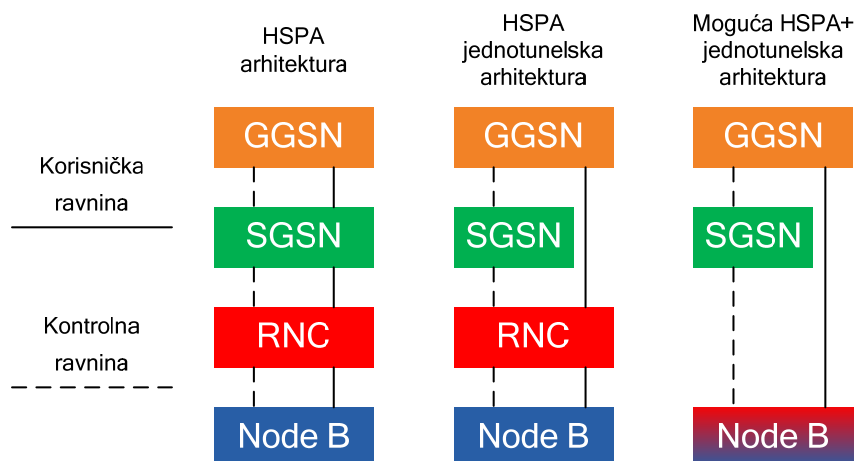
Slika 1.22. Ostvarive brzine prijenosa prilikom uporabe HSPA s dva nosioca (slika je prenesena u izvornom obliku iz HSPA to LTE-Advanced, Rysavy Research/3G Americas, September 2009)

1.3.4.2. Jedno-tunelska arhitektura

HSPA performanse mogu se poboljšati korištenjem ugladenije arhitekture. U *Release 7* kao opcija postoji jedno-tunelska arhitektura kod koje mreža za korisničke podatke uspostavlja izravnu prijenosu vezu između RNC-a i GGSN-a, dok SGSN i dalje obavlja sve kontrolne funkcije. Navedeni postupak donosi nekoliko koristi,

a možemo navesti smanjenje sklopovlja u SGSN-u i pojednostavljeno podešavanje mreže.

Isto tako postoji integrirana RNC/Node B opcija kod koje se funkcije RNC-a integriraju u Node B. To je izrazito korisno kod primjene u femto ćelijama kad RNC mora podržavati nekoliko tisuća femto ćelija. Integracija RNC/Node B kod HSPA+ je dogovorena kao opcijaska alternativna arhitektura za paketske prespojne usluge.



Slika 1.23. HSPA arhitekture

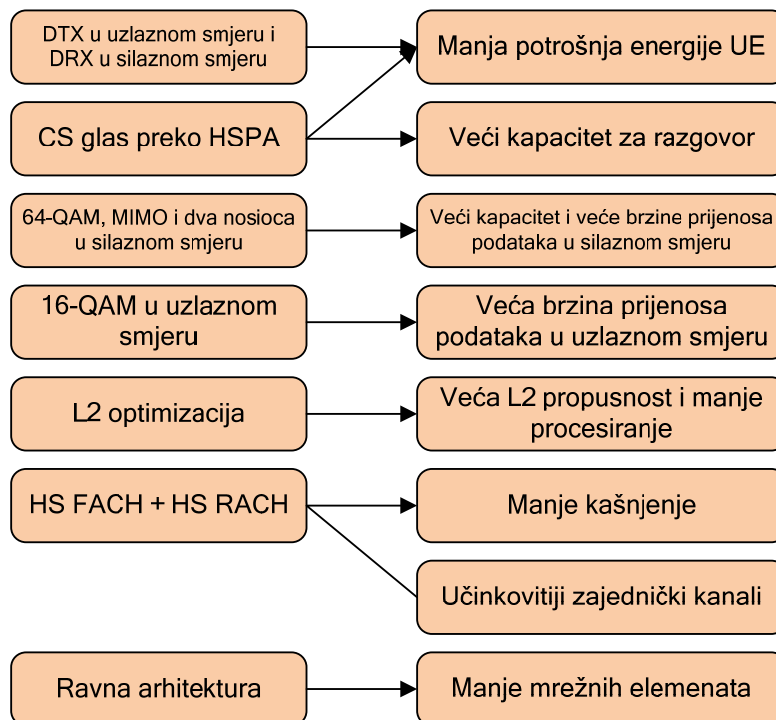
Ta nova arhitektura, koja se može vidjeti na slici 1.23., slična je EPC/SAE arhitekturi (vidi odjeljak 1.4. o tehnologiji LTE).

1.3.4.3. HS-FACH

Nova mogućnost, prema inačici *Release 7*, nudi brzi pristupni proslijeđeni kanal (HS-FACH, *High-Speed Access Forward Channel*) koji smanjuje vrijeme postavljanja skoro na nulu te tako omogućuje učinkovitiji način prenošenja signalizacije za uvijek uključene aplikacije.

1.3.4.4. Zaključak uz HSPA+ tehnologiju

Osobine vezana uz HSPA+ tehnologiju mogu se ukratko sažeti kako pokazuje slika 1.24. Ona ukratko objedinjuje sve mogućnosti i uvedena poboljšanja u HSPA+ tehnologiju.



Slika 1.24. Sažetak HSPA+ mogućnosti i uvedenih poboljšanja

1.4. Radijska tehnologija LTE

LTE postavlja ambiciozne zahtjeve u pogledu brzine prijenosa podataka, kapaciteta, spektralne učinkovitosti i kašnjenja. Kako bi ispunio navedene zahtjeve temelji se na novim (naprednim) tehnološkim principima: OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) u silaznoj vezi i SC-FDMA (*Single Carrier Frequency Division Multiple Access*) u uzlaznoj vezi, MIMO tehnici i unaprijeđenju postojećih UMTS protokola. Utjecaj na ukupnu mrežnu arhitekturu (uključujući i jezgrenu mrežu) označava se kao 3GPP SAE (*System Architecture Evolution*). Valja spomenuti da LTE podržava i FDD i TDD način rada, te različite širine kanala.

Migracija i prednosti evolucije od tehničkih rješenja GPRS/EDGE prema HSPA i nakon toga prema LTE su definitivno očite i neizbježne. Kombinirana s mogućnošću globalnog roaminga i opće prihvaćenosti kod operatora mnoštvom novih usluga i uređaja, koji ih podržavaju, nova tehnologija, od koje će profitirati i krajnji korisnici i operatori, ima vrlo dobre izgleda da bude prihvaćena širom svijeta.

1.4.1. Zahtjevi koji se postavljaju pred LTE i ostvarivi rezultati

LTE je optimiran za paketski prijenos podataka (*Packet Switched /PS/ Services*). Glavni zahtjevi, koje LTE mora ispuniti, izneseni su u dokumentu 3GPP TR 25.913, a mogu se ukratko predočiti na sljedeći način:

- značajno povećanje vršnih brzina prijenosa; vršna brzina prijenosa od 100 Mbit/s u silaznoj vezi i 50 Mbit/s u uzlaznoj vezi unutar kanala širine 20 MHz uz 2 prijамne antene i 1 odašiljačku antenu na korisničkoj opremi (temeljna konfiguracija). Vršne brzine prijenosa treba linearno skalirati s dodijeljenom širinom kanala,
- povećanje brzine prijenosa na rubovima ćelija uz zadržavanje lokacija postojećih baznih postaja,
- značajno povećanje spektralne učinkovitosti (2 do 4 puta u odnosu na *Release 6*),
- mogućnost za kašnjenje u radijskoj pristupnoj mreži ispod 10 ms,
- značajno smanjenje kašnjenja u C razini mreže,
- skalirajuća širina pojasa (5; 10; 15; 20 MHz i moguće 2,5 MHz /1,25; 1,6 MHz/ da bi se omogućio rad u užima dodijeljenim frekvencijskim područjima),
- mogućnost rada s postojećim 3G mrežama i sustavima koji nisu specificirani od strane 3GPP-a,
- daljnje poboljšanje MBMS-a,
- smanjeni troškovi (CAPEX i OPEX),
- troškovno najprihvatljivija migracija iz *Release 6*,
- razumna kompleksnost sustava i korisničke opreme, razumni troškovi i potrošnja energije,
- podrška daljnjoj nadogradnji IMS-a i jezgrene mreže,
- kompatibilnost unatrag je poželjna, ali ne pod cijenu ostvarivih performansi,
- učinkovita podrška različitim vrstama usluga,
- mreža treba biti optimizirana za male brzine korisnika, ali treba podržavati i velike brzine,
- mreža treba omogućavati rad u uparenom i u neuparenom spektru,
- mogućnost pojednostavljenog koegzistiranja između različitih operatora u susjednim frekvencijskim područjima kao i međudržavna koegzistencija.

U dokumentu 3GPP TR 25.912, koji je studija provedivosti E-UTRA i UTRAN-a, nalaze se procijenjene vrijednosti vršne brzine prijenosa i pokazuje se da one premašuju zahtijevane iznose. Silazna veza je specificirana za SIMO i MIMO konfiguracije uz 64-QAM modulacijski postupak, a uzlazna veza samo za SISO uz različite modulacijske sheme.

Tablica 1.6. Vršne brzine prijenosa u silaznoj vezi E-UTRA FDD (struktura okvira je tip 1)

Konfiguracija	Silazna veza	
	Modulacija: 64-QAM	
	Kanal 20 MHz [Mbit/s]	Učinkovitost [bit/s/Hz]
Temeljna konfiguracija (1×2)	100	5,0
2×2 MIMO	172,8	8,6
4×4 MIMO	326,4	16,3

Kao što se vidi iz tablica 1.6., 1.7. i 1.8. i FDD i TDD način rada omogućuju veće brzine od zahtijevanih. Prema očekivanju kod jednake širine kanala, s TDD ostvaruju se niže brzine nego s FDD.

Nadalje, kod LTE se zahtijeva povećanje propusnosti i spektralne učinkovitosti u odnosu na *Release 6* kako u silaznoj tako i u uzlaznoj vezi. Prijavljeni rezultati dokazuju da je to ostvarivo (tablice 1.9.–1.14.).

Tablica 1.7. Vršne brzine prijenosa u uzlaznoj vezi E-UTRA FDD (struktura okvira je tip 1)

	Uzlazna veza	
	Jedan odašiljač korisničkog uređaja	
Modulacijski postupak	Kanal 20 MHz [Mbit/s]	Učinkovitost [bit/s/Hz]
Temeljna konfiguracija (1×1)	50	2,5
16-QAM	57,6	2,9
64-QAM	86,4	4,3

Tablica 1.8. Vršne brzine prijenosa u E-UTRA TDD (struktura okvira je tip 2)

	Silazna veza		Uzlazna veza	
	64-QAM		Jedan odašiljač korisničkog uređaja, 64-QAM	
Jedinica	Kanal 20 MHz [Mbit/s]	Učinkovitost [bit/s/Hz]	Kanal 20 MHz [Mbit/s]	Učinkovitost [bit/s/Hz]
Temeljna konfiguracija	100	5,0	50	2,5
2×2 MIMO u silaznoj vezi	142	7,1	62,7	3,1
4×4 MIMO u silaznoj vezi	270	13,5		

Tablica 1.9. Propusnost za korisnika u uzlaznoj vezi, slučaj 1
(500m ISD, razmak između baznih postaja)

	Srednja propusnost za korisnika*	Propusnost za korisnika na rubu ćelije*
Slučaj 1	UTRA ×	UTRA ×
UTRA (referentna vrijednost, <i>Release 6</i>)	1,0	1,0
E-UTRA 1×2	2,2	2,5
E-UTRA 1×4	3,3	5,5
E-UTRA 2×2 SU-MIMO	2,3	1,1

*Numeričke vrijednosti propusnosti dane se u odnosu na propusnost UTRA.

Tablica 1.10. Propusnost za korisnika u uzlaznoj vezi, slučaj 3
(1732m ISD, razmak između baznih postaja)

	Srednja propusnost za korisnika*	Propusnost za korisnika na rubu ćelije*
Slučaj 3	UTRA ×	UTRA ×
UTRA (referentna vrijednost, <i>Release 6</i>)	1,0	1,0
E-UTRA 1×2	2,2	2,0
E-UTRA 1×4	3,3	4,2

*Numeričke vrijednosti propusnosti dane se u odnosu na propusnost UTRA.

- Napomene:
- referentna vrijednost srednje propusnosti za korisnika iznosi 0,032 bit/s/Hz/korisniku;
 - referentna vrijednost propusnosti za korisnika na rubu ćelije iznosi 0,0023 bit/s/Hz/korisniku.

Tablica 1.11. Spektralna učinkovitost za korisnika u uzlaznoj vezi, slučaj 1 (500m ISD), slučaj 3 (1732m ISD)

	Slučaj 1		Slučaj 3	
	Učinkovitost [bit/s/Hz/ćeliji]	UTRA×	Učinkovitost [bit/s/Hz/ćeliji]	UTRA ×
UTRA (referentna vrijednost, <i>Release 6</i>)	0,332	1,0	0,316	1,0
E-UTRA 1×2	0,735	2,2	0,681	2,2
E-UTRA 1×4	1,103	3,3	1,038	3,3
E-UTRA 2×2 SU-MIMO	0,776	2,3	-	-

Tablica 1.12. Propusnost za korisnika u silaznoj vezi, slučaj 1 (500m ISD, razmak između baznih postaja)

Slučaj 1	Srednja propusnost za korisnika*	Propusnost za korisnika na rubu ćelije*
	UTRA ×	UTRA ×
UTRA (referentna vrijednost, 1×2)	1,0	1,0
E-UTRA 2×2 SU-MIMO	3,2	2,7
E-UTRA 4×2 SU-MIMO	3,5	3,0
E-UTRA 4×4 SU-MIMO	5,0	4,4

*Numeričke vrijednosti propusnosti dane se u odnosu na propusnost UTRA.

- Napomene:
- referentna vrijednost srednje propusnosti za korisnika iznosi 0,05 bit/s/Hz/korisniku;
 - referentna vrijednost propusnosti za korisnika na rubu ćelije iznosi 0,02 bit/s/Hz/korisniku.

Tablica 1.13. Propusnost za korisnika u silaznoj vezi, slučaj 3 (1732m ISD, razmak između baznih postaja)

Slučaj 3	Srednja propusnost za korisnika*	Propusnost za korisnika na rubu ćelije*
	UTRA ×	UTRA ×
UTRA (referentna vrijednost, 1×2)	1,0	1,0
E-UTRA 2×2 SU-MIMO	3,0	2,3
E-UTRA 4×2 SU-MIMO	3,6	2,8
E-UTRA 4×4 SU-MIMO	4,6	4,8

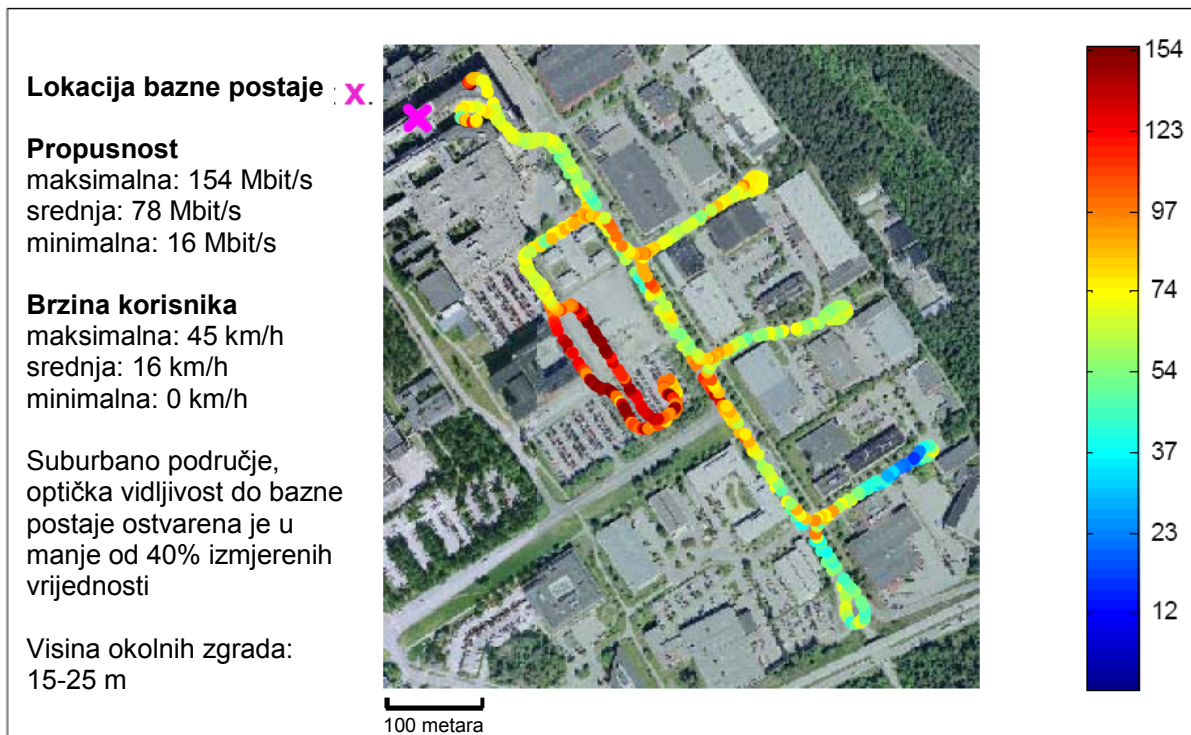
*Numeričke vrijednosti propusnosti dane se u odnosu na propusnost UTRA.

- Napomene:
- referentna vrijednost srednje propusnosti za korisnika iznosi 0,05 bit/s/Hz/korisniku;
 - referentna vrijednost propusnosti za korisnika na rubu ćelije iznosi 0,02 bit/s/Hz/korisniku.

Tablica 1.14. Spektralna učinkovitost za korisnika u silaznoj vezi, slučaj 1 (500m ISD) i slučaj 3 (1732m ISD)

	Slučaj 1		Slučaj 3	
	Učinkovitost [bit/s/Hz/ćeliji]	UTRA×	Učinkovitost [bit/s/Hz/ćeliji]	UTRA ×
UTRA (referentna vrijednost, 1×2)	0,53	1,0	0,52	1,0
E-UTRA 2×2 SU-MIMO	1,69	3,2	1,56	3,0
E-UTRA 4×2 SU-MIMO	1,87	3,5	1,85	3,6
E-UTRA 4×4 SU-MIMO	2,67	5,0	2,41	4,6

Kao zgodnu ilustraciju za pokazivanje i demonstraciju mogućnosti LTE tehnologije poslužit će slika 1.25. Ona pokazuje neke eksperimentalno ostvarene rezultate na jednom ispitnom polju uz primjenu 2×2 MIMO i širinu kanala od 20 MHz. Na slici se vide dinamičke promjene propusnosti u ovisnosti o lokaciji mobilne postaje i njevoj brzini, odnosno dobiva se uvid u stvarne mogućnosti mreže. Treba imati na umu da su ove vrijednosti dobivene uz korisničku opremu laboratorijskog tipa.



Slika 1.25. Rezultati mjerenja na terenu (izvor: HSPA to LTE-Advanced, Rysavy Research / 3G Americas, September 2009)

1.4.2. Ključni tehnički parametri tehnologije LTE

Prilikom navođenja ključnih parametara LTE zadržat ćemo se samo na radijskom sučelju. Radijsko sučelje podržava FDD i TDD način rada. Inačica (*Release*) 8 definira frekvencijska područja rada koja su navedena u tablici 1.15.

Tablica 1.15. Područja rada E-UTRA

Područja rada E-UTRA	Uzlazna veza		Silazna veza		Vrsta dupleksa
	f_{UL_donja}	– f_{UL_gornja}	f_{DL_donja}	– f_{DL_gornja}	
1	1920 MHz	– 1980 MHz	2110 MHz	– 2170 MHz	FDD
2	1850 MHz	– 1910 MHz	1930 MHz	– 1990 MHz	FDD
3	1710 MHz	– 1785 MHz	1805 MHz	– 1880 MHz	FDD
4	1710 MHz	– 1755 MHz	2110 MHz	– 2155 MHz	FDD
5	824 MHz	– 849 MHz	869 MHz	– 894 MHz	FDD
6	830 MHz	– 840 MHz	875 MHz	– 885 MHz	FDD
7	2500 MHz	– 2570 MHz	2620 MHz	– 2690 MHz	FDD
8	880 MHz	– 915 MHz	925 MHz	– 960 MHz	FDD
9	1749,9 MHz	– 1784,9 MHz	1844,9 MHz	– 1879,9 MHz	FDD
10	1710 MHz	– 1770 MHz	2110 MHz	– 2170 MHz	FDD
11	1427,9 MHz	– 1452,9 MHz	1475,9 MHz	– 1500,9 MHz	FDD
12	698 MHz	– 716 MHz	728 MHz	– 746 MHz	FDD
13	777 MHz	– 787 MHz	746 MHz	– 756 MHz	FDD
14	788 MHz	– 798 MHz	758 MHz	– 768 MHz	FDD
...					
17	704 MHz	716 MHz	734 MHz	746 MHz	FDD
...					
33	1900 MHz	– 1920 MHz	1900 MHz	– 1920 MHz	TDD
34	2010 MHz	– 2025 MHz	2010 MHz	– 2025 MHz	TDD
35	1850 MHz	– 1910 MHz	1850 MHz	– 1910 MHz	TDD
36	1930 MHz	– 1990 MHz	1930 MHz	– 1990 MHz	TDD
37	1910 MHz	– 1930 MHz	1910 MHz	– 1930 MHz	TDD
38	2570 MHz	– 2620 MHz	2570 MHz	– 2620 MHz	TDD
39	1880 MHz	– 1920 MHz	1880 MHz	– 1920 MHz	TDD
40	2300 MHz	– 2400 MHz	2300 MHz	– 2400 MHz	TDD

Tablica pokazuje da frekventijska područja rada LTE mreža ne odgovaraju u potpunosti mogućnostima koje se otvaraju u budućoj prenamjeni spektra, a do koje će doći nakon prelaska na digitalno odašiljanje televizije. Tu također nema novih frekventijskih područja koja su na WRC-07 predložena za primjenu u IMT. Zbog toga će buduće inačice LTE (*Release 9 i 10*) nadopuniti postojeći spektar s novim pojasevima za mobilne komunikacije. Identificirana su (u inačici 9, *LTE Advanced*) sljedeća područja rada na koje će se vjerojatno nadograditi sadašnji LTE:

- 450 MHz,
- UHF područje (698-960 MHz),

- 2,3 GHz,
- C-područje (3400-4200 MHz).

Po specifikacijama LTE može raditi u RF kanalima različitih širina. Tablica 1.16. prikazuje moguće širine pojasa frekvencija kanala.

Tablica 1.16. Širine pojasa frekvencija RF kanala

Širina kanala BW [MHz]	1,4	3	5	10	15	20
Broj osnovnih skupova dodjeljivanja N_{RB}	6	15	25	50	75	100

Što se tiče modulacijskih postupaka, za prijenos korisničkih podataka, upotrebljavaju se; QPSK, 16-QAM i 64-QAM.

U pogledu višestrukog pristupa, u slučaju silazne veze koristi se OFDMA, a u uzlaznoj vezi SC-FDMA postupak.

LTE definira i uporabu MIMO tehnologije. U silaznoj vezi postoji više konfiguracija, od odašiljačkog diverzitija do prostornog multipleksiranja. Maksimalna definirana konfiguracija je 4×4. U slučaju uzlazne veze najvjerojatnija je uporaba višekorisničkog kooperativnog MIMO-a.

Detaljniji prikazi i objašnjenja ovih ključnih tehničkih parametara obradit će se u naredim poglavljima.

1.4.3. Tehnike višestrukog pristupa

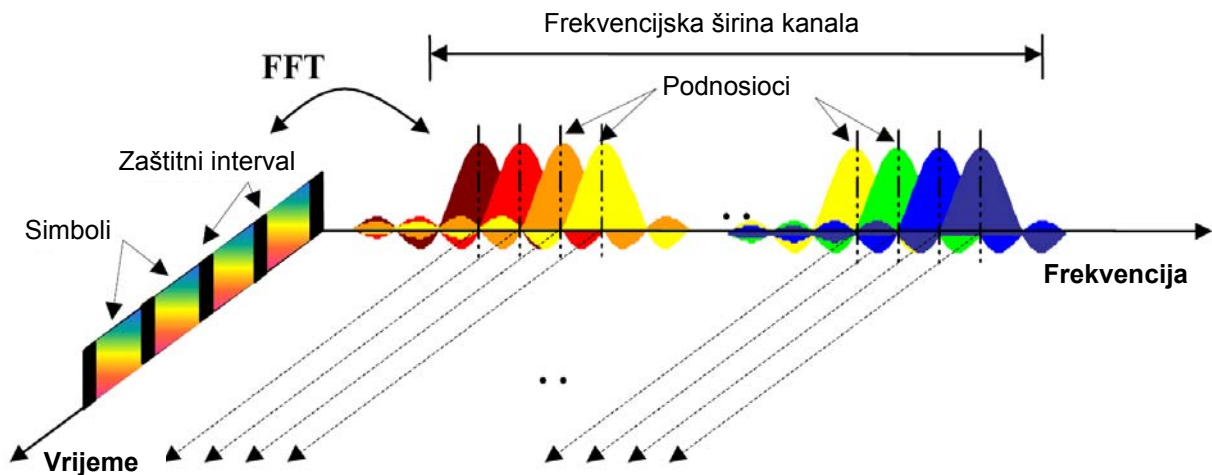
Prijenos podataka kod LTE temelji se na postupku OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) u silaznoj vezi i SC-FDMA (*Single-Carrier Frequency Division Multiple Access*) u uzlaznoj vezi.

Ako se uspoređi CDMA (osnova UMTS tehnologije) i OFDMA (osnova LTE tehnologije) zaključuje se da OFDMA ima mnogo prednosti:

- može se prilagoditi na različite širine kanala,
- otporan je na višestazno širenje,
- jednostavnija je izrada ekvalizatora u prijammniku,
- lakše se primjenjuje MIMO.

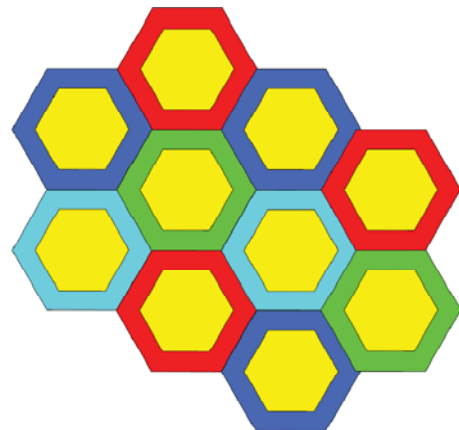
Ipak OFDMA ima i neke nedostatke:

- osjetljivost na Dopplerov pomak (pomak frekvencije),
- osjetljivost na fazni šum,
- velike su razlike između vršnih i srednjih snaga signala (PAPR, *Peak to Average Power Ratio*).



Slika 1.26. OFDM signal u frekvencijskoj i vremenskoj domeni

Veliki PAPR problematičan je za mobilni uređaj kako zbog izvedbe izlaznog pojačala tako i zbog potrošnje baterije pa je za uzlaznu vezu 3GPP skupina razvila postupak SC-FDMA. To je hibridni postupak koji kombinira niski PAPR prijenosa jednim nosiocem (kao kod GSM i kod CDMA) s dugim vremenom trajanja simbola i fleksibilnom dodjelom frekvencija OFDMA tehnologije.

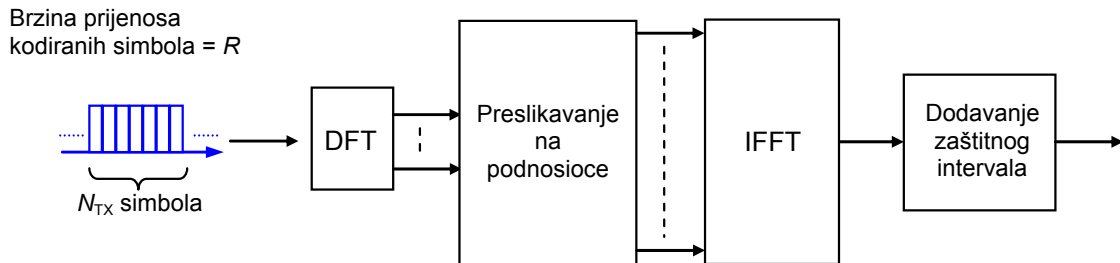


Slika 1.27. Primjer frekvencijskog planiranja ćelija kod LTE

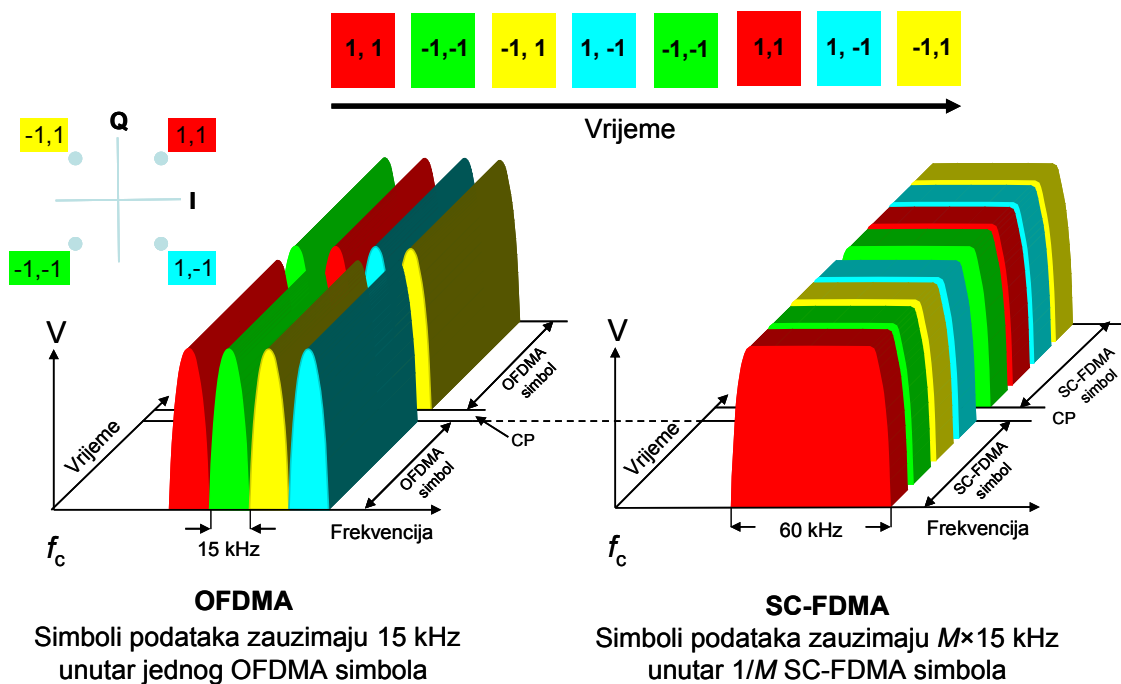
Za razliku od CDMA, na rubovima ćelija kod OFDMA zahtijeva se određeni oblik frekvencijskog planiranja. Slika 1.27. prikazuje oblik frekvencijskog planiranja radi izbjegavanja međućelijske interferencije. Žutom bojom predstavljena je cjelokupna širina kanala, dok ostale boje predstavljaju uža različita frekvencijska područja koja odvajaju ćelije.

U ovoj studije detaljnije se prikazuje SC-FDMA koji se koristi u uzlaznoj vezi. Simboli podataka iz vremenskog područja prebacuju

se u frekvencijsko područje korištenjem postupka diskretne Fourierove transformacije (DFT). Nakon toga se dobiveni uzorci u frekvencijskom području preslikavaju na željene podnosioca unutar frekvencijskog područja i vraćaju se natrag u vremensko područje korištenjem IFFT-a. Na kraju se signalu dodaje zaštitni interval. Generiranje SC-FDMA signala prikazano je na slici 1.28.



Slika 1.28. Generiranje SC-FDMA signala



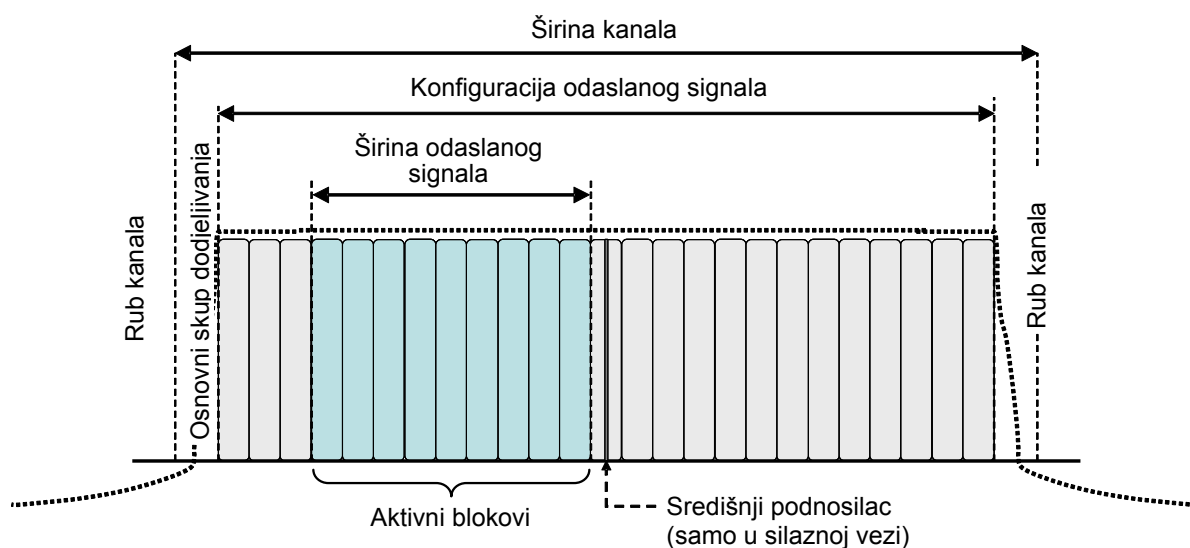
Slika 1.29. Usporedba OFDMA i SC-FDMA

Zbog ovakvog postupka generiranja signala često se za ovu tehniku koristi i naziv DFT-SOFDM (*Discrete Fourier Transform Spread OFDM*). Grafička usporedba između OFDMA i SC-FDMA prikazana je na slici 1.29.

Radi jednostavnosti, u ovom primjeru koristi se samo 4 četiri (M) podnosioca unutar dva simbola. Ulazni podaci su QPSK modulirani simboli. Podsjetiti se treba da su realni LTE signali raspodjeljeni na

jedinkama od 12 susjednih podnosilaca. Kao što se vidi, kod OFDMA svaki simbol se prenosi na jednom podnosiocu, dok se kod SC-FDMA na svakom podnosiocu prenose četiri simbola. Trajanja OFDM i SC-FDMA simbola su međusobno jednaka. To znači da OFDMA prenosi četiri simbola paralelno (jedan po podnosiocu) dok se kod SC-FDMA serijski prenose 4 modulacijska simbola. Rezultat svega je smanjenje razlike između vršnih i srednjih snaga izlaznog signala što omogućava jednostavniju izvedbu pojačala.

Za razliku od bazne postaje (eNB) korisnička oprema ne odašilje u cjelokupnoj frekvencijskoj širini kanala. Tipična konfiguracija veze dana je na slici 1.30.

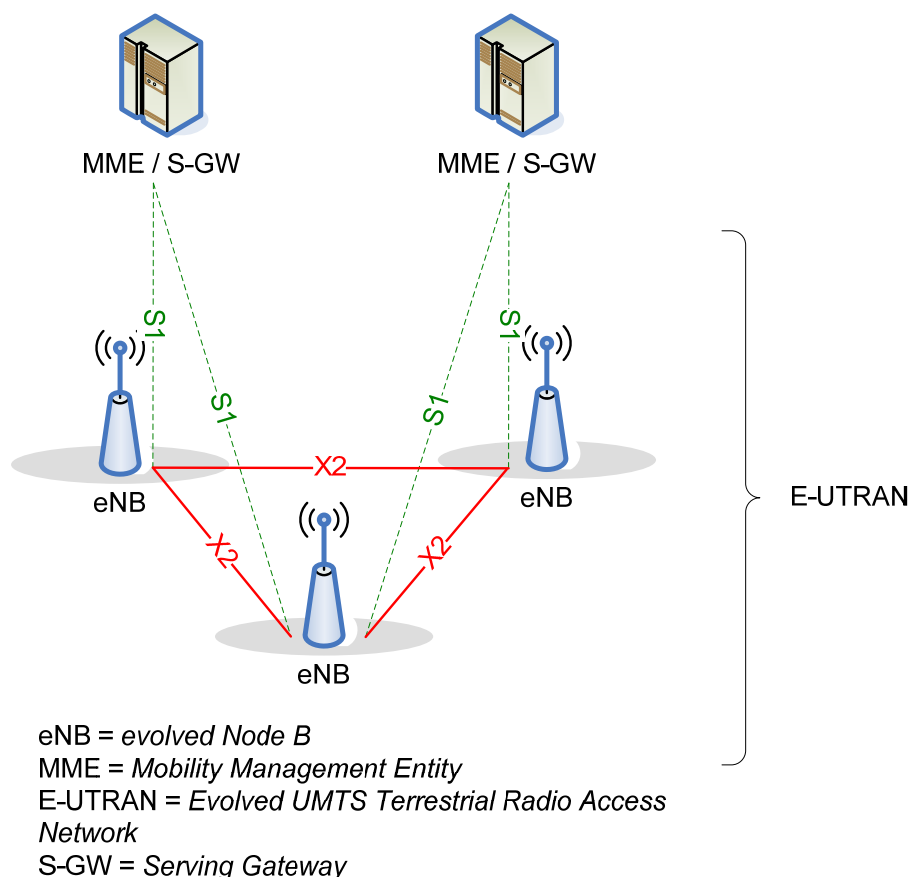


Slika 1.30. Definicije širine kanala i konfiguracije odašiljanja

1.4.4. Arhitektura mreže, protokolarni složaj i slojevi mreže

Današnje mobilne mreže imaju kompleksnu arhitekturu. Jedna od namjera 3GPP-a bila je pojednostavljenje te arhitekture u novijim inačicama. Osim pojednostavljenja u radijskom dijelu mreže (E-UTRAN), pojednostavljen je i jezgreni dio mreže.

Projekt dugoročnog razvoja arhitekture sustava (SAE, *System Architecture Evolution*) treba definirati i optimirati cjelokupnu mrežu za paketski prijenos podataka.



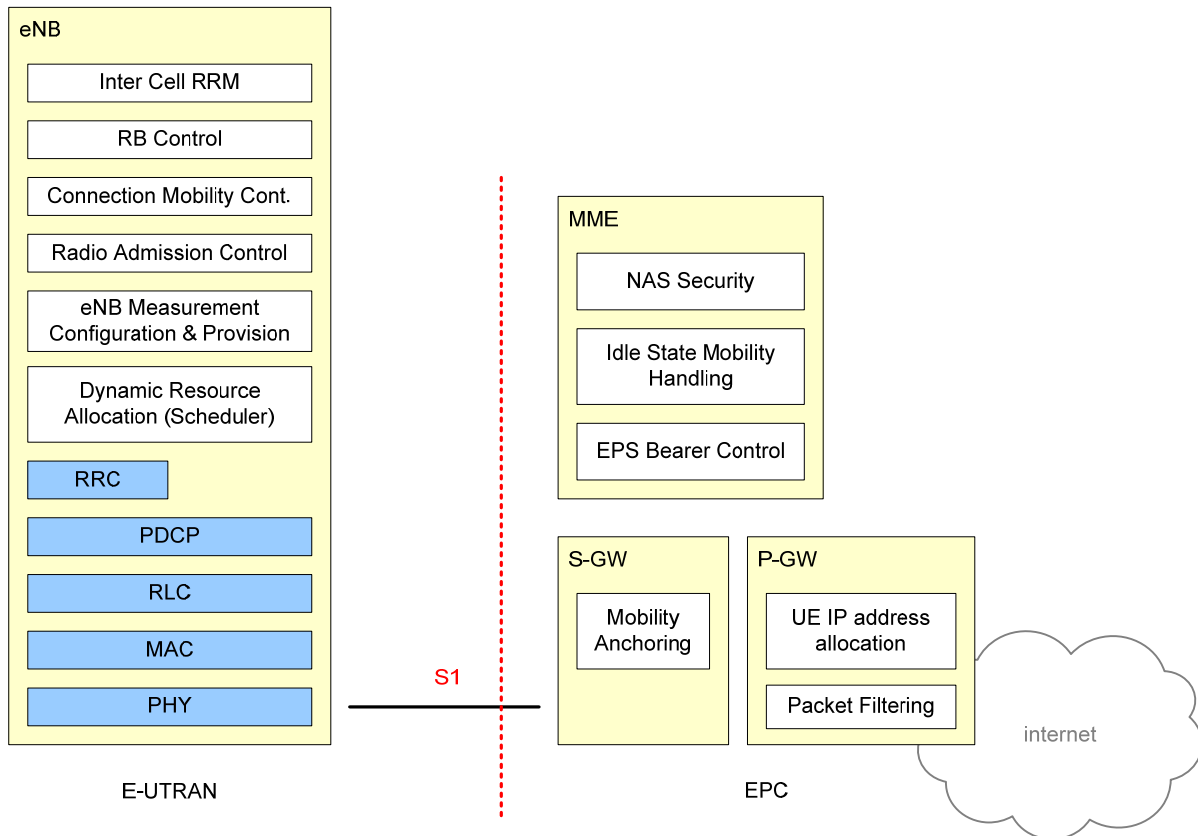
Slika 1.31. Arhitektura mreže

Kao što se vidi sa slike 1.31., E-UTRAN se sastoji od baznih postaja, koje se u ovom slučaju zovu eNB. eNB predstavlja protokolarno zaključenje korisničke i kontrolne ravnine prema korisničkoj opremi. Bazne postaje su međusobno povezane sučeljem X2, tako da je izbjegnuto da se njihova međusobna komunikacija odvija posredstvom sklopa za kontrolu radijske mreže (RNC, *Radio Network Controller*) kako je bio slučaj u prethodnim arhitekturama. Bazna postaja je nadalje povezana sučeljem S1 s jezgrenom dijelom mreže, koji se u ovom slučaju naziva EPC (*Evolved Packet Core*). Preciznije gledano, bazna postaja je povezana sa sljedeće dvije jedinice: jedinicom za upravljanje mobilnošću (MME, *Mobility Management Entity*) i poveznikom za opsluživanje (S-GW, *Serving Gateway*). Ova arhitektura sugerira da je kod LTE bazna postaja preuzela obavljanje više funkcija u odnosu na ranije arhitekture. Slika 1.32. to i dokazuje. EPC se povezuje na druge mreže (npr. Internet) putem poveznika za paketski prijenos (P-GW, *Packet Data Network Gateway*).

