

EFIKASNO KORIŠĆENJE RADIOFREKVENCIJSKOG SPEKTRA - TRENDOVI RAZVOJA DIGITALNE TELEVIZIJE

Irina Reljin¹, Ana Gavrovska²

¹Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu

²Inovacioni centar Elektrotehničkog fakulteta, Univerzitet u Beogradu

Sadržaj: *U radu su prikazani savremeni načini upravljanja spektrom. Imajući u vidu da je spektar ograničen prirodnim resurs, posebno su istaknute tehnologije u projektovanju televizijskih mreža kojima se obezbeđuje efikasno iskorišćenje spektra.*

Ključne reči: *radiofrekvencijski spektar, digitalna televizija, digitalna dividenda.*

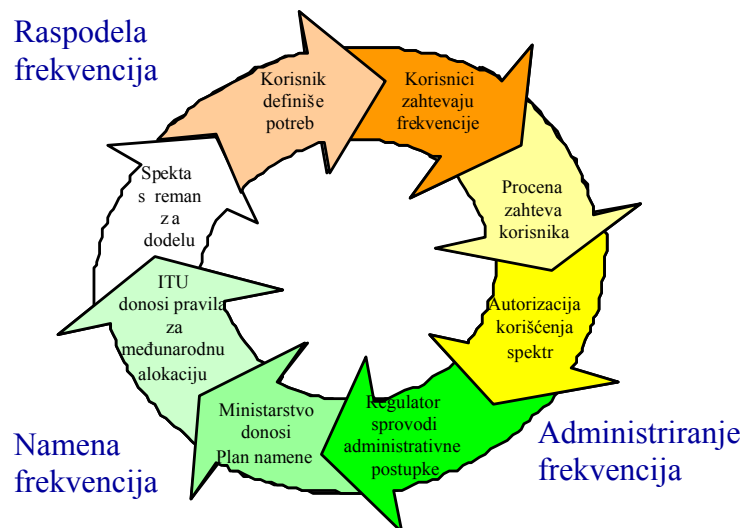
1. Uvod

Radio-frekvencijski spektar je ograničen prirodni resurs, koji je, radi dobrobiti svih građana, neophodno koristiti efikasno i na nediskriminatoran način. On se može koristiti u komercijalne svrhe, kao što su javni mobilni komunikacioni sistemi, prenos radijskih ili televizijskih signala, ali i za službe posebne namene, za prenos hitnih informacija slično. Osnovna uloga efikasnog upravljanja radio-frekvencijskim spektrom je da se maksimizira dobit koju celokupno društvo može da ostvari od korišćenja spektra. Primenom novih principa i metoda za planiranje i upravljanje, omogućava se uvođenje novih tehnologija koje imaju veću efikasnost korišćenja spektra, pa se time može obezbediti nediskriminatorno i tehnološki neutralno korišćenje ovog resursa od strane svih zainteresovanih.

U oblasti elektronskih komunikacija postoji nekoliko međunarodnih organizacija koje organizuju i upravljaju korišćenjem pojedinačnih frekvencijskih opsega. Njihov je zadatak da, pored ostalog, upotreba, odnosno namena, frekvencijskog spektra bude usaglašena u svetu, odnosno u okviru pojedinih regiona. Najznačajnija, i u hijerarhiji najvišeg nivoa, je *Međunarodna unija za telekomunikacije ITU (International Telecommunications Union)* osnovana 1865. godine.

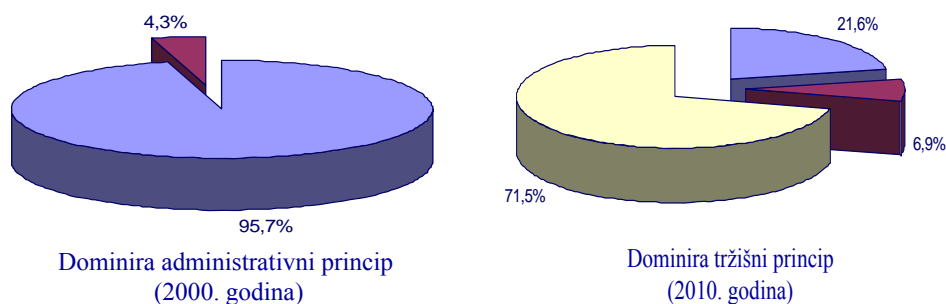
Napomenimo da u početku razvoja radiokomunikacija nije bilo pravila koja bi uredila korišćenje radiofrekvencijskog spektra. Tako se, već početkom dvadesetog veka, uočio niz problema koje je američka administracija opisala kao postojanje interferencija, trku u snazi i nefer odnos prema konkurenciji i najzad, kao kaos koji je za posledicu doveo do nedostatka spektra. Dakle, potrebe za regulacijom spektra su bile očigledne, što je prevashodno obavljala ITU. U cilju bržeg sagledavanja potreba evropskih administracija, osnovana je *Evropska konferencija administracija pošte i*