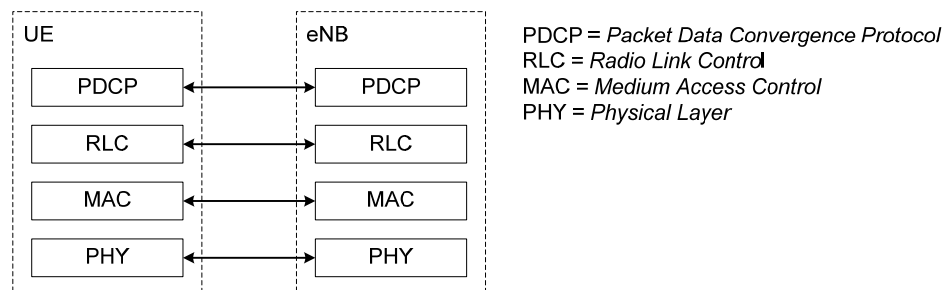
eNB obavlja sljedeće funkcije:

- upravljanje radijskim resursima,
- kompresija i kriptiranje IP zaglavlja,
- izbor MME-a,

- usmjeravanje korisničkih podataka (iz korisničke ravnine) prema S-GW,
- raspoređivanje i prijenos pozivnih poruka i informacija za emitiranje,
- mjerenja mobilnosti i prijave konfiguracija.



Slika 1.32. Funkcijska podjela između E-UTRAN-a i EPC-a (preneseno u izvornom obliku iz 3GPP TS 36.300)

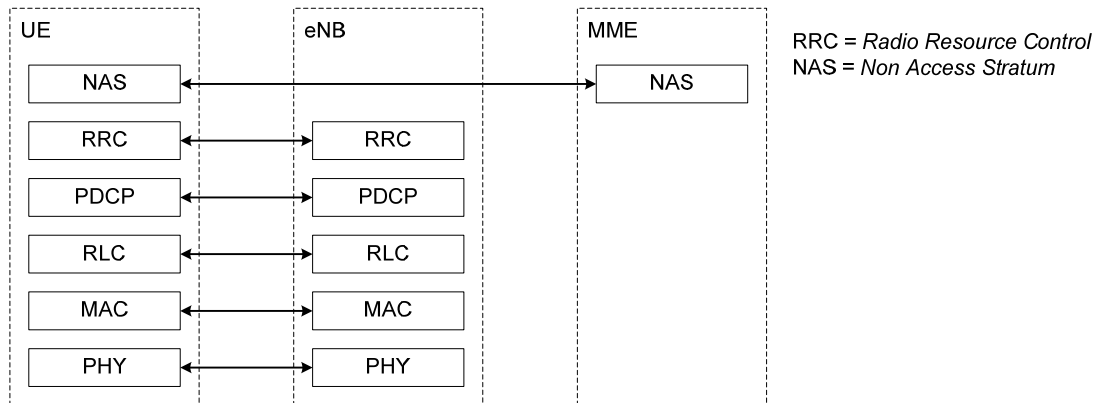


Slika 1.33. Protokolarni složaj korisničke ravnine (U - Plane)

Funkcije MME-a uključuju distribuciju pozivnih poruka prema eNB-u, sigurnosnu kontrolu, kontrolu mobilnosti kad nema odaši-

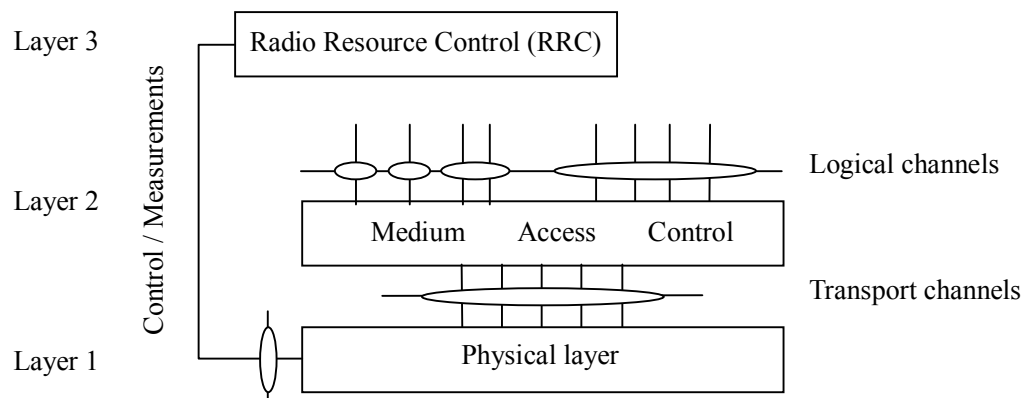
ljanja korisničkih podataka (stanica u mirovanju), osnovnu kontrolu SAE-a. S-GW omogućava mobilnost korisnika unutar mreže, zaključenje paketa iz korisničke ravnine namijenjenih pozivanju.

Protokolarna arhitektura E-UTRAN podijeljena je i specificirana na dvije ravnine: korisničku i kontrolnu (slike 1.33. i 1.34).



Slika 1.34. Protokolarni složaj kontrolne ravnine (C - Plane)

Kao i svaka druga mreža, i ova se sastoji od više slojeva. Razglabanje o njima i detaljnije opisivanje pojedinih slojeva prelazi okvire ove studije. Stoga, zadržavamo se samo na najosnovnijim činjenicama, a detaljnije će se razraditi samo fizički sloj (sloj 1, *Layer 1*). Prema slici 1.35. zaključuje se da je fizički sloj povezan s MAC podslojem sloja 2 pomoću transportnih kanala. Također se vidi da logički kanali predstavljaju vezu između MAC i RLC podsloja unutar 2 sloja. Postoji i izravno sučelje između fizičkog sloja i sloja 3 (RRC sloj).



Slika 1.35. Povezanost fizičkog sloja s višim slojevima (preneseno u izvornom obliku iz 3GPP TS 36.201)

Fizički sloj obavlja sljedeće funkcije:

- otkriva pogreške na transportnim kanalima i obavještava o tome više slojeve,
- obavlja FEC kodiranje/dekodiranje transportnih kanala,
- indicira o potrebi ponovnog odašiljanja,
- prilagođava brzine prijenosa transportnih kanala na fizičke kanale,
- preslikava kodirane transportne kanale na fizičke kanale,
- pridjeljuje različite razine snage fizičkim kanalima,
- modulira i demodulira fizičke kanale,
- obavlja vremensku i frekvencijsku sinkronizaciju,
- obavlja radijska mjerenja i o tome obavještava više slojeve,
- obavlja MIMO procesiranje,
- radi odašiljački diverziti,
- oblikuje dijagram zračenja.

Definirano je preslikavanje između logičkih i transportnih kanala, kao i preslikavanje između transportnih i fizičkih kanala. Preslikavanja su različita sa silaznu i za uzlaznu vezu. Fizički sloj bazne postaje i fizički sloj korisničke opreme povezani su radijskim sučeljem. LTE radijsko sučelje sastoji se od fizičkih kanala i fizičkih signala.

Fizički kanali u silaznoj vezi su:

- fizički podatkovni kanal za silaznu vezu (PDSCH, *Physical Downlink Shared Channel*) – prenosi korisničke podatke;
- fizički kanal za višekorisničko odašiljanje (PMCH, *Physical Multicast Channel*) – prenosi informacije namijenjene višekorisničkom odašiljanju;
- fizički kontrolni kanal za silaznu vezu (PDCCH, *Physical Downlink Control Channel*) – prenosi informacije o raspoređivanju resursa korisnicima, informacije za potvrdu ispravnosti u prijenosu (ACK/NACK);
- fizički kanal za sveobuhvatno odašiljanje (PBCH, *Physical Broadcast Channel*) – prenosi specifične informacije o ćeliji;
- fizički kanal za kontrolu indikacije formata (PCFICH, *Physical Control Format Indicator Channel*) – definira broj PDCCH OFDMA simbola po podokviru (1, 2 ili 3);
- fizički kanal za indikaciju ARQ (PHICH, *Physical Hybrid ARQ Indicator Channel*) – prenosi HARQ ACK/NACK.

Fizički kanali u uzlaznoj vezi su:

- fizički kanal za slučajni pristup (PRACH, *Physical Random Access Channel*) – uspostava poziva,
- fizički podatkovni kanal za uzlaznu vezu (PUSCH, *Physical Uplink Shared Channel*) – prenosi korisničke podatke,
- fizički kontrolni kanal za uzlaznu vezu (PUCCH, *Physical Uplink Control Channel*) – prenosi informacije o raspoređivanju, informacije za potvrdu ispravnosti u prijenosu (ACK/NACK).

Fizički signali (često puta se i oni nazivaju kanalima) u silaznoj vezi su:

- primarni sinkronizacijski signal (kanal) (nema službenog akronima, ali se često puta označava kao P-SCH, *Primary Synchronization Signal*) – omogućava traženje i identifikaciju ćelije korisnicima, sadrži dio identifikacijskih podataka,
- sekundarni sinkronizacijski signal (kanal) (nema službenog akronima, ali se često puta označava kao S-SCH, *Secondary Synchronization Signal*) – omogućava traženje i identifikaciju ćelije korisnicima, sadrži preostali dio identifikacijskih podataka,
- referentni signal ili pilot (RS, *Reference Signal*) – koristi se za procjenu kanala u silaznoj vezi,

dok u uzlaznoj vezi postoji samo referentni signal (RS) koji služi za sinkronizaciju s korisničkom opremom i procjenu kanala u uzlaznoj vezi.

Detaljniji opis pojedinih kanala te njihov stvarni izgled bit će dan u nastavku studije.

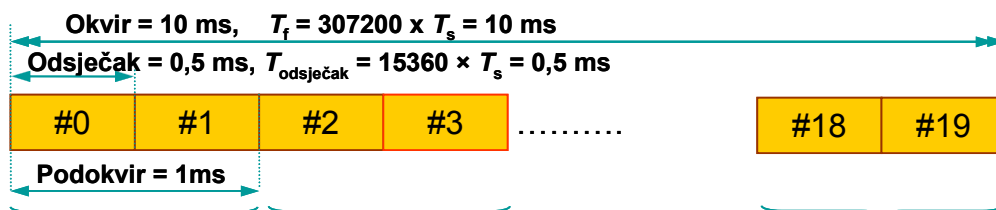
1.4.5. Strukture okvira

Kod LTE definiraju su dvije strukture okvira:

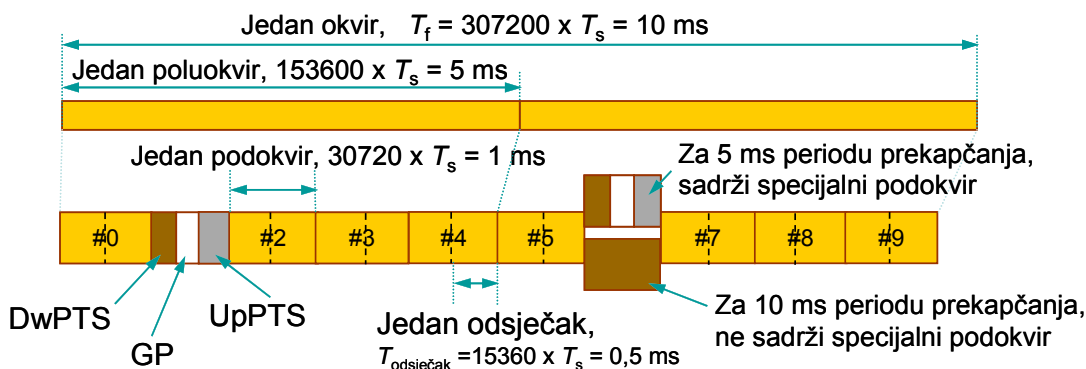
- struktura okvira vrste 1 (FS1, *Frame Structure type 1*) i,
- struktura okvira vrste 2 (FS2, *Frame Structure type 2*).

Struktura FS1 koristi se kod FDD, a struktura FS2 kod TDD. Ove strukture okvira prikazane su na slikama 1.36. i 1.37.

Kod strukture FS1 radio okvir traje 10 ms i podijeljen je na 20 jednako dugačkih odsječaka duljine 0,5 ms. Podokvir se sastoji od dva odsječaka (traje 1 ms) tako da jedan radio okvir sadrži 10 podokvira. T_s predstavlja najmanju jedinicu u vremenu koja je jednaka 1/30,72 MHz. Ova struktura okvira optimirana je da koegzistira s 3,84 Mbit/s UMTS sustavima. Budući da se ovakva struktura rabi u FDD sustavima, ona pokriva i silaznu i uzlaznu vezu.



Slika 1.36. Struktura okvira FS1



Slika 1.37. Struktura okvira FS2

Struktura FS2 je mnogo fleksibilnija u odnosu na strukturu FS1. Kod nje je okvir trajanja 10 ms podijeljen na dva poluokvira od 5 ms, a svaki poluokvir na pet podokvira. Podokviri se također sastoje od dva odsječka duljine 0,5 ms. Osim uobičajenih podokvira, postoje i specijalni podokviri. Oni se sastoje od tri polja: odsječka pilota za silaznu vezu (DwPTS, *Downlink Pilot Timeslot*), zaštitnog pojasa (GP, *Guard Period*) i odsječka pilota za uzlaznu vezu (UpPTS, *Uplink Pilot Timeslot*). Ta polja imaju konfigurabilnu individualnu duljinu, a ukupno trajanje iznosi im 1 ms. Perioda prekapčanja definirana je razmakom između dva specijalna podokvira, a postoje dva slučaja: prekapčanje u iznosu od 5 i u iznosu od 10 ms. Dakle specijalni podokviri se mogu nalaziti u jednom ili oba poluokvira.

U ovisnosti o iznosu prekapčanja definirano je sedam različitih konfiguracija odašiljanja. Valja istaknuti da su podokviri 0 i 5 te polje DwPTS uvijek namijenjeni silaznoj vezi, a polje UpPTS i podokviri koji slijede iza specijalnih podokvira namijenjeni uzlaznoj vezi. Tablica 1.17. prikazuje moguće konfiguracije, gdje slovo D označava silaznu vezu, slovo U uzlaznu, a slovo S specijalni podokvir.

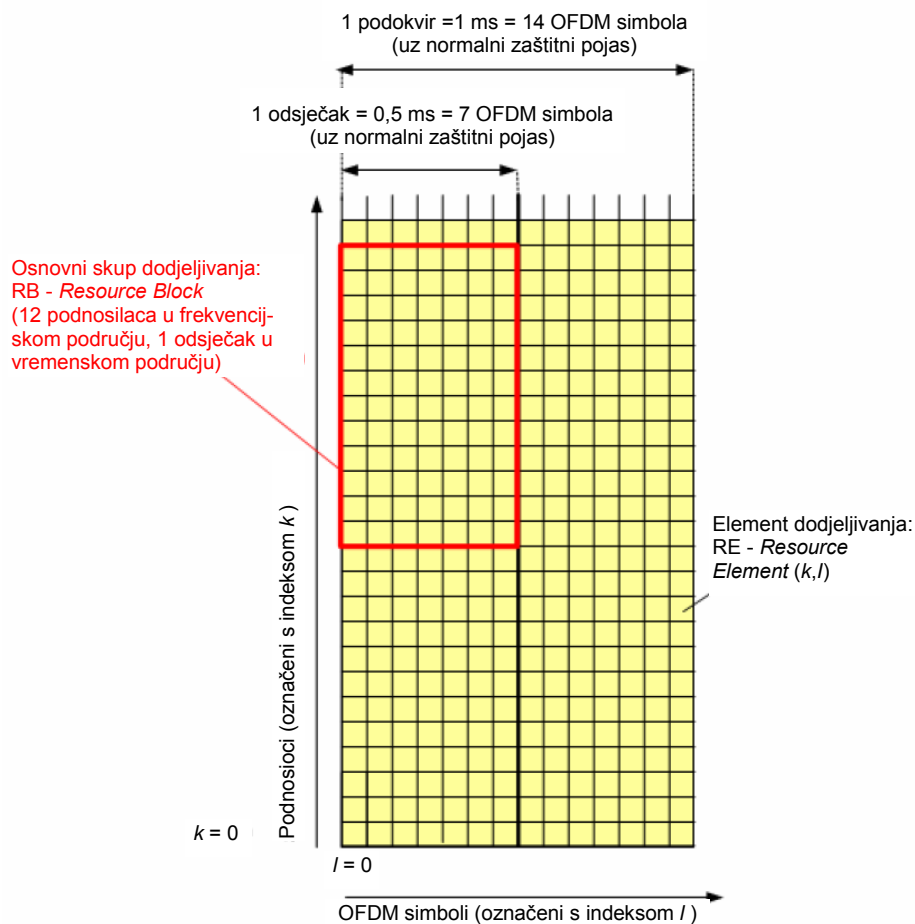
Tablica 1.17. Moguće konfiguracije strukture okvira FS2

Konfiguracija	Perioda prekapćanja	Oznaka podokvira									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	5 ms	D	S	U	U	U	D	S	U	U	U
1	5 ms	D	S	U	U	D	D	S	U	U	D
2	5 ms	D	S	U	D	D	D	S	U	D	D
3	10 ms	D	S	U	U	U	D	D	D	D	D
4	10 ms	D	S	U	U	D	D	D	D	D	D
5	10 ms	D	S	U	D	D	D	D	D	D	D
6	5 ms	D	S	U	U	U	D	S	U	U	D

1.4.6. Elementi fizičkih resursa u silaznoj vezi

Najmanja jedinica za prijenos podataka u vremensko-frekvencijskoj domeni naziva se element dodjeljivanja (RE, *Resource Element*), a predstavlja jedan simbol kojeg nosi jedan podnosioc. Skup od dvanaest uzastopnih podnosioca u frekvencijskoj domeni koji ima trajanje jednog odsječka predstavlja osnovni skup dodjeljivanja (RB, *Resource Block*). Svaki prijenos sastoji se od jednog ili više osnovnih skupova dodjeljivanja. Dakle, može se reći da je jedinica za prijenos osnovni skup dodjeljivanja.

Jedan odsječak u silaznoj vezi kod kojeg se koristi normalni zaštitni interval (CP, *Cyclic Prefix*) sadrži sedam OFDM simbola. Veličina zaštitnog intervala uzima se takvom da bude veća od vremenskog raspršenja radijskog kanala. U slučaju LTE, normalni zaštitni interval iznosi 4,69 μ s što omogućava sustavu da funkcionira kada je razlika između staza rasprostiranja elektromagnetskog vala manja od 1,4 km. Dulji zaštitni interval se može koristiti kod većih ćelija i u slučaju nekih specifičnih aplikacija. U tom slučaju sustav može tolerirati različitost staza do 10 km, ali uz smanjeni kapacitet. Ako znamo da je trajanje OFDM simbola 66,7 μ s, vidimo da nam se kapacitet i uz korištenje normalnog zaštitnog intervala smanji za 7%.



Slika 1.38. Frekvencijsko-vremenski prikaz dodjeljivanja resursa (podnosilaca)

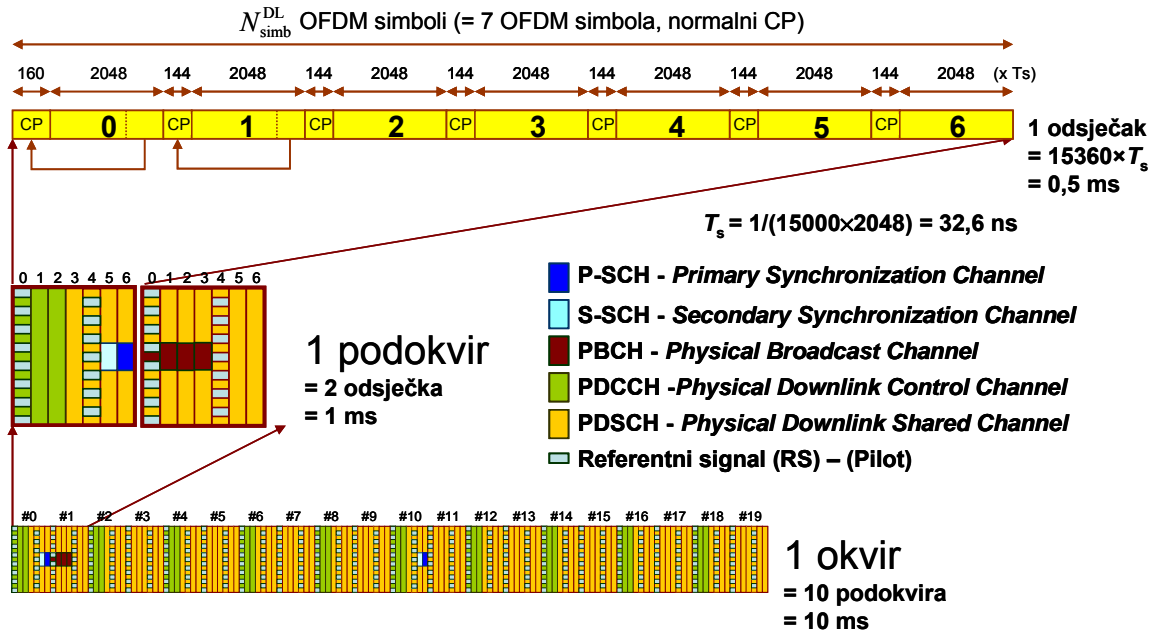
Tablica 1.18. Konfiguracije osnovnog skupa dodjeljivanja

Konfiguracija	Broj podnosilaca N_{sc}^{RB}	Broj simbola N_{simb}^{DL}
Normalni zaštitni interval $\Delta f = 15 \text{ kHz}$	12	7
Produženi zaštitni interval $\Delta f = 15 \text{ kHz}$		6
	24	3

Iz tablice 1.18. zaključuje se da konfiguraciju osnovnog skupa dodjeljivanja, osim zaštitnog pojasa, određuje i razmak između podnosilaca. Treba naglasiti da je tipični razmak između podnosilaca $\Delta f = 15 \text{ kHz}$ i on se najčešće koristi (standardni LTE). Razmak $\Delta f = 7,5 \text{ kHz}$ koristi se samo prilikom E-MBMS-a (*Enhanced Multi Broadcast Multicast Service*) te se on stoga više neće razmatrati.

1.4.7. Dodjeljivanje fizičkih resursa u silaznoj vezi

Slika 1.39. poslužit će u prikazu postupka dodjele fizičkih resursa. Ona detaljnije prikazuje strukturu okvira FS1 kod silazne veze i pozicioniranje signala i kanala.



Slika 1.39. Dodjeljivanje fizičkih resursa u silaznoj vezi za strukturu okvira FS1

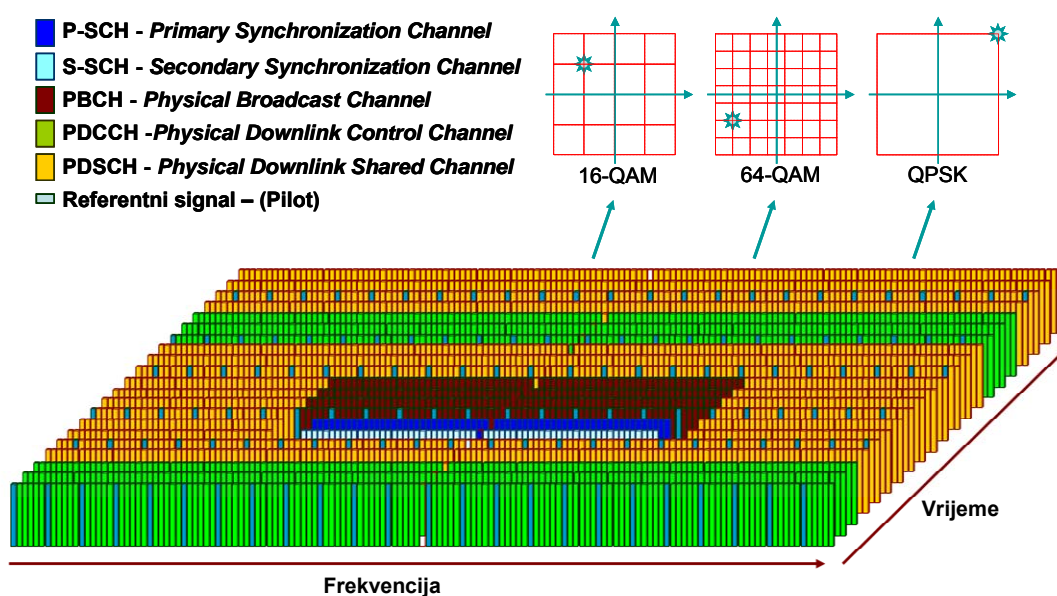
Kroz cjelokupni okvir od 10 ms, uz prijenosni (PDSCH), prenosi se i kontrolni kanal (PDCCH). Struktura okvira nacrtana je na slici u ovisnosti o T_s , koji je najkraći vremenski interval u sustavu, a definiran je kao $T_s = 1/(15000 \times 2048) \text{ s} = 32,6 \text{ ns}$. U navedenom primjeru, preslikavanje fizičkih signala u silaznoj vezi izvedeno je na sljedeći način:

- Referentni signali (RS, *Reference Signal*) odašilju se unutar nultoga i četvrtog OFDMA simbola u svakom odsječku. Ovaj položaj se primjenjuje kad se koristi jedna odašiljačka antena, a u slučaju MIMO (do 4 antene) konfiguracije su drukčije. RS-ovi služe prijemniku u postupku procjenjivanja kanala. Referentni signali su generirani iz pseudoslučajnih sljedova, a modulirani su po shemi QPSK. Oni su različiti za različite ćelije. U navedenom primjeru (jedna antena) postoje 4 referentna signala unutar osnovnog skupa dodjeljivanja.
- Primarni sinkronizacijski kanali (signali) (P-SCH, *Primary Synchronization Channel*) odašilju se u šestom OFDMA simbolu nultog i desetog odsječka unutar svakog okvira. Sadrže 62 podnosioca centriranih oko središnjeg podnosioca.
- Sekundarni sinkronizacijski kanali (signali) (S-SCH, *Secondary Synchronization Channel*) odašilju se u petom OFDMA

simbolu nultog i desetog odsječka unutar svakog okvira. Sadrže 62 podnosioca centriranih oko središnjeg podnosioca.

- Fizički kanali za sveobuhvatno odašiljanje (PBCH, *Physical Broadcast Channel*) odašilju se od nultog do trećeg OFDMA simbola unutar prvog odsječka unutar svakog okvira. Sadrže 72 podnosioca centriranih oko središnjeg podnosioca.
- Fizički kontrolni kanali za silaznu vezu (PDCCH, *Physical Downlink Control Channel*) nalaze se unutar prva tri simbola svakog podokvira.
- Fizički podatkovni kanali za silaznu vezu (PDSCH, *Physical Downlink Shared Channel*) prenose podatke korisnicima.

Slika 1.40. izlaže frekvencijsko-vremenski prikaz jednog podokvira s fizičkim kanalima i signalima. Pokazuje se da se središnji podnosioc ne koristi.

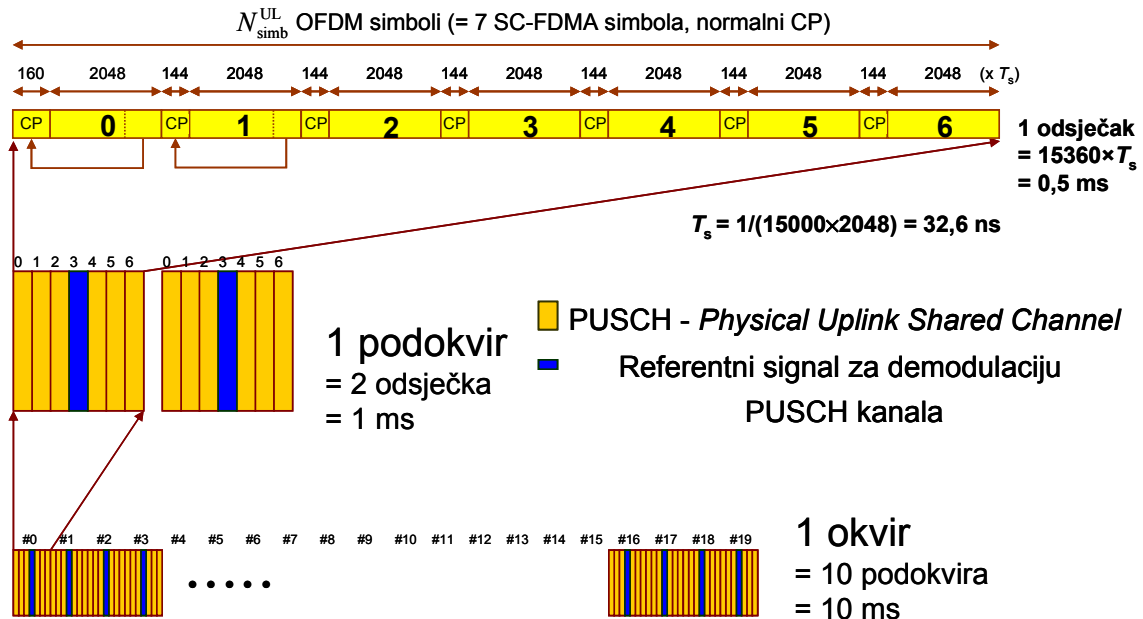


Slika 1.40. Frekvencijsko-vremenski prikaz jednog podokvira s fizičkim kanalima i signalima u silaznoj vezi

1.4.8. Dodjeljivanje fizičkih resursa u uzlaznoj vezi

Kao što je već prije objašnjeno, struktura okvira FS1 u uzlaznoj vezi jednaka je strukturi u silaznoj vezi u pogledu trajanja okvira, odsječka i duljini podokvira. Raspoređivanje resursa uzlazne veze korisnicima obavlja se u baznoj postaji (eNodeB). Ona dodjeljuje vremensko-frekvencijske resurse korisnicima (korisničkoj opremi) i formate prijenosa. Odluke o raspoređivanju mogu se bazirati na parametrima kvalitete usluge, statusu privremenog spremnika korisničke opreme, kvaliteti pojedinog uzlaznog kanala, mogućnostima korisničke opreme i slično. U uzlaznoj vezi, podaci se alociraju također u obliku višekratnika osnovnog skupa dodjeljivanja

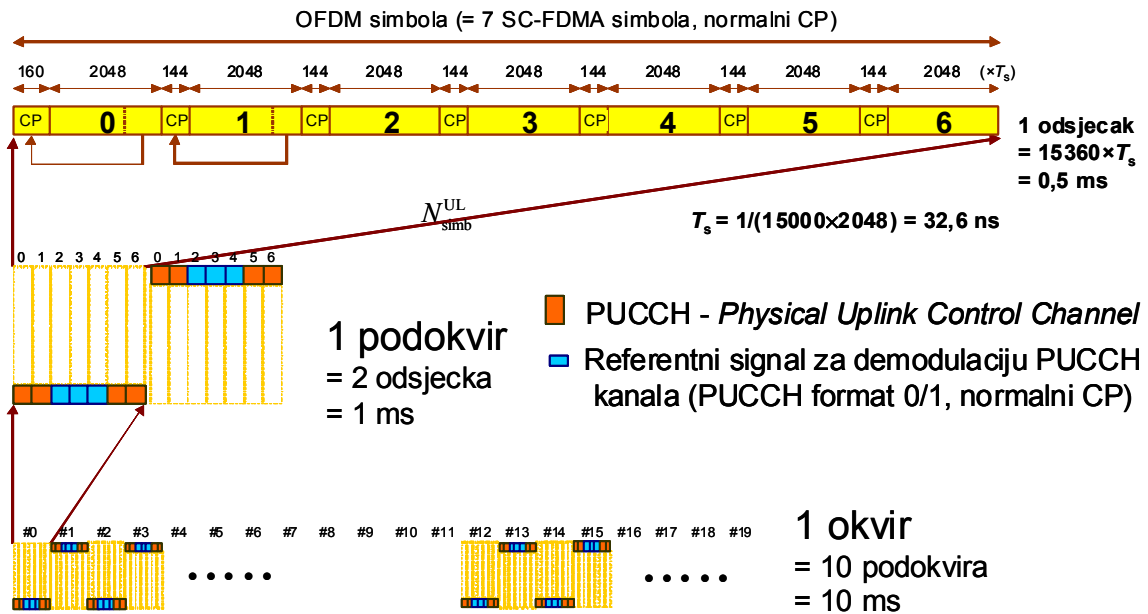
(RB). Da bi se pojednostavilo procesiranje u uzlaznoj vezi, dozvoljeni su samo višekratnici 2, 3 i 5. Također, korisničkoj opremi se pridjeljuju samo kontinuirani osnovni skupovi dodjeljivanja. Korisnički podaci se prenose na fizičkom podatkovnom kanalu za uzlaznu vezu (PUSCH, *Physical Uplink Shared Channel*). Na slici 1.41. je primjer preslikavanja PUSCH kanala u uzlaznoj vezi za strukturu okvira FS1.



Slika 1.41. Preslikavanje PUSCH kanala u uzlaznoj vezi za strukturu okvira FS1

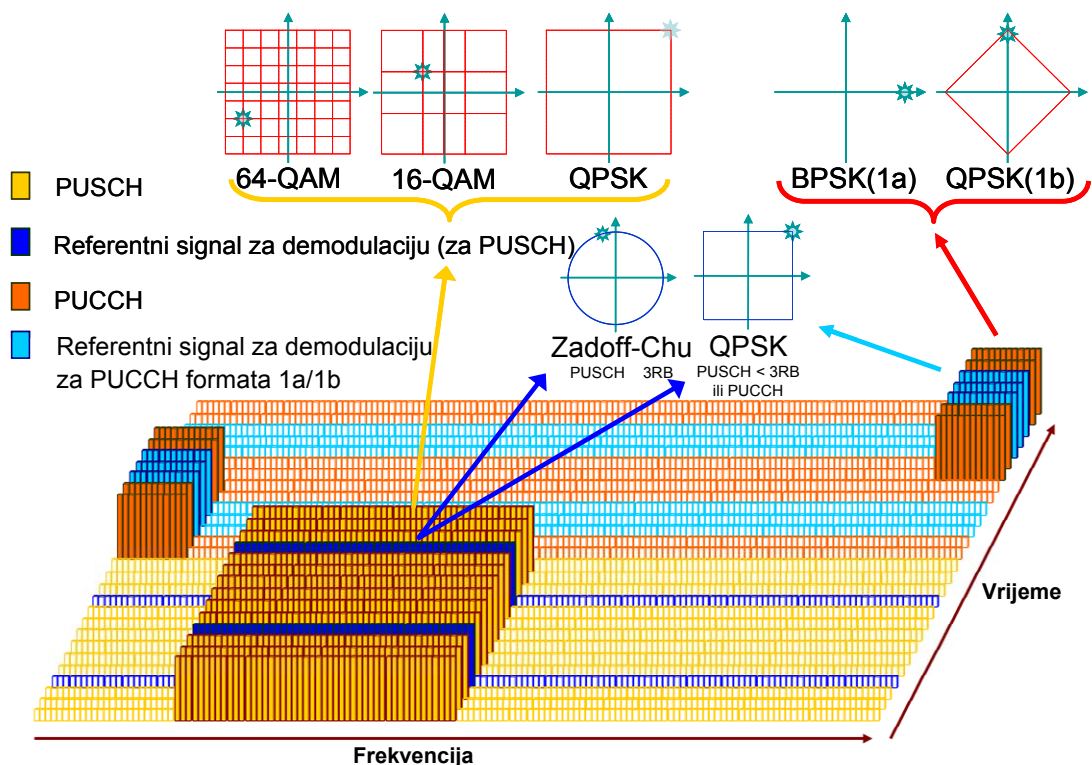
Broj simbola unutar odsječka ovisi o duljini zaštitnog intervala SC-FDMA simbola. U slučaju normalnoga zaštitnog intervala ima ih 7, a u slučaju produženoga njihov je broj jednak 6. Referentni signali za demodulaciju odašilju se u četvrtom simbolu odsječka na svim podnosiocima dodijeljenog RS-a. Oni služe za procjenu uzlaznog kanala tako da bazna postaja može ispravno demodulirati signal.

Fizički kontrolni kanal za uzlaznu vezu (PUCCH, *Physical Uplink Control Channel*) sadrži kontrolne informacije uzlazne veze, informacije o potvrdi paketa u silaznoj vezi, izvješća o kvaliteti kanala, informacije o kodiranju, informacije o MIMO-u i zahtjeve za raspoređivanje (SR, *Scheduling Requests*). PUCCH se odašilju na određenima frekvencijskim područjima koji su konfigurirani na višim slojevima. PUCCH blokovi locirani su na krajevima frekvencijskog područja uzlazne veze. Korisnička oprema koristi PUCCH i u slučajevima kad ne prenosi podatke na PUSCH kanalu. Primjer preslikavanja PUCCH kanala u uzlaznoj vezi za strukturu okvira FS1 nalazi se na slici 1.42.



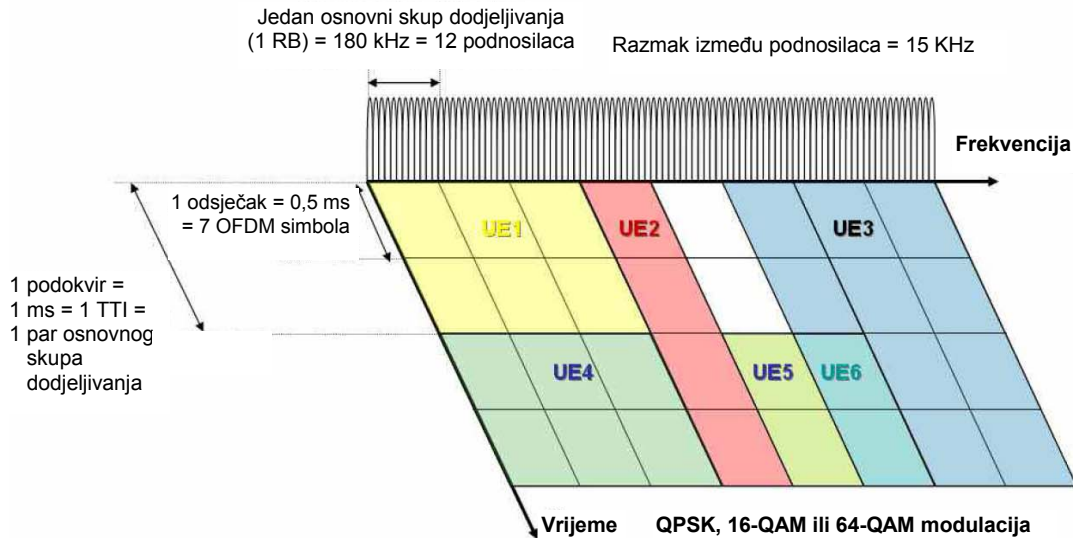
Slika 1.42. Preslikavanje PUCCH kanala u uzlaznoj vezi za strukturu okvira FS1

Primjer dodjeljivanja fizičkih resursa uzlazne vezi jednom korisniku prikazan je na slici 1.43. On je valjan za konstantnu dodjelu te prikazuje frekvencijsko-vremenski prikaz jednog podokvira s fizičkim kanalima i signalima uzlazne veze.



Slika 1.43. Frekvencijsko-vremenski prikaz jednog podokvira s fizičkim kanalima i signalima u uzlaznoj vezi

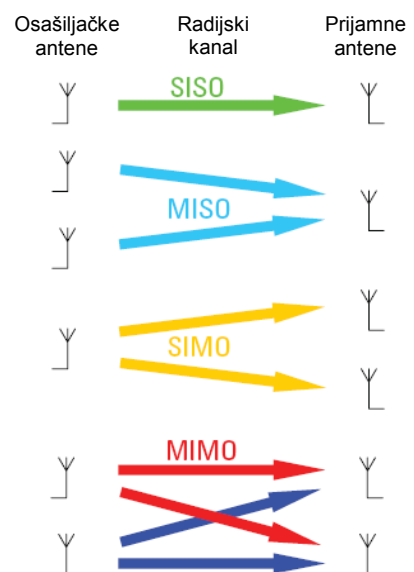
Slika 1.44. prikazuje možda najjasniji i najjednostavniji primjer dodjeljivanja fizičkih resursa korisnicima. Općenito on se odnosi i na silaznu i na uzlaznu vezu, s razlikom da u prvom slučaju govorimo o OFDMA simbolima, a u drugom slučaju o SC-FDMA simbolima. S TTI (*Transmission Time Interval*) označen je vremenski interval odašiljanja.



Slika 1.44. Prikaz dodjeljivanja fizičkih resursa korisnicima

1.4.9. MIMO u tehnologiji LTE

Koncept nazvan MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*) osniva se na uporabi više antena na odašiljačkoj i na prijamnoj strani radijskog sustava.



Slika 1.45. Konceptije uporabe više antena na odašiljačkoj i/ili prijamnoj strani radijskog sustava

Korištenje višestrukih antena poboljšava obilježja radijskog prijenosa po više osnova:

- prostorno multipleksiranje,
- diverziteti postupak,
- oblikovanje dijagrama zračenja (ne spada u MIMO tehniku, već se s njom kombinira).

SISO (*Single-Input Single-Output*) odgovara klasičnome radijskom sustavu koji koristi jednu antenu (ili antenski sustav) na odašiljačkoj strani i jednu antenu (ili antenski sustav) na prijamnoj strani, a tehnike uporabe više antena se uvijek uspoređuju u odnosu na ovaj slučaj.

MISO (*Multiple-Input Single-Output*) sustav koristi više antena na odašiljačkoj i jednu antenu na prijamnoj strani, a naziva se i odašiljački diverziteti. Odašiljački diverziteti povećava robusnost sustava i u tom smislu povećava odnos signal/šum, odnosno smanjuje učestalost pogreške (BER). Kod njega se isti podaci odašilju na obje odašiljačke antene (naravno uz odgovarajuće kodiranje tako da prijamnik može razlučiti svako odašiljanje) te nema povećanja u smislu brzine prijenosa podataka.

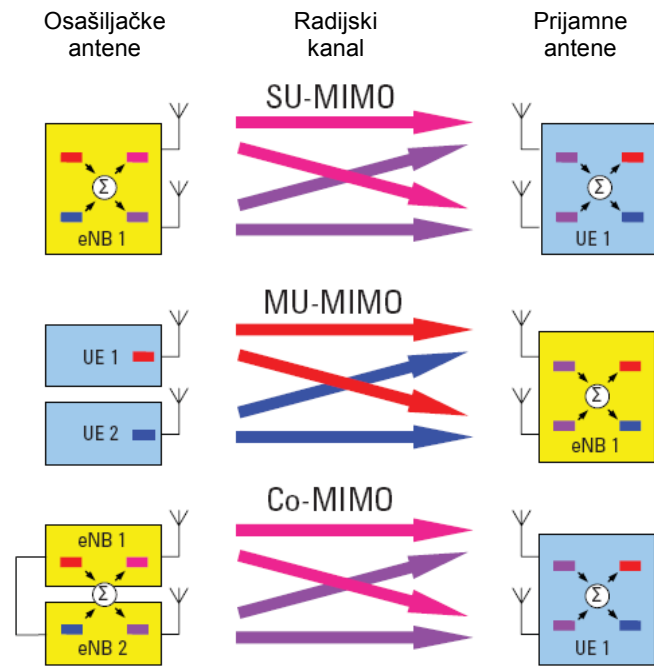
SIMO (*Single-Input Multiple-Output*) obilježava uporaba jedne antene na odašiljačkoj i više antena na prijamnoj strani, a naziva se i prijamni diverziteti. Kao i MISO pogodan je za korištenje u situacijama malog omjera signal/šum (npr. rub ćelije), te također ne povećava brzinu prijenosa podataka.

Kod MIMO se upotrebljava prostorno multipleksiranje, tj. različiti tokovi podataka se istodobno odašilju na različitim antenama što povećava brzinu prijenosa (kapacitet sustava). Preduvjet za to je da nema korelacije između odgovarajućih staza širenja. Dakle, MIMO najbolje funkcionira u uvjetima višestrukog širenja uz visoki odnos signal/šum (nema optičke vidljivosti između odašiljača i prijamnika, urbani okoliš). Ako je različit broj prijamnih i odašiljačkih antena, onda uz prostorno multipleksiranje postoji i prostorni diverziteti.

Razlaganje MIMO sustava može se proširiti i na način da se u odašiljački i prijamni dio uključi više baznih postaja (eNB) i više korisničkih uređaja (UE). Na taj način mogu se definirati:

- jednokorisnički MIMO (SU-MIMO, *Single-User MIMO*),
- višekorisnički MIMO (MU-MIMO, *Multi-User MIMO*),
- kooperativni MIMO (Co-MIMO, *Coperative MIMO*).

Slika 1.46. prikazuje takvu podjelu MIMO sustava.



Slika 1.46. Prikaz jednokorisničkog, višekorisničkog i kooperativnog MIMO

Prvi slučaj na slici 1.46. prikazuje SU-MIMO i to je najčešći način izvedbe MIMO tehnike. On se može upotrijebiti u silaznoj i u uzlaznoj vezi, a primarna svrha mu je povećanje brzine prijenosa prema/od jednog korisnika. Zahvaljujući tome dolazi i do ukupnog povećanja kapaciteta u ćeliji. Izvorni tokovi podataka na odašiljačkoj strani u ovom primjeru su kodirani crveno i plavo. Oni se nadalje kodiraju i miješaju te dolaze na odašiljačke antene (roza i ljubičasto u baznoj postaji). Prolaze kroz kanal gdje se nadalje mijenjaju i dolaze do korisničke opreme koja se sastoji od dva prijamna niza. Nakon digitalne obrade, signali se ponovno združuju u originalne podatke. Problemi kod ovakvog prijenosa ponajprije postoje na korisničkoj opremi koja je malih dimenzija, a treba izbjeći spregu između antena. Ovaj problem se ispoljava posebice na nižim frekvencijama (ispod 1 GHz) i predstavlja ograničenje uporabe ove tehnike.

Drugi slučaj opisuje 2×2 MU-MIMO koji se koristi samo u uzlaznoj vezi. MU-MIMO ne povećava pojedinačnu brzinu prijenosa podataka korisnika, ali se povećava brzina prijenosa (kapacitet) unutar ćelije. Veća udaljenost između korisnika povećava nekoreliranost između staza u odnosu na SU-MIMO. Korisnička oprema mora sadržavati samo jedan odašiljački niz (jeftinije rješenje u odnosu na prvi slučaj), a kapacitet ćelije raste.

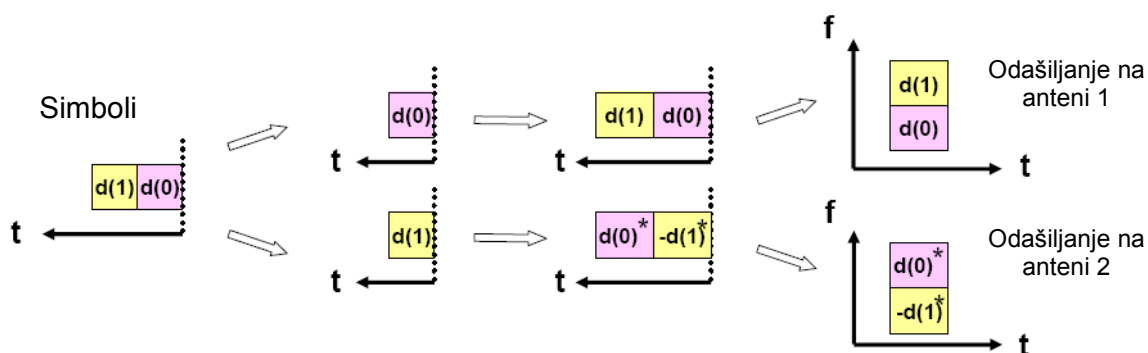
Slučaj kooperativnog MIMO uključuje međusobnu vezu između više baznih postaja koje komuniciraju s barem jednim istim korisnikom. U slučaju Co-MIMO-a u silaznoj vezi najveći dobitak ostvaruje se na rubu ćelije. Tamo je odnos signal/šum najgori, ali je

i velika nekoreliranost između staza te se mogu poboljšati svojstva prijenosa. Co-MIMO je moguć i u uzlaznoj vezi, ali je teško realizirati vezu između korisničkih oprema te je stoga i vjerojatnost korištenja u praktičnim sustavima zanemariva.

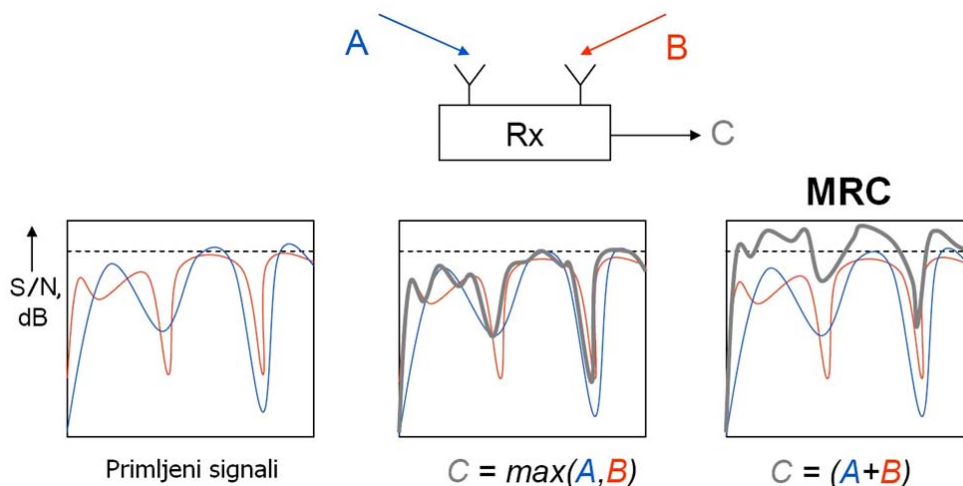
LTE podržava u silaznoj vezi tri inačice višestrukog korištenja antena:

- MISO ili odašiljački diverziti,
- SIMO ili prijamni diverziti i
- MIMO (prostorno multipleksiranje).

Odašiljački diverziti temelji se na uporabi prostorno-frekvencijskog blokovskog kodiranja (SFBC, *Space-Frequency Block Coding*) a prikazuje ga slika 1.47.



Slika 1.47. Prikaz prostorno-frekvencijskoga blokovskog kodiranja



Slika 1.48. Postupci kombiniranja primljenih signala kod prijamnog diverzitija

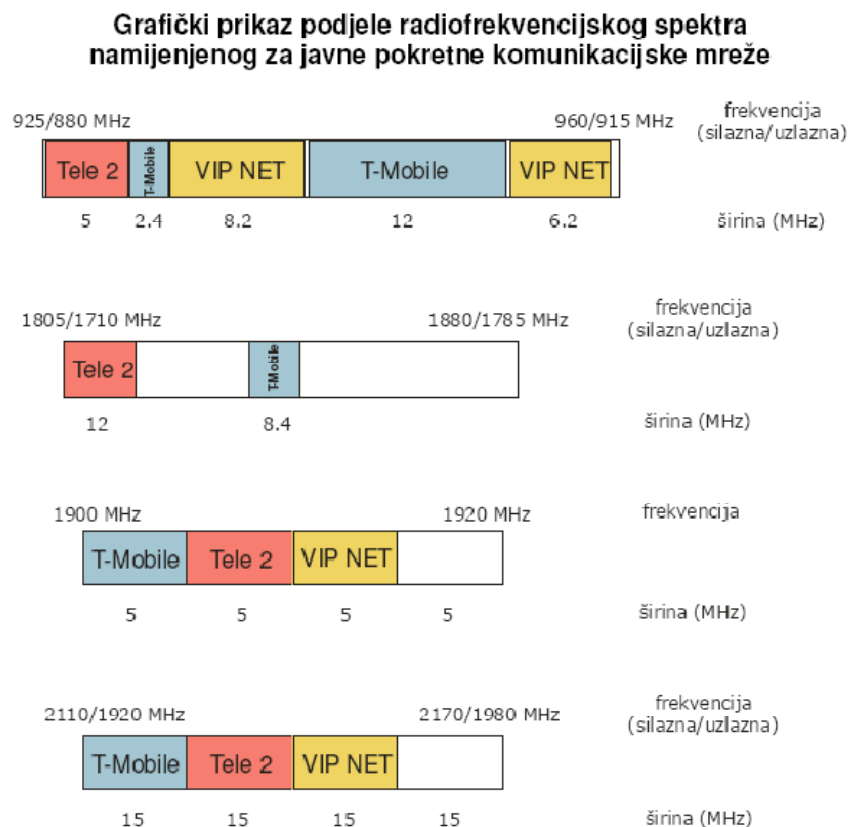
Druga shema u silaznoj vezi, tj. prijamni diverziti, je obvezujuća prilikom konstrukcije korisničke opreme. Koristi se tzv. MRC-

postupak kombiniranja (*Maximum Ratio Combining*) primljenih signala, a koji je prikazan na slici 1.48.

Posljednja shema u silaznoj vezi je prostorno multipleksiranje (MIMO). Podržan je 2×2 i 4×2 MIMO. Iako je definiran i četvero kanalni prijatelj u korisničkoj opremi, nije vjerojatno da će se u skoroj budućnosti koristiti 4×4 MIMO. Najšira uporaba bit će rezervirana za 2×2 SU-MIMO.

U slučaju uzlazne veze kod LTE osnovna konfiguracija korisničke opreme ima jedan odašiljač. Ona je izabrana radi smanjenja troškove izrade korisničkog uređaja i potrošnju baterije, a podržava MU-MIMO. Opcijska konfiguracija je SU-MIMO. Osnovna konfiguracija bazne postaje podrazumijeva korištenje 2 ili 4 prijatne antene.

1.5. Frekvencijska područja rada mobilnih tehnologija i rezultirajuća pokrivenost



Slika 1.49. Prikaz dodijeljenog spektra mobilnim komunikacijskim mrežama u RH (Izvor podataka: Web stranice Hrvatske agencije za poštu i elektroničke komunikacije, www.hakom.hr)

Trenutno najzastupljenija mobilna tehnologija na svijetu je GSM. Ona sa svojim nadogradnjama (GPRS, EDGE), omogućava

mobilni pristup, ali njega ne možemo okarakterizirati kao širokopojasni pristup. Uzrok tome leži u maloj širini kanala od svega 200 kHz. GSM je kod nas implementiran u područjima 900 MHz i 1800 MHz, a dodijeljene su koncesije trima operatorima. Osnovna namjena GSM bila je pružanje mobilnih govornih usluga, a tek kasnije stvorila se potreba za prijenosom podataka. Treća generacija mobilnih sustava (UMTS, WCDMA), uz prijenos govora, obratila je pozornost i prijenosu podataka, ali vršna brzina prijenosa osnovne inačice od 384 kbit/s također ne pruža zadovoljavajuću brzinu prijenosa. Tek s nadogradnjama UMTS, tj. primjenom HSDPA i HSUPA tehnologije može se govoriti o nešto većim brzinama prijenosa. Valja imati na umu da i takve brzine prijenosa ne udovoljavaju pravom značenju termina "širokopojasni pristup". Naime, u usporedbi s brzinama prijenosa, koje se ostvaruju u nepokretnoj mreži (npr. ADSL) one su znatno manje, realno neusporedive.

Većina WCDMA mreža (uključujući i HSPA nadogradnje) u svijetu realizirana je u području 1920–1980/2110–2170 MHz. Takva situacija je i kod nas, s nadopunom pojasa od 1900–1920 MHz za TDD način rada. U Hrvatskoj postoje 3 operatora koji dijele spomenuto frekvencijsko područje. Ulogu u dodjeli spektra imala je primijenjena tehnologija. Za GSM su dodijeljeni blokovi koji su višekratnik širine GSM kanala od 200 kHz, dok su kod UMTS dodijeljeni blokovi koji su višekratnik širine kanala od 5 MHz. Današnje pravilo u dodjeli spektra zahtijeva i tehnološku neutralnost tj. prilikom dodjele se ne specificira tehnologija, već se ona ostavlja na izbor operateru.

Tablica 1.19. Plan dodjele za frekvencijske pojaseve 880-915/925-960 MHz i 1710-1785/1805-1880 MHz

Frekvencijski pojas [MHz]	Područje uporabe	Primjena	Raster [kHz]	Širina kanala	Napomena
880-915/925-960	Republika Hrvatska	GSM	200	200 kHz	2
		UMTS	200	Nominalno 5 MHz	1, 2
1710-1785/1805-1880	Republika Hrvatska	GSM	200	200 kHz	2
		UMTS	200	Nominalno 5 MHz	2

- 1 - nije dopuštena uporaba nosioca frekvencije 882,4 MHz kod uzlazne veze i 927,4 MHz kod silazne veze;
- 2 - minimalni razmak u nekoordiniranom načinu rada između dva operatora između UMTS i GSM nosioca iznosi 2,6 MHz, a između dva UMTS nosioca 5 MHz.

Sukladno tome valja pozdraviti i odluku hrvatskog regulatora da prilikom obnove koncesije GSM operatorima dozvoli i korištenje tehnologije UMTS u pojasi koji su ranije bili namijenjeni isklju-

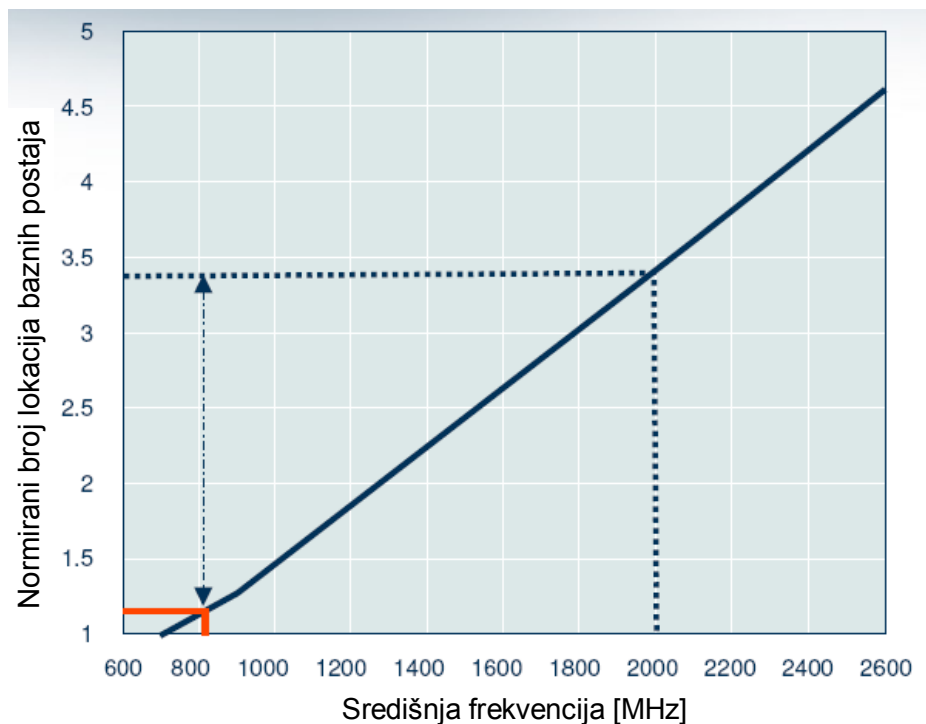
čivo za GSM. Treba imati na umu da dodijeljene širine blokova u pojasevima 880–915/925–960 MHz i 1710–1785/1805–1880 MHz nisu optimirane za UMTS.

Ukupno dodijeljeni spektar za javne mobilne komunikacijske mreže trenutno sadrži pojaseve:

- 35+35 MHz (GSM900),
- 75+75 MHz (GSM1800),
- 60+60 MHz (UMTS FDD, UMTS2100) i
- 20 MHz (UMTS TDD),

što ukupno iznosi ~360 MHz. Slična situacija je u većini europskih država.

Što se tiče područja pokrivanja, znamo da se na nižim frekvencijama, uslijed boljih propagacijskih uvjeta, povećava područje pokrivanja. Najbolju ilustraciju toga dat će nam slika 1.50.



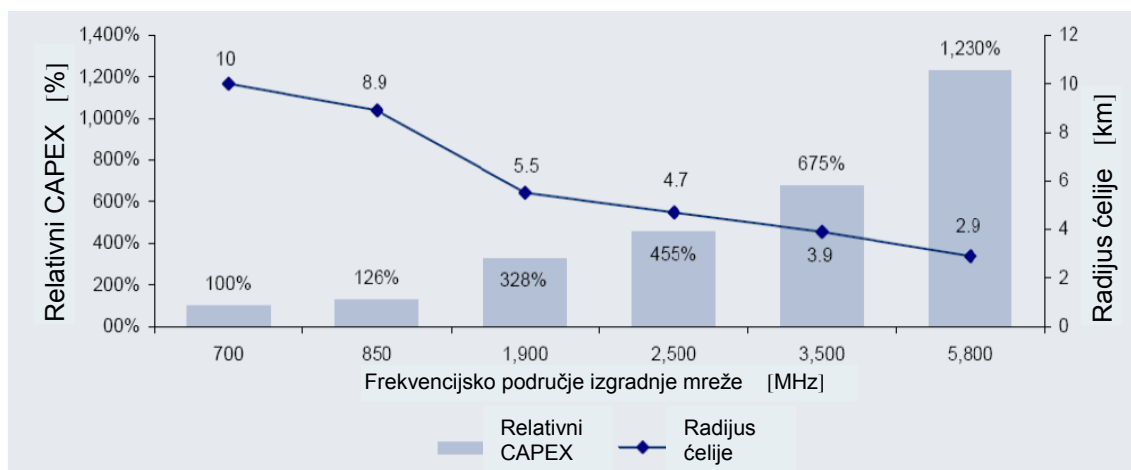
Napomena:

Referentna frekvencija je 700 MHz, dijagram je valjan za suburbano područje uz 5 dB veći dobitak antene na 2,1 GHz te 6 dB veći dobitak antene na 2,6 GHz od dobitka na 700 MHz

Slika 1.50. Ilustracija stupnja pokrivanja područja signalom u ovisnosti o frekvenciji odašiljanja

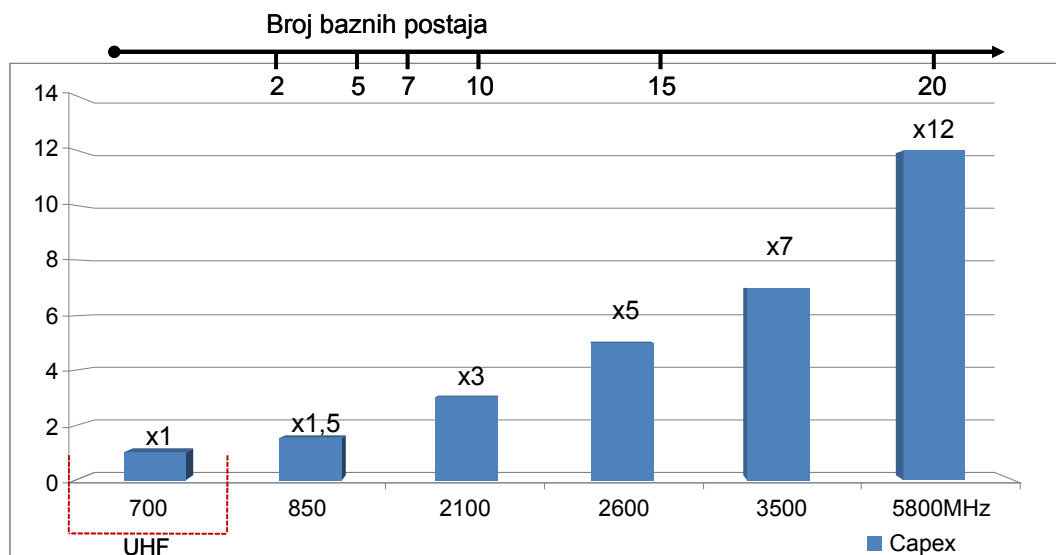
Pokazuje se da dvostruko viša frekvencija odašiljanja (uz istu snagu odašiljanja) rezultira i potrebom povećanja broja lokacija baznih postaja od ~2,2 puta. Poznato je da radijski dio mreže

predstavlja i najveći trošak cjelokupne mreže (prema Ericssonu on iznosi 70 – 80% ukupnih troškova). U radijskom dijelu najveći trošak otpada na izgradnju lokacija baznih postaja (prema Ericssonu na te troškove otpada 70 – 80% radijskih troškova). Dakle, sniženje frekvencije odašiljanja (niža frekvencijska područja) pridonosi smanjenju ukupnih troškova za operatore.



Napomena: CAPEX je računat za suburbano područje
Izvor: Intel analysis

Slika 1.51. Iznos CAPEX-a u ovisnosti frekvencijskom području u kojem se izgrađuje mreža (izvor 1)



Izvor: SCF Associates Study

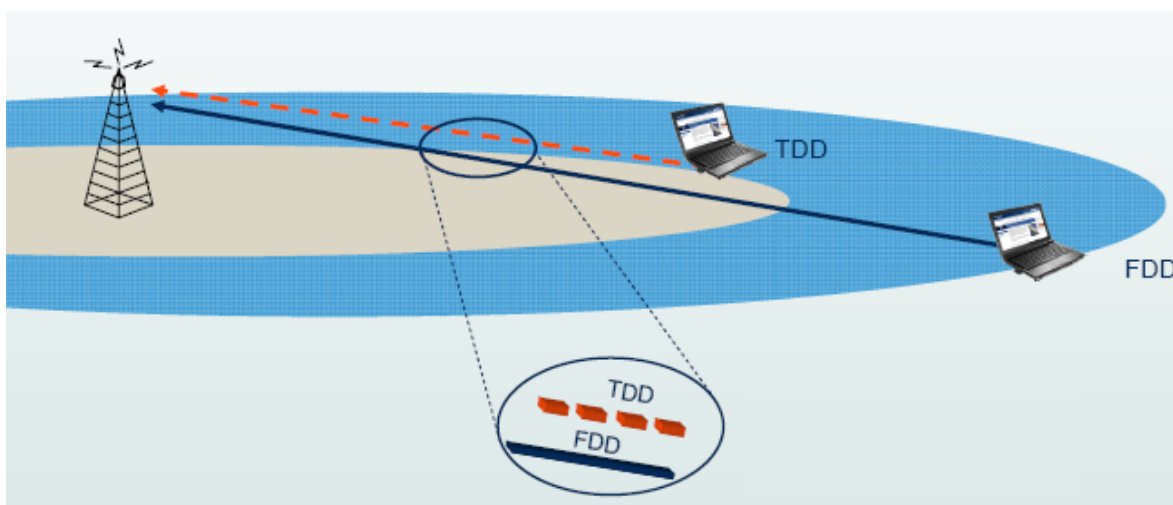
Slika 1.52. Iznos CAPEX-a u ovisnosti frekvencijskom području u kojem se izgrađuje mreža (izvor 2)

Potvrdu navedenog može se naći i u drugima dostupnim izvorima (slike 1.51. i 1.52). Ako se uspoređi izgradnja mreže u području 2500 MHz u odnosu na onu u području od 700 MHz (početak

područja koji se može osloboditi uslijed digitalne dividende) izlazi da su na 2,5 GHz troškovi veći oko 4,5 puta. Procjene, dobivene iz oba prikazana izvora, neznatno se razlikuju.

Stavljajući se u ulogu investitora (operatora) logičan je zaključak da će oni biti puno više zainteresirani za područje koje bi se moglo osloboditi uslijed digitalne dividende nego li za pojas na 2500 MHz. Posebno to vrijedi za Hrvatsku gdje ne treba očekivati prevelik broj operatora (više od 3) za razliku od situacija u nekim zapadnoeuropskim zemljama gdje je uvedeno i 5 operatora. Stoga u Hrvatskoj operatori mogu računati na više spektra i zadovoljenje kapaciteta mreže. Najuočljivija prednost područja 2500 MHz je mogućnost boljeg korištenja MIMO tehnologije i time ostvarenja bolje spektralne učinkovitosti. Naravno, na tom području ima mogućnosti za dodjelu šireg spektra i ostvarenje većeg kapaciteta mreže. Investitori će se suočiti sa širom lepezom mogućnosti i izazova u pogledu izbora tehnologije i frekvencijskog područja implementacije.

Ovo poglavlje studije zaključujemo konstatacijom da na područje pokrivanja (osim frekvencije odašiljanja) znatno utječe i dupleksni način rada. FDD način rada predstavlja puno bolju opciju u pogledu pokrivenosti.

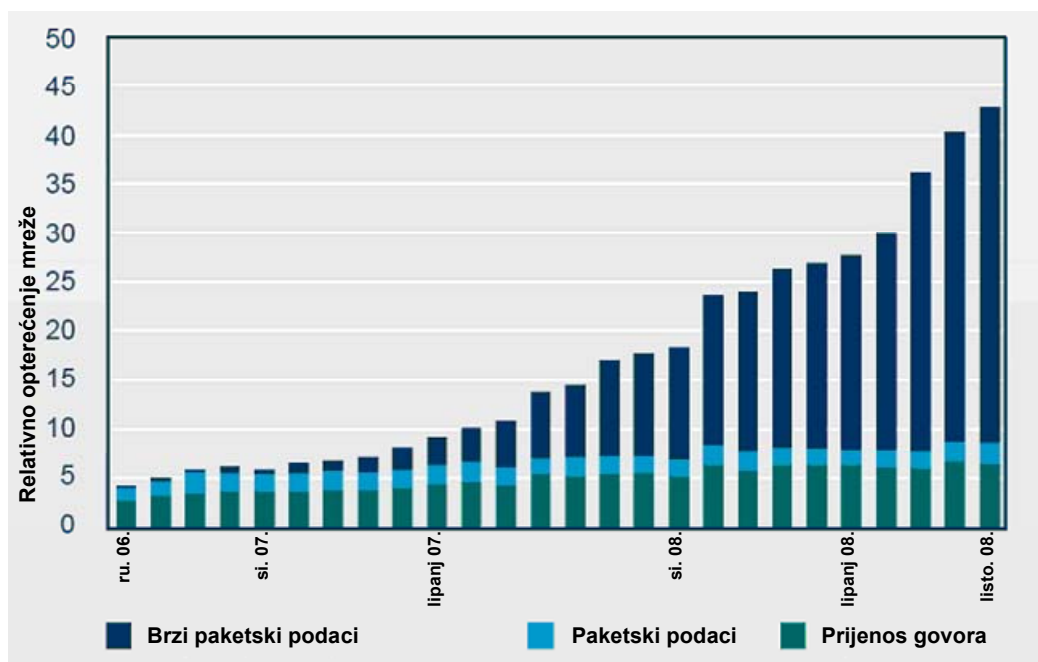


Slika 1.53. Ilustracija veličine područja pokrivanja signalom u ovisnosti o vrsti korištenog dupleksa

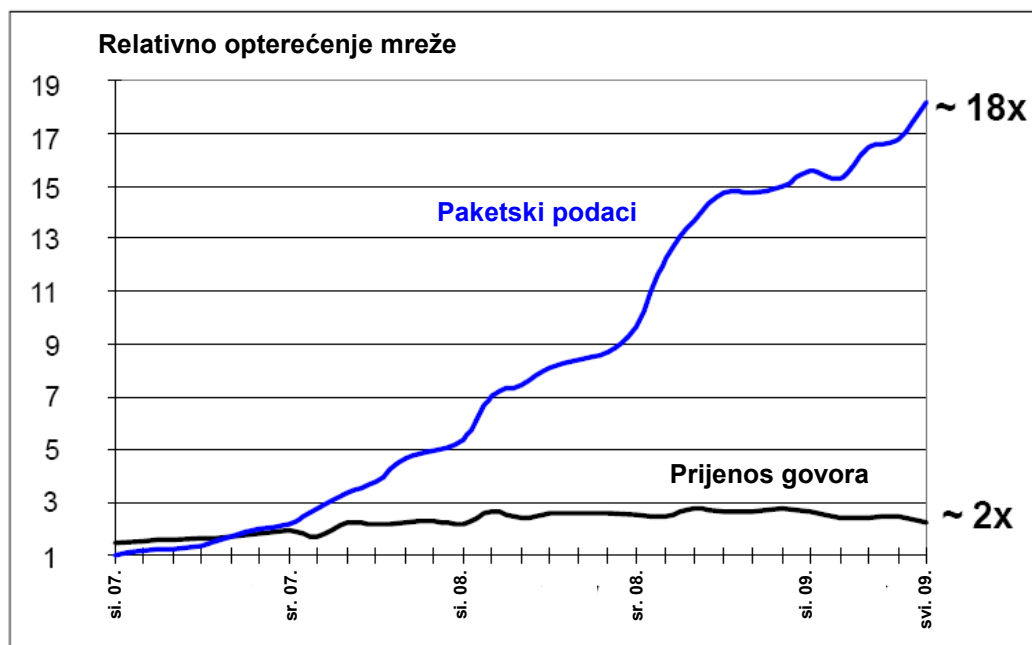
1.6. Razvoj usluga u mobilnim mrežama

Poznato je da su prve mobilne mreže bile optimirane i realizirane za prijenos govora, tj. za pružanje govornih usluga. Razvoj mobilnih mreža kretao se u smjeru zadržavanja kvalitete u pružanju govornih usluga i povećanjem paketskog prijenosa podataka. U literaturi ne pronalazimo previše podataka vezanih uz razmatranje udjela prijenosa govora i paketskog prijenosa podataka u ukupnom

opterećenju mreže. Razlog tome leži u činjenici da operatori takve podatke smatraju poslovnom tajnom. Da bi mogli pokazati dinamiku rasta i ukupnog udjela pojedine vrste prijenosa podataka u mobilnim mrežama poslužit ćemo se slikama 1.54. i 1.55.



Slika 1.54. Podatkovni promet u UMTS-HSPA mrežama u razdoblju od rujna 2006. do listopada 2008. (izvor Ericsson)

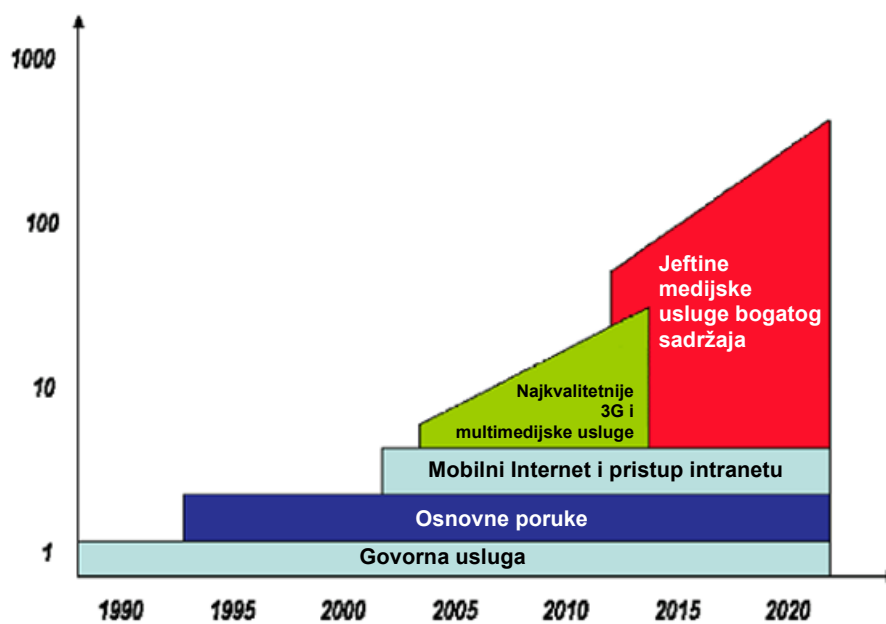


Slika 1.55. Podatkovni promet u UMTS-HSPA mrežama u razdoblju od siječnja 2007. do svibnja 2009. (izvor: studija HSPA to LTE-Advanced, Rysavy Research / 3G Americas, rujan 2009.)

Iz slika 1.54. i 1.55. može se zaključiti da se količina podataka namijenjenih prijenosu govora nije tako značajno promijenila kao što se promijenila količina podatkovnih podataka. Obje slike potvrđuju da promet podataka značajno premašuje promet govornih podataka. Tendencija je da će u budućnosti na sam promet podacima otpadati još veći udio. Drugim riječima, u nekom skorom razdoblju doći će do zasićenja (i time i stagnacije) u pružanju govorne usluge, dok će prijenos ostalih podataka i dalje značajno rasti, posebice pružanjem usluge mobilnog širokopojsnog pristupa. Dokaz tome vidimo i na slici 1.55. (dobivenoj usrednjavanjem rezultata od strane više operatora), kod koje primjećujemo da je rast podataka za pružanje govorne usluge u razdoblju od siječnja 2007. do svibnja 2009. godine bio dva puta, dok je istovremeno rast u prijenosu ostalih paketskih podataka bio 18 puta. Znači u svibnju 2009. govorne usluge predstavljale su svega 20% opterećenja mreže dok je u lipnju 2007. na njih otpadalo 50% ukupnog prometa.

Sukladno tendencijama u rastu i vrsti prometa u mobilnim mrežama može se pratiti i razvoj mobilnih usluga na tržištu (slika 1.56).

Broj i vrsta usluga na tržištu



Slika 1.56. Vrste usluga i njihova zastupljenost na tržištu

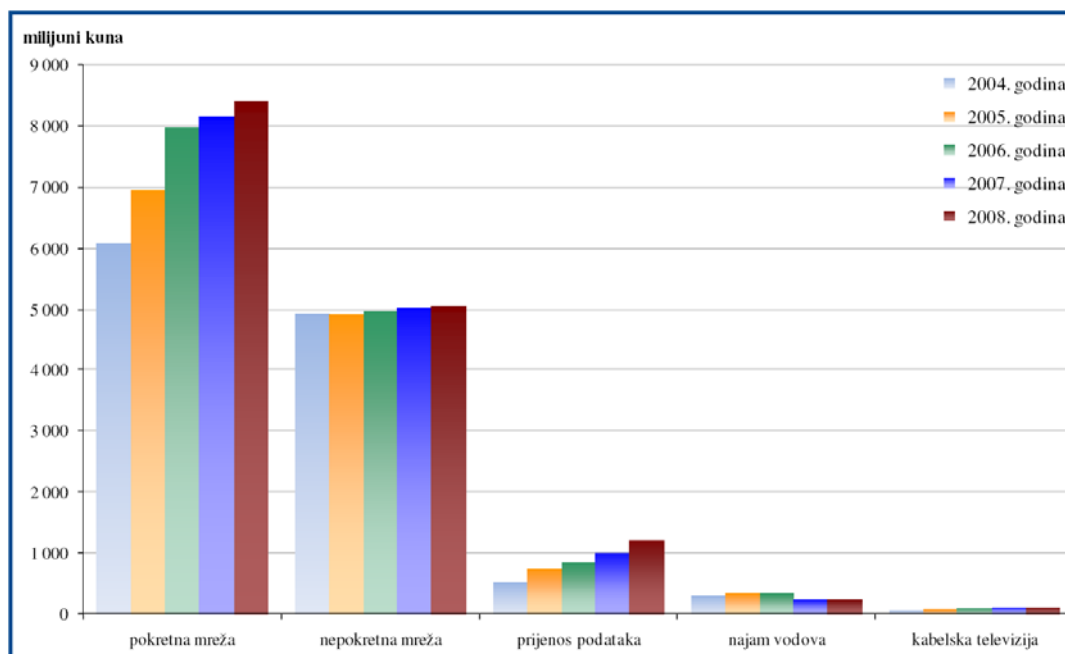
Zaključno može se reći da tehnološki razvoj mobilnih mreža predstavlja osnovu za pružanjem naprednih usluga, a domišljatost u smišljanju novih usluga diktirat će i rast prometa u mreži. Veliki kapacitet mreže omogućit će daljnju personalizaciju u pružanju

usluge i daljnji pad cijene u odnosu na količinu prenesenih podataka.

1.7. Tržište mobilnih komunikacija

Strategije Tržište mobilnih komunikacija kako u svijetu, a tako i kod nas bilježi stalni i veliki rast. To je možda najpropulzivniji i najisplativiji segment tržišta elektroničkih komunikacija, jer bilježi rast i u pogledu usluge prijenosa govora i kratkih tekstualnih poruka te u pogledu prijenosa podataka.

Tijekom 2008. godine na tržištu elektroničkih komunikacija u Hrvatskoj uvedeno je mjerenje širokopojasnog pristupa Internetu putem mobilnih mreža. Dakle, pristup Internetu pomoću WCDMA i njegovih naprednijih inačica HSDPA/HSUPA počeo se tretirati kao mobilni širokopojasni pristup.

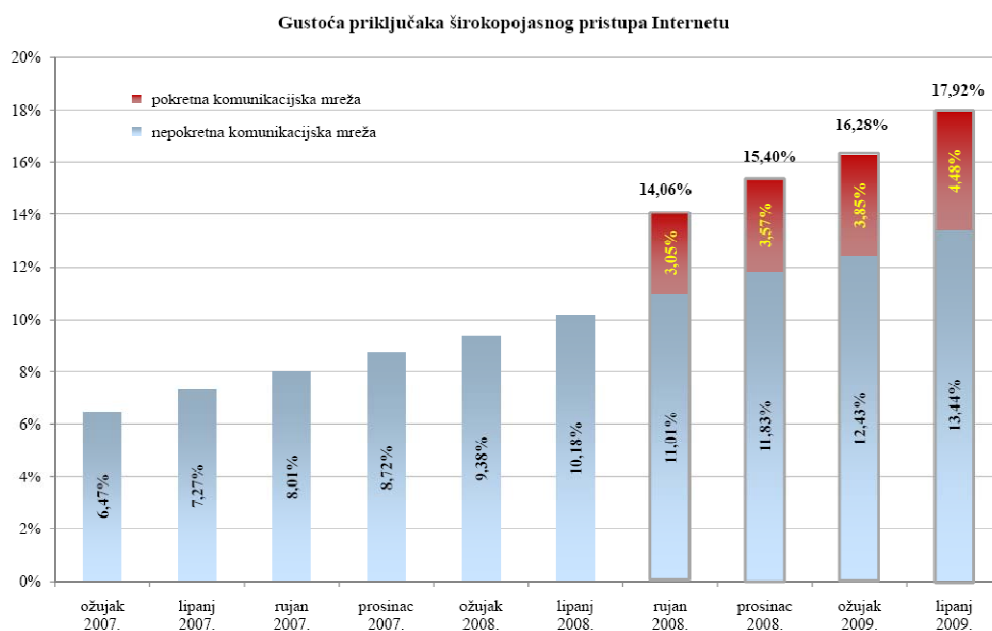


Slika 1.57. Ukupni prihodi prema glavnim segmentima mreže u Hrvatskoj

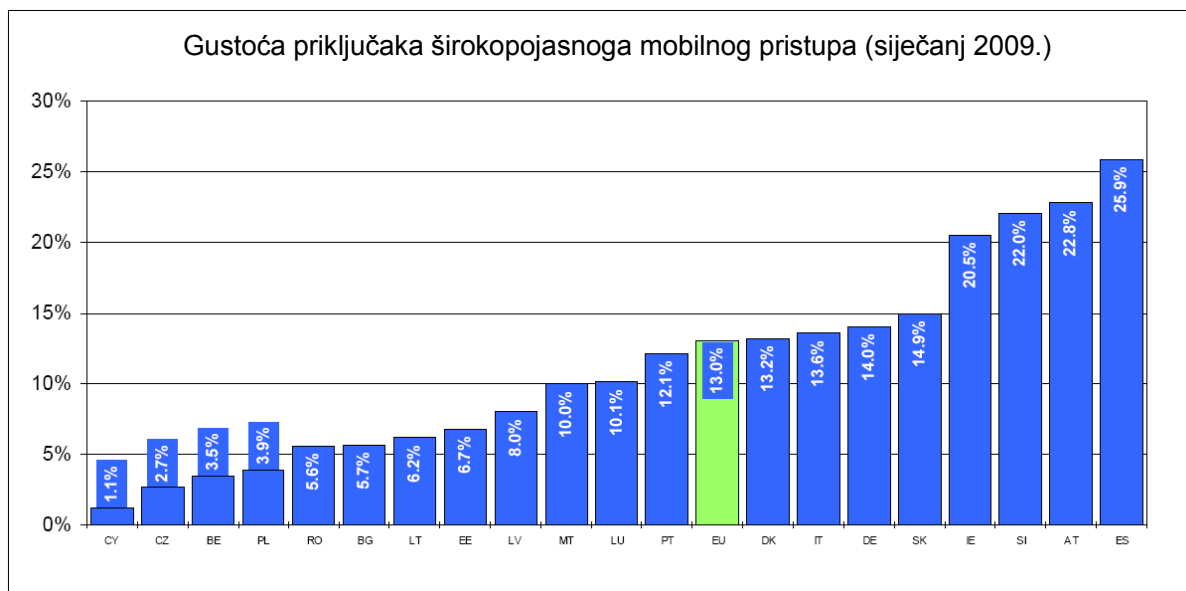
Širokopojasni pristup Internetu putem mobilnih mreža na kraju 2008. godine u RH je dosegao 158 530 priključaka (slika 1.58). To predstavlja gustoću od 3,57 posto s obzirom na broj stanovnika. U isto vrijeme, zastupljenost širokopojasnog pristupa Internetu putem mobilnih mreža u zemljama EU bila je nešto iznad 13 posto, odnosno više od 42 milijuna pretplatnika.