telekomunikacija CEPT (*Conference Européenne des Administration des Postes et des Telecommunications*). CEPT igra važnu ulogu u pripremi i usaglašavanju dokumenata koja su od vitalnog interesa za funkcionisanje sistema elektronskih komunikacija [1,2].



Slika 1. Magični krug upravljanja spektrom.

Način upravljanja radiofrekvencijskim spektrom je koordinisan od strane ITU, a u okviru svake od članica, za to je posebno zadužena regulatorna agencija za elektronske komunikacije. Administriranje spektra, procena zahteva i potreba korisnika, operatora mreža, su preduslov za pripremu Plana namene radifrekvencija, odnosno za iskazivanje potreba države koje bi se iznele u okviru ITU. Na osnovu Plana namene se donose pojedinačni planovi raspodele radiofrekvencija za potrebe različitih službi. Pored toga, nove tehnologije, a one su u poslednjih dve decenije postale česte u oblasti radiokomunikacija, unose nove zahteve. Najzad, ova oblast postaje sve dinamičnija i složenija i opisani procesi se nalaze unutar magičnog kruga upravljanja spektrom, slika 1.



Slika 2. Dodele spektra administrativnim i tržišno orijentisanim službama.

Upravljanje spektrom, pored poznavanja tehnologija i želja operatora, zahteva i poznavanje sofisticiranih metoda regulacije i dodele spektra [3]. Opšte prihvaćeni način dodele spektra je dugi niz godina bio *administrativnog tipa*, dodeljujući frekvencije korisnicima na bazi interesa celokupnog društva, potreba operatora, kao i trenutno raspoloživog opsega radio-frekvencija. Eksplozivni razvoj radiokomunikacija je doveo do toga da su neki frekvencijski opsezi mnogo interesantni za komercijalne operatore, te se nameće *tržišni princip dodele spektra*, u kome se korisnicima pruža znatno veća sloboda pri izboru tehnologije, slika 2. Tako se izdvaja kao **najpo eljniji onaj frekvencijski opseg** u kome su interferencije i slabljenja prihvatljivi, odnosno u kome je mrežu najlakše izgraditi (najmanjim ulaganjima), a u kome su antene (pre svega prijemne) prihvatljivih dimenzija. Tako je UHF (*Ultra High Frequency*) opseg nazvan *sweet spot* (slatka tačka), [3]. Izdvajanje posebno interesantnih opsega ostavlja prostor i za ne posebno atraktivne opsege u kojima se spektar može slobodno koristiti. Pri prelasku na nove tehnologije moguće je bolje iskorišćenje raspoloživog frekvencijskog opsega, dakle, omogućava se oslobađanje delova spektra, što je poznato kao *digitalna dividenda*. Digitalna dividenda se može ostvariti u svim radiokomunikacijskim sistemima i servisima.

U ovom radu su opisane trenutno najznačajnije promene u regulaciji spektra, odnosno efikasne tehnologije koje se koriste u savremenim radiokomunikacionim sistemima.