Valja naglasiti da se u ovoj projekciji nalaze svi aktivni korisnici usluge brzog prijenosa podataka bilo putem tzv. inteligetnog tele-

fona ili prijenosnog računala. U EU se radi i statistika koja uključuje samo korisnike koji putem prijenosnih računala i odgovarajućih kartica i USB modema imaju pristup mobilnim mrežama.



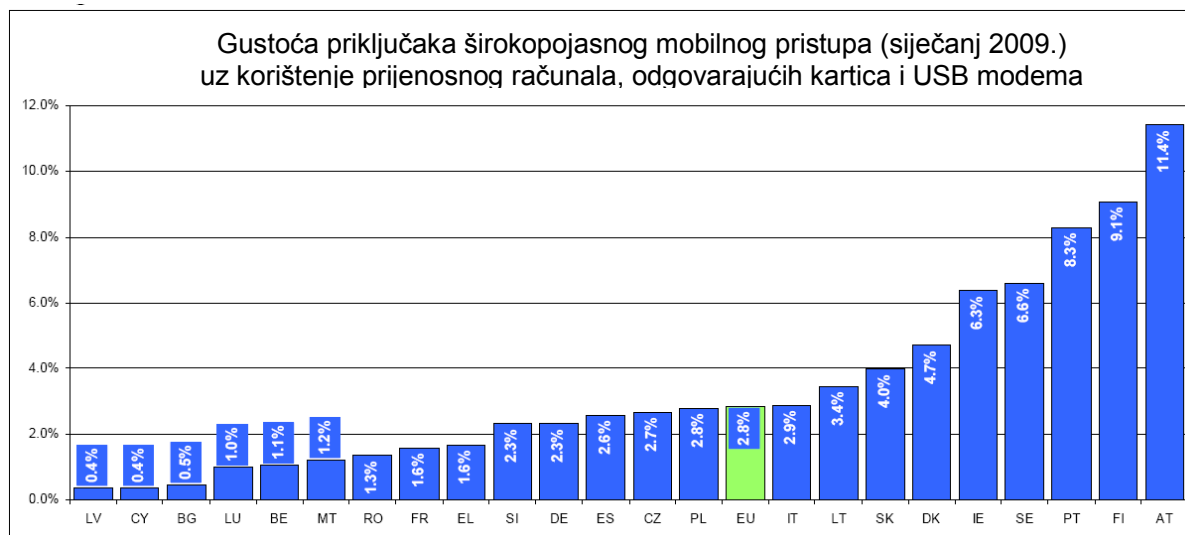
Slika 1.58 Gustoća priključaka širokopojasnog pristupa u Hrvatskoj



Slika 1.59. Gustoća priključaka mobilnog širokopojasnoga mobilnog pristupa u članicama EU-a

Smatramo kako ovaj drugi način vođenja statistike daje realniju sliku o pravim korisnicima (koji su zakupili određene pakete usluga) te preporučamo da i naš regulator uvede ovu dodatnu statistiku.

Rezultati ove po našem mišljenju realnije projekcije daju rezultat od 2,8% gustoće priključaka, što je znatno manje od prije navedenih 13%. Pokretači ovakvom velikom broju korisnika nalaze se u atraktivnim tarifnim modelima mobilnih operatora koji uključuju i druge pogodnosti usluga mobilnih mreža te stoga one postaju prihvatljivije od usluge nepokretnog pristupa Internetu.



Slika 1.60. Gustoća priključaka mobilnog širokopojasnog pristupa u članicama EU-a (uz korištenje prijenosnog računala i odgovarajućih kartica i USB modema)

U mobilnim mrežama najveći se prihod ostvaruje pružanjem govornih usluga i kratkih podatkovnih poruka (SMS-a). Međutim, treba imati na umu da će i u mobilnim mrežama doći do zasićenja (kao što je i sa slučajem govornih usluga u nepokretnoj mreži) te da više neće biti rasta prihoda na osnovu ovih dviju usluga. Kao jedini prostor za rast prihoda nameće se povećavanje podatkovnog prometa putem mobilnog širokopojasnog pristupa.

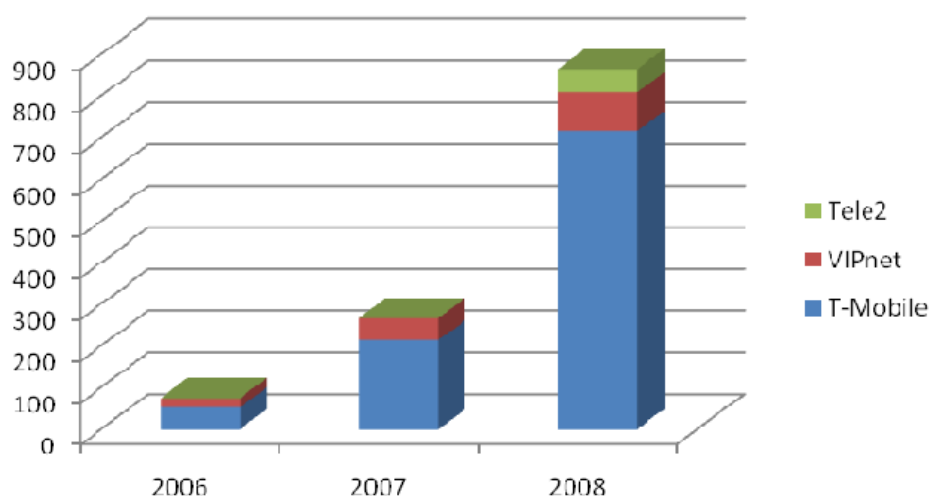
Prvi preduvjet povećavanja podatkovnih usluga je rast UMTS korisnika, odnosno prijelaz GSM korisnika u UMTS korisnike. Osim toga značajan iskorak u tomu pravcu predstavlja povećanje "stalnih" pretplatnika u odnosu na tzv. *pre-paid* korisnike. Trenutno stanje UMTS korisnika, stalnih i *pre-paid* korisnika kao i strukturu prihoda u mobilnoj mreži u RH načazi se u tablici 1.20., dok se dokaz rasta UMTS korisnika u zadnjih nekoliko godina najbolje vidi na slici 1.61.

Tablica 1.20. Tržište mobilnih komunikacija (preuzeto iz Mid-term forecasting of electronic communication markets development in Croatia, June 2009., A.R.S. Progetti)

		2006.	2007.	2008.	cagr [%] *
Ukupni prihodi	Milijuna eura	1088	1113	1228	6,2
Prihodi od prometa	Milijuna eura	869	860	948	4,4
Ostali prihodi	Milijuna eura	219	253	280	13,1
Ulaganja u infrastrukturu i opremu	Milijuna eura	126	113	147	8,0
Broj zaposlenika	Ukupno	2148	2166	2205	1,3
Broj pretplatnika u mobilnim mrežama	U tisućama	4395	5035	5880	15,7
Vrste korisnika					
Korisnici "pre paid"	U tisućama	3435	3824	4398	13,2
Korisnici "post paid"	U tisućama	960	1211	1482	24,2
Tehnologija					
GSM	U tisućama	4321	4768	5014	7,7
UMTS	U tisućama	75	267	865	239,6
Gustoća korisnika mobilne mreže	U postocima	99,1	113,5	132,5	15,6
Promet	U milijunima minuta	5300	6722	6152	7,7
Broj poslanih SMS-ova	U milijunima	2511	2724	3876	24,3
Broj poslanih MMS-ova	U milijunima	19	22	44	50,5

* cagr - složena godišnja stopa rasta

UMTS korisnici po operatorima (izraženo u tisućama)



Slika 1.61. Broj UMTS mobilnih pretplatnika po operatorima (preuzeto iz Mid-term forecasting of electronic communication markets development in Croatia, June 2009., A.R.S. Progetti)

1.8. Prognoze telekomunikacijskog tržišta u RH u razdoblju do 2011. godine

Za davanje prognoze razvoja telekomunikacijskog tržišta poslužit će podacima objavljenim u dokumentu *Mid-term forecasting of*

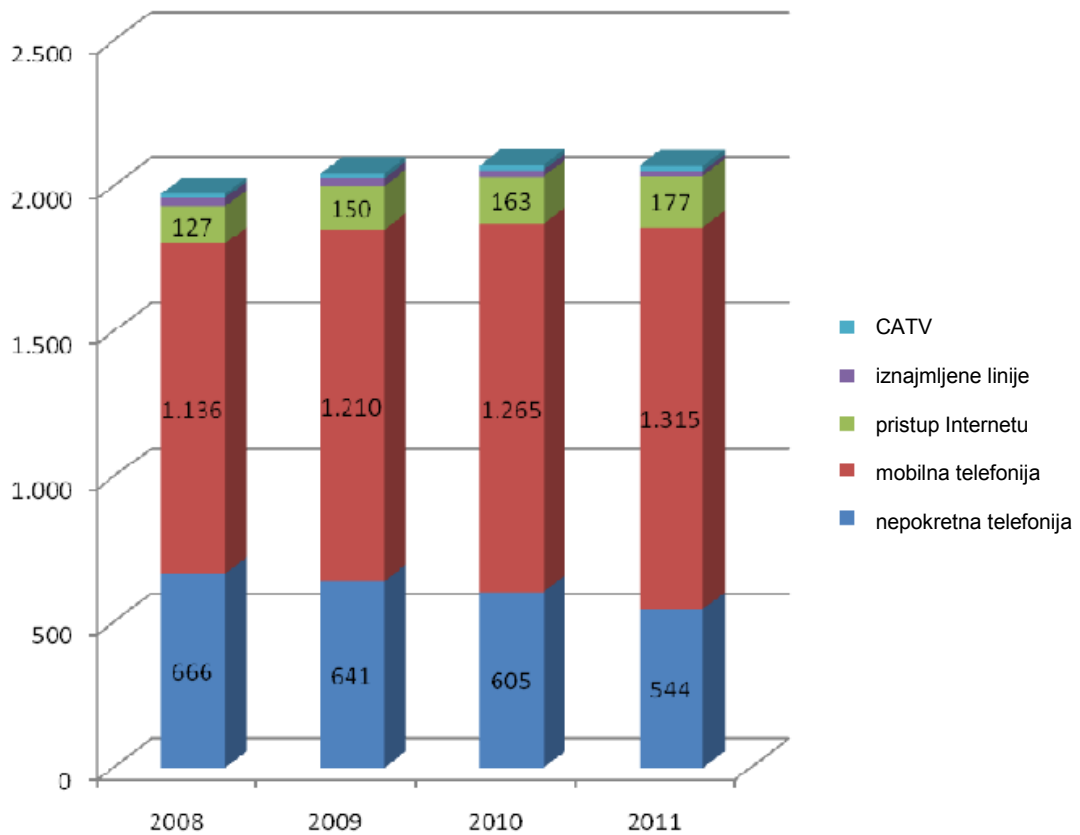
electronic communication markets development in Croatia, iz lipnja 2009., a koji je izradio A.R.S. Progetti. Najznačajniji rezultati navedenog dokumenta sadržani su u tablici 1.21. i na slici 1.62.

Tablica 1.21. Prognoze telekomunikacijskog tržišta do 2011. (prihodi)* (preuzeto iz Mid-term forecasting of electronic communication markets development in Croatia, June 2009., A.R.S. Progetti)

	Prognoza				
	2008.	2009.	2010.	2011.	cagr [%]
Fiksna mreža	666	641	605	544	-6,5
Telefonski promet, fiksni	343	320	290	250	-10,0
Prijenos podataka	10	8	6	4	-26,3
Pretplata	188	185	180	170	-3,3
Interkonekcija	38	42	45	40	1,7
Ostalo	87	86	84	80	-2,8
Mobilna mreža	1136	1210	1265	1315	5,0
Promet	948	990	1020	1040	3,1
Ostalo	188	220	245	275	13,5
Pristup Internetu	127	150	163	177	11,7
Pristup modemom (dial-up)	11	7	4	3	-35,2
ADSL	80	100	110	105	9,5
Iznajmljeni vodovi	26	24	15	10	-27,3
FttH/FttB	0	6	20	45	173,9
Druge vrste pristupa	5	7	9	11	30,1
VOIP promet	5	6	5	3	-15,7
Iznajmljeni vodovi	31	26	21	15	-21,5
CATV	14	16	17	17	6,7
Ukupno	1974	2043	2071	2068	1,6

* Prihodi su izraženi u milijunima eura

Tržište telekomunikacijskih usluga do 2011. (izraženo u milijunima eura)



Slika 1.62. Tržište telekomunikacijskih usluga do 2011. (preuzeto iz Mid-term forecasting of electronic communication markets development in Croatia, June 2009., A.R.S. Progetti)

Zaključci iz navedenog dokumenta mogu se sumirati na način kako je prikazano u nastavku.

a) Ukupno telekomunikacijsko tržište

- Očekuje se skromni rast cjelokupnog telekomunikacijskog tržišta (1,6% na godišnjoj razini). To je povećanje od 90 milijuna eura do 2011.
- Glavni razlozi ovoga skromnog rasta leže u činjenici da će se tržište nepokretne telefonije smanjivati (6 – 7 % na godišnjoj razini). Smanjivanje je uzrokovano zamjenom nepokretne s mobilnom tehnologijom i većim korištenjem širokopojasnih usluga.
- Vodeći pokretač rasta tržišta je područje mobilne tehnologije. Iako se očekuje smanjenje govornih usluga u području mobilne tehnologije, rast u mobilnom području temeljit će se na novim uslugama kao što je mobilni širokopojasni pristup.

- Upitno je kako će se treći (najnoviji) operator na području mobilne tehnologije nositi u budućnosti. Činjenica je da ostvaruje slabe financijske rezultate na hrvatskom tržištu.
- Na području nepokretnog dijela mreže i širokopojasnog pristupa doći će do konsolidacije, odnosno očekuje se manji broj operatora ponajprije zbog loših financijskih rezultata koje ostvaruju neki od njih.
- Dominantni operator u području nepokretne telefonije i širokopojasnog pristupa i dalje će zadržati svoj neprikosnoveni položaj. Njegova pozicija bit će nadalje učvršćena budući je započeo s izgradnjom optičke pristupne mreže. Očekuje se da će u ukupnom tržištu i dalje imati udio veći od 60%.
- Širokopojasni pristup putem kabela mreže (CATV) neće se značajnije mijenjati.
- Udio tržišta mobilnog dijela mreže ostat će dominantan i iznositi će iznad 63% tržišta, a udio nepokretnog širokopojasnog pristupa na ukupnom tržištu iznositi će 8 – 9%.

b) Tržište mobilnog dijela mreže

Općenito

- Očekuje se jaka tržišna utakmica između postojećih 3 operatora, posebice na području mobilnog širokopojasnog pristupa. T-Mobile i VIPnet imaju tehnološko i tržišno vodstvo. Ne očekuje se ulazak novog operatora na tržište.

Korisnici

- Broj će im i dalje rasti, negdje po stopi od 10% godišnje. Očekuje se preraspodjela stalnih pretplatnika i pre-paid pretplatnika. Na kraju 2011. očekuje se udio od 40% stalnih pretplatnika. Baza korisnika mobilnog širokopojasnog pristupa i dalje će se povećavati, a na kraju 2011. pretpostavlja se da će ih biti 1 milijun.

Cijene

- Neće se mijenjati, ne očekuje se znatno snižavanje cijena na području mobilnog širokopojasnog pristupa.

Promet

- Usluga prijenosa govora smanjivat će se godišnje za oko 5%. SMS promet će i dalje rasti i to 8% godišnje.

c) Tržište pristupa Internetu

Općenito

- FTTH će postati komercijalno dostupan u drugoj polovici 2009. u 4 najveća grada u RH. VOIP će biti standardni dio ponude budućih paketa. Iako se očekuje udvostručenje

korisnika putem CATV mreže, taj broj je i dalje puno manji od ostalih pristupa.

Korisnici

- Na kraju 2009. očekuje se 50000 FTTH priključaka, a na kraju 2011. oko 150000. Većinom u velikim gradovima. ADSL će dosegnuti svoj limit u korisnicima krajem 2010. kada ih se očekuje oko 650000. Tada će neki zamijeniti ADSL s FTTH-om. Stabilizacija broja ADSL korisnika očekuje se od 2011., a pad od 2012. godine. Spajanje putem dial-up-a dosegnut će brojku od 200000 korisnika u 2011. I dalje će egzistirati u onim djelovima zemlje bez ADSL-a i FTTH-a. Iznajmljene linije (kao sredstvo pristupa Internetu) nadomjestit će se optikom.

Cijene

- Uvođenjem FTTH cijene ADSL će padati po stopi od 4-5% godišnje. Predviđaju se cijene paketa triple play od 25 eura mjesečno.

d) Utjecaj TK sektora na društvo

- Ako se želi sagledati direktni ukupni utjecaj TK sektora (isključivši pristup Internetu zbog nepouzdanih podataka) na gospodarstvo u RH vidimo da on u 2008. predstavlja 1,8 % BDP-a. (874 milijuna eura), a ne očekuje se veći rast u narednim godinama. Oko 5% radne snage u RH je prisutno u TK sektoru. Očekuje se smanjenje tog broja u razdoblju 2009–2011. TK sektor je po inozemnim ulaganjima rangiran kao treći od 1993–2008., a većina investicija napravljena je od 1999–2001.

Tablica 1.22. Doprinos TK sektora na hrvatsko gospodarstvo*
(preuzeto iz *Mid-term forecasting of electronic communication markets development in Croatia, June 2009.*, A.R.S. Progetti)

	2006.	2007.	2008.	cagr [%]
Ukupni prihod	1697	1720	1847	4,3
Fiksna mreža	672	666	666	-0,4
Mobilna mreža	972	1010	1136	8,1
Iznajmljeni vodovi	41	32	31	-13,0
CATV	12	12	14	8,0
Troškovi	1395	1447	1316	-2,9
Fiksna mreža	515	515	572	5,4
Mobilna mreža	860	907	716	-8,8
Iznajmljeni vodovi	5	7	9	34,2
CATV	15	18	19	12,5
Nastala dodana vrijednost	302	273	531	32,6
Fiksna mreža	157	151	94	-22,6
Mobilna mreža	112	103	420	93,6
Iznajmljeni vodovi	36	25	22	-21,8
CATV	-3	-6	-5	29,1
Investicije	297	276	343	7,5
Fiksna mreža	118	113	159	16,1
Mobilna mreža	167	145	163	-1,2
Iznajmljeni vodovi	9	14	15	29,1
CATV	3	4	6	41,4
Rezultirajući ukupni udio u HR gospodarstvu	599	549	874	20,8
Fiksna mreža	275	264	253	-4,1
Mobilna mreža	279	248	583	44,6
Iznajmljeni vodovi	45	39	37	-9,3
CATV	0	-2	1	
Ukupni izravni doprinos u % od BDP-a	1,5	1,3	1,8	9,7
Fiksna mreža	0,7	0,6	0,5	-12,9
Mobilna mreža	0,7	0,6	1,2	31,3
Iznajmljeni vodovi	0,1	0,1	0,1	-17,6

* Prihodi su izraženi u milijunima eura

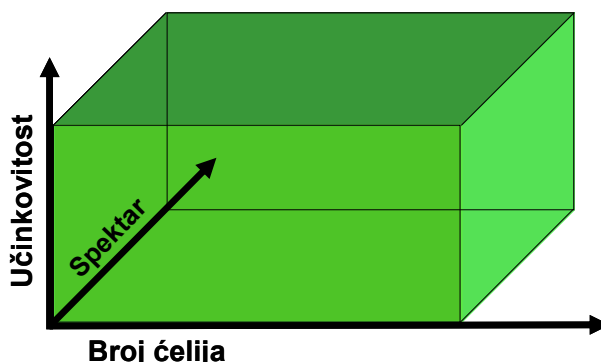
Projekcije rasta u idućem razdoblju pokazuju da će se broj korisnika mobilnih mreža novije generacije povećavati, a istodobno će se povećavati i zahtjevi za širokopojasnim mobilnim pristupom. Kako bi operatori mogli pružiti zadovoljavajuću kvalitetu usluga u novim

okolnostima, koje će uključivati veći broj korisnika, trebat će nadograđivati postojeće mreže, a u konačnici i prijeći na novu tehnologiju LTE. Način na koji će prijeći na novu tehnologiju te kako će nadograđivati postojeću mrežu predstavljaju izvjesne rizike za operatora (investitora). Na regulatoru ostaje zadatak da omogući nesmetani razvoj tržišta kroz ostvarivanje preduvjeta za pružanjem usluga. Akcije regulatora će u prvom redu uključivati dodjeljivanje šireg spektra frekvencija operatorima i omogućavanje poštenoga tržišnog nadmetanja. Pravilnim i pravovremenim djelovanjem u pogledu upravljanja spektrom, zadovoljit će se buduće potrebe korisnika na zadovoljavajući način. Te potrebe se svode na brži pristup, bilo gdje i bilo kada, a sve po prihvatljivoj cijeni.

1.9. Uloga regulatora

Kao što smo vidjeli u prethodnim poglavljima tržište mobilnih komunikacija će rasti. Prvenstveno se to odnosi na mobilni širokopoljasni pristup. Dakle, rasti će potreba i za potrebnim kapacitetima koje može osigurati mobilna mreža. Povećanje kapaciteta (slika 1.63) se može ostvariti na tri načina:

- povećanjem spektralne učinkovitosti (bit/s/Hz),
- povećanjem broja ćelija i
- uporabom šireg frekvencijskog spektra.

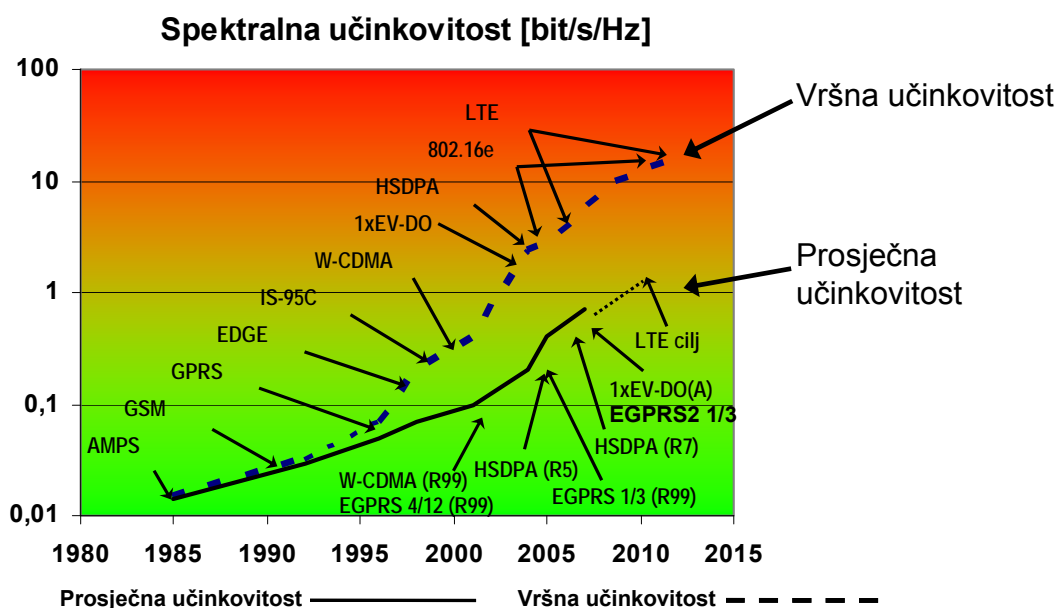


Slika 1.63. Kapacitet sustava

Uvođenjem novih tehnologija poboljšava se spektralna učinkovitost (vidi tablicu 1.23. i sliku 1.64). Dakle, prelaskom na HSPA, HSPA+, LTE povećavamo i ukupni kapacitet.

Tablica 1.23. Razvoj mobilnih tehnologija

Godina	Sustav	Vršna brzina prijenosa	Širina kanala
1992.	GSM	9,6 kbit/s	200 kHz
2002.	W-CDMA	384 kbit/s	5 MHz
2006.	HSDPA	14 Mbit/s	5 MHz
2009/10.	HSDPA+ 64-QAM uz 2×2 MIMO	42 Mbit/s	5 MHz
2010/11.	LTE	100 Mbit/s	20 MHz
2012.	LTE 2×2 MIMO	172,8 Mbit/s	20 MHz
2013.	LTE 4×4 MIMO	326,4 Mbit/s	20 MHz
2015.	IMT-Advanced (cilj)	1 Gbit/s	100 MHz



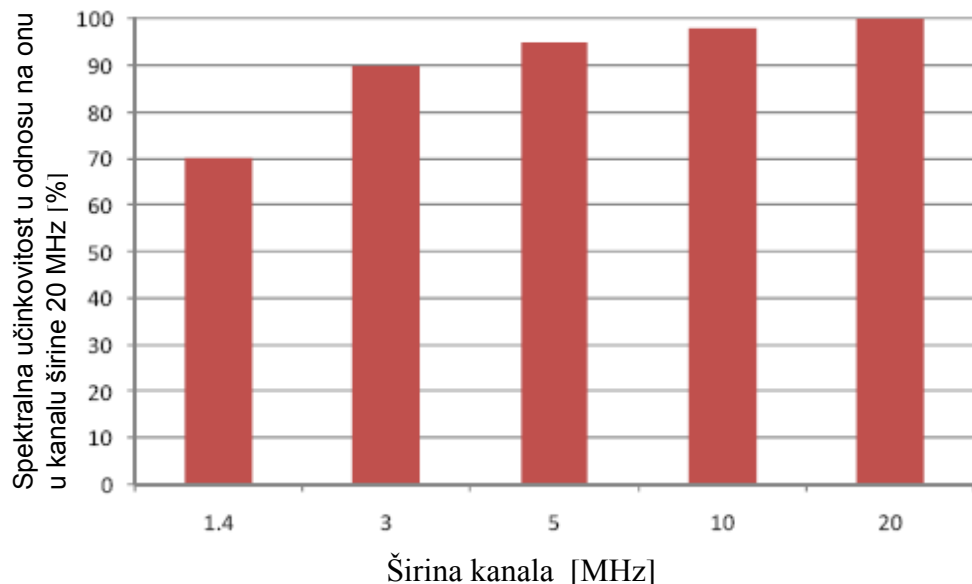
Slika 1.64. Spektralna učinkovitost i pojedini sustavi (izvor Agilent)

O uvođenju novih tehnologija prvenstveno će odlučivati investitori (operatori), a uloga regulatora je da ne određuje tehnologiju mobilnih mreža. Na broj ćelija, također će ponajprije utjecati operatori. Regulator može sa svoje strane poticati rast broja ćelija na način da se potiče zajedničko korištenje izgrađene infrastrukture i zajednička izgradnja buduće infrastrukture. Prvenstvena uloga regulatora u povećanju sadašnjeg kapaciteta ide u smjeru povećavanja dodijeljenog spektra mobilnim mrežama. Vidjeli smo da trenutni spektar koji je u Hrvatskoj namijenjen mobilnim mrežama iznosi ~360 MHz i za pretpostaviti je da on neće biti dostatan za sve

buduće primjene. U pogledu dodjele spektra regulator ima na raspolaganju dvije mogućnosti koje može realizirati u skoroj budućnosti:

- prva mogućnost je dodjela novog spektra iz područja digitalne dividende,
- druga mogućnost je dodjela spektra u području 2500–2690 MHz.

Da bi se postigla učinkovitost u primjeni novih tehnologija, osim povećanog spektra, pozornost treba obratiti i na kontinuiranost spektra koji će biti dodijeljen pojedinom operatoru. Naime, nema smisla dodjeljivati blokove uže od 10 MHz, a bilo bi dobro kad bi oni mogli biti širine 20 MHz. Znamo da LTE svoju punu operativnost pokazuje pri širini kanala od 20 MHz, a smanjivanjem širine kanala opada i spektralna učinkovitost. Navedenu činjenicu najbolje ilustrira slika 1.65.



Slika 1.65. Spektralna učinkovitost LTE kao funkcija širine kanala

Mislimo da je za sada prerano govoriti o blokovima širine 100 MHz (za *IMT-Advanced*) i da je to stvar dalje (daleke) budućnosti. Ovdje se neće analizirati prva mogućnost dodjele novog spektra, jer će se o tome opširnije govoriti u nastavku studije. Pozornost se posvećuje drugoj mogućnosti, tj. dodjeli spektra u pojasu 2500 – 2690 MHz, koji se smatra najvećim novim resursom za mobilne širokopojasne usluge u skoroj budućnosti. Taj pojas prepoznat je od strane ITU-a kao područje proširenja IMT, a koje je potrebno uslijed porasta prometa u 3G/HSPA mrežama. To područje je dovoljno široko kako bi se omogućilo da više operatora može ugraditi tehnologije koje rade na širim kanalima, primjer čega je i dodjela 2×20 MHz kanala za LTE. Podjela tog frekvencijskog

područja od strane CEPT-a sadržana je u ECC/DEC/(05)05 (*ECC Decision of 18 March 2005 on harmonised utilisation of spectrum for IMT-2000/UMTS systems operating within the band 2500 – 2690 MHz*), a prihvaćena je i od strane RH. Plan je sadržavao obvezu da se ovaj spektar učiniti slobodnim od 2008. godine, ovisno o zahtjevima tržišta. Podjela ovog područja ptovедena je na sljedeći način:

- 2×70 MHz upareni FDD spektar, odvojen s 50 MHz neuparenim spektrom za FDD silaznu vezu (eksternu) ili,
- TDD (*vidi sliku 1.66*).

Područje od 2500 – 2570 MHz namijenjeno je za uzlaznu vezu, a podijeljeno je na 14 blokova širine 5 MHz. Područje od 2620 – 2690 MHz koristi se za silaznu vezu i ima također 14 blokova širine 5 MHz. Dupleksni razmak iznosi 120 MHz. U području 2570 – 2620 MHz ostavlja se mogućnost lokalnim administracijama da odrede potrebne zaštitne pojaseve za osiguranje kompatibilnosti. Operatorima se dodjeljuju blokovi koji su višekratnici od 5 MHz (širine jednog bloka).

Potvrda stava Europske unije u pogledu dodjele navedenog spektra nalazi se i u odluci Komisije EU-a broj 2008/477/EC od 13.06.2008 (*Commission Decision of 13 June 2008 on the harmonisation of the 2500 – 2690 MHz frequency band for terrestrial systems capable of providing electronic communications services in the Community, EC decision 2008/477/EC*).

Švedska je bila prva država koja je implementirala ovu odluku i koja je prva dodijelila navedeni spektar. Način na koji su Šveđani dodijelili koncesije u tom području prikazan je na slici 1.67. Njenim primjerom krenule su i ostale europske države koje su raspisale natječaje za dodjelu koncesije (npr. Danska, Nizozemska...). Očekuje se da će do kraja 2010. godine negdje oko polovice članica EU-a dodijeliti ove koncesije. Smatramo da Hrvatska ne smije gubiti dragocjeno vrijeme, već se i ona treba pridružiti tom društvu zemalja.

Mogućnost 1.

2500 MHz	UL	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14
2505 MHz	UL	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	
2510 MHz	UL	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14		
2515 MHz	UL	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14			
2520 MHz	UL	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14				
2525 MHz	UL	06	07	08	09	10	11	12	13	14					
2530 MHz	UL	07	08	09	10	11	12	13	14						
2535 MHz	UL	08	09	10	11	12	13	14							
2540 MHz	UL	09	10	11	12	13	14								
2545 MHz	UL	10	11	12	13	14									
2550 MHz	UL	11	12	13	14										
2555 MHz	UL	12	13	14											
2560 MHz	UL	13	14												
2565 MHz	UL	14													
2570 MHz	UL														
2575 MHz	UL														
2580 MHz	UL														
2585 MHz	UL														
2590 MHz	UL														
2595 MHz	UL														
2600 MHz	UL														
2605 MHz	UL														
2610 MHz	UL														
2615 MHz	UL														
2620 MHz	UL														
2625 MHz	DL	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14
2630 MHz	DL	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	
2635 MHz	DL	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14		
2640 MHz	DL	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14			
2645 MHz	DL	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14				
2650 MHz	DL	06	07	08	09	10	11	12	13	14					
2655 MHz	DL	07	08	09	10	11	12	13	14						
2660 MHz	DL	08	09	10	11	12	13	14							
2665 MHz	DL	09	10	11	12	13	14								
2670 MHz	DL	10	11	12	13	14									
2675 MHz	DL	11	12	13	14										
2680 MHz	DL	12	13	14											
2685 MHz	DL	13	14												
2690 MHz	DL	14													

TDD*

FDD blokovi uzlazne veze

FDD blokovi silazne veze

* o mogućim zaštitnim pojasevima radi osiguranja kompatibilnosti unutar područja 2570-2620 MHz odlučuju regulatori na nacionalnoj razini

Mogućnost 2.

2500 MHz	UL	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14
2505 MHz	UL	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	
2510 MHz	UL	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14		
2515 MHz	UL	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14			
2520 MHz	UL	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14				
2525 MHz	UL	06	07	08	09	10	11	12	13	14					
2530 MHz	UL	07	08	09	10	11	12	13	14						
2535 MHz	UL	08	09	10	11	12	13	14							
2540 MHz	UL	09	10	11	12	13	14								
2545 MHz	UL	10	11	12	13	14									
2550 MHz	UL	11	12	13	14										
2555 MHz	UL	12	13	14											
2560 MHz	UL	13	14												
2565 MHz	UL	14													
2570 MHz	UL														
2575 MHz	UL														
2580 MHz	UL														
2585 MHz	UL														
2590 MHz	UL														
2595 MHz	UL														
2600 MHz	UL														
2605 MHz	UL														
2610 MHz	UL														
2615 MHz	UL														
2620 MHz	UL														
2625 MHz	DL	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14
2630 MHz	DL	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	
2635 MHz	DL	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14		
2640 MHz	DL	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14			
2645 MHz	DL	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14				
2650 MHz	DL	06	07	08	09	10	11	12	13	14					
2655 MHz	DL	07	08	09	10	11	12	13	14						
2660 MHz	DL	08	09	10	11	12	13	14							
2665 MHz	DL	09	10	11	12	13	14								
2670 MHz	DL	10	11	12	13	14									
2675 MHz	DL	11	12	13	14										
2680 MHz	DL	12	13	14											
2685 MHz	DL	13	14												
2690 MHz	DL	14													

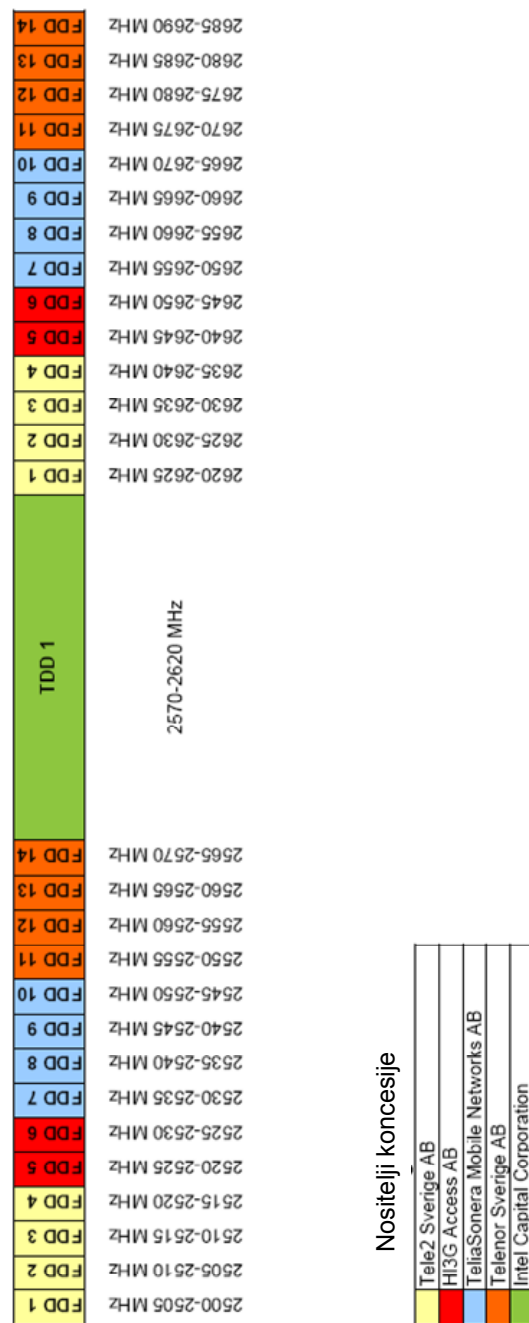
FDD silazna veza (eksterna)*

FDD blokovi uzlazne veze

FDD blokovi silazne veze

* o mogućim zaštitnim pojasevima radi osiguranja kompatibilnosti unutar područja 2570-2620 MHz odlučuju regulatori na nacionalnoj razini

Slika 1.66. Mogućnosti dodjele spektra u području 2500 – 2690 MHz



Slika 1.67. Primjer dodjele koncesija u području 2500 – 2690 MHz u Švedskoj

Na primjeru Švedske proizlazi da se spektar 2500 – 2690 MHz dijeli između pet operatora. U Hrvatskoj teško možemo očekivati više od tri operatora te će stoga svakom biti dodijeljeni i veći resursi. Stoga, nema opravdanja dodijeliti operatorima širine manje od 20 MHz u kontinuitetu. Naime, iako nije specificirano koja tehnologija će se tu primijeniti, najvjerojatnije je da će LTE mreže ovdje najprije zaživjeti. LTE (*Release 8*) ima definirano i ovo

frekvencijsko područje rada, dok frekvencijska područja rada koja pokrivaju područje digitalne dividende nisu specificirana u toj inačici LTE. Na operatorima ostaje da ovisno o svojim strategijama razvoja odluče kad će i da li će raditi u ovom području (više frekvencije i veći troškovi izgradnje mreže) te koju će tehnologiju upotrijebiti. Činjenica je da je trenutno tehnološki najnapredniji sustav LTE i da će LTE uređaji, koji pokrivaju ovo područje frekvencija, biti prvi na raspolaganju.

2. Prijelaz na digitalno odašiljanje u televiziji – učinkovito korištenje spektra frekvencija u VHF i UHF području

2.1. Dokumenti i odluke u svezi prijelaza na digitalno odašiljanje u televiziji

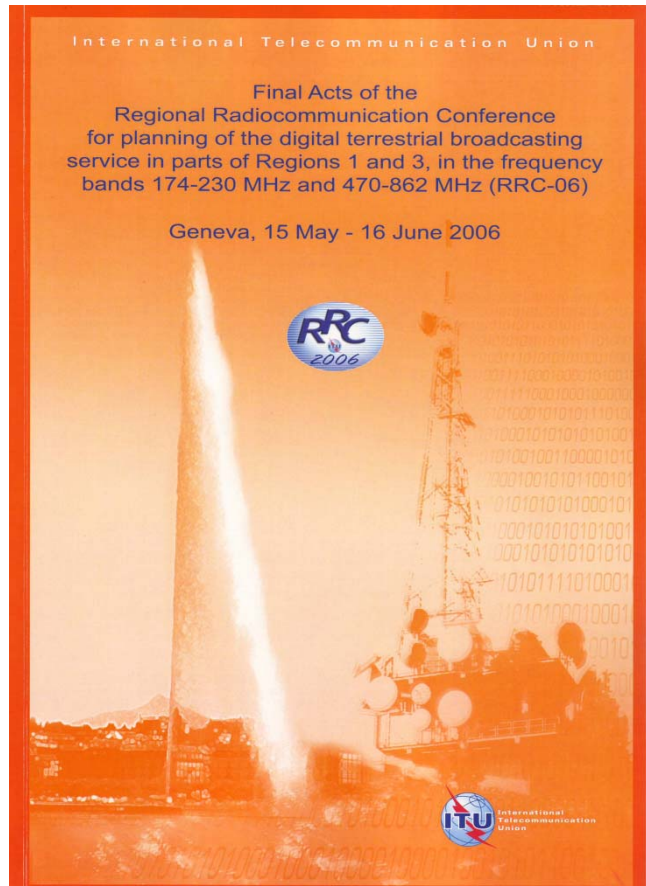


Završni dokument Regionalne radio-komunikacijske konferencije RRC'06, održane u Ženevi od 15. svibnja do 16. lipnja 2006. godine, propisao je načine uporabe spektra za potrebe radiodifuzije za područje Regije 1 (Europa, Afrika i dijelovi Azije).

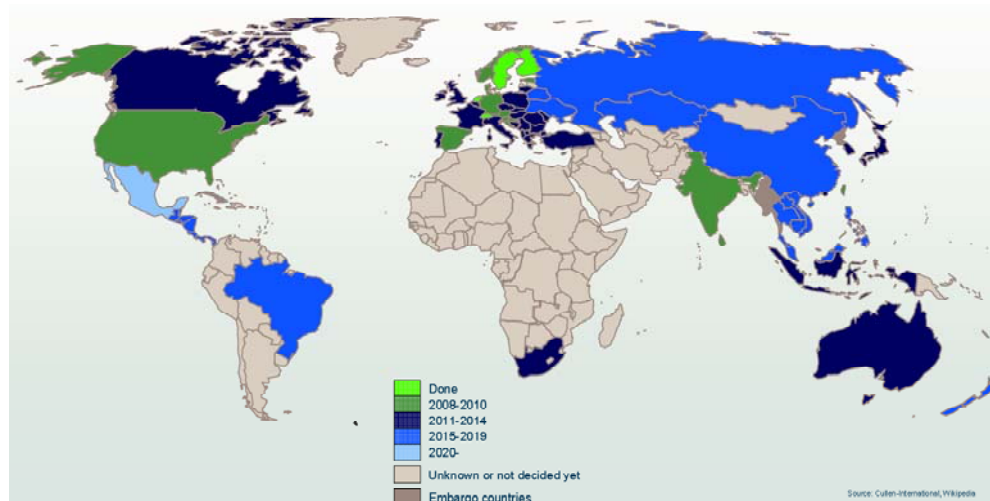
Rezultati te konferencije, koji se još nazivaju i sporazumom GE-06, omogućili su početak procesa prijelaza na digitalno odašiljanje televizije i radija (DVB-T i T-DAB) u frekvencijskim područjima VHF III (174 – 230 MHz) i UHF IV/V (470 – 862 MHz). GE-06 utvrdio je da dne 17. lipnja 2015. godine u 00,01 sati UTC završava proces prijelaza na digitalno odašiljanje (DSO, *Digital Switch-Over*). Nakon toga prestaje obveza administracija pojedinih zemalja za šticeanjem analognog odašiljanja u susjednim zemljama i one mogu slobodno koristiti kanale koji su im dodijeljeni u završnom dokumentu GE-06.

Administracijama je ostavljena mogućnost primjene plana GE-06 i prije krajnjeg roka prijelaza na digitalno odašiljanje u koordinaciji sa susjednim zemljama. Na traženje nekih afričkih i arapskih zemalja produljen im je krajnji rok za završetak toga prijelaznog perioda za odašiljanje u frekvencijskom području VHF III za 5 godina tj. do 2020. godine.

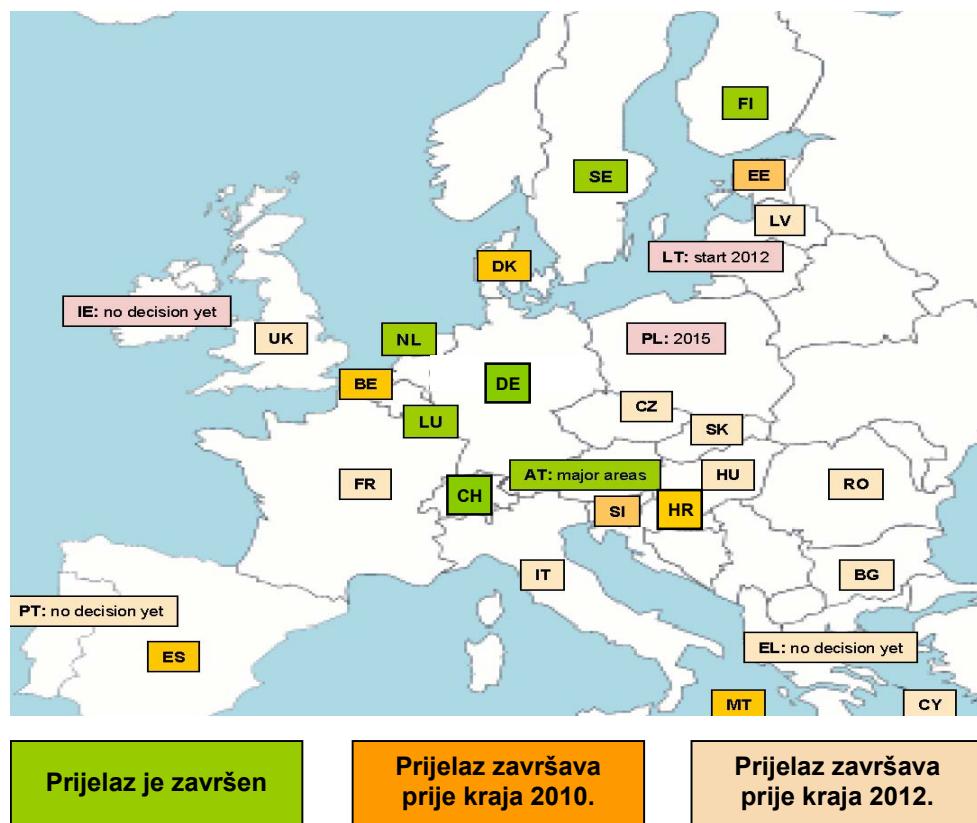
Pojas VHF I (47 – 68 MHz), koji se vrlo malo koristio za analogno odašiljanje televizije, nije predviđen za digitalno odašiljanje.



Slika 2.1. Završni dokument RRC'06



Slika 2.2. Vremenske odrednice za prestanak analognog odašiljanja televizije u svijetu (podaci s početka 2009. godine)



Slika 2.3. Stanje prijelaznog procesa u Europi

Zemlje Europske unije odlučile su prestati s analognim odašiljanjem televizije najkasnije do kraja 2012. godine (ASO, *Analog Switch Off*).

Vlada Republike Hrvatske donijela je 31. srpnja 2008. godine *Odluku o početku digitalnog emitiranja i prestanku analognog emitiranja televizijskih programa u Republici Hrvatskoj* (Narodne novine br. 91/2008.). Prema toj odluci emitiranje televizijskih programa u analognoj tehnologiji prestaje najkasnije s danom 31. prosinca 2010. godine i od 1. siječnja 2011. godine televizijski programi nakladnika elektroničkih medija, koji se emitiraju putem zemaljske mreže odašiljača u Republici Hrvatskoj, emitirat će se isključivo u digitalnoj tehnologiji.

Slijedom te odluke Vlade, izrađena je u srpnju 2008. *Strategija prelaska s analognog na digitalno emitiranje televizijskih programa u Republici Hrvatskoj*. Ministarstvo mora, promet i infrastrukture donijelo je dne 11. prosinca 2008. godine *Pravilnik o prelasku s analognog na digitalno odašiljanje radijskih i televizijskih programa te pristupu položajima u multipleksu u zemaljskoj digitalnoj radiodifuziji* (Narodne novine br. 148 od 19. prosinca 2008.).

VLADA REPUBLIKE HRVATSKE

2901

Na temelju članka 30. stavka 2. Zakona o Vladi Republike Hrvatske (»Narodne novine«, br. 101/98, 15/2000, 117/2001, 199/2003 i 30/2004), a u vezi sa člankom 4. stavkom 1. Zakona o elektroničkim komunikacijama (»Narodne novine«, broj 73/2008), Vlada Republike Hrvatske je na sjednici održanoj 31. srpnja 2008. godine donijela

ODLUKU

O POČETKU DIGITALNOG EMITIRANJA I PRESTANKU ANALOGNOG EMITIRANJA TELEVIZIJSKIH PROGRAMA U REPUBLICI HRVATSKOJ

I.

Televizijski programi nakladnika elektroničkih medija, koji se emitiraju putem zemaljske mreže odašiljača u Republici Hrvatskoj, od 1. siječnja 2011. godine, emitirat će se isključivo u digitalnoj tehnologiji.

II.

Emitiranje televizijskih programa iz točke I. ove Odluke u analognoj tehnologiji prestaje najkasnije s danom 31. prosinca 2010. godine.

III.

Ova Odluka stupa na snagu danom donošenja, a objavit će se u »Narodnim novinama«.

Klasa: 612-12/08-02/06

Urbroj: 5030116-08-3

Zagreb, 31. srpnja 2008.

Predsjednik

dr. sc. Ivo Sanader, v. r.

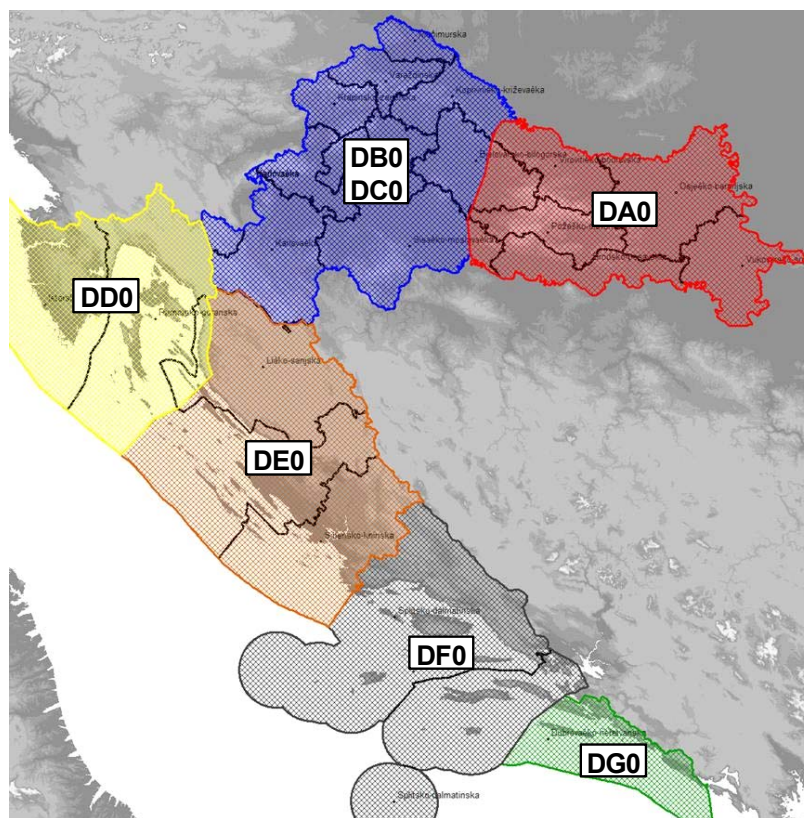
Slika 2.4. Odluka Vlade Republike Hrvatske
(Narodne novine br. 91/2008.)



Slika 2.5. Strategija Vlade RH

2.2. Područja dodjele i kanali za digitalno odašiljanje u Hrvatskoj

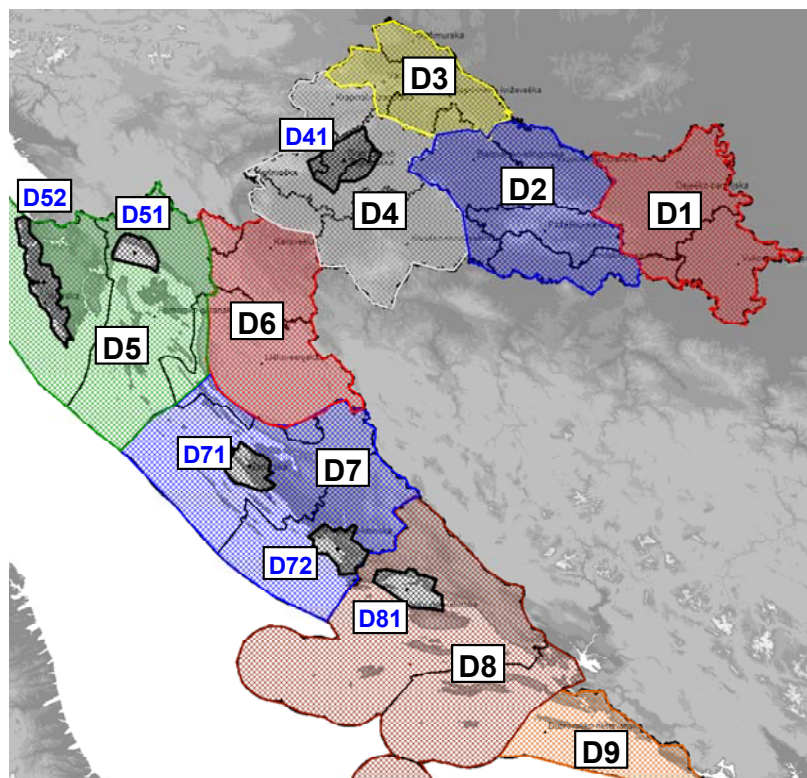
Zaključcima Regionalne radiokomunikacijske konferencije RRC'06 pojedinoj zemlji na nacionalnoj je razini obično omogućena jedna DVB-T i tri T-DAB mreže u VHF III pojasu i 7 – 8 DVB-T mreža u UHF pojasu. Prema tim zaključcima Hrvatska je za potrebe odašiljanja televizije podijeljena na 6 zemljopisnih cjelina (digitalnih regija) u VHF III području i 9 zemljopisnih cjelina (digitalnih regija) u UHF području. Te digitalne regije odgovaraju područjima dodjele (*allotment*) i one uglavnom slijede granice županija. U svakom se području dodjele postavlja SFN mreža, s tim da se u svakome od njih u RH može koristiti: na VHF-u jedna frekvencija, a na UHF-u do 7 frekvencija za potrebe nacionalnog pokrivanja (postoji 7 tzv. slojeva – *layer*).



Slika 2.6. Digitalne regije za odašiljanje televizije u VHF III pojasu

Tablica 2.1. Kanali za odašiljanje televizije u VHF III pojasu

Digitalna regija	DA0	DB0	DC0	DD0	DE0	DF0	DG0
Kanal	8	9	9	11	8	9	6



2.7. Digitalne regije za odašiljanje televizije u UHF pojasu

Tablica 2.2. Kanali za odašiljanje televizije u UHF pojasu za nacionalno pokrivanje

Digitalna regija	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
Kanali	21	23	21	25	29	30	21	23	22
	36	26	34	28	39	34	27	33	28
	38	39	36	40	43	36	45	34	29
	44	43	44	42	46	44	51	41	45
	51	58	56	48	53	54	59	43	51
	56	62	63	53	57	56	61	53	59
	63	69		68	68	63	64	68	66
					23		22		21
					28		31		
							66		

Tablica 2.3. Kanali za odašiljanje televizije u UHF pojasu za regionalno i lokalno pokrivanje

Dig. regija	D41	D51	D52	D71	D72	D81
Kanali	22	21	34	33	28	22
	31	27	45	34	29	28
	46	31	61	35	35	29
	51	33		41	46	35
	57	34		67	57	46
	60	35			67	57
	29	41				67
		45				
		51				
		59				
		61				
		64				
		66				
		67				

Osim toga, Hrvatskoj su odobrene dodatne mogućnosti za regionalno i za lokalno pokrivanje pojedinih područja kako je to naznačeno na slici 2.7. i u tablici 2.3.

Na temelju provedenog natječaja Vijeće Hrvatske agencije za poštu i elektroničke komunikacije dodijelilo je u travnju 2009. tvrtki Odašiljači i veze d.o.o. iz Zagreba pojedinačnu dozvolu za uporabu radiofrekvencijskog spektra za pružanje usluga upravljanja dvjema elektroničkim komunikacijskim mrežama digitalne televizije (multipleksi: MUX A i MUX B). Temeljem toga izgrađuju se mreže za odašiljanje dvaju televizijskih multipleksa. Te mreže koriste u pojedinim regijama kanale prema tablici 2.4.

Tablica 2.4. Kanali za pokrivanje pojedinih digitalnih regija u prva dva multipleksa

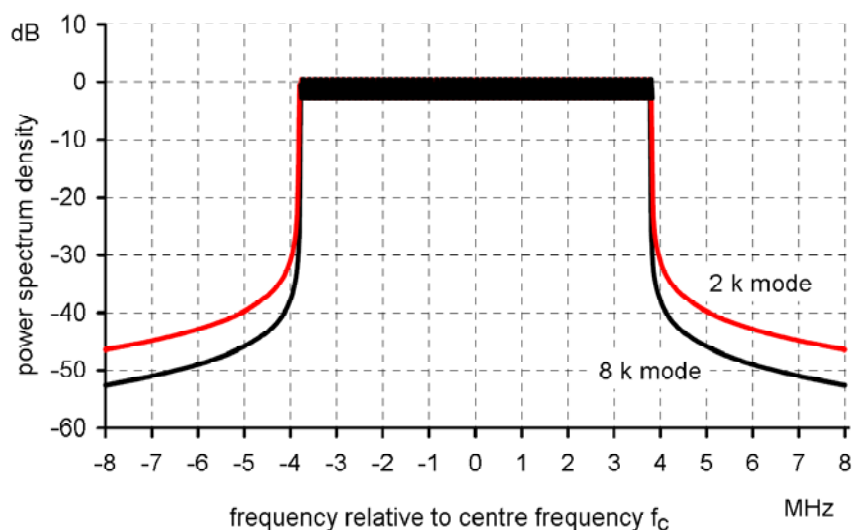
Digitalna regija	Županije	Kanal u mreži za MUX A	Kanal u mreži za MUX B
D1	Osječko-baranjska, Vukovarsko-srijemska, dio Brodsko-posavske	44	38
D2	Dio Bjelovarsko-bilogorske, Virovitičko-podravska, Požeško-slavonska, dio Brodsko-posavske	23	39
D3	Međimurska Varaždinska, Koprivničko-križevačka, dio Bjelovarsko-bilogorske	44	48
D4	Grad Zagreb Zagrebačka, Sisačko-moslavačka, dio Krapinsko-zagorske, dio Karlovačke	42	48
D5	Primorsko-goranska, Istarska, dio Ličko-senjske	28	53
D6	Dio Karlovačke, dio Ličko-senjske	44	30
D7	Zadarska, Šibensko-kninska, dio Ličko-senjske	51	59
D8	Splitsko-dalmatinska, dio Dubrovačko-neretvanske	33	53
D9	Dio Dubrovačko-neretvanske	51	59

2.3. Zahtjevi u pogledu spektra za digitalno odašiljanje u televiziji



Tehnologija za digitalno odašiljanje televizijskog signala predviđa korištenje radiofrekvencijskih kanala širine 7 MHz u VHF-u odnosno 8 MHz u UHF-u kao i u ranijoj analognoj tehnologiji. Jedan multipleks zauzima jedan radiofrekvencijski kanal i putem njega može se odašiljati 4 do 6 pa i više televizijskih programa u tzv. standardnoj kvaliteti slike (SD, *Standard Definition*). U Hrvatskoj je predviđeno odašiljanje 5 programa u jednom multipleksu. Slika 2.8. prikazuje granice spektra odašiljanog signala u jednom kanalu

prema odgovarajućoj normi. U Hrvatskoj se koristi 8k inačica OFDM tehnologije sa 6817 podnosilaca.



Slika 2.8. Teorijske granice spektra odašiljanog DVB-T signala u UHF pojasu (8 k mode) pri najvećem zaštitnom intervalu u OFDM tehnologiji ($ZI = T_0/4$, preuzeto iz ETSI EN 300 744)



Fleksibilnost i povećani kapacitet digitalne platforme za odašiljanje televizijskog signala iskorištava se za unaprjeđenje kvalitete televizijskog signala (HDTV, *High Definition Television*), nuđenje više interaktivnih osobina programa i omogućavanje robusnog prijama u pokretu, npr. u vozilima, ili pomoću prijenosnih ručnih prijemnika. Odašiljanje signala visoke kvalitete (HD) zahtijeva prijenos digitalnog signala velike širine pojasa. Odašiljani signali moraju se uklopiti u postojeće kanale ponajprije na UHF-u. Korištenjem učinkovitih postupaka sažimanja slike u jednome DVB-T multipleksu može se odašiljati jedan do dva programa HD kvalitete.



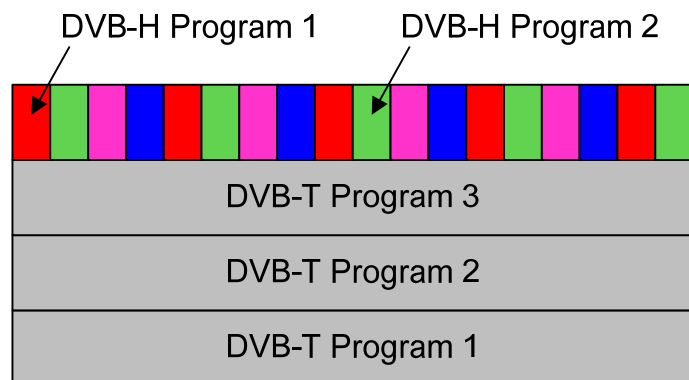
Tehnologija (DVB-H, *Digital Video Broadcasting – Handheld*) osniva se na normi za digitalno odašiljanje televizije putem zemaljske mreže DVB-T pri čemu su dodani funkcionalni elementi za prijam u mobilnim uvjetima i za ekonomično korištenje baterije mobilnog terminala. Osim slike i zvuka DVB-H omogućuje i odašiljanje drugih podataka korištenjem internetskog protokola IP.

Tehnologije DVB-T i DVB-H koriste jednaki fizički sloj što čini DVB-H povratno kompatibilnim s DVB-T.



Slika 2.9. Mobilni terminal za prijam DVB-H signala

Pomoću jednog multipleksa može se odašiljati 15 do 30 programa prema mobilnim prijamnicima. Posebna je kvaliteta tehnologije da DVB-T i DVB-H mogu dijeliti kapacitet istog multipleksa. Drugim riječima jednim odašiljačem, u okviru jednog multipleksa, mogu se odašiljati i DVB-T i DVB-H signali odnosno programi (slika 2.10).



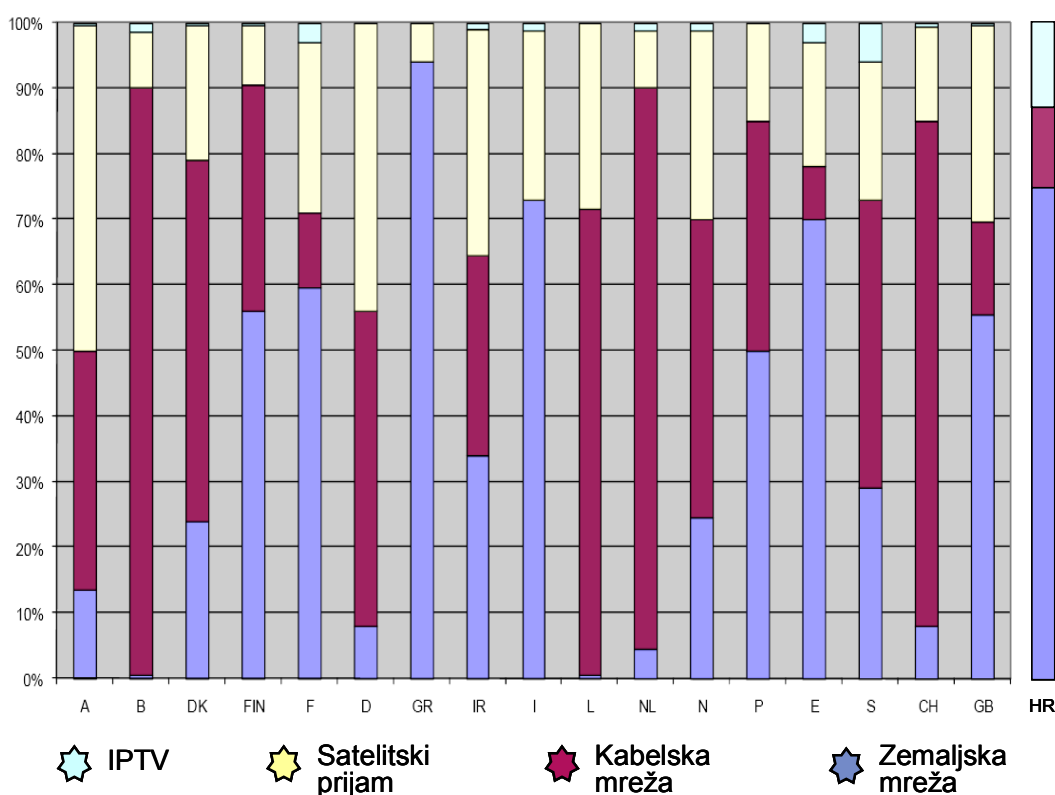
Slika 2.10. DVB-H signali mogu se združiti s DVB-T signalima u jedan multipleks

Iako bi bilo korisno za te tehnologije koristiti zasebni pojas frekvencija, npr. 174 – 230 MHz ili 1452–1492MHz, u konačnici, UHF radiodifuzijski pojas 470 – 862 MHz pokazao se najboljim kompromisom u pogledu dometa i pokrivenosti i dimenzija antene posebno na prijamnoj strani. Projektanti daju prednost donjem dijelu UHF radiodifuzijskog područja (UHF pojas IV 470 – 582 MHz) za primjenu u DVB-H mrežama. Te niže frekvencije omogućuju bolje propagacijske osobine elektromagnetskih valova.

DVB-H koristi tzv. 4k inačicu OFDM tehnologije sa 3409 podnosilaca.

2.4. Uloga mreže zemaljskih odašiljača u prijemu televizije

Tradicionalni način prijama televizijskih signala putem mreže zemaljskih odašiljača većinski je još zastupljen u nekim zemljama pa i u Hrvatskoj. Pokazuje se međutim da se broj korisnika zemaljske mreže smanjuje tijekom vremena, tako da u nekim zemljama prevladava korištenje drugih platformi ponajprije kabelskih mreža, posebice nakon njihove digitalizacije, i satelitskog prijama. Slika 2.11. ukazuje na velike razlike u pogledu platforme koja se danas koristi za prijam televizije u pojedinima europskim zemljama.

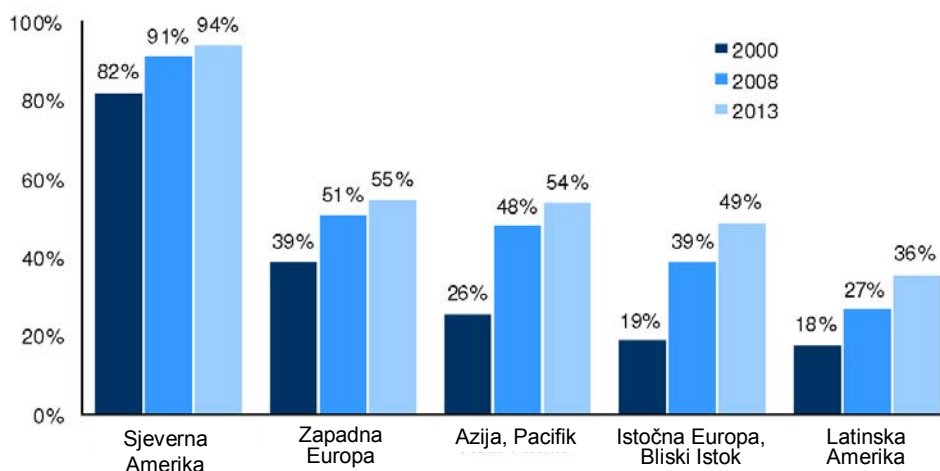


Slika 2.11. Udio pojedinih platformi u prijemu televizije u pojedinima europskim zemljama (podaci s polovice 2009. godine)

U narednim godinama očekuje se daljnji porast broja korisnika raznih oblika IP tehnologije za prijam televizije. Operatori telekomunikacijskih mreža nude uslugu prijama televizije putem zatvorene IP mreže i posebnoga mrežnog prijammika (IPTV, Internet Protocol Television). Za korištenje takve usluge plaća se pretplata ili se usluga naplaćuje prema stupnju njezina korištenja (pay-per-view). Tradicionalne radiodifuzijske kuće orijentiraju se na ponudu tzv internetske televizije (on-line TV) koja se koristi webovskim sučeljem i program se prati na računalu. Internetskoj televiziji pogoduje stalno povećavanje raspoloživih brzina široko-

pojasnih mreža i pad cijena za njihovo korištenje. Usluga se financira uz pomoć reklama ili posebnih pristojbi.

Na tržištu su sve češće ponude za tzv. *Triple-play* uslugu koja uz televiziju uključuje i telefon te širokopojasni pristup Internetu. Sve su to razlozi zbog kojih se korisnici odlučuju za platforme prijama televizije koje ne uključuju mrežu zemaljskih odašiljača. Neke procjene pokazuju da će se za samo nekoliko godina zemaljskim odašiljačima koristiti manjina gledatelja televizije u Sjevernoj Americi, Zapadnoj Europi te Aziji i Pacifiku, dok će tim prijamom u Istočnoj Europi i na Bliskom istoku koristiti tek nešto više od polovice gledatelja (slika 2.12).



Slika 2.12. Procjena rasta stupnja korištenja platformi za prijam televizije koje se ne osnivaju na mreži zemaljskih odašiljača

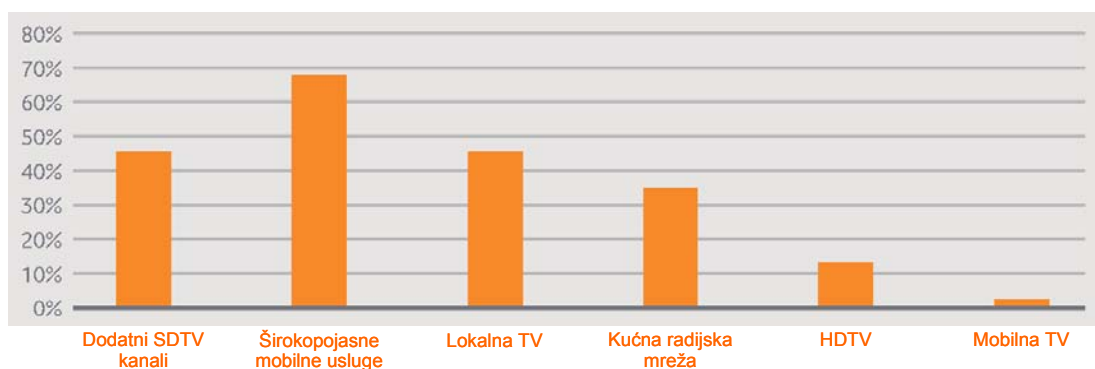
Izneseni podaci pokazuju opadanje stupnja korištenja mreže zemaljskih odašiljača u prijemu televizije. Prema tome, manjina korisnika koristit će prednosti novouvedene DVB-T tehnologije. Zato se postavlja pitanje opravdanosti dodjele širokog pojasa frekvencija za odašiljanje televizije putem zemaljskih odašiljača kad se time koristi sve manje gledatelja.

2.5. Pojam „digitalne dividende“ i moguća širina oslobođenog pojasa frekvencija

Digitalnu tehnologiju odašiljanja televizije obilježava, između ostalog, i veća učinkovitost korištenja zauzetog spektra. Dok se u analognoj tehnologiji odašiljao samo jedan TV program u jednome RF kanalu širine 7 odnosno 8 MHz digitalna tehnologija praktično omogućuje odašiljanje 4 do 6 programa standardne kvalitete ili jedan do dva programa visoke kvalitete u okviru jednake širine pojasa. Imajući to u vidu kao i činjenicu o padu značaja zemaljskog odašiljanja televizije može se osloboditi dio spektra, ranije namije-

njenog odašiljanju televizije, za druge usluge. Tako se došlo do pojma digitalna dividenda, a koji označuje oslobođeni dio spektralnog kapaciteta nakon prijelaza na digitalno odašiljanje u televiziji.

Prema Pravilniku o prelasku s analognog na digitalno odašiljanje radijskih i televizijskih programa te pristupu položajima u multiplexu u zemaljskoj digitalnoj radiodifuziji, digitalna se dividenda definira kao „dio radiofrekvencijskog spektra, namijenjenog zemaljskoj radiodifuziji televizijskog signala u VHF radiofrekvencijskom pojasu III i UHF radiofrekvencijskim pojasima IV i V, koji se u potpuno digitalnom sustavu oslobađa za nove radiodifuzijske usluge i sadržaje te za druge elektroničke komunikacijske usluge“.



Slika 2.13. Očekivanje usluga i području spektra digitalne dividende

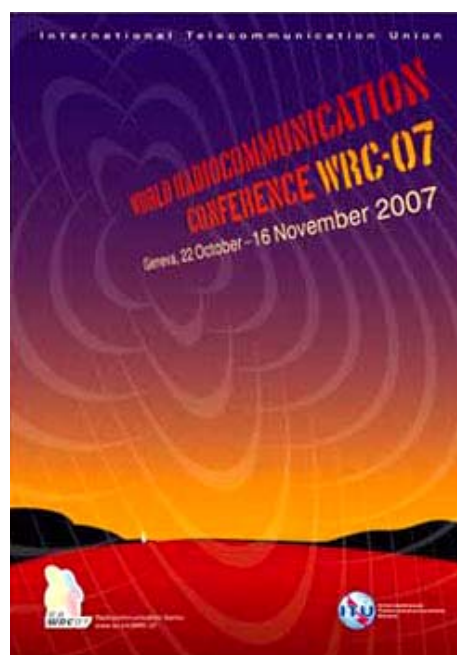
Digitalnoj dividendi mogli bi se pribrojiti i tzv. bijeli prostori između dvaju područja pokrivanja (*interleaved spectrum*) u koje se mogu ubaciti radijske usluge ograničene po prostoru.



Slika 2.14. ITU Regija 1

Na Svjetskoj radiokomunikacijskoj konferenciji WRC-07, održanoj u okviru Međunarodne unije za telekomunikacije u Ženevi 2007. godine, donijeta je odluka da se dio UHF pojasa i to pojas od 790 – 862 MHz (u Regiji 1), tradicionalno namijenjenog samo televiziji, osim televiziji na primarnoj osnovi namijeni i fiksnima te mobilnim službama.

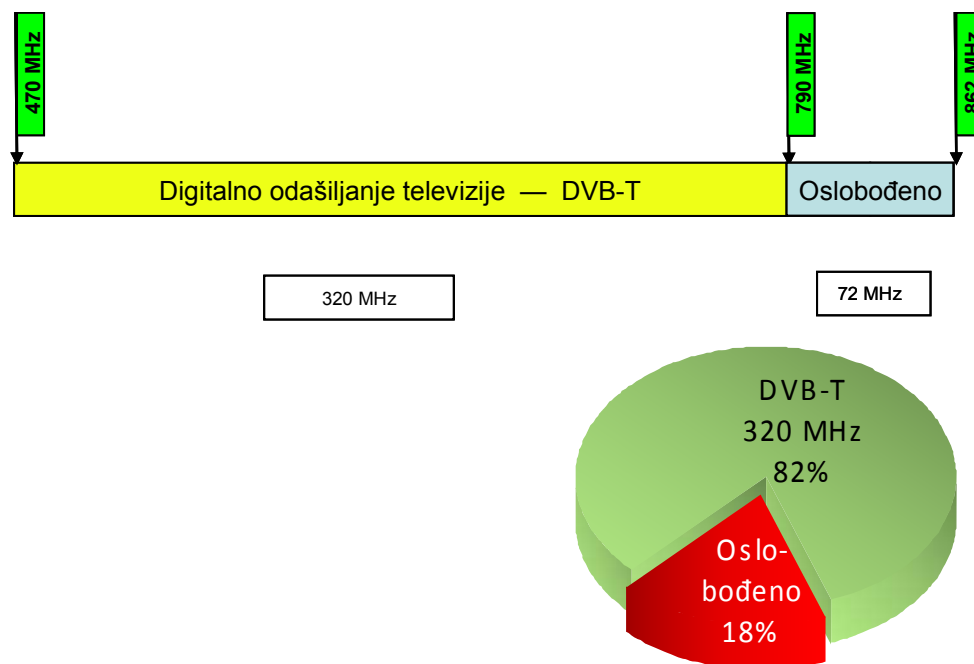
Za države, koje su potpisnice GE-06 Sporazuma za digitalnu radiodifuziju, uporaba ovog UHF potpojasa za mobilne službe mora biti predmetom procedure koordinacije specificirane ovim sporazumom. Samim tim, identifikacija dijela UHF pojasa za mobilne službe ne uspostavlja njihov prioritet u odnosu na službe kojima je pojas od ranije dodijeljen na primarnoj osnovi, a to je radiodifuzija.



Slika 2.15. Odluke Svjetske radiokomunikacijske konferencije WRC-07

Studijska skupina Međunarodne unije za telekomunikacije ima zadatak da u vremenu do naredne Svjetske konferencije, koja će se održati 2011. godine, provede istraživanja vezana za zajedničko korištenje tog UHF potpojasa od strane radiodifuzijskih, fiksnih i mobilnih službi, kao i da utvrdi kriterije zaštite u tehničkom smislu kao i uvjete koegzistencije radiodifuzijskih, mobilnih i fiksnih službi u pojasu od 790 – 862 MHz.

Neophodno je da administracije svih država samostalno ocijene svoje realne potrebe u odnosu na postojeće usluge kao i one koje planiraju u budućnosti. Prilikom donošenja takve odluke administracije će morati uzeti u obzir rješenja susjednih zemalja s kojima moraju uskladiti svoje planove i aktivnosti. Odluka po tom pitanju mora se osnivati na regionalnom konsenzusu.



Slika 2.16. Prijedlog raspodjele UHF spektra tema je harmonizacije u Europi.

Oslobodeni pojas širine 72 MHz pokazuje se nedovoljnim za postavljanje nekoliko ultra brzih radijskih mobilnih mreža, što je jedan od temeljnih zahtjeva. Iz razloga kompetitivnosti u ovaj se pojas želi uvesti nekoliko operatora, a mreže moraju osiguravati prijenos podataka visokim brzinama kako bi se uspješno zadovoljile potrebe korisnika.

Svaka uporaba radiofrekvencijskog spektra podliježe raznim ograničenjima radi sprečavanja nastanka štetnih smetnji za ostale korisnike spektra. Pojas digitalne dividende nalazi se unutar pojasa koji je na međunarodnoj razini predviđen za odašiljanje televizije što čini ova ograničenja još kompleksnijima. Plan GE-06 predviđa točne frekvencije, snage i lokacije za digitalno odašiljanje televizije u pojedinim zemljama. GE-06 sporazum odobrava zemljama potpisnicama korištenje tih kanala na primarnoj osnovi za druge zemaljske službe ako se tom uporabom u drugim zemljama ne stvaraju jakosti polja više od onih predviđenih u GE-06 planu. Na jednaki su način te alternativne emisije zaštićene os smetnji iz susjednih zemalja kao što bi bile zaštićene emisije televizije.

Svaki RF kanal, dio digitalne dividende, mora ispuniti zahtjeve iz plana GE-06. Smetnje radu drugih službi ne dolaze samo iz drugih zemalja koje rade na istom kanalu nego i iz DVB-T mreže u vlastitoj zemlji od odašiljača koji rade na susjednim kanalima, a koji se nalaze u blizini.

Na osnovama WRC-07 CEPT je utvrdio TV kanale od 61 do 69 najprikladnijim potpojasom za harmoniziranu uporabu širokopo-

jasnima mobilnim mrežama na europskoj razini. Kod nekih je zemalja potrebno napraviti izmjene u GE-06 planu kako bi se omogućilo oslobađanje ovog UHF potpojasu. Isključivanje predloženih devet kanala iz pojasa za radiodifuziju ima za posljedicu gubitak dva do tri multipleksa, ovisno o pojedinoj zemlji, u odnosu na mogućnosti koje pruža plan GE-06.

61	62	63	64	65	66	67	68	69
----	----	----	----	----	----	----	----	----

Slika 2.17. Prijedlog harmonizacije frekvencijskog pojasa za nove širokopojasne mobilne usluge

Europska komisija snažno podupire zemlje članice da iskoriste mogućnosti što im pruža digitalna dividenda. Predlažu da se ovaj UHF potpojas iskoristi za tzv. sveeuropske usluge, tj. da taj dio spektra prihvate sve članice EU kako bi se stvorila kritična masa korisnika novih tehnologija. To bi omogućilo iskorištavanje značajnih prednosti ekonomije obujma.

Komisija predlaže da se upravljanje spektrom provodi po tržišnim načelima te da se zainteresiranim stranama dopusti veća sloboda u odlučivanju kako koristiti dodijeljene im frekvencije. Potrebno je smanjiti ograničenja u pristupu spektru te omogućiti trgovanje s pravima uporabe frekvencije. Komisija predlaže opće i usklađeno uklanjanje prepreka u korištenju frekvencija u zemljama članicama kako bi se pospješile nove digitalne usluge. Značajni dio spektra, oko trećina frekvencija ispod 3 GHz, može biti fleksibilna i predmetom trgovanja već nakon 2010. godine. Komisija ističe da je upravo spektar, koji će se osloboditi prijelazom na digitalno odašiljanje televizije, prikladan za fleksibilnu uporabu i trgovanje.

2.6. Osobitosti VHF III pojasa frekvencija

ITU je predvidio digitalnu televiziju u pojasi VHF III i UHF IV/V. Televizija se ponajprije predviđa u UHF pojasi, jer se tu raspolaže dovoljnim brojem RF kanala. Ona se može realizirati i u VHF III pojasi koji je, uz televiziju, namijenjen i za digitalnu radiodifuziju zvuka T-DAB. Pri razmatranju načina korištenja VHF III pojasa treba voditi računa o dvije činjenice:

- analogno odašiljanje televizije u VHF III pojasi zadržati će se dulje nego u UHF-u,
- u VHF III pojasi raspolaže se vrlo malim brojem RF kanala širine 7 MHz.

To je razlogom što još uvijek postoji dilema treba li VHF III, uz DAB, uopće koristiti za DVB ili u tom pojasi predvidjeti isključivo

digitalnu radiodifuziju zvuka iako GE-06 sporazum odobrava DVB-T mrežu u VHF-u. Uz tehnologiju DAB raspoloživa je i poboljšana inačica DAB+, a postoje i norme za audio/video tehnologiju DMB (*Digital Multimedia Broadcasting*). DMB se osim za odašiljanje zvuka pokazuje učinkovitom za odašiljanje videosadržaja namijenjenog prijemu na mobilnim telefonima i sličnim uređajima. DAB tehnologija započela se koristiti u pojasu 12. kanala (223 – 230 MHz) i u više zemalja, pa i u Hrvatskoj, ona se još uvijek nalazi samo na tim frekvencijama.

Ne može se međutim zanemariti činjenica o postojanju interesa za digitalno odašiljanje televizije u VHF području. Italija npr. odašilje jedan multipleks u VHF-u, a na to se spremaju još neke zemlje kao npr. Nizozemska i Švedska. Nasuprot tome ima zemalja, npr. Francuska, koje ne namjeravaju VHF III pojas koristiti za odašiljanje televizije.