2. Regulacija radiofrekvencijskog spektra - izbor tehnologija

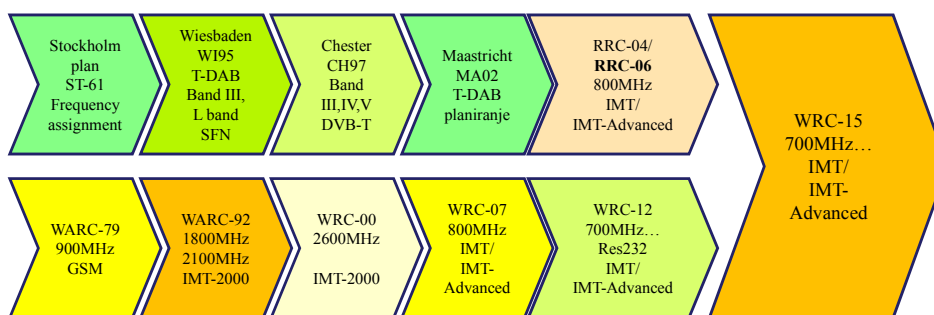
Radio-frekvencijski (RF) spektar je ograničen na opseg frekvencija od 9 kHz do 3000 GHz¹. Premda se radi o relativno širokom opsegu, mora se naglasiti da je i broj različitih službi koje ga koriste veliki. Usaglašavanje namene pojedinih delova vrši se na međunarodnom nivou, pri čemu se najvažnije odluke donose na različitim svetskim WRC (*World Radio Conference*) ili regionalnim RRC (*Regional Radio Conference*) konferencijama. S obzirom da se najveća trka za opsegom dešava na komercijalnom planu, kao i da su trenutno najviše suprotstavljani zahtevi radiodifuznih i javnih mobilnih službi, to je interesantno napraviti paralelu u odluka vezanih za ove servise, slika 3.

Regionalna radio konferencija ITU koja je održana u *Stockholm-u 1961.* godine donela je Plan korišćenja radiofrekvencijskog spektra kojim se omogućava analogno emitovanje televizijskog programa u VHF i UHF opsezima (III, IV i V opsezi). Njime je omogućeno postojanje tri nacionalne mreže za analogno emitovanje za svaku državu članicu. Cilj planiranja je bio jednaki pristup spektru svim učesnicima. U međuvremenu se pokazalo da se lokacije kojima su se dodeljivane frekvencije nisu poklapale sa stvarnim, kao i da je broj potrebnih lokacija za predajnike značajno narastao (povećao se i broj analognih televizijskih programa). Važno je istaći da da je *Stockholm*-ski plan dodeljivao frekvencije pojedinačnim predajnicima.

U vreme održavanja CEPT konferencije u *Wiesbaden-u 1995.* godine, bilo je mnogo više zahteva nego što je moglo da se obezbedi u III opsegu (VHF područje). Tada

¹ EU je usvojila novi Plan namene, ERC Report 25, koji frekvencije u opsegu 8.3kHz-9kHz koristi za meteorološke službe, čime se definicija radiofrekvencijskog opsega proširuje i na frekvencije ispod 9kHz.

se pokazalo da, čak i uz upotrebu računara, nije moguće vršiti dodelu pojedinačnim predajnicima i tako kontrolisati eventualne smetnje u čitavom regionu Evrope. Tada se razmatralo uvođenje digitalnog radija u DAB (*Digital Audio Broadcasting*) standardu. Problem se rešio postavljajući uslove u obrnutom redosledu od *Stockholm*-skog plana: prvo se definišu zone raspodele, a zatim unutar njih biraju predajnici koji mogu da rade zajedno kao jednofrekvencijska SFN (*Single Frequency Network*) mreža. Ovakav način predstavlja veliku promenu u pristupu projektovanju. Finalna akta konferencije u *Chester*-u 1997. godine, odnose se na uvođenje prve generacije digitalnih terestrijalnih televizijskih sistema, dakle u DVB-T (*Digital Video Broadcasting-Terrestrial*) standardu. Definitivno se pokazuje da je neophodno izvršiti preplaniranje *Stockholm* plana, što će se desiti na regionalnoj konferenciji u Ženevi 2006. godine.