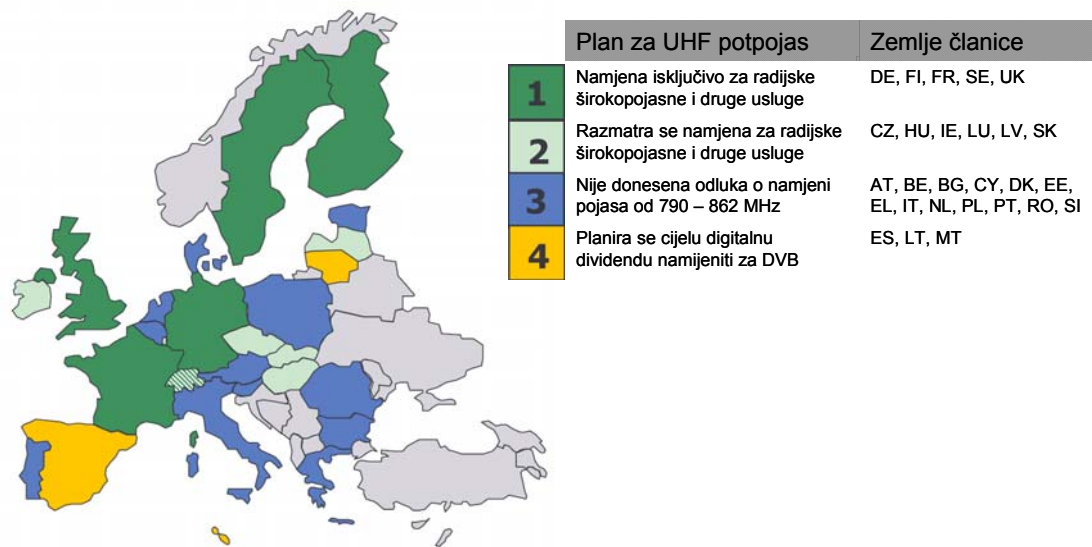
2.7. Planovi nekih europskih zemalja

Strategije pojedinih europskih zemalja znatno se razlikuju u pogledu iskorištavanja dijela neiskorištenog spektra nakon prijelaza na digitalno odašiljanje televizije. Takve se razlike pokazuju i među zemljama članicama Europske unije.



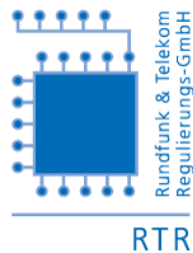
Europska komisija donijela je dne 10. srpnja 2009. dokument *'Transforming the digital dividend opportunity into social benefits and economic growth in Europe'* i uputila ga na javnu raspravu. Komisija najavljuje izradu višegodišnjeg plana upravljanja radiofrekvencijskim spektrom u okviru kojeg razmatra plan o harmoniziranju pojasa od 800 MHz (točnije pojasa od 790 – 862 MHz) za novu generaciju širokopojasnih mobilnih komunikacija. Očekuje se zauzimanje stajališta da sve zemlje članice oslobode pojas frekvencija od 790 – 862 MHz i da ga do 2015. godine dodijele za potrebe širokopojasnoga radijskog pristupa. Pojedine zemlje mogle bi samostalno odlučiti o obliku postupka dodjele frekvencija ali se ne bi uvjetovalo korištenje neke tehnologije niti obvezne usluge sukladno WAPECS načelu Europske komisije (WAPECS, *Wireless Access Policy for Electronic Communications Services*).

Neke članice žele brzo ovaj novi potencijal iskoristiti za radijsko rješenje punoga širokopojasnog pristupa Internetu. Zemlje Europske unije moraju se hitno dogovoriti o zajedničkom pristupu toj problematici. Komisija predlaže prihvaćanje smjernica za EU. Ovaj dragocjeni resurs ne može se učinkovito iskoristiti bez koordinacije među zemljama, jer odluke jedne zemlje utječu na mreže postavljene na teritorijima koji su i stotine kilometara udaljeni od nje.



Slika 2.18. Pregled stanja po zemljama EU glede namjene UHF potpojasa

Austrija



Mreža zemaljskih odašiljača, odnosno DVB-T, ne predstavlja glavnu televizijsku platformu u Austriji. Još nije donesena nikakva odluka o korištenju dijela UHF pojasa za neradiodifuzijske svrhe. Austrija namjerava svoju odluku donijeti na temelju preporuke Europske komisije. Radijski mikrofoni sad koriste pojas 174 – 216 MHz dok se za pomoćne svrhe u

odašiljanju i proizvodnji programa (SAB/SAP, *Services Ancillary to Broadcasting and Programme making*) koristi cijeli pojas od 470 – 862 MHz na dijeljenom načelu s odašiljanjem televizije, ali u podređenom rangu.

Austrija je uvela dva multipleksa na nacionalnoj razini, a u postupku je uvođenje trećega za potrebe regionalnih i lokalnih programa. Četvrti je multipleks namijenjen za mobilni prijam (DVB-H) i trenutno pokriva četiri najveća grada u zemlji. Koristi se SFN mreža odašiljača, osim u brdskim krajevima gdje je u uporabi MFN inačica.

Nadležno ministarstvo izrazilo je spremnost da dopusti tržištu donošenje odluke o održivosti HDTV, dodatnih DVB-T kanala ili DVB-H kanala i njihovu uporabu u spektru digitalne dividende. Korisnicima SAB/SAP uređaja ostat će na raspolaganju nešto uži spektar za korištenje i dalje na dijeljenim načelima. Oni ne bi trebali biti ograničavajući faktor eventualnom uvođenju novih širokopojasnih usluga u spektru digitalne dividende.

Početakom 2009. godine donesena je odluka da se do donošenja konačne odluke o namjeni UHF potpojasa neće davati dozvole za

rad TV odašiljača u tom pojasu frekvencija. Austrijski Telekom-Control-Kommission ne podržava ideju da se i nakon 2015. godine pojas od 790 – 862 MHz koristi u podređenom rangu za širokopojasne mobilne komunikacije.

Finska



Finska je već završila proces prijelaza na digitalno odašiljanje i koristi potpuno digitalnu platformu za odašiljanje i prijam televizije putem zemaljskih odašiljača. Koristi se ukupno četiri multipleksa u UHF-u. Jedan je za DVB-H, a još dva su u pripremi, po jedan u UHF i u VHF pojasu. Mreže su MFN vrste. Za odašiljanje televizije koristio bi se uz UHF i VHF III pojas u kojem bi se odašiljala HDTV. Vlada je u lipnju 2008. donijela odluku kojom se pojas od 790 – 862 MHz namjenjuje za širokopojasne mobilne komunikacije. Korištenje tog pojasa bit će međutim, barem neko vrijeme, ograničeno jer se u Rusiji TV kanali 45, 54, 55 i 58–69 ne koriste za televiziju već u druge svrhe, npr za navigaciju zrakoplova. Slobodni dio UHF potpojasa namijenjenog mobilnim komunikacijama, a koji nastaje između pojasa za silazne veze i onog za uzlazne veze, koristio bi se za SAB/SAP.

Finska je donijela odluku o namjeni pojasa frekvencija na 450 MHz (450 – 470 MHz) za potrebe pružanja širokopojasnih usluga. Propagacijska svojstva u tome frekvencijskom području pokazuju se iznimno prikladnima za primjenu u rijetko naseljenim područjima kao što su mnoge regije u Finskoj. U tom je pojasu (453 – 457 MHz i 463 – 467 MHz) ranije radila analogna mobilna mreža vrste NMT.

Francuska



Odgovarajuće aktivnosti u Francuskoj odvijaju na osnovama akcijskog plana *France numérique 2012*. U okviru toga akcijskog plana Vlada je u listopadu 2008. godine donijela dokument *Plan de développement de l'économie numérique*. U dokumentu je predviđeno da se do kraja 2012. godine cjelokupnom stanovništvu osigura širokopojasni pristup Internetu. Trenutno se koristi 6 multipleksa na nacionalnoj razini, a jedan od njih je za HDTV. U postupku je uvođenje novog multipleksa za DVB-H s konačnim ciljem francuske vlade o dva multipleksa za mobilni TV prijam. Mreža odašiljača trenutno predstavlja mješavinu SFN i MFN vrste. Očekuje se povećanje udjela SFN inačice.

Francuska je u prosincu 2008. godine izmijenila svoj plan namjene frekvencija i pojas od 790 – 862 MHz je predvidjela za potrebe mobilnih usluga nakon prestanka analognog odašiljanja televizije

(ASO) 30. studenog 2011. Očekuje se skoro provođenje postupka dodjele koncesija za taj pojas.

Francuska namjerava VHF III pojas koristiti isključivo za digitalnu radiodifuziju zvuka. U postupku je proces dodjele koncesija.

Italija



Iz dokumenata talijanskog regulatora AGCOM (*Autorità per le Garanzie nelle Comunicazioni*) i Ministarstva telekomunikacija ne može se odrediti kako Italija namjerava koristiti spektar koji će se osloboditi nakon prestanka analognog odašiljanja televizije. Na temelju iskustva o do sad sporo primjenjivanom planu raspodjele frekvencija u Italiji, mišljenja smo da nam situacija u toj zemlji ne može poslužiti u donošenju kvalitetnih zaključaka u ovoj studiji.

Mađarska



Mađarski regulator NHH provodi aktivnosti u svezi prijelaza na digitalno odašiljanje sukladno smjernicama i rokovima koji su postavljeni pred članice Europske unije. Odobreno je korištenje četiri DVB-T i jednoga DVB-H multipleksa na nacionalnoj razini, ali do konačnog ASO raspoložive su samo frekvencije za dva DVB-T i jedan DVB-H multipleks. Mreža će biti SFN vrste. U uporabi su trenutno dva multipleksa.

U dokumentima regulatora nema nikakvih naznaka o razmišljanjima glede digitalne dividende. Realno je očekivati da će se Mađarska, kao članica EU, uklopiti u harmonizirani spektar unije i UHF potpojas namijeniti za nove korisnike. To, međutim, neće biti raspoloživo prije 2015. godine, jer neke Mađarskoj susjedne zemlje namjeravaju štiti svoje analogno odašiljanje do krajnjeg roka.

Njemačka



Njemačka je završila prijelaz na digitalno odašiljanje televizije u prosincu 2008. godine. Vrlo je mali udio DVB-T platforme u primanju TV signala. Za SAB/SAP usluge privremeno se koriste pojasi 174 – 216 MHz u VHF-u te 470 – 862 MHz i 863 – 865 MHz u UHF-u. U neprofesionalne svrhe koriste se pojasi 790 – 814 MHz i 838 – 862 MHz na dijeljenom načelu i sekundarnoj osnovi. Javni nakladnici televizije sad

koriste tri multipleksa, a privatni jednoga. Jedan je multipleks predviđen za DVB-H. Nacionalne mreže koriste SFN, dok se u slučajevima lokalnog pokrivanja koristi MFN. Zanimljivo je da se nije predvidjelo odašiljanje HDTV. Ako se takva odluka donese vjerojatno će se HD programi uključiti u okvire postojećih SD multipleksa. Mnogi kabelski operatori nude, međutim, HD programe u svojim mrežama.

Odlukom iz srpnja 2009. pojas od 790 – 862 MHz namijenjen je isključivo za širokopojasne mobilne komunikacije na primarnoj osnovi i taj se pojas neće koristiti za televiziju. On će poslužiti za širokopojasni pristup Internetu poglavito u ruralnim područjima s nerazvijenom fiksnom infrastrukturom, a i u mobilnim uvjetima. Pojas od 470 – 790 MHz koristit će se za odašiljanje televizije na primarnoj osnovi, a tzv „bijeli pojasi“ u tom području služit će za rad radijskih mikrofona i za pomoćne usluge u radiodifuziji (SAB/SAP) na sekundarnoj osnovi.

Njemački regulator BNA (*Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen*) namjerava u drugom kvartalu 2010. godine održati veliku dražbu koncesija za potrebe mobilnih službi. U tu dražbu bit će, uz frekvencijski pojas digitalne dividende na 800 MHz, uključeni i frekvencijski blokovi na: 1,7 GHz, 1,8 GHz, 2 GHz i 2,6 GHz. Najveće se zanimanje pokazuje za područje od 800 MHz na kojem je ponuđeno ukupno 60 MHz (šest uparenih blokova frekvencija širine 5 MHz).

Slovenija



Dodijeljene su koncesije za dva multipleksa za DVB-T, a trenutno nema planova vezanih uz mobilni prijam televizije. Odluka o odašiljanju HD programa ostavljena je za budućnost.

Mreža odašiljača će biti SFN vrste. Prema dostupnim dokumentima Slovenija, odnosno njezin regulator APEK (*Agencija za pošto in elektronske komunikacije*), još nije donijela eksplicitnu odluku o korištenju pojasa digitalne dividende. Uvidom u radnu verziju plana namjene radiofrekvencijskog spektra (*Splošni akt o načrtu uporabe radijskih frekvenc, NURF-1*) pokazuje se da se pojas od 470 – 790 MHz namjerava u najvećoj mjeri koristiti za digitalno odašiljanje televizije. Pojas od 790 – 862 MHz koristio bi se osim za televiziju i za mobilne službe.

Pojas od 410 – 430 MHz, u kojem je ranije radila NMT analogna mreža (411 – 415 MHz i 421 – 425 MHz) Slovenija je namijenila za: širokopojasni radijski pristup (BWA, *Broadband Wireless Access*), sustave za zaštitu i spašavanje (PPDR, *Public Protection and Disaster Relief*) te privatne i javne mobilne radiokomunikacije (PMR/PAMR, *Private Mobile Radio / Public Access Mobile Radio*) u okviru kojeg se spominje tehnologija TETRA.

Švedska



Postupak prijelaza na digitalno odašiljanje je završen. U funkciji je pet multipleksa u UHF pojasu, a planiraju se još dva i to uz UHF, a ako to bude potrebno, koristio bi se i VHF pojas. Koristi se kombinacija SFN i MFN. Nije donesena odluka u svezi odašiljanja HDTV.

Švedska je bila prva zemlja koja je nakon WRC-07 potpojas 790 – 862 MHz namijenila za mobilne komunikacije na koprimarnoj osnovi. Koncesije za taj pojas dodjeljivat će se neovisno o uslugama i tehnologiji koja će se primijeniti. Korisnici spektra na dijeljenoj osnovi moraju računati na nešto smanjeni pojas u UHF-u.

Švedski regulator PTS (*Post & Telestyrelsen*) dobio je zadatak izrade novoga plana korištenja frekvencija koji bi uključivao šest televizijskih multipleksa u pojasu 470 – 790 MHz i 174 – 230 MHz. Malo je zanimanja iskazano za frekvencije u pojasu VHF I. Potencijalni interes pokazali su radio amateri i oružane snage.

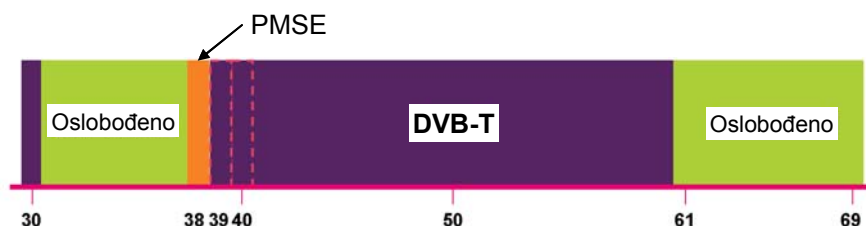
Ujedinjeno kraljevstvo



DVB-T predstavlja vitalnu platformu za isporuku TV signala u Ujedinjenom Kraljevstvu. Trenutno se koristi šest multipleksa za televiziju u UHF pojasu, a nekoliko DAB multipleksa na nacionalnoj i lokalnoj razini radi u pojasu VHF III. Razmišlja se o reorganizaciji programa u okviru postojećih multipleksa kako bi se uvelo odašiljanje HD televizije. Nije sačuvan spektar za uvođenje multipleksa namijenjenog mobilnom prijemu televizije. Većina mreža u UK rade u MFN režimu. Odluka o prijelazu na SFN način rada prepuštena je operatorima multipleksa pa se stoga to ne može predvidjeti.

UK regulator Ofcom, vrlo je rano započeo s planiranjem spektra za korištenje nakon DSO. Stoga su i oslobođeni pojasi frekvencija u tradicionalno radiodifuzijskom području bili malo drugačije raspoređeni u odnosu na zaključak WRC-07. U želji da korisnicima u UK omogući sve pogodnosti povoljnoga i učinkovitog komuniciranja Ofcom je pristupio reviziji svog plana namjene frekvencija koji će sad biti usuglašen s ostalim europskim zemljama, poglavito članicama EU, u dijelu od 790 – 862 MHz. UK regulator namjerava u UHF radiodifuzijskom pojasu osloboditi još nekoliko TV kanala. Tome namjeravaju dodati još 16 MHz koji su ranije bili namijenjeni za potrebe aeronautičkih radara i radioastronomije. Oslobođeni pojasi nalazili bi se u području 800 MHz (790 – 862 MHz, kanali 61–69) i u području 600 MHz (550 – 606 MHz, kanali 31–37) što bi dalo ukupno 128 MHz raspoloživog

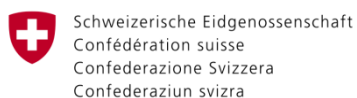
pojasa frekvencija. Koncesije ne bi uvjetovale uporabu određene tehnologije niti pružanje određenih usluga.



Slika 2.19. Oslobođeni pojasi u planu namjene radiofrekvencijskog spektra u UK

UK tradicionalno koristi jedan kanal za potrebe proizvodnje programa odnosno kod posebnih događaja (PMSE, *Programme-Making & Special Events*). Do sad se u te svrhe koristio kanal 69, a prema novom planu to bi bio kanal 38.

Švicarska



Švicarska je vrlo brzo potpuno prešla na digitalno odašiljanje u televiziji. Trenutno se na nacionalnoj razini koristi po jedan multi-

pleks za DVB-T odnosno DVB-H uz dodatna četiri multipleksa na lokalnoj razini. Mreža na nacionalnoj razini je SFN vrste. Svi se multipleksi nalaze u UHF području. U ovom se trenutku još ne razmišlja o odašiljanju HDTV preko mreže zemaljskih odašiljača. Postoje velike potrebe za korištenjem spektra na dijeljenoj osnovi u sekundarnom prioritetu.

Nacionalni je parlament donio odluku o izmjeni plana korištenja frekvencija kojim se uvodi gornji UHF potpojas i za potrebe mobilnih usluga. Švicarska je i do sad prevladavajuće koristila niže UHF frekvencije za odašiljanje televizije. S obzirom na broj nakladnika televizije realno je očekivati da neće biti potrebno koristiti sve mogućnosti koje toj zemlji pruža GE-06 plan. Savezni ured za komunikacije (BAKOM, *Bundesamt für Kommunikation*) zadužen je za provođenje potrebnih aktivnosti. Iako je regulator provodio raspravu o mogućoj uporabi digitalne dividende za sad nema nikakvih dokumenata o tome.

Bosna i Hercegovina



Iz dokumenta *Strategija prijelaza s analogne na digitalnu zemaljsku radiodifuziju u frekvencijskim pojasima 174-230 MHz i 470-862 MHz u Bosni i Hercegovini* može se iščitati da BiH namjerava prestati s analognim odašiljanjem televizije u pojasima UHF IV/V dne 1. prosinca 2011. godine u 0,01 sati. Prepoznata je obveza donošenja odluke o najprihvatljivijem modelu iskorištenja digitalne dividende.

Srbija



U Strategiji i akcijskom planu za prijelaz s analognog na digitalno odašiljanje radio i televizijskog programa u Republici Srbiji, donesenih 2009. godine, odlučeno je da se kanali 61 – 69 neće koristiti u planiranju mreže za digitalno odašiljanje televizije kako bi se ostavila mogućnost korištenja tog pojasa u okviru digitalne dividende nakon ASO, a koje je predviđeno za 4. travnja 2012. godine. Istaknuta je važnost da Republika Srbija što prije, a najkasnije od 4. travnja 2012. godine počne razmatrati raspoloživost frekvencijskog pojasa od 790 – 862 MHz za digitalnu dividendu i da između 2012 i 2015. godine donese neophodnu odluku o tome.

Crna gora



Crna gora je 2008. godine donijela dokument *Strategija prelaska sa analognih na digitalne radio-difuzne sisteme u Crnoj Gori*. Iz njega se može utvrditi da se predviđa postepeni prestanak analognog odašiljanja televizije do 31. prosinca 2012. godine. Naznačuje se postojanje digitalne dividende, ali za sad nema nikakvih naznaka o razmišljanjima kako ju koristiti.

3. Osiguravanje spektra frekvencija za nove mobilne usluge

Europska unija je zajednica 27 država koje surađuju kroz ključne ustanove Unije: Europski parlament, Vijeće Europske unije i Europsku komisiju. Ključnu ulogu u provedbi politike Europske Unije ima Europska komisija. Za informacijsko društvo odgovorna je Opća uprava za informacijsko društvo i medije (*Directorate General for Information Society and Media*) Europske komisije.

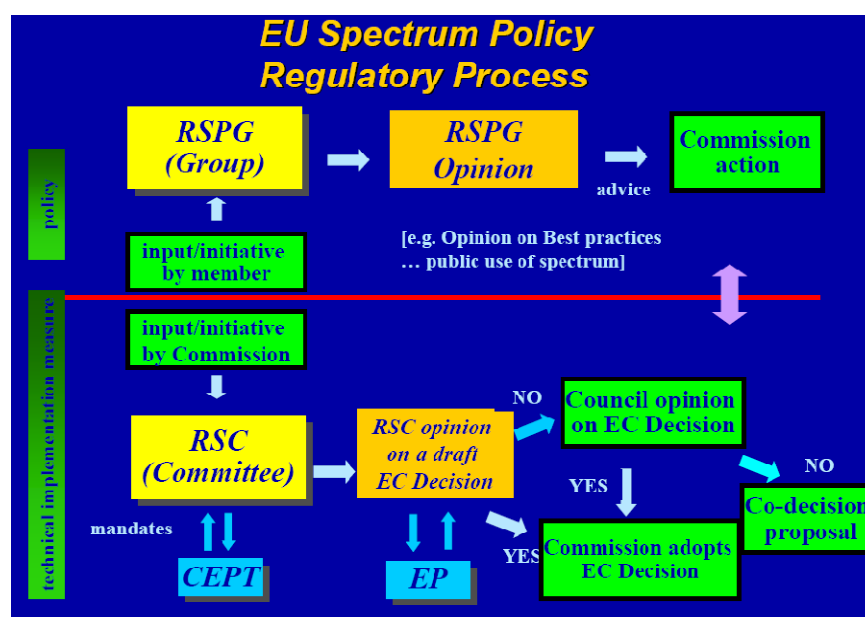
Za razvoj digitalnih komunikacija, odnosno informacijskih tehnologija važna je inicijativa eEurope koja je prvi puta predložena na zasjedanju Vijeća EU u Feiri (Portugal) krajem 1999. godine za vrijeme portugalskog predsjedanja EU. Kao takva postala je sastavni dio Lisabonske strategije (temeljna strategija razvoja) modernizacije europskog gospodarstva s ciljem "...da Europa do 2010. godine postane najkompetitivnije i najdinamičnije tržište na svijetu, sposobna za održivi ekonomski rast s većom i boljom mogućnosti zapošljavanja te većom socijalnom kohezijom...". eEurope inicijativa poslužila je kao osnovica na temelju koje su se kasnije utvrđivali akcijski planovi djelovanja za ostvarenje njezinih ciljeva. Ciljevi eEurope su omogućiti svakom građaninu, školi i poduzeću pristup Internetu kako bi se iskoristio čitav potencijal koje pružaju nove informacijsko komunikacijske tehnologije u pogledu rasta, zapošljavanja i osiguranja ravnopravnosti svih društvenih skupina.

U tom pravcu svakako je važna i uloga gospodarenja frekvencijskim spektrom. Politika upravljanja spektrom u EU bazira se na koordiniranju upravljanja koje se provodi unutar samih članica, a sveobuhvatni cilj je podržati i unaprijediti tržište radijskih komunikacija i poticati inovacije u sektoru elektroničkih komunikacija. Čitava politika gospodarenja spektrom započela je 2002. godine usvajanjem odluke o radijskom spektru (*Radio Spectrum Decision, Decision no. 676/2002/EC of the European Parliament and of the Council*). Sukladno toj odluci osnovana su dva tijela:

- Skupina za upravljanje radijskim spektrom (RSPG, *Radio Spectrum Policy Group*),

- Obor za radijski spektar (RSC, *Radio Spectrum Committee*).

RSPG pomaže radu Komisije u smislu savjetovanja na području vođenja politike gospodarenja spektrom, a RSC pomaže Komisiji u tehničkim pitanjima. Komisija, također, daje ovlaštenje CEPT-u (*European Conference of Postal and Telecommunications Administrations*), koji nije organizacija unutar EU-a, da se bavi tehničkim pitanjima vezanima uz razvoj i implementaciju. Proces donošenja odluka u EU, a koje se tiču gospodarenja spektrom, je dosta složen i kompliciran. Najbolje to ilustrira slika 3.1.



Slika 3.1. Pojednostavljeni prikaz procesa donošenja odluka u EU (preuzeto u izvornom obliku iz prezentacije *Current state of the radio spectrum policy in the EU*, autor Aleš Brabínek, CEPT/ECC WG FM Civil/Military meeting - Kristiansand, Norway)

3.1. Zakonska regulativa i harmonizacija spektra

Trenutno su u EU na snazi sljedeće odluke (navedene su samo najznačajnije i najnovije odluke koje se tiču se konteksta ove studije):

- Odluka Komisije broj 2009/766/EC o harmonizaciji spektra u području 900 i 1800 MHz za zemaljske sustave sposobne za omogućavanje paneuropskih usluga elektroničkih komunikacija u Zajednici (*Commission Decision 2009/766/EC on the harmonisation of the 900 MHz and 1800 MHz frequency bands for terrestrial systems capable of providing pan-European electronic communications services in the Community*) od 16. listopada 2009.

- Odluka Komisije 2008/673/EC koja unosi izmjene odluke 2005/928/EC o harmonizaciji spektra u području 169,4–169,8125 MHz u Zajednici (*Commission Decision 2008/673/EC amending Decision 2005/928/EC on the harmonisation of the 169,4–169,8125 MHz frequency band in the Community*) od 13.08.2008.
- Odluka Komisije broj 2008/477/EC o harmonizaciji spektra u području 2500–2690 MHz za zemaljske sustave sposobne za omogućavanje usluga elektroničkih komunikacija u Zajednici (*Commission Decision 2008/477/EC on the harmonisation of the 2500–2690 MHz frequency band for terrestrial systems capable of providing electronic communications services in the Community*) od 13. lipnja 2008.
- Odluka Komisije broj 2008/432/EC koja unosi izmjene odluke 2006/771/EC o harmonizaciji spektra namijenjenog uređajima kratkog dometa (*Commission Decision 2008/432/EC amending Commission Decision 2006/771/EC on harmonisation of the radio spectrum for use by short-range devices (SRD)*) od 23.05.2008.
- Odluka Komisije broj 2008/411/EC o harmonizaciji spektra u području 3400–3800 MHz za zemaljske sustave sposobne za omogućavanje usluga elektroničkih komunikacija u Zajednici (*Commission Decision 2008/411/EC on the harmonisation of the 3400–3800 MHz frequency band for terrestrial systems capable of providing electronic communications services in the Community*) od 21. svibnja 2008.

Važno je tom kontekstu spomenuti i Direktivu broj 2009/114/EC Europskog parlamenta i Vijeća koja unosi izmjene Direktive Vijeća broj 87/372/EEC o frekvencijskim područjima namijenjenima za primjenu javnih paneuropskih digitalnih zemaljskih mobilnih komunikacija u Zajednici (*Directive 2009/114/EC of the European Parliament and of the Council amending Council Directive 87/372/EEC on the frequency bands to be reserved for the coordinated introduction of public pan-European cellular digital land-based mobile communications in the Community*) od 16. rujna 2009. godine.

Gledajući u smislu mobilnih usluga i harmonizacije spektra na europskoj razini mogu se izvesti sljedeći zaključci:

- u frekvencijskim područjima 900 i 1800 MHz dozvoljava se, osim GSM, uporaba i drugih tehnologija (npr. UMTS);
- frekvencijsko područje 2500 – 2690 MHz otvara se za nove usluge;
- frekvencijsko područje 3400 – 3800 MHz otvara se za usluge elektroničkih komunikacija (valja se prisjetiti da se tu imple-

mentiraju radijske pristupne mreže, najčešće po tehnologiji WiMAX).

Tablica 3.1. Zahtjevi za primjenu UMTS-a u 900 i 1800 MHz (preuzeto iz odluke broj 2009/766/EC)

Sustavi	Tehnički parametri	Rok primjene
UMTS koji zadovoljava norme objavljene od ETSI, posebice EN 301 908-1, EN 301 908-2, EN 301 908-3 i EN 301 908-11.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Razmak nosilaca između dviju susjednih UMTS mreža od 5 MHz ili više. 2. Razmak nosilaca između susjedne UMTS mreže i GSM mreže od 2,8 MHz ili više. 	9 svibanj 2010.

Područje 2500 – 2690 MHz obrađeno je u prethodnom dijelu studije, a područje 3400 – 3800 MHz nije zanimljivo za daljnju razradu s obzirom da je ova studija ograničena na UHF pojas. Nadalje, prema provedenim postupcima produljivanja koncesija u područjima 900 i 1800 MHz, razvidno je da nacionalni regulator primjenjuje odluke i preporuke Europske komisije.

3.2. Stajališta Europske komisije glede korištenja digitalne dividende

U pogledu digitalne dividende, na nivou EU-a nema još donesenih odluka i direktiva Komisije. Kao neki značajniji dokument valja izdvojiti komunikaciju COM(2007)700 Final između Komisije i Europskog parlamenta, Vijeća, Europskog odbora za gospodarstvo i socijalna pitanja i Odbora za regije (*Communication COM (2007)700 final from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions*) pod nazivom Ostvarivanje pune koristi od digitalne dividende u Europi: Zajednički pristup u korištenju spektra oslobođenog prijelazom na digitalno zemaljsko televizijsko odašiljanje (*Reaping the full benefits of the digital dividend in Europe: A common approach to the use of the spectrum released by the digital switchover*). Druga značajna inicijativa u pogledu digitalne dividende je naručena studija pod nazivom Iskorištavanje digitalne dividende - europski pristup (*Exploiting the digital dividend – a European approach*), a koju su napravile konzultanske tvrtke Analysys Mason, DotEcon i Hogan & Hartson. Zaključak navedene studije bi se ukratko mogao opisati na način da se veća korist u društvu ostvaruje oslobađanjem frekvencijskog područja 790 – 862 MHz u korist mobilnoga širokopojasnog pristupa (WBB), nego u slučaju zadržavanja postojećih frekvencija za zemaljsku televiziju. Kao realni datum oslobađanja tog područja na

razini Europe spominje se 2015. godina. Preporuka Komisiji je da se to **zahtijeva** od država članica.

U studiji se nadalje predlaže da se države članice **potiču** na dodjelu spektra po načelu tehnološke neutralnosti i neutralnosti u pružanju usluga, da države između sebe razmjenjuju planove dodjele spektra, a kao tehnološka osnova sugerira se FDD frekvencijski plan koji će preporučiti CEPT. Navedene preporuke Komisiji spadaju u kratkoročne aktivnosti, a mišljenje autora ove studije je da će djelovanje Komisije i ići u tom smjeru.

Budući da nema službenih odluka i direktiva, stajališta Komisije možemo ocijeniti samo iz nekih popratnih dokumenata. Jedan od njih je i dokument Komisije o javnim konzultacijama glede digitalne dividende pod nazivom Iskorištavanje digitalne dividende za društveni napredak i gospodarski rast u Europi (*Transforming the digital dividend opportunity into social benefits and economic growth in Europe*) od 10. srpnja 2009. godine. U njemu se ističe kako se digitalna dividenda gleda kao značajna prilika u ispunjavanju Lisabonske strategije u pogledu konkurentnosti Europe, gospodarskog rasta i ispunjavanju socijalnih, kulturnih i ostalih potreba građana. Iz tog razloga Plan gospodarskog oporavka (*Economic Recovery Plan, Presidency Conclusions, Council of the European Union, Brussels, 12 December 2008 17271/08.*) ima za cilj postići 100% pokrivenost širokopojasnim pristupom između 2010. i 2013. godine. Značajni doprinos u postizanju tog cilja treba dati i radijski širokopojasni pristup. Posebice se to odnosi na ruralna i slabije razvijena područja u kojima bi se implementacija mobilnih širokopojasnih mreža u frekvencijskim područjima, oslobođenima prijelazom na digitalno zemaljsko odašiljanje televizije, mogla iskoristiti za potpunu pokrivenost teritorija širokopojasnim pristupom. Kao što je više puta istaknuto taj prijelaz bi se trebao dogoditi tijekom 2012. godine. U tom dokumentu predlažu se sljedeće akcije:

- osiguranje visokih standarda za prijavnike zemaljske digitalne televizije;
- povećanje digitalne dividende korištenjem postupaka koji vode daljnjem boljem iskorištenju spektra;
- otvaranje frekvencijskog područja 800 MHz (790 – 862 MHz) mrežama za elektroničke komunikacije male i srednje snage slijedeći principe uslužne i tehnološke neutralnosti;
- otvaranje frekvencijskih praznina (bijeli prostori ili engl. *white spaces*) kao mogućih proširenja digitalne dividende;
- osiguranje daljnjeg razvoja radijskih mikrofona i ostalih sekundarnih korisnika u UHF području;
- bolju koordinaciju sa susjednim državama koje nisu članice EU;
- prepoznavanje budućih izazova.

- Hitne akcije, koje se navode u tom dokumentu, uključuju:
- ubrzavanje prijelaza na digitalno zemaljsko televizijsko odašiljanje (trebao bi se prijelaz ubrzati tako da do njega dođe do 1. siječnja 2012. godine);
- otvaranje područja 800 MHz za elektroničke komunikacije usvajanjem harmoniziranih tehničkih uvjeta korištenja spektra u Europi.

Komisija će dostaviti RSC-u, u skladu s Odlukom o radijskom spektru (*Decision No 676/2002/EC*), radnu verziju odluke EC o tehničkoj harmonizaciji područja 790 – 862 MHz radi dobivanja mišljenja regulatora u jesen 2009. Završno usvajanje odluke od strane Komisije očekuje se početkom 2010. godine. U međuvremenu, preporuka je državama članicama da se uzdrže od bilo kojih regulatornih akcija u navedenom području koje će otežavati tehničku harmonizaciju na razini EU. Očekuje se da će Komisija početkom 2010. uputiti odluku Europskom parlamentu i Vijeću na usvajanje.

Značajni dokument, koji ukazuje u kojem smjeru će ići djelovanje Komisije, je i radna inačica dokumenta RSPG-a pod nazivom Mišljenje RSPG-a o digitalnoj dividendi (*RSPG Opinion on the Digital Dividend*) od 13. svibnja 2009. godine. Stavovi u tom dokumentu su ustvari sukladni onima iz dokumenta Iskorištavanje digitalne dividende za društveni napredak i gospodarski rast u Europi te se stoga neće posebno analizirati.

Kao posljednji, autorima studije dostupan dokument, je radna inačica preporuke Komisije od 28.10.2009. pod nazivom *Facilitating the release of the digital dividend in the European Union*. Navedeni dokument i najočitiije pokazuje namjere Europske komisije u pogledu digitalne dividende, te smo ga stoga i prikazali u skraćenom obliku na slici 3.2. Autori ove studije htjeli bi završiti ovaj odjeljak konstatacijom kako su u pogledu digitalne dividende na razini EU svakodnevno prisutne nove aktivnosti i kako će vjerojatno uskoro biti poznate i službene odluke te direktive Komisije. Stoga se može dogoditi da će već prilikom isporuke ove studije naručiteljima, neki obrađeni dokumenti djelovati arhaično. Namjera nam je bila (pomoću dostupnih podataka) obraditi i pokazati stajalište Komisije, a s velikom sigurnošću konstatiramo da se ono neće bitno promijeniti od stajališta navedenih u obrađenim dokumentima.



COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES

Brussels, 28 October 2009
C(2009) 8287/2
Provisional version

Draft

COMMISSION RECOMMENDATION

[...]

Facilitating the release of the digital dividend in the European Union

{SEC((2009) 1436}
{SEC(2009) 1437}

•
•
•

HEREBY RECOMMENDS:

1. That Member States should take all the measures necessary to ensure that all terrestrial television broadcasting services use digital transmission technology and cease using analogue transmission technology on their territory by 1 January 2012;
2. That Member States should support regulatory efforts towards harmonised conditions of use in the Community of the 790-862 MHz sub-band for electronic communications services other than, and in addition to, broadcasting services, and refrain from any action that might hinder or impede the deployment of such communications services in that sub-band.
3. This Recommendation is addressed to the Member States.

Done at Brussels,

For the Commission
Viviane Reding
Member of the Commission

Slika 3.2. Radna inačica Preporuke Komisije

3.3. Harmonizirani uvjeti korištenja spektra u području 790 – 862 MHz

Iz ranijeg izlaganja postalo je razvidno da je za optimalno korištenje digitalne dividende nužno i harmonizirati uvjete korištenja spektra u području 790 – 862 MHz. Tehničko harmoniziranje spektra radi se u okviru CEPT-a. Kao ključni dokumenti u tom pogledu prepoznaju se:

- CEPT-ovo izvješće broj 31 pod nazivom Frekvencijska raspodjela kanala u području 790 – 862 MHz (*Frequency (channeling) arrangements for the 790 – 862 MHz band*) i,
- ECC odluka ECC/DEC/(09)03 pod nazivom Harmonizirani uvjeti za korištenje mobilnih/fiksnih komunikacijskih mreža (MFCN) u frekvencijskom području 790 – 862 MHz (*Harmonised conditions for mobile/fixed communications networks (MFCN) operating in the band 790 – 862 MHz*).

U navedenim dokumentima, kao **preferiranu** frekvencijsku raspodjelu, predlaže se sljedeće:

- FDD uparena frekvencijska raspodjela 2×30 MHz s time da je silazna veza u nižem frekvencijskom području, a uzlazna u višem;
- područja su podijeljena na blokove širine 5 MHz;
- ostavlja se 1 MHz razmaka od donje granice područja tj. od 790 MHz;
- između silazne i uzlazne veze je zaštitni pojas od 11 MHz (dupleksni zaštitni pojas).

791-796	796-801	801-806	806-811	811-816	816-821	821 - 832	832-837	837-842	842-847	847-852	852-857	857-862
Silazna veza						Zaštitni pojas	Uzlazna veza					
30 MHz (6 blokova širine 5 MHz)						11 MHz	30 MHz (6 blokova širine 5 MHz)					

Slika 3.3. Preferirana frekvencijska podjela unutar područja od 790 – 862 MHz

790-797	797-802	802-807	807-812	812-817	817-822	822-827	827-832	832-837	837-842	842-847	847-852	852-857	857-862
Zaštitni pojas	Neupareno												
7 MHz	65 MHz (13 blokova širine 5 MHz)												

Slika 3.4. TDD frekvencijska podjela unutar područja od 790 – 862 MHz

Frekvencijska raspodjela za TDD način rada predstavlja samo opciju. Ona se sastoji od 13 blokova širine 5 MHz s razmakom od 7 MHz u odnosu na donju granicu područja.

Administracijama koje ne žele (ili iz nekog razloga ne mogu) koristiti preferiranu frekvencijsku raspodjelu (FDD način rada) ostavlja se mogućnost da:

- parcijalno implementiraju preferiranu raspodjelu za FDD;
- koriste TDD raspodjelu sukladno slici 3.4.;
- upotrijebe kombiniranu FDD i TDD raspodjelu.

Opcije	791-796	796-801	801-806	806-811	811-816	816-821	821-832	832-837	837-842	842-847	847-852	852-857	857-862	
1	DL1	DL2	DL3	DL4	DL5	DL6		UL1	UL2	UL3	UL4	UL5	UL6	
2	DL1	DL2	DL3	DL4	DL5	5 MHz	TDD	5 MHz	UL1	UL2	UL3	UL4	UL5	
3	DL1	DL2	DL3	DL4	5 MHz	TDD	TDD	5 MHz	UL1	UL2	UL3	UL4	5 MHz	TDD
4	DL1	DL2	DL3	5 MHz	TDD	TDD	TDD	5 MHz	UL1	UL2	UL3	5 MHz	TDD	TDD
5		TDD	TDD	TDD	TDD	TDD	TDD	5 MHz	TDD	TDD	TDD	TDD	TDD	
6		TDD	TDD	TDD	5 MHz	TDD	TDD	TDD	5 MHz	TDD	TDD	TDD	TDD	
7			TDD	TDD	TDD	TDD	TDD	5 MHz	TDD	TDD	TDD	TDD	TDD	
8			TDD	TDD	TDD	5 MHz	TDD	TDD	5 MHz	TDD	TDD	TDD	TDD	

■ središnji zaštitni pojas
 ■ zaštitni pojas
 ■ ograničeni blokovi

Slika 3.5. Moguće raspodjele frekvencijskog područja od 790 – 862 MHz

Slika 3.5. prikazuje 8 najboljih raspodjela frekvencija u slučaju FDD, TDD i kombinirane FDD/TDD raspodjele. Ove podjele napravljene su uz veličinu bloka od 5 MHz, nesinkronizirani TDD, te uz širinu ograničenih blokova od 5 MHz između TDD blokova različitih operatora i između TDD i FDD blokova. Kao što se vidi na slici, opcije 5 i 7 predstavljaju najbolje rješenje za dvije TDD mreže, dok opcije 6 i 8 predstavljaju najbolje opcije za tri TDD mreže. Činjenica je da za Hrvatsku najbolje rješenje pokazuje opcija 1, tj. preferirana FDD raspodjela.

791-796	796-801	801-806	806-811	811-816	816-821	821 - 832	832-837	837-842	842-847	847-852	852-857	857-862
Operator 1		Operator 2		Operator 3		Zaštitni pojas	Operator 1		Operator 2		Operator 3	

Slika 3.6. Preporučena frekvencijska podjela unutar područja od 790 – 862 MHz za Hrvatsku

Autori studije predlažu naručitelju da se opredijeli za ovu preferiranu raspodjelu i FDD način rada. Naime, ona omogućuje implementaciju tri FDD mreže (3 operatora) od kojih svaka od njih može

dobiti 2×10 MHz. Smatramo da tako podijeljeni spektar ostavlja mogućnost za najbolju implementaciju širokopojasnih pristupnih mreža i s druge strane da jamči dovoljnu konkurentnost, jer su moguća 3 operatora. U Hrvatskoj je teško očekivati više od tri operatora, a to potvrđuje i dosadašnja praksa.

U slučaju da se želi uvesti veći broj operatora (više od 3) i dalje preporučamo preferiranu frekvencijsku raspodjelu. Činjenica je da se dodjeljivanjem uparenog para od samo 2×5 MHz značajno smanjuju mogućnosti za širokopojasni pristup. Naše mišljenje je da se dodjeljivanjem ovog spektra za radijski širokopojasni pristup donekle rješava problem širokopojasnog pristupa u ruralnima i slabije razvijenim područjima i potiče ravnomjeran razvoj svih dijelova Hrvatske.

3.4. Mogući korisnici oslobođenog pojasa frekvencije

"Digitalna dividenda" namijenit će se u Hrvatskoj za različite svrhe sukladno Strategiji prelaska s analognog na digitalno emitiranje televizijskih programa u Republici Hrvatskoj kao što su:

- dodatni programi digitalne zemaljske televizije na državnoj razini, i to standardne kvalitete (SDTV) ili visoke kvalitete (HDTV),
- programi digitalne zemaljske televizije na regionalnoj i lokalnoj razini,
- usluge za prijam televizije (DVB-H) na mobilnim telefonima i drugim vrstama mobilnih video ili multimedijjskih uređaja,
- mobilne komunikacije (glasovno biranje ili informacije),
- širokopojasne radijske komunikacijske usluge,
- radijski mikrofoni za kazališta, proizvodnju televizijskog i radijskog programa, te za glazbene događaje,
- radijske aplikacije kratkog dometa, kao što je fiksni radijski pristup u kućanstvima,
- usluge javne sigurnosti, kao što su radijske komunikacijske usluge u slučaju opasnosti.

Nadalje, u Strategiji su prepoznate sljedeće tri skupine usluga:

- Komunikacijske usluge;
 - postojeće komunikacijske usluge,
 - nove javne komunikacijske usluge,
 - usluge pokretne televizije.

- Informacijske usluge;
 - nove informacijske usluge nakladnika televizije,
 - nove informacijske usluge gospodarskih subjekata iz područja elektroničkih medija,
 - usluge izrade, održavanja i dostave elektroničkih programskih vodiča.
- Interaktivne usluge – usluge koje osobito obuhvaćaju elektroničku trgovinu, elektroničko bankarstvo, interaktivne igre i kvizove, kao i određene vrste usluga javne uprave.

U pogledu digitalne dividende slična je situacija i u EU. Kao pet glavnih potencijalnih korisnika identificirani su:

- digitalna zemaljska televizija (DTT, *digital terrestrial TV* ili DVB-T),
- mobilna radiodifuzijska televizija (*broadcast mobile TV* ili DVB-H),
- širokopojasni radijski pristup,
- širokopojasne radijske usluge za javnu sigurnost (zaštitu) i uklanjanje posljedica,
- pomoćne usluge u radiodifuziji i izradi programa (SAB/SAP, *Services Ancillary to Broadcasting and Programme making*).

Postoji još potencijalnih korisnika, a ovdje su navedeni samo oni koje ocjenjujemo najvažnijima i najvjerojatnijima.

3.5. Mogućnosti zajedničkog odnosno dijeljenog korištenja frekvencije

U ovom poglavlju analizirat će se ponajprije frekvencijsko područje od 470 – 862 MHz. Do sada je to područje bilo primarno namijenjeno zemaljskoj analognoj televiziji.

SAB/SAP sustavi (uključujući radijske mikrofone) bili su također implementirani u ovome frekvencijskom području u svim zemljama članicama EU kao sekundarna opcija u odnosu na zemaljsku TV ali i na drugim frekvencijama. SAB/SAP sustavi ponajprije koriste spektar na dijeljenom načelu (*interleaved spectrum*), odnosno upotrebljavaju spektar koji je ostao slobodan na nekome lokalnom ili regionalnom području, a koji se inače ima drugu namjenu. Na primjer jedan UHF TV odašiljača pokriva određeno geografsko područje odašiljući signal na nekom kanalu. Taj se isti kanal može koristiti za neku dragu namjenu u onim dijelovima zemlje koji nisu pokriveni izvornim TV signalom spomenutog odašiljača, vodeći pritom računa da se ne ometa primarna namjena spektra. Neke članice EU-a (npr. UK) dodijelile su i posebni kanal na razini cijele

zemlje za SAB/SAP sustave. Često puta se takvi sustavi nazivaju i označuju s PMSE (*Program Making and Special Events*).

Može se, dakle, zaključiti da su u frekvencijskom području od 470 – 862 MHz ranije, u analogno doba, koegzistirali samo ovi, ranije navedeni, sustavi (negdje je dio spektra bio namijenjen i za vojne potrebe). Stoga nije bilo prevelikih problema u gospodarenju spektrom i međusobnoj koegzistenciji različitih sustava. Oslobađanjem digitalne dividende i otvaranjem mogućnosti za različite nove primjene nastaju novi problemi vezani uz koegzistenciju. Oni se ponajprije svode na smetnje između signala različitih sustava. Općenito, mogu nastati dva oblika smetnji:

- istokanalne smetnje (*co-channel interference*) koje nastaju kad sustavi rade na istoj frekvenciji, a nalaze se u susjednim geografskim područjima i,
- smetnje od susjednih kanala (*ACI, Adjacent Channel Interference*) kad signali u susjednim kanalima ometaju prijam signala u željenom kanalu.

U pogledu smetnje od susjednih kanala u frekvencijskom području 470 – 862 MHz CEPT je proizveo tri izvješća koji otkrivaju ključne scenarije i probleme oko kompatibilnosti. Ta tri izvješća su:

- CEPT izvješće broj 21 – izvješće A (Compatibility issues between “cellular / low power transmitter” networks and “larger coverage / high power / tower” type of networks);
- CEPT izvješće broj 22 – izvješće B (Technical feasibility of harmonising a sub-band of bands IV and V for fixed/mobile applications (including uplinks), minimising the impact on GE0-6);
- CEPT izvješće broj 24 – izvješće C (A preliminary assessment of the feasibility of fitting new/future applications/services into non-harmonised spectrum of the digital dividend (namely the so-called "white spaces" between allotments)).

Navedena izvješća pokrivaju problematiku kompatibilnosti u susjednim kanalima između:

- radiodifuzijske mobilne TV i DVB-T (oboje su simpleksni sustavi),
- DVB-T i širokopojasnoga radijskog pristupa te,
- buduće primjene kao što je spoznajni (*cognitive*) radio.

Važno je napomenuti da kompatibilnost u odnosu na SAB/SAP sustave nije razmatrana u ovim izvješćima, već se to prepušta nekome budućem radu. Ključne zaključke navedenih dokumenata obradit će se u nastavku.

Dostupnost dijeljenog (*interleaved*) spektra smanjila se kao rezultat GE-06 sporazuma i odluka WRC-07. Kontrolirani pristup

SAB/SAP sustava u dijeljeni spektar nastaviti će se u većini država koje su članice CEPT organizacije.

Mogućnosti korištenja spoznajnog radija još nisu istražene na praktičnoj razini te je još prerano govoriti o korištenju te tehnologije.

3.5.1. Kompatibilnost između radiodifuzijske mobilne TV i DVB-T

Radiodifuzijske mobilne TV mreže (DVB-H) mogu koristiti GE-06 plan uz pretpostavku da njihove tehničke karakteristike ne uzrokuju veću smetnju od one definirane za DVB-T u navedenom planu.

Različite metode se mogu koristiti za minimiziranje ACI. Najbolja konfiguracija je zajedničko korištenje lokacija i antenskih sustava za pokrivanje određenog područja u slučaju mobilne TV i DVB-T.

ACI je najproblematičniji u prvome susjednom kanalu.

Najveći rizik za DVB-T prijamnik postoji u blizini odašiljača za mobilnu TV.

Koegzistencija mobilne TV ili radijskoga širokopojasnog pristupa i DVB-T je moguća unutar dogovora GE-06 uz primjenu odgovarajućih tehnika i pažljivo planiranje mreže.

3.5.2. Kompatibilnost između DVB-T i širokopojasnoga radijskog pristupa

Harmonizacija dijela spektra (dio pojasa unutar područja 470 – 862 MHz) za širokopojasni radijski pristup je izvediva po tehnološkom, regulatornom i administrativnom načelu.

Razina signala smetnje, koja bi nastala implementacijom GE-06 plana, onemogućila bi korištenje harmoniziranog dijela spektra za radijski širokopojasni pristup u bilo kojoj europskoj državi. U tom slučaju bila bi neophodna koordinacija između susjednih država.

Uzlazne veze nisu pokrivene GE-06 sporazumom i stoga nisu „zaštićene“ ITU koordinacijom.

Za šticeenje DVB-T prijmnika od silazne veze širokopojasnoga radijskog pristupa nije potreban zaštitni pojas, već samo pažljivo planiranje i korištenje tehnika za smanjivanje smetnji. S druge strane, DVB-T prijam se štiti razmicanjem uzlazne veze širokopojasnog pristupa za barem 16 MHz (2 DVB-T kanala). Zbog toga se odstupilo od uobičajene prakse pa je tako silazna veza u bloku niže frekvencije, a uzlazna veza u bloku više frekvencije. U slučaju primjene TDD u širokopojasnom pristupu predlaže se razmak od 7 MHz u odnosu na DVB-T kanal.

ACI od silazne veze širokopojasnoga radijskog pristupa na DVB-T kanal nastaje kad je velika razlika u razini polja od signala široko-

pojasnog pristupa i od DVB-T signala. To se može dogoditi na rubnim područjima pokrivanja DVB-T signalom.

3.5.3. Najnovije aktivnosti unutar CEPT-a

Na 22. sastanku (skupu) ECC-a u Beču, održanom u ožujku 2009. godine, odlučeno je da se izradi Odluka o harmoniziranim tehničkim i regulatornim uvjetima u području 790 – 862 MHz (*Decision on harmonised technical and regulatory conditions in the band 790 – 862 MHz*). Posljedica toga je usvajanje ECC odluke pod brojem ECC/DEC/(09)03 od 30. listopada 2009. pod nazivom Harmonizirani uvjeti za korištenje mobilnih/fiksnih komunikacijskih mreža (MFCN) u frekvencijskom području 790 – 862 MHz (*Harmonised conditions for mobile/fixed communications networks (MFCN) operating in the band 790 – 862 MHz*). U navedenoj odluci nalaze se:

- preferirani harmonizirani frekvencijski raspored (FDD) kanala (blokova),
- drugi mogući frekvencijski raspored blokova (TDD),
- mogućnosti uporabe PMSE uređaja u frekvencijskom području između silazne i uzlazne veze kod FDD,
- izgled spektralnih maski (BEM, *Block-Edge Masks*) i,
- dozvoljeni EIRP kao i tehnički uvjeti za korištenje PMSE uređaja.

Ukratko rečeno, ova odluka u potpunosti regulira MFCN mreže u frekvencijskom području 790 – 862 MHz i njihovu koegzistenciju s DVB-T mrežom na nižemu frekvencijskom području i koegzistenciju s PMSE mrežom u istome ovom frekvencijskom području. Odluka se naslanja na CEPT izvješća broj 30 i 31 (*The identification of common and minimal (least restrictive) technical conditions for 790 – 862 MHz for the digital dividend in the European Union; Frequency (channelling) arrangements for the 790 – 862 MHz band*).

ECC je također napravio studije u pogledu međugranične (međudržavne) koordinacije i kontinuirane uporabi PMSE uređaja u području 470 – 862 MHz. Ta dva dokumenta su:

- CEPT izvješće broj 29 (Guideline on cross border coordination issues between mobile services in one country and broadcasting services in another country) i,
- CEPT izvješće broj 32 (Recommendation on the best approach to ensure the continuation of existing Program Making and Special Events (PMSE) services operating in the UHF (470-862 MHz), including the assessment of the advantage of an EU-level approach).

Valja naglasiti da su sva ova navedena izvješća novijeg datuma. (izvješća br. 30 – 32 objavljena su 30.10.2009., a na web stranicama su postala dostupna sredinom studenog 2009.; izvješće br. 29 objavljeno je 26.06.2009.), a nastala su kao posljedica Drugog mandata koji je EK dala CEPT u svezi digitalne dividende. Razvidno je da je situacija u ovom pogledu jako dinamična i da je iskorištavanje digitalne dividende jedna od trenutno najvažnijih tema u Europi.

Osvrt na CEPT izvješće br. 29, pokazuje da se u njemu zaključuje da GE-06 sporazum predstavlja osnovu za postupak međudržavne koordinacije između TV radiodifuzije u jednoj državi i mobilnih usluga u drugoj državi. Temelj koordinacije predstavljaju tzv. kritične razine smetajućeg polja koje zahtijevaju koordinaciju (*coordination trigger field strength*).

Tablica 3.2. pokazuje da su bazne postaje najosjetljivije na istokanalnu smetnju. U praksi to znači da će smetnja od zemaljske televizije (u području 790 – 862 MHz) koja se emitira u jednoj državi zahvatiti bazne postaje u susjednim državama. Drugim riječima, bez oslobađanja tog pojasa i u susjednim državama nema mogućnosti primjene mreža za širokopojasni pristup u navedenom području. Gledajući hrvatsko okruženje, može se zaključiti kako bi ova činjenica mogla postati glavnom preprekom u primjeni digitalne dividende za širokopojasni pristup. CEPT se slaže da treba izraditi detaljnu metodologiju koordinacije na osnovu multilateral-nih dogovora.

Tablica 3.2. Kritične razine smetajućeg polja sukladno sporazumu GE-06

Kritične razine smetajućeg polja u slučaju šticeanja TV radiodifuzije, na visini 10 m, prekoračenje kojih zahtijeva međudržavnu koordinaciju	
Zaštita prijarnika digitalne TV:	25 dB μ V/m/8 MHz na granici
Kritične razine smetajućeg polja u slučaju šticeanja mobilnih usluga na visini 10 m, prekoračenje kojih zahtijeva međudržavnu koordinaciju	
Zaštita mobilne postaje:	49,2 dB μ V/m/8 MHz (NB)
Zaštita bazne postaje:	11,6 dB μ V/m/8 MHz (NA) 8,2 dB μ V/m/8 MHz (NB)

Napomena: NA i NB su definirani oblici mobilnih sustava

Puno manji problem predstavlja istokanalna smetnja od mreža za širokopojasni pristup u susjednim državama, a najlakše je napraviti koordinaciju (najmanje ima smetnje) u slučaju izgradnje FDD mreža u susjednim državama. Ta činjenica ide u prilog da se izabe-

re preferirani frekvencijski raspored za širokopojasni pristup u području 790 – 862 MHz..

U pogledu SAB/SAP (ili PMSE) uređaja (CEPT izvješće br. 32) može se zaključiti kako će oni i dalje raditi u području od 790 – 862 MHz i to na privremenoj (sekundarnoj) osnovi u tzv. dijeljenom (*interleaved*) spektru. ERC/REC 70-03 i ERC/REC 25-10 predstavljaju regulatorni okvir za PMSE uređaje. Nema značajnijih razlika u pogledu koegzistencije između SAB/SAP uređaja i digitalne TV ili prijašnje analogne. Činjenica je da je velika većina SAB/SAP uređaja analogna, a da se prijelazom na digitalnu tehnologiju povećava učinkovitost. Spektralne maske za PMSE uređaje nalaze se u normi EN 300 422.

3.5.4. Zaključak vezan uz korištenje frekvencijskog područja 470 – 862 MHz

Korištenje frekvencijskog pojasa 790 – 862 MHz i koegzistencija različitih sustava unutar njega, prema našem mišljenju, trebala bi se provesti na sljedeći način:

- potpojas 790 – 862 MHz treba osloboditi za primjenu radijskog širokopojasnog pristupa (WBB), a harmoniziranje tog pojasa obrađeno je u odjeljku 3.3.,
- za izvedbu WBB koristiti načelo tehnološke neutralnosti tj. ne treba definirati korištenje određene tehnologije (WAPECS načelo),
- može se razmisliti (da li postoji potreba) da se dozvoli uporaba PMSE sustava unutar potpojasa 790 – 862 MHz i to u području 790 – 791 MHz te 821 – 832 MHz (zaštitni pojas između područja silazne veze za WBB i posljednjeg DVB-T odnosno DVB-H kanala, zaštitni pojas između silazne i uzlazne veze za WBB),
- pojas 470 – 790 MHz koristit će se za digitalno odašiljanje televizije na primarnoj osnovi,
- unutar pojasa 470 – 790 MHz dozvoliti uporabu PMSE (SAB/SAP) uređaja na sekundarnoj osnovi tj. u tzv. dijeljenom spektru (kao i ranije),
- dodatno oslobađanje pojasa 470 – 790 MHz za PPDR primjenu u skoroj budućnosti nije potrebno,
- praktična uporaba spoznajnog radija ne očekuje se u skoroj budućnosti.

Za ostvarivanje koegzistencije različitih sustava i smanjivanje istokanalne smetnje i smetnje od susjednih kanala koristiti se preporukama i načelima iz u ovom odjeljku navedenih CEPT dokumenata.

Najveći problem za realizaciju predloženog načina korištenja spektra predstavljat će moguće odašiljanje TV sadržaja u području 790

– 862 MHz u susjednim državama (istokanalna smetnja na koju je najosjetljiviji prijamnik bazne postaje WBB sustava). Ta činjenica odredit će početak moguće izgradnje WBB mreže. Mišljenja smo da je Europska komisija na putu oslobađanja potpojasa 790 – 862 MHz za širokopojasni pristup te će ona vjerojatno utjecati na ponašanje i djelovanje članica EU-a. Veći problem predstavljat će situacija u nama susjednim državama koje nisu članice EU-a, a s kojima se navedeni problemi mogu rješavati samo na osnovu bilateralnih sporazuma.

3.6. Spektar frekvencija u kojem se ranije koristila NMT mobilna tehnologija

U frekvencijskom području 410 MHz ranije se na području Hrvatske i nekih susjednih zemalja (SLO, BiH, SRB, MK i MNE) koristila analogna NMT mobilna tehnologija. U većem dijelu Europe NMT se koristio u području 450 MHz.

Tablica 3.3. Radna područja frekvencija NMT mreže

Oznaka mreže	Područje primjene	Radno područje frekvencija	
		Uzlazna veza	Silazna veza
NMT – 410	SLO, HR, BiH, SRB, MK i MNE	411,675 ... 415,850 MHz	421,675 ... 425,850 MHz
NMT – 450	Veći dio Europe	453,0 ... 457,5 MHz	463,0 ... 467,5 MHz

410-420 MHz	410-420 MHz		
NEPOKRETNA	POKRETNA		PMR/PAM
	osim zrakoplovne civ. pokretne		R
	POKRETNA		
	osim zrakoplovne pokretne		
	ISTRAŽIVANJE SVEMIRA (sv-Z) 5.268		
420-430 MHz	420-430 MHz		
NEPOKRETNA	POKRETNA		PMR/PAM
	osim zrakoplovne civ. pokretne		R
	POKRETNA		
	osim zrakoplovne Radiolokacijska pokretne		
	Radiolokacijska		

Slika 3.7. Izvadak iz Pravilnika o namjeni radiofrekvencijskog spektra (NN br. 136/2008)

Prestankom rada NMT mreže oslobodio se odgovarajući pojas frekvencija. Prema Pravilniku o namjeni radiofrekvencijskog spektra iz studenog 2008. godine frekvencijsko područje od 410 – 430 MHz u glavnini je namijenjeno za privatne (profesionalne) mobilne radijske mreže (PMR, *Private (Professional) Mobile Radio*) odnosno za mobilne radijske mreže s javnim pristupom (PAMR, *Public Access Mobile Radio*).

Frequenznutzungsteilplan:	221	Eintrag:	221002	Stand:	April 2008
Frequenzbereich:	410 - 420 MHz				
Nutzungsbestimmung(en):	5 30 31				
Funkdienst:	MOBILER LANDFUNKDIENST				
Nutzung:	ziv				
Frequenznutzung:	Betriebsfunk/Bündelfunk				
Frequenzteilbereich:	410 - 420 MHz				
Frequenznutzungsbedingungen:	Übertragung von Sprach- und Datensignalen Maximal zulässige äquivalente Strahlungsleistung: 6 W ERP (12,5-kHz-Systeme) 12 W ERP (25-kHz-Systeme) Duplexfrequenzbereich: 420 - 430 MHz Kanalbandbreite: 12,5 kHz / 25 kHz Kanalraster: 12,5 kHz / 25 kHz				

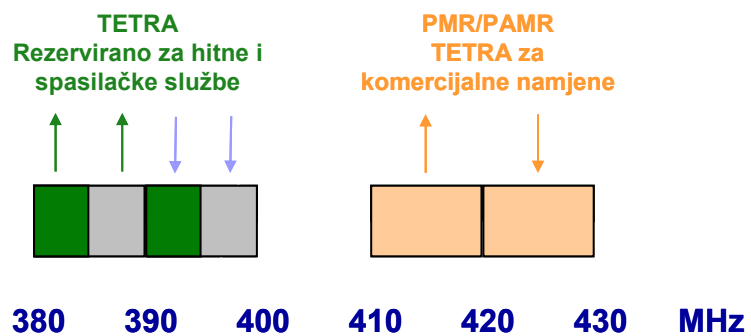
Frequenznutzungsteilplan:	222	Eintrag:	222003	Stand:	April 2008
Frequenzbereich:	420 - 430 MHz				
Nutzungsbestimmung(en):	5 30 31				
Funkdienst:	MOBILER LANDFUNKDIENST				
Nutzung:	ziv				
Frequenznutzung:	Betriebsfunk/Bündelfunk				
Frequenzteilbereich:	420 - 430 MHz				
Frequenznutzungsbedingungen:	Übertragung von Sprach- und Datensignalen Maximal zulässige äquivalente Strahlungsleistung: 100 W ERP (12,5-kHz-Systeme) 200 W ERP (25-kHz-Systeme) Duplexfrequenzbereich: 410 - 420 MHz Kanalbandbreite: 12,5 kHz / 25 kHz Kanalraster: 12,5 kHz / 25 kHz				

Slika 3.8. Izvadak iz plana namjene frekvencija u Njemačkoj (*Frequenznutzungsplan*) iz travnja 2008. godine

Raspoloživa širina pojasa onemogućuje da se na tim frekvencijama ostvaruju jako visoke brzine u pristupu. Kao dobar primjer za Hrvatsku smatramo rješenje njemačkog regulatora BNA (slika 3.8). Pojas od 410 – 420 MHz namijenjen je kopnenima mobilnim službama. Koriste se uskopojasne veze (širina pojasa 25 kHz ili

12,5 kHz), najveća efektivna izračena snaga (ERP) za uzlaznu vezu ograničena je na 12 W odnosno na 6 W. Pojas od 420 – 430 MHz koristi se za silaznu vezu u istoj službi. Dopuštene su efektivne izračene snage (baznih postaja odnosno repetitora) do 200 W odnosno do 100 W. Neke procjene pokazuju da preko 60% poslovnih radijskih korisnika upotrebljava mreže u pojasevima od 410 – 430 MHz i od 450 – 470 MHz.

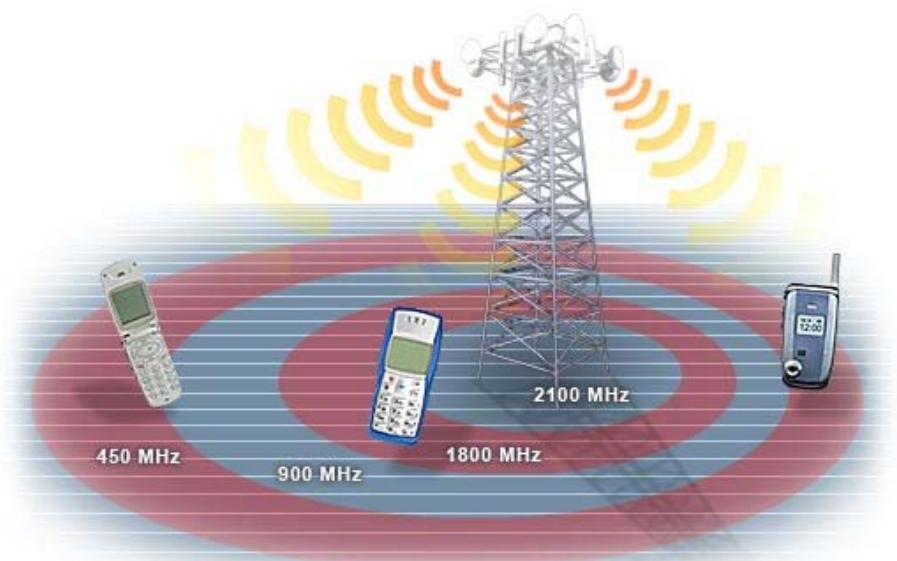
Razmatrano područje frekvencija (410–420/420–430 MHz) predstavlja jedno od dva tipična frekvencijska područja rada mobilnih mreža koje se osnivaju na tehnologiji TETRA (*Terrestrial Enhanced Trunked Radio*). Ovaj je pojas frekvencija namijenjen za komercijalne TETRA mreže PMR ili PAMR vrste. Osim navedenoga, za TETRA mreže koristi se i pojas od 380 – 400 MHz, ali on je namijenjen mrežama koje upotrebljavaju hitne i spasilačke službe. U tom su pojasu postavljene mreže po tehnologiji TETRA u Hrvatskoj.



Slika 3.9. Radna područja frekvencija mobilnih mreža tehnologije TETRA

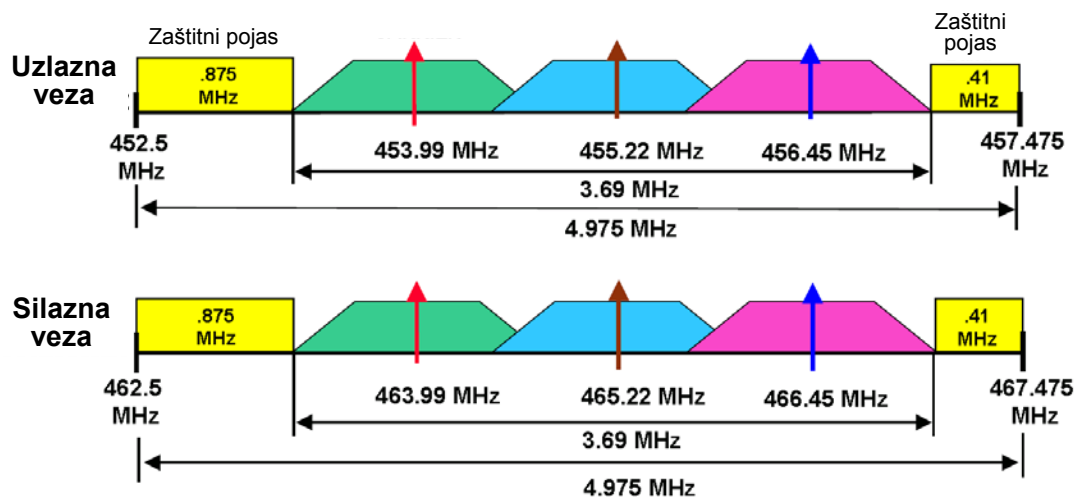
TETRA tehnologija osniva se na rasteru kanala od 25 kHz čime je ona postala kompatibilna s kanalima koji su se koristili u analognoj mobilnoj mreži. Ona služi za prijenos govora i podataka manjim brzinama. Deklarirane su brzine prijena od 2,4 – 28,8 kbit/s.

Više europskih zemalja eksplicitno navode TETRA tehnologiju u svojim planovima namjene radijskih za pojas od 410 – 430 MHz frekvencija (Portugal, Švicarska, Slovenija, ...). Republika Hrvatska mora usuglasiti svoje planove namjene frekvencija s odgovarajućim planovima drugih zemalja u Europi. Imajući to u vidu kao jedino rješenje vidimo da se spektar, koji je ostao oslobođen prestankom rada analogne NMT mreže, namijeni za potrebe uskopojasnih mobilnih komunikacija za korištenje u privatnome (profesionalnom) okruženju. Pri tome ne treba zatvoriti mogućnost pružanja javnih usluga uskopojasnoga mobilnog prijena ako bude zainteresiranih za takav posao. Sukladno novim tendencijama ne bi trebalo propisima nametati uporabu neke određene tehnologije u dodijeljenom dijelu spektra, ali u ovom trenutku na raspolaganju je tehnologija TETRA.



Slika 3.10. Frekvencije na kojima se mogu koristiti 3G tehnologije

Određeni broj operatora u središnjoj i istočnoj Europi nadomještava analognu NMT-450 mrežu digitalnom 3G tehnologijom, tzv. CDMA450. U suštini radi se o tehnologiji CDMA2000, koja se temelji na IMT-2000, a koja je primijenjena na frekvencijsko područje od 450 MHz. Mreže koje koriste ovu tehnologiju mogu se smjestiti u pojas ranijih NMT mreža. Kako je taj pojas bio širok 4 – 5 MHz on bi mogao poslužiti za 3 – 4 CDMA450 kanala s obzirom da se za jedan kanal zahtijeva spektar od $2 \times 1,25$ MHz. Primjenom standardne inačice, tj CDMA 1X, mogu se postići brzine pristupa od 153 kbit/s, dok naprednija inačica CDMA2000 1xEV-DO omogućuje brzine od 2,4 Mbit/s.



Slika 3.11. Primjer rasporeda kanala u preporučenom potpojasu za CDMA450

Osim brzoga pristupa Internetu CDMA450 pruža i govorne komunikacijske usluge kako u fiksima tako i u mobilnim uvjetima.

Nasuprot tehnologiji TETRA, koja je izrazito uskopojasna, CDMA450 nudi određenu širokopojasnost. U pogledu kapaciteta mreže CDMA450 zaostaje za mrežama na višim frekvencijama, ali mali potrebni broj baznih postaja na terenima koji nemaju prepreka čini ju ekonomičnom za zemlje u razvoju koje imaju manje telekomunikacijske potrebe stanovništva i gospodarstva u ruralnim područjima. Najveći broj mreža ove vrste postavljen je u Istočnoj Europi, Aziji i južnoj Americi.

4. Gospodarski i socijalni učinci proširenja širokopojasne pristupne infrastrukture

4.1. Gospodarski učinci širokopojasnih mobilnih mreža u dijelu pojasa digitalne dividende

Gospodarske politike na nadnacionalnoj razini (EU npr.), na nacionalnoj ili regionalnoj razini, glede širokopojasne pristupne infrastrukture, imaju ciljeve koji se mogu sažeti u šest cjelina:

- pospješivati rast, novine i konkurenciju u pružanju komunikacijskih usluga,
- povećavati javnu vrijednost,
- olakšati sveobuhvatni pristup temeljnim uslugama,
- poduprijeti regionalnu politiku,
- postaviti javne sustave za zaštitu i spašavanje,
- poticati jedinstveno tržište za opremu i usluge.

Korisnici danas traže širokopojasne mobilne usluge s jednakom zemljopisnom pokrivenošću teritorija kao i u slučaju govornih usluga, a jednakih osobina kao kod fiksnih širokopojasnih mreža. Spektar u okviru digitalne dividende igra značajnu ulogu u ostvarenju tih očekivanja. Širokopojasna mobilna mreža pruža usluge za odmor, obrazovanje i posao. Ona povećava mogućnosti zapošljavanja u ruralnim područjima pa je i to razlogom rasta potražnje.

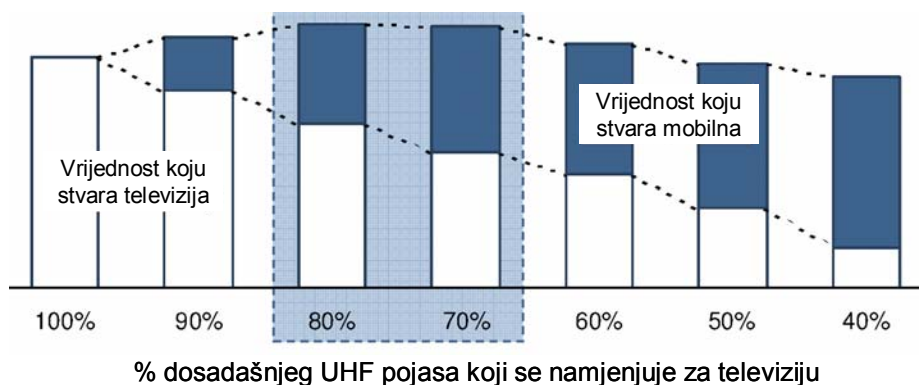
Raspoređivanjem dijela spektra digitalne dividende za potrebe mobilnih mreža ima značajni pozitivni gospodarski učinak:

- povećava BDP-a i pozitivno utječe na gospodarske aktivnosti znatno više nego to pokazuje prihod te grane gospodarstva,

- povećava prihode države od poreza izravno, ali i neizravno od gospodarskih sektora koje je povukao dinamični telekomunikacijski sektor,
- potiče zapošljavanje ne samo izravno u telekomunikacijskim društvima i u tvrtkama koje izgrađuju telekomunikacijsku infrastrukturu, nego i neizravno i u drugim područjima gospodarstva koja povećavaju svoje aktivnosti i učinkovitost koristeći se telekomunikacijskim uslugama,
- poboljšava produktivnost, a time i kompetitivnost, zbog povećane učinkovitosti zaposlenika. Brzina veze, kojom se pristupa Internetu, ima izravni učinak na produktivnost,
- socijalni se učinak vrlo dobro ogleda u premošćivanju tzv. 'digitalnog jaza' (*digital divide*) odnosno razlika između sredina koje imaju dobar pristup informacijskim i komunikacijskim tehnologijama i onih koje to nemaju.

Mobilne pristupne tehnologije mogu nadmašiti tehnologije s fiksnom vezom u regijama sa slabijom fiksnom telekomunikacijskom infrastrukturom. Ulaganjima u telekomunikacijsku infrastrukturu proširuju se granice tržišta i tijeka informacija, a potiču se i ulaganja u druge sektore.

Ulaganje u veći broj televizijskih kanala donosi manju izravnu gospodarsku korist.



Slika 4.1. Ukupna neto sadašnja vrijednost (NPV, *Net Present Value*) u ovisnosti o raspodjeli dosadašnjega UHF radiodifuzijskog pojasa na pojas za televiziju i pojas za mobilne komunikacije

Analiza ukupne vrijednosti koju stvaraju radiodifuzija (televizija) i mobilne mreže u UHF radiodifuzijskom pojasu pokazuje da je, glede tog aspekta, optimalno za mobilne usluge prenamijeniti 20–30% dosadašnjega radiodifuzijskoga UHF pojasa. Zaključak WRC o prenamjeni 72 MHz tog pojasa za potrebe mobilnih mreža vrlo je blizu vrijednosti kojom se stvara najveća dodatna vrijednost u europskom gospodarstvu kao cjelini. Neke procjene ukazuju da bi ova prenamjena spektra svojim ukupnim učinkom mogla povećati

godišnji porast BDP-a europskog gospodarstva za oko 0,6% do 2020. godine. Povećanje stupnja raširenosti širokopojsnog pristupa za 1% utječe na porast zaposlenosti za oko 0,2 do 0,3% godišnje.

Radiodifuzija, odnosno u ovom konkretnom slučaju televizija, ima značajni socijalni i javni učinak kojeg je teško kvantificirati. Analiza osjetljivosti po tom pitanju vrlo malo mijenja zaključke o najprikladnijoj raspodjeli UHF spektra između televizije i mobilnih mreža.

4.2. Načela ulaganja – rizik i dobit

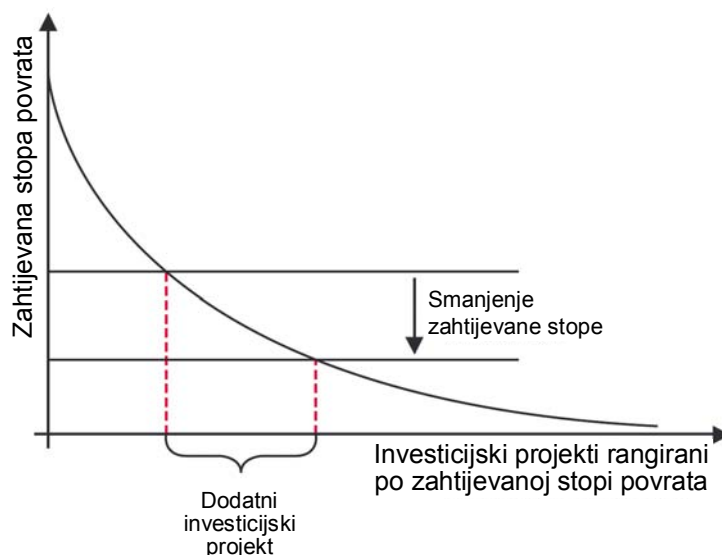
Tržišno se gospodarstvo oslanja na izgledne dobiti kako bi privuklo ulagače. Potencijal za stjecanjem visokih dobiti potiče ulaganje i operativnu učinkovitost. On također podupire inovacije i poboljšanje kvalitete usluge. Poslovno okruženje s malim rizikom privlači više davatelja usluga i ulagača. Zbog konkurencije korisnici dobivaju niže cijene pa su i dobiti manje. Ulagači će, međutim, oklijevati s ulaskom u zemlje s visokim političkim rizikom ili ako je telekomunikacijski sektor rizičan osim ako ne očekuju visoke prinose koji bi kompenzirali moguća velika kolebanja dobiti. Ta će situacija rezultirati višim cijenama dobara i usluga. Nastali povećani povrat ulaganja naziva se 'premijom rizika'.

Financijska teorija prepoznaje dvije vrste rizika: sustavni rizik i svojstveni rizik.

- *Sustavni rizik* povezan je s općim svojstvom gospodarstva da prolazi cikluse npr. Taj se rizik ne može diversificirati pomoću portfelja ulaganja. Postoji posebni pokazatelj osjetljivosti kompanije na takve promjene u gospodarstvu. On se određuje kao statistička mjera uspješnosti kompanije u odnosu na prosjek tržišta. Kompanije koje su osjetljivije od prosjeka obilježava viša cijena kapitala zbog manje vjerojatnosti njegova povrata. Ulagači kao uvjet za ulaganje tad traže dodatni prihod u odnosu na onaj koji očekuju kad nema tog rizika. Potrebna ulaganja osiguravaju se obično kombinacijom zaduživanja i izdavanja dionica. Zahtijevani povrat za obje vrste ulagača, a koji uključuje kamate kreditoru i nadoknadu ulagaču koji ulazi u sustavni rizik, naziva se 'ponderirani prosječni trošak kapitala'.
- *Svojstveni rizik* odnosi se na rizik svojstven nekom gospodarskom sektoru. Ti rizici pogađaju neke dijelove poslovnog plana tj. neke stavke troškova i prihoda. To su stavke u kojima se nalazi tehnološki rizik, rizik od toga kako će korisnici reagirati na nove proizvode, udio na tržištu, vrijeme potrebno da kompanija počne stvarati povrat sredstava te razina kapitala i operativni troškovi.

Dodavanjem premije, zbog rizika, na ponderiranu prosječnu vrijednost kapitala dolazi se do 'zahtijevane stope povrata' kapitala. U slučajevima većeg rizika viši su zahtjevi na povrat kapitala odnosno traži se kraće vrijeme do povrata ulaganja. Tad se kompanije odlučuju za opremu s kojom će maksimirati dobit na kratki rok (npr. na 2 – 4 godine) umjesto tehnologije koja je optimalna kad se računa s ulozima na duži period (npr. na 10 – 12 godina).

Postoji obično velik broj mogućnosti ulaganja u neku kompaniju. Svako od tih ulaganja ima svoj očekivani povrat uloga. Zahtijevana stopa povrata ulaganja predstavlja minimalnu graničnu vrijednost ispod koje ulaganje ne bi bilo održivo. Smanjenje zahtijevane stope povrata ulaganja, koje je posljedica stabilne okoline, otvara nova održiva ulaganja i to doprinosi rastu gospodarskog sektora i koristi potrošača.



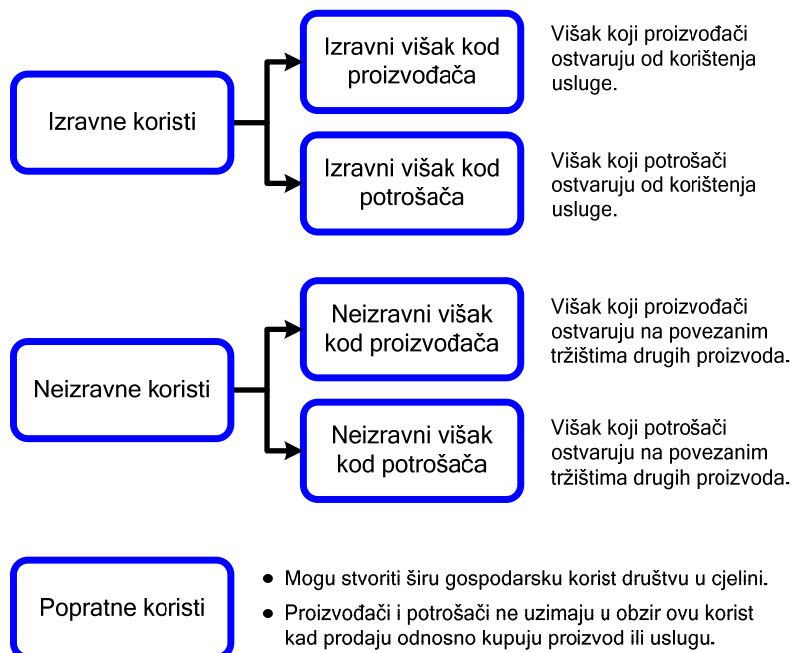
Slika 4.2. Rizici i projekti ulaganja

Nesigurnost utječe i na vremenske odrednice ulaganja. Teorija financija pokazuje da ulaganje može biti odgođeno kad je suočeno s nesigurnošću. Primjenom načela 'čekanja i promatranja' mogu se razbistriti okolnosti pa se i rizik ulaganja može smanjiti. Ovo pravilo vrijedi i u situacijama kad onaj, koji prvi uđe na tržište, stiče neke pogodnosti. Kako bi se novi proizvodi ili usluge stavili na tržište u pravo vrijeme važno je prepoznati odnos između nesigurnosti i pravovremenog ulaganja.

Operator mobilne mreže mora u konačnici svojim prihodima pokriti svoje troškove. Svako smanjenje troškova može se onda preliti u niže cijene za korisnike usluga. Time se potiče povećanje penetracije mobilnih korisnika kao i obujma korištenja usluga.

4.3. Analiza troškova i koristi

Analiza troškova i koristi ustanovljuje gospodarski učinak povećane potražnje za širokopojasnim mobilnim uslugama na europsko gospodarstvo. Ona uključuje i troškove raznih struktura mreže koje zadovoljavaju tu potražnju.



Slika 4.3. Procjenjivanje troškova i koristi

Troškovi i dobit dijele se na tri područja: izravne dobiti, neizravne dobiti i popratne dobiti.

- *Izravne koristi* nastaju od izravnog korištenja širokopojasnih mobilnih usluga. One se dijele na višak kojeg ostvaruju proizvođači i višak kojeg ostvaruju korisnici (potrošači). Proizvođački troškovi uključuju: troškove mreže, troškove spektra kao i troškove subvencioniranja korisnika s uređajima, a višak se ostvaruje iz prihoda od prijenosa podataka. U ovom slučaju pojam proizvođači uključuje: operatere mobilnih mreža, prodavatelje opreme kao i trgovce na malo koji konačnu robu prodaju izravno potrošaču. Davatelji širokopojasnih mobilnih usluga primarno ostvaruju dobit koja je rezultat smanjenja troškova mreže. Ovu dobit mogu zadržati operateri mreža odnosno njihovi dioničari ili se ona dijelom ili pak cijela može iskoristiti u snižavanje cijena radi veće kompetitivnosti. Potrošači ostvaruju korist od korištenja mobilnih usluga. Ona se izračunava kao razlika iznosa koje je potrošač spreman platiti za uslugu i iznosa koji on stvarno plaća.
- *Neizravne koristi* nastaju od neizravnog utjecaja tržišta mobilnih usluga na tržišta drugih proizvoda čime se mogu još pove-

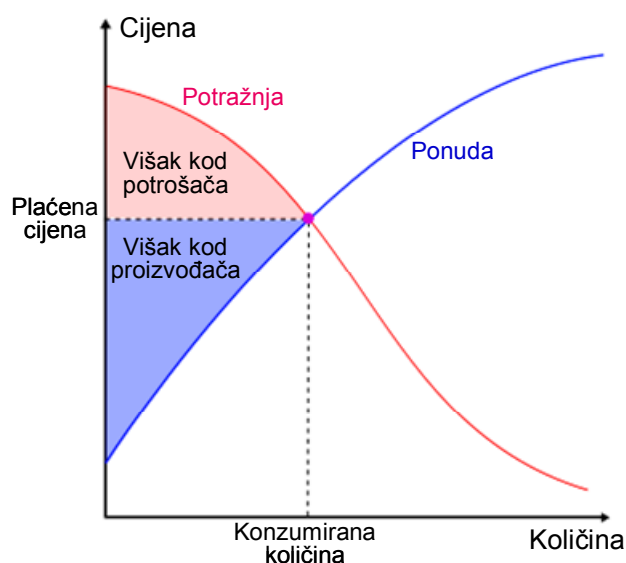
ćati koristi potrošača i proizvođača. Dodatni prihodi od širokopojasnih mobilnih usluga mogu nastati npr. od oglašavanja.

- *Popratne koristi* predstavljaju šire gospodarske koristi društvu kao cjelini, a koje ne uzimaju u obzir potrošač ili proizvođač kad kupuju odnosno prodaju proizvod ili uslugu.

Procjenom gospodarske koristi projekta određuje se, za društvo, stečena korist i troškovi od korištenja konačnih dobara. Procjena gospodarske koristi za društvo od postavljanja novih mobilnih širokopojasnih mreža u UHF pojasu zahtijeva određivanje troškova i koristi od uporabe:

1. novih širokopojasnih mobilnih usluga,
2. drugih krajnjih proizvoda i usluga koje su bile pod izravnim ili neizravnim utjecajem mobilne mreže.

Ova analiza neće uključivati samo nove usluge, koje pruža mobilna mreža (pregledavanje podataka, učitavanje podataka, strujanje podataka) i odgovarajuće opreme za korištenje novih usluga (ručni terminal, podatkovna kartica za računalo i sl.) nego i proizvode odnosno usluge čija potrošnja odnosno korištenje raste zbog postojanja novih mobilnih usluga. Neto gospodarska korist društvu je dodatna korist nastala od uporabe UHF pojasa (uz druga područja frekvencija) za širokopojasne mobilne mreže.



Slika 4.4. Dijagram ponude i potražnje i višak koji nastaje kod proizvođača odnosno potrošača, ukupno zasjenjeno područje predstavlja gospodarsku korist

Izravni višak kod proizvođača odgovara razlici prihoda od prodaje proizvoda i usluga potrošačima i troškova proizvodnje odnosno pružanja usluga. U poslovnim sektorima širokopojasnih mobilnih usluga operatori mreža su glavni proizvođači. Oni ostvaruju prihod od pretplate ili naknade za spajanje i od količine prenesenih poda-

taka. Operatori mobilnih mreža mogu stjecati prihod i od oglašavanja. Taj prihod nije izravni rezultat korištenja njihovih usluga ili sadržaja njihovih usluga pa se oni ne smatraju izravnom koristi za operatore. Operatoru troškovi nastaju u mreži, sadržaju, od marketinga i subvencije za uređaje. Postoje i drugi proizvođači, uz operatore mreža, koji su angažirani u ponudu širokopojsnih mobilnih usluga kao npr. prodavatelji ručnih terminala i trgovci na malo, a koji će profitirati od prodaje uređaja izravno korisnicima.

Ukupna gospodarska korist, kao i njezine promjene, procjenjuju se na temelju promjena koristi od proizvodnje i uporabe krajnjeg dobra (slika 4.4).

Višak kod potrošača (korisnika) odgovara razlici vrijednosti koju korisnici daju korištenju proizvoda ili usluge i troškova njezina korištenja. Za potrebe ove studije izravni višak kod korisnika u vezi je s korištenjem širokopojsnih mobilnih usluga u novododijeljenom UHF potpojasu. Vrijednost, koju korisnici daju uslugama, uključuje:

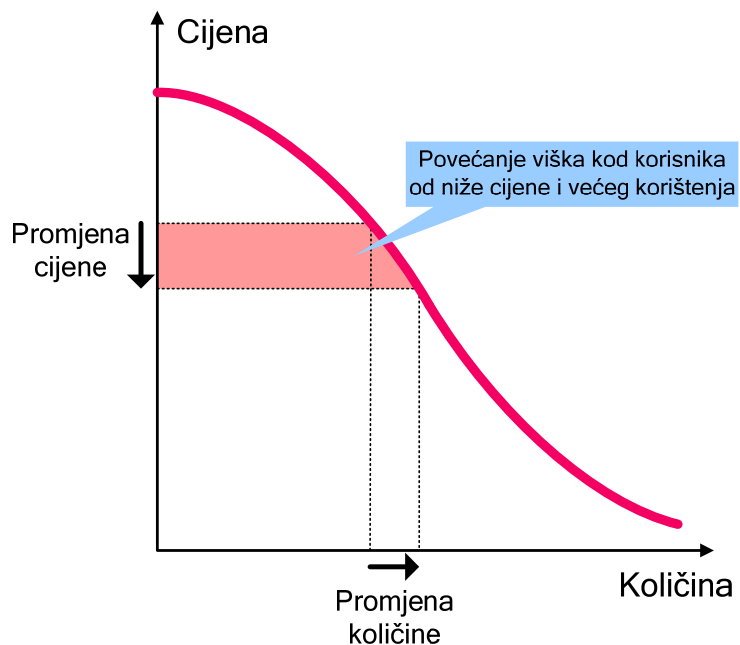
- nove usluge – pristup većem broju širokopojsnih mobilnih usluga u odnosu na sadašnje širokopojsne fiksne usluge,
- veću brzinu i točnost pristupa sadašnjima, a i novim uslugama, zbog pridodanoga novog spektra za mrežu,
- bolju kvalitetu sadašnjih usluga, uvođenje poboljšanih usluga kao i viša kvaliteta usluge,
- pristup postojećim uslugama koje ranije neki korisnici nisu mogli koristiti.

Smanjenje troškova mreže i ostale uštede operatori prenose korisnicima u obliku nižih cijena. Povoljnije cijene usluga povećavaju obujam njihova korištenja što rezultira viškom kod korisnika za svaki dodatno korišteni MB.

Nagib krivulje potražnje na slici 4.5. pokazuje tzv. elastičnost cijene, tj. koliko promjena cijene utječe na kvantitativno povećanje potražnje. Očekivano smanjenje troškova izgradnje i održavanja mreže u UHF području digitalne dividende izazvat će povećanje viška kod korisnika širokopojsnih mobilnih usluga. Taj višak sastoji se od korištenja dosadašnjih usluga po novim nižim cijenama te novim oblicima korištenja koji su postali svrsishodni zbog nižih cijena.

Potencijalna unaprjeđenja širokopojsne mobilne usluge, nastala bilo kao rezultat poboljšanja kvalitete usluge, u odnosu na one u drugima frekvencijskim područjima, ili kao unaprjeđenje kvalitete primjene usluge, kao rezultat šireg prihvaćanja širokopojsnih mobilnih usluga pa i većeg opsega razvoja aplikacija, pomaknula bi krivulju potražnje u desno prema većim količinama zbog povećane spremnosti za plaćanje. Prvi od spomenutih razloga smatraju dominantnim stručnjaci koji rade na razvoju mobilne tehnologije. Oni

smatraju da radiodifuzijski UHF pojas ima inherentnu prednost u kvaliteti za pružanje širokopoljasnih mobilnih usluga. Drugi se razlog podudara s razvojem širokopoljasnih aplikacija koje su eksponencijalno rasle i dosegnule već kritičnu masu na razvijenim tržištima.



Slika 4.5. Korisnik povećava svoj višak uslijed sniženja cijene i povećanja opsega korištenja usluga

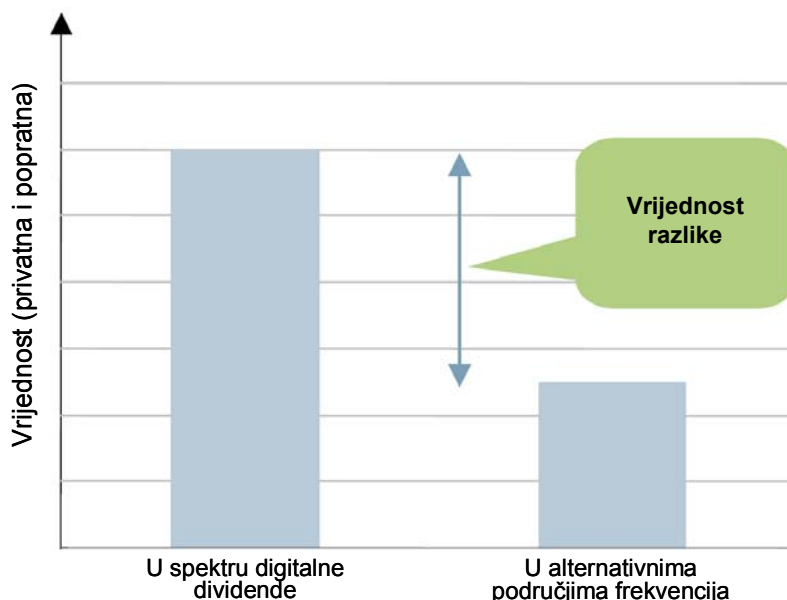
Neke dodatne prihode operateri ostvaruju od oglašavanja, a ne od pretplatnika. Prihodi od oglašavanja, međutim, ne predstavljaju gospodarsku dobit, već je to tijek novca prema ili od oglašivača ovisno o njegovoj marketinškoj strategiji. Ono rezultira povećanom prodajom i koristi na drugima paralelnim tržištima. Prihod od oglašavanja predstavlja minimalni višak koji, od povećane prodaje, očekuje proizvođač na drugom tržištu (npr. oglašivač). Očekuje se da će, zbog povećanja opsega korištenja mobilnih usluga, oglašivači naći razloga da ulažu više novca u oglašavanje putem novih mreža i usluga. Dio tih prihoda doći će iz drugih medija pa zato neće doprinositi dodatnoj koristi za društvo. Korisnici također ostvaruju višak od potrošnje na paralelnim tržištima.

Viškovi potrošača i proizvođača predstavljaju izravnu ili neizravnu gospodarsku korist za korisnika i prodavatelja usluge. Oni ne trebaju predstavljati značenje koju društvo postavlja na korištenje ovih usluga. Popratne dobiti imaju širu društvenu vrijednost, koja izlazi iz koristi usluga za građane, a ne samo potrošače. One predstavljaju doprinos koji usluge daju društvu, a ne pojedincima, a uključuju i izvore vrijednosti izvan društvenih okvira (npr. u pogledu okoliša, smetnji ...).

Kad su širokopojasne mobilne mreže odnosno usluge u pitanju onda koristi društvu nastaju od: povećane mobilnosti i produktivnost zaposlenika, stvaranja radnih mjesta, podupiranja povezane industrije što je na korist stanovništvu i društvu u cjelini. Pobjoljšanja širokopojasnog pristupa u ruralnim područjima i povećana kompetitivnost glede širokopojasnog pristupa također su primjeri koji su potencijalno relevantni za proširenje širokopojasnih mobilnih usluga. U negativne učinke može se ubrojiti smetnje koje se mogu stvarati drugim korisnicima spektra.

4.4. Gospodarska vrijednost UHF potpojasa

Kvaliteta UHF potpojasa za pružanje širokopojasnih mobilnih usluga procjenjuje se određivanjem razlike prema pružanju tih usluga u drugim pojasima frekvencija. Potrebno je utvrditi samo vrijednosti koje su posljedica uporabe UHF potpojasa.



Slika 4.6. Kvaliteta UHF potpojasa

Predmetom rasprave može biti tvrdnja da će vrsta pružane usluge biti ista bez obzira na korišteni radiofrekvencijski spektar i da nema neke dodatne koristi od korištenja UHF potpojasa. To je djelomično i točno. Činjenica je međutim da postoji razlika u veličini viška kod potrošača i proizvođača kad se uspoređuju scenariji postavljanja mreže u UHF potpojasu i na nekima višim frekvencijama tj. postoje dodatne koristi kao odraz povećanog korištenja usluga od strane potrošača. Realno je onda očekivati puni popratni učinak tih dodatnih koristi. Kad bi se, u cilju usporedbe, proračun radio samo za širokopojasnu mobilnu mrežu u UHF potpojasu pokazali bi se povećani viškovi kod proizvođača i potrošača pa zato i povećana popratna korist. Razlika ili dodana vrijednost, koju daju širokopo-

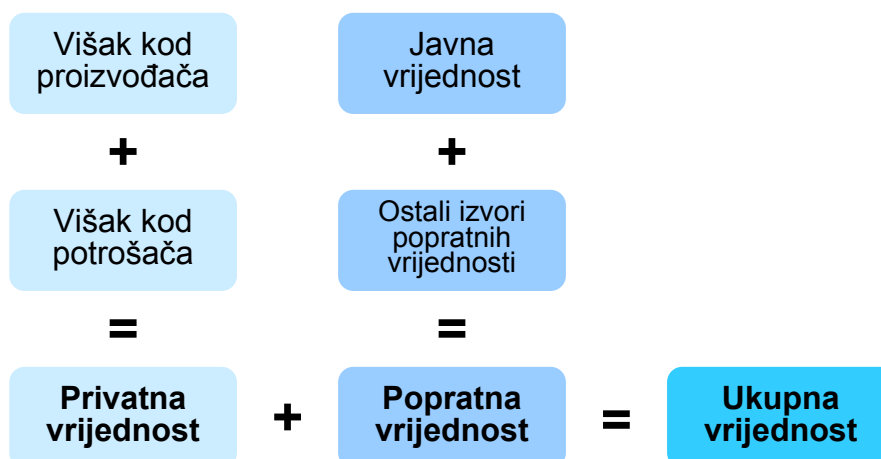
jasne mobilne mreže u području od 800 MHz, u najvećoj je mjeri prisutna u dopuni nedostajućih kapaciteta prijenosa u mrežama na 900 MHz posebice dok se još koristi GSM tehnologija.

Troškovi korištenja spektra sastoje se od dvije komponente:

- troškova sudjelovanja na nadmetanju za dobivanje koncesije na određenome frekvencijskom bloku i,
- trajnih troškova korištenja koncesije.

Kad se troškovi nadmetanja za koncesiju uključe u proračun to nema utjecaja na visinu viška proizvođača, već se samo dio tog viška prebacuje državnoj administraciji odnosno vladi.

Gledajući na duži rok UHF potpojas mogao bi poslužiti za postizanje daljnjih ušteda. Kad bi operatori nadomjestili svoje mreže na 2,1 GHz ili na 2,6 GHz (novo područje za mobilne mreže) mrežom na 800 MHz oni bi mogli uštedjeti na troškovima rada mreže ponajprije zbog potrebe za manjim brojem UHF baznih postaja za ostvarenje zahtijevanog pokrivanja teritorija.



Slika 4.7. Određivanje ukupne vrijednosti digitalne dividende u UHF potpojasu

U UHF potpojasu mreža može dati novu kvalitetu širokopojasnome mobilnom pristupu. Kvalitetu podatkovnih usluga znatno je teže kvantitativno odrediti od kvalitete govornih usluga. Kvaliteta prijenosa podataka izravno ovisi o: kvaliteti prijamnog signala na određenim područjima, otpornosti usluge i višim prosječnim brzinama prijenosa.

5. Strategijske teme za Hrvatsku

5.1. Zadaci plana korištenja frekvencijskog pojasa digitalne dividende i pojasa ranije NMT tehnologije

Završni Plan korištenja frekvencijskog pojasa digitalne dividende u Hrvatskoj treba dati odgovor o namjeni frekvencija u cijelome ili dijelovima pojasa VHF I, VHF III i UHF IV/V, a koji nisu potrebni za digitalno odašiljanje televizije u obujmu u kojem se odašiljala televizija analognom tehnologijom. Glavne potencijalne korisnike frekvencijskog spektra iz pojasa digitalne dividende utvrdila je Strategija prelaska s analognog na digitalno emitiranje televizijskih programa u Republici Hrvatskoj, a što je prikazano u odjeljku 3.4.

Sve ove primjene sasvim sigurno neće sudjelovati s jednakom težinom u raspodjeli spektra digitalne dividende. Zato treba:

- donijeti odluku o nacionalnim prioritetima u korištenju nastalih povećanih komunikacijskih kapaciteta,
- pokušati procijeniti traženja spektra i mogućnosti ispunjenja tih zahtjeva ili drugim riječima procijeniti hoće li potražnja za spektrom nadmašivati ponudu.

U izradi plana treba krenuti od temeljnog polazišta da će se on u Hrvatskoj izraditi u okvirima koje određuje završni sporazum GE-06 i zaključci WRC-07. Hrvatska nema formalnu obvezu usklađivanja uporabe spektra u okvirima plana GE-06, a koji se ne koristi za radiodifuzijske svrhe, sve dok te uporabe ne stvaraju smetnje u susjednim zemljama iznad razine određene planom GE-06.

Sasvim je jasno da Hrvatska mora usko surađivati sa susjednim zemljama u cilju usklađivanja uporabe frekvencija za te svrhe radi postizanja ujednačenosti uporabe frekvencija na što većem teritoriju u Europi. Na taj se način omogućuje građanima i operaterima korištenje svih pogodnosti ekonomije obujma, jer za odgovarajuće uređaje postoji veliko tržište.

Plan mora biti rezultat dobrog balansa između komercijalnih i javnih potreba kako bi se maksimirala društvena korist uporabe

radija. U cilju poboljšanja hrvatske kompetitivnosti dostatni spektar se namjenjuje korisnicima koji mogu ostvariti najveću gospodarsku vrijednost iz učinkovite uporabe tog spektra u dopuštenima spektralnim okvirima i tehnološkim mogućnostima.

Iskustva nekih zemalja pokazuju da je teško odrediti točnu vrijednost neke uporabe spektra ili digitalne dividende u cjelini. Jako je neizvjesno kako će korisnici prihvatiti usluge koje su produkt tehnološkog razvoja i koliko su spremni platiti za njih.

Razumno je postaviti pitanje o svrsishodnosti rezervacije velikog obujma spektra za zemaljsku televiziju na podlozi nepoznatih sklonosti korisnika i za nešto čega već ima u izobilju. Ovo pitanje ima posebice veliki značaj u zemljama u kojima je mala zastupljenost platforme zemaljske mreže kao prijamne platforme za televiziju. Nadalje pitanje je dali će količina ponude ići u korak s kvalitetom, a ako ne što ćemo sa spektrom namijenjenim u te svrhe.

Za pomoćne svrhe u proizvodnji TV programa (SAB/SAP, PMSE) treba i dalje osigurati potrebni spektar kao i do sad. Ta potreba ne bi trebala utjecati na određivanje namjene spektra s obzirom na male potrebe tih službi. One i dalje mogu koristiti spektar na dijeljenoj osnovi (*interleaved spectrum*) zbog vrlo ograničenoga zemljopisnog područja primjene.

Strategijsko je pitanje koliko spektra, iz tradicionalno radiodifuzijskog područja, prenamijeniti u druge svrhe. Sukladno usvojenim stajalištima u dodjeli se koristi tržišni pristup i načelo neovisnosti o tehnologijama i uslugama. Glavnina oslobođenog spektra namijenila bi se za odašiljanje televizije, a u pogledu preostalog spektra javljaju dva mišljenja:

- cijeli oslobođeni spektar (digitalnu dividendu) namijeniti za televiziju,
- dio oslobođenog spektra namijeniti za televiziju, a dio za druge perspektivne svrhe.

U studijama, koje su izradile razne konzultantske tvrtke, analizira se i radikalno rješenje po kojem bi se cijela digitalna dividenda prenamijenila u neradiodifuzijske svrhe.

Nije nam poznato da li je izražena potreba za dodatnim kapacitetima, a time i spektrom, za potrebe javnih sigurnosnih i spasilačkih službi uz one predviđene u pojasu od 380 – 400 MHz ponajprije u okviru tehnologije TETRA. Mišljenja smo da u pojasu 470 – 862 MHz za sad nema potrebe za spektrom koji bi bio namijenjen tim službama.

Uvođenje širokopojasnih mobilnih usluga u dijelu UHF pojasa koji je predmetom zanimanja donosi značajnu dodatnu vrijednost:

- povoljne osobine propagacije elektromagnetskih valova smanjuju troškove infrastrukture kako za operatore koji već djeluju na tržištu tako i za one koji namjeravaju ući na to tržište,

- stupanj postignute usklađenosti u Europi glede upotrijebljenog dijela UHF spektra utječe na troškove postavljanje mreže,
- stupanj potražnje za novima mobilnim širokopojasnim uslugama koja je od umjerene u urbanim sredinama do velike u nacionalnim razmjerima.

Ostaje otvorenom dilema treba li ovaj dio UHF spektra koristiti samo za pokrivanje ruralnih područja, u kojima pokazuje nesumnjive prednosti u odnosu na druge frekvencije, ili uz ruralna pokrivati i urbana područja. Zahtjevi za spektrom iskazani su u Europi u obujmu od 10 MHz do 50 MHz po operatoru. Moguća širina oslobođenog pojasa i davanje prednosti uparenim blokovima frekvencija predstavljaju najveći ograničavajući faktor u donošenju ove odluke.

Hrvatska, kao buduća članica Europske unije, mora u potpunosti prihvatiti pravila koja se predviđaju uvesti u većini zemalja Europske unije. To je razlogom da će se u ovom poglavlju pretpostaviti prihvaćanje smjernica Europske komisije i CEPT-a glede namjene spektra i njegove organizacije.

Glede plana namjene frekvencija ranije analogne NMT mreže najmanje je otvorenih pitanja, jer se Hrvatska po tom pitanju mora uskladiti s većinom Europskih zemalja i te frekvencije namijeniti za PMR/PAMR mreže u trenutno raspoloživoj TETRA tehnologiji. Može se razmišljati i o ograničeno širokopojasnim mrežama kao i u zemljama našeg okruženja (Slovenija).

5.2. Potrebni spektar frekvencija za digitalno odašiljanje televizije u fiksnome i mobilnom prijemu

U Hrvatskoj je značajna zastupljenost mreže zemaljskih odašiljača kao glavne platforme u prijemu televizijskog signala. Ne treba, međutim, izgubiti iz vida činjenicu o velikom rastu uporabe IP platforme (IPTV) u zadnjih godinu dana.

Kako se sad u Hrvatskoj odašilje samo četiri TV programa na nacionalnoj razini, a za što je dovoljan jedan multipleks, svi ostali multipleksi, dodijeljeni po GE-06, predstavljaju digitalnu dividendu. Sigurno je da postoje potrebe za osiguravanjem mogućnosti odašiljanja dodatnih televizijskih signala, a koji se nisu odašiljali u analognoj tehnologiji. U to su uključeni programi: televizije standardne (SD) i visoke kvalitete (HD) kao i programi za mobilni prijam.

Mišljenja smo da se Hrvatska može uklopiti u europske smjernice raspodjele UHF radiodifuzijskog područja po kojem bi se za potrebe televizije zadržao pojas od 470 – 790 MHz. Prema podacima iz odjeljka 2.2. izlazi da bi se bez ikakvih intervencija u dio plana GE-

06, koji se odnosi na Hrvatsku, moglo koristiti 5 multipleksa na nacionalnoj razini. Šesti je multipleks vrlo izvjestan, jer za njega su predviđene frekvencije iznad 790 MHz, samo u tri digitalne regije i to u D2 (središnja i zapadna Slavonija), D3 (sjeverozapadna Hrvatska) i D7 (Zadarska i Šibensko-kninska županija). Uvjereni smo da bi se preradom plana GE-06 moglo naći rješenje i za te regije.

Sa šest multipleksa u Hrvatskoj bi se moglo odašiljati 30 SD programa na nacionalnoj razini ili odgovarajuća kombinacija SD, HD i DVB-H programa. Mišljenja smo da su to sasvim sigurno dovoljni kapaciteti ne samo za sadašnjost nego i za budućnost. Uz ovaj kapacitet odašiljanja u UHF-u treba dodati i šest područja u Hrvatskoj (zapadna Istra, Rijeka, Zadar, Šibenik, Split i Zagreb) kojima ostaju mogućnosti odašiljanja dodatnih multipleksa za regionalno i lokalno pokrivanje.

Glede problematike televizije za prijam u mobilnim uvjetima (DVB-H) pokazuje se da je ona komercijalno uvedena u malo zemalja, a negdje samo djelomično (Austrija, Finska, Italija, Nizozemska, Njemačka). Za te je svrhe korišten jedan multipleks iz dijela namijenjenog za DVB-T po planu GE-06.

Situacija u Hrvatskoj je takva da se ne može procijeniti obujam zanimanja za pružanje usluga odašiljanja televizije za prijam na mobilnima ručnim uređajima. Poznato nam je da je bilo eksperimenata na tom polju i u Hrvatskoj. S obzirom na to kao i činjenicu da se preko jednog multipleksa može ponuditi veliki broj DVB-H programa ne smatramo svrsishodnim cijeli multipleks namijeniti za DVB-H. Operatorima multipleksa olakšao bi se položaj na tržištu kad bi u okviru jednog multipleksa mogli nuditi i DVB-T i DVB-H i to na fleksibilnoj osnovi, a u svakom slučaju na nacionalnoj razini. I u Europi prevladavaju mišljenja da se to područje ne treba jako normirati.

Gledajući rješenja drugih zemalja glede VHF pojaseva u ovom trenutku ne vidimo neko zanimanje za VHF I pojas (47 – 68 MHz) niti vidimo njegovu namjenu u Hrvatskoj. Možda bi mogao biti zanimljiv oružanim snagama kako se to pokazuje u Švedskoj.

Hrvatska sad nema potrebe koristiti VHF III pojas za odašiljanje televizije iako joj je odobren jedan multipleks u tom području frekvencija. Možda će se u budućnosti ovaj pojas pokazati vrijednim za digitalnu radiodifuziju zvuka po tehnologiji T-DAB ili nekoj drugoj. Iskustva drugih zemalja pokazuju da je vrlo dvojbjen uspjeh digitalnog radija i u tom pogledu treba vidjeti u kojem smjeru će ići zanimanje slušateljstva. Čini nam se da je većina slušatelja zadovoljna onim što im pružaju emisije u VHF II pojasu u analognoj FM tehnologiji i ne osjećaju potrebu za nečim drugim.

5.3. Prenamjena pojasa od 790 – 862 MHz za potrebe pružanja širokopojasnih usluga

Politički i gospodarski zamah u prilog usvajanja potpojasa od 790 – 862 MHz je takav da niti jedna druga konfiguracija frekvencija ne izgleda poželjnom. Analize pokazuju potencijalno veliku gospodarsku vrijednost u usvajanju ovog potpojasa kroz ekonomiju obujma, roaming i sigurnost za proizvođače. Ostvarenje te koristi ovisi o kritičnoj masi zemalja koje će se odlučiti za takav potpojas. Izgledno je da će se preferirati tehnologije HSDPA/HSUPA ili LTE, a očekivane koristi moći će se postići samo ako zemlje članice EU i neke druge prihvate jednaki plan dodjele uparenih frekvencijskih blokova. Veća širina potpojasa za prenamjenu nije ostvariva, barem ne u kratkom roku, jer bi mnoge zemlje morale značajno mijenjati frekvencijske planove za odašiljanje digitalne televizije. U struktura Europske unije čvrsto je opredjeljenje za prenamjenu ovog potpojasa za širokopojasne pristupne svrhe i prisutna su razmišljanja kako natjerati sve zemlje članice da oslobode taj pojas od televizije i do koje mjere ograničiti uporabu tog potpojasa s obzirom na usluge koje se pružaju kao i u pogledu korištene tehnologije radi harmonizacije uporabe u cilju iskorištavanja ekonomije obujma. Nadalje, postavlja se pitanje vremenskih odrednica za korištenje ovih mogućnosti.

Slijedeći odgovarajuće procese u većini zemalja Europske unije, a i preporuke Europske komisije Hrvatska bi trebala donijeti odluku da se pojas od 790 – 862 MHz, nakon prestanka analognog odašiljanja televizije, neće koristiti za digitalno odašiljanje televizije te ga prenamijeniti za pružanje širokopojasnih radijskih usluga. Time bi se Hrvatska i u tom dijelu spektra uskladila s većinom članica EU i mogla bi biti korisnikom svih pogodnosti harmoniziranog spektra za širokopojasni pristup. Sad je vrlo povoljan trenutak za donošenje takve odluke u Hrvatskoj. U izgradnji su mreže za odašiljanje dva multipleksa. U tim mrežama ne namjeravaju se koristiti kanali iznad 60. (tablica 2.4). Prvih pet multipleksa ne zadire u pojas koji se namjerava prenamijeniti pa nema potrebe za preinakom frekvencijskog plana za digitalno odašiljanje televizije odnosno nema nikakvih dodatnih troškova zbog potrebe za preinakom. U mrežama za odašiljanje daljnjih multipleksa, za koje su raspisani natječaji, može se primijeniti isto načelo.

Glede plana korištenja namjenski preinačenoga UHF potpojasa mišljenja smo da se treba odlučiti za FDD tehnologiju i u pojasu odrediti uparene blokove frekvencija prema zajedničkom planu CEPT-a (pojas 791 – 821 MHz uparen s pojasom 832 – 862 MHz). Imajući u vidu situaciju na telekomunikacijskom tržištu u Hrvatskoj mišljenja smo da bi u područje 800 MHz trebalo uvesti tri operatora, a što bi osiguralo zdravu konkurenciju. U području bi se utvrdila po tri uparena bloka frekvencija širine po 10 MHz. Ovo nam se rješenje čini optimalnim, jer bi omogućilo korištenje već

raspoložive tehnologije HSDPA/HSUPA (zahtijeva 5 MHz po RF kanalu), a uklopilo bi se i u buduću LTE tehnologiju koja bi uz pojas širine 10 MHz mogla osigurati idealno 100 Mbit/s u silaznoj i 50 Mbit/s u uzlaznoj vezi. Ovim rješenjem u ovom pojasu frekvencija ne bi bile u potpunosti iskorištene mogućnosti LTE tehnologije u pogledu ostvarive brzine. LTE daje maksimum u RF kanalu širine 20 MHz, a što se ne može dodijeliti u području 800 MHz. Kako se pojas od 800 MHz namjerava ponajprije koristiti za pokrivanje ruralnih područja s malom gustoćom stanovništva onda donekle smanjene performanse ne predstavljaju neki veći nedostatak.

Hrvatskoj se ostavlja puna sloboda u pogledu odabira načina dodjele koncesija za te frekvencije. Postupak bi se provodio u proceduri propisanoj zakonima Republike Hrvatske.

5.4. Mogućnosti korištenja oslobođenog pojasa frekvencija prije 2015. godine

U zaključcima više studija, koje su izrađene na traženje Europske komisije ili administracija pojedinih zemalja, prevladava mišljenje da postupke dodjele frekvencijskih blokova u pojasu 800 MHz treba završiti najkasnije do 2015. godine. Može se očekivati da neke zemlje neće uspjeti završiti postupak prijelaza na digitalno odašiljanje televizije prije tog roka. Takvih situacija ima i u Europskoj uniji. Poljska npr. planira prestati s analognim odašiljanjem tek 2015. godine. Nastavak analognog odašiljanja u nekoj zemlji onemogućuje uspostavu UHF potpojasa za mobilne komunikacije ne samo u toj zemlji nego i u njoj susjednim zemljama. Susjedne zemlje ne mogu onda koristiti kanale od 60 – 69 za ništa drugo osim za odašiljanje televizije putem digitalnih odašiljača velike snage.

Hrvatska se u pogledu mogućnosti korištenja oslobođenog UHF potpojasa nalazi u dosta nezgodnom položaju, jer nekoliko susjednih zemalja nisu članice EU i njih ne obvezuju smjernice i zaključci tijela EU. Ne očekuju se ograničenja u pogledu uspostave i korištenja tog potpojasa od susjednih zemalja koje su članice EU.

Sve tri susjedne zemlje, koje nisu članice EU, po svojim strategijama i akcijskim planovima namjeravaju prestati s analognim odašiljanjem do kraja 2012. godine (Srbija 4. travnja 2012.; Bosna i Hercegovina 1. prosinca 2011.; Crna Gora 31. prosinca 2012.). Jedino je Srbija, međutim, zaključila da kanale 61 – 69 neće koristiti u planiranju mreže za digitalno odašiljanje televizije, a u vremenu od 2012. do 2015. Srbija namjerava donijeti odluku kako iskoristiti taj potpojas. Temeljem tih činjenica može se očekivati da iz Srbije neće dolaziti smetnje kad se u Hrvatskoj bude koristio UHF potpojas za neradiodifuzijske svrhe. BiH je u svojim dokumentima prepoznala postojanje digitalne dividende, ali nije donijela

nikakve zaključke i načinju njezina korištenja. Slična je situacija u Crnoj Gori.

Kad se pogledaju aktivnosti u te tri susjedne zemlje nije nerealno očekivati da neke od njih neće uspjeti ostvariti DSO do rokova koje su naznačile u svojim razvojnim dokumentima. Takva kašnjenja, a posebice u BiH, mogla bi onemogućiti korištenje UHF potpojasa na gotovo cijelom teritoriju Hrvatske. Situacija u Crnoj Gori utječe samo na krajnji jug Hrvatske.

Hrvatska je u tom pogledu potpuno ovisna o stanju u susjednim zemljama te smatramo korisnim da predstavnici Hrvatske budu u stalnim kontaktima sa tijelima susjednih zemalja pri čemu ih valja poticati da ne planiraju odašiljanje televizije iznad 60. kanala i da što prije uspostave potpojas od 790 – 862 MHz za potrebe širokopojasnih mobilnih komunikacija.

Prema današnjoj situaciji, dakle krajem 2009. godine, ne postoje veliki izgledi da bi Hrvatska mogla koristiti UHF potpojas prije 2015. godine, a i taj krajnji rok je donekle neizvjestan. Aktivnosti u susjednim zemljama sljedeće godine mogu promijeniti ovu procjenu. Neovisno o tome, naše je mišljenje da Hrvatska treba nastaviti aktivnosti, bez obzira na naznačene probleme, i donijeti odluke o prenamjeni frekvencijskog potpojasa o kojem govorimo u rokovima predviđenima za članice EU. Postupak dodjele koncesija bi se onda proveo kad će biti izgledno da neće biti smetnji iz susjednih zemalja bilo od analognog ili od digitalnog odašiljanja televizije.

Zaključak

Digitalno odašiljanje televizije u Hrvatskoj u obujmu, u kojem se ona odašiljala analognom tehnologijom, zahtijevalo bi samo jedan multipleks. Taj bi multipleks bio dovoljan za odašiljanje sva četiri sad postojeća programa na nacionalnoj razini, a koji se odašilju u analognoj tehnologiji. On čak nebi bio potpuno iskorišten, jer putem jednog multipleksa u Hrvatskoj odašilje do pet televizijskih programa.

Primjena osnovne definicije digitalne dividende na situaciju u Hrvatskoj vodi do zaključka da je u svakoj digitalnoj regiji dovoljno koristiti samo jedan multipleks odnosno jedan RF kanal za odašiljanje. Cijelo preostalo UHF frekvencijsko područje za radiodifuziju predstavlja onda digitalnu dividendu. Tome treba dodati cjelokupne pojaseve VHF I i VHF III. Hrvatska je već započela koristiti frekvencije iz digitalne dividende uglavnom za proširenje obujma odašiljanja televizije. Odobrena je dozvola za odašiljanje drugog multipleksa (MUX B), a u tijeku su natječaji za daljnje multiplekse.

UHF frekvencijsko područje televizije predstavlja vrlo dobar kompromis između mogućnosti pokrivanja teritorija dovoljne veličine i ne prevelikih dimenzija antena koje koriste krajnji (korisnički) uređaji. Mreže novih mobilnih tehnologija smještaju se na sve više frekvencije usprkos nedostataka visokih frekvencija, sad je aktualno područje 2,6 GHz, jer na nižim frekvencijama nema slobodnog pojasa. Korištenje digitalne dividende u UHF pojasu, npr. na 800 MHz, pokazuje se možda čak i optimalnim rješenjem za izvedbu širokopojasnoga mobilnog pristupa posebice u ruralnim područjima.

Pridruživanje Hrvatske tendencijama u zemljama članicama Europske unije i donošenje odluke da će se pojas od 790 – 862 MHz namijeniti isključivo za širokopojasne mobilne mreže učinit će Hrvatsku dijelom suvremenoga telekomunikacijskog društva koje koristi sve pogodnosti novih tehnologija. Podjelu frekvencija predložimo napraviti prema preporuci CEPT-a tj. formirati dva uparena bloka, svaki širine 30 MHz, i preporučiti FDD način rada.

Imajući u vidu situaciju na tržištu mobilnih usluga predlažemo u taj pojas uvesti tri operatora, svakom od kojih bi se dodijelilo 2×10 MHz. Takva raspodjela omogućuje primjenu UMTS tehnologije, koja je već raspoloživa na 800 MHz (korištenje po dva uparena bloka od 5 MHz), a u budućnosti tehnologije LTE koja bi u pojasu od 10 MHz omogućavala dovoljne brzine prijenosa u ruralnim područjima.

Situacija u VHF III pojasu za sad još nije jasna u mnogim zemljama. Izgleda da Hrvatska nema potrebe koristiti dodijeljeni joj multipleks na tim frekvencijama. Tehnologije za odašiljanje audio programskih sadržaja nisu još istaknule tehnologiju koje bi se nametnula prevladavajućom. Mišljenja smo da treba pratiti događaje na tom polju i stjecati iskustva eksperimentalnim odašiljanjem programa u tehnologiji T-DAB ili nekoj drugoj koja će se nametnuti. Mišljenja smo da nije izgledno da će tržište prihvatiti neku tehnologiju za digitalni radio u skoroj budućnosti, tj. sve dok se odašiljanja u pojasu VHF II i odgovarajuća analogna FM tehnologija smatra sasvim zadovoljavajućom. Ovaj pojas sigurno nije primjeren za mobilne komunikacijske tehnologije zbog preniskih frekvencija.

Za VHF I pojas nema baš nekog zanimanja ni u drugima europskim zemljama i autori ove studije nemaju argumenata za iznošenje prijedloga o korištenju tog poja sa za potrebe radijskih komunikacija. Nalaženje rješenja za namjenu ovih frekvencija nije jako hitno s obzirom da će se analogno odašiljanje televizije na VHF frekvencijama zadržati dulje nego u UHF pojasu.

Rješenje za namjenu pojasa frekvencija, koje je ranije korišteno za analognu mobilnu mrežu po tehnologiji NMT, nameće se samo po sebi. Hrvatska se i u tom pogledu treba uskladiti sa zemljama članicama EU i zato taj pojas namijeniti za radijske mreže PMR/PAMR vrste sad po tehnologiji TETRA, koja je dostupna. Opravdano je razmotriti svrsishodnost namjene za ograničeno širokopojasne mreže, tehnologija CDMA450 npr. za što ima primjera u Europi.

Ovu studiju je izradila ekspertna skupina Zavoda za radiokomunikacije, Sveučilišta u Zagrebu Fakulteta elektrotehnike i računarstva.

U Zagrebu, 10. prosinca 2009. godine

Voditelj ekspertne skupine
Fakulteta elektrotehnike i računarstva



prof.dr.sc. Tomislav Kos

Odgovorna osoba
Fakulteta elektrotehnike i računarstva



prof.dr.sc. Borivoj Modlic