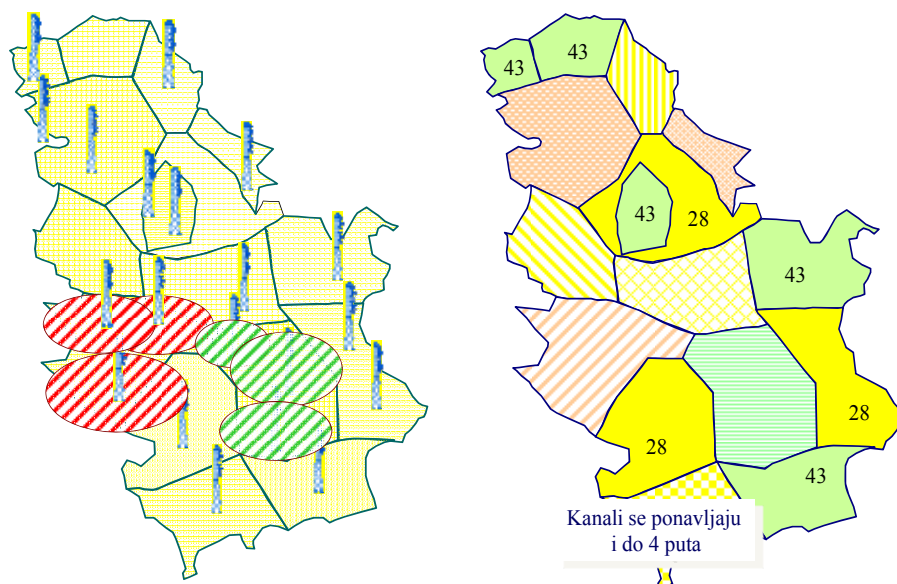


Slika 3. Istorija razvoja standarda koji definišu način korišćenja spektra u radiodifuziji i javnim mobilnim telekomunikacionim sistemima.

Potrebno je istaći da se najveća promena u pristupu frekvencijskom planiranju desila između *Stockholm* i *Wiesbaden* konferencija. U *Stockholm*-u se planiranje zasnivalo na *dodeli frekvencija pojedinačnim predajnicima*. Tada su se specificirali svi parametri vezani za emitovanje. ITU, kao međunarodna organizacija odgovorna za usaglašavanje korišćenja spektra, je zahtevala koordinaciju među administracijama pojedinih članica u slučaju bilo kakve izmene podataka. U *Wiesbaden*-u, međutim, *princip planiranja se zasniva na zonama (allotment-ima)* i uvodi ideju projektovanja jednofrekvencijskih mreža (SFN), slika 4. Revizija *Stockholm* plana na *Regionalnoj radiokonferenciji* u Ženevi (RRC06) dozvoljava oba metoda. Završna akta ove konferencije definišu zone raspodele u svakoj od administracija ITU Regiona 1 u kojima će se vršiti digitalni terestrijalni prenos televizijskih signala. Imajući u vidu da su neke države u Evropi počele svoju tranziciju na digitalno emitovanje pre 2006. godine, jasno je da su one tada uvodile multifrekvencijsko planiranje MFN (*Multi Frequency Network*). Posle 2006. godine, u želji da obezbede što više slobodnog spektra, države Regiona 1 gotovo isključivo primenjuju SFN planiranje.

Paralelno sa gore opisanim, održavaju se i konferencije čiji je cilj harmonizacija propisa koji se odnose na javne mobilne sisteme koji, šireći svoje servise, zahtevaju sve više slobodnog spektra. Prva *Konferencija svetskih radio administracija* na kojoj je razmatrano korišćenje opsega 900MHz za potrebe javnih mobilnih GSM (*Global Mobile System*) sistema WARC (*World Administrative Radio Conference*) održana je 1979. godine. Na konferenciji WARC 1992. godine ustanovljen je IMT-2000 opseg (*International Mobile Telecommunications*) na 1800MHz i 2100MHz. Na *Svetskoj radio*

konferenciji WRC (*World Radio Conference*) održanoj 2000. godine, IMT opseg je proširen na 2600MHz. Na Svetskoj radio konferenciji 2007. godine (WRC07) je donet zaključak da se opseg 790-862 MHz (nazvan 800MHz) koristi za mobilne *broadband* (širokopolasne) sisteme. Takođe postoji obaveza da se do 2015. godine televizijska emitovanja u tom opsegu štite. Tako je definisan opseg 800MHz kao digitalna dividenda 1 (DD1) i ona je već uveliko, u mnogim evropskim, pa i azijskim državama prodana. Svetska radiokonferencija održana u Ženevi 2012. godine (WRC12), nije u pripremi definisala agendu u kojoj bi se razmatralo proširenje opsega digitalne dividende na 694–790 MHz (Opseg 700MHz), slika 5, premda se sve više govori o tome. Na insistiranje arapskih i afričkih država, međutim, problem uvođenja nove dividende, DD2, je ipak razmatran. Kao kompromis između evropskih i afričkih/arapskih administracija usvojeno je da se opseg 700MHz identifikuje kao IMT, ali da se može koristiti tek posle WRC2015, do kada će ITU izvršiti sva potrebna istraživanja vezana za DD2.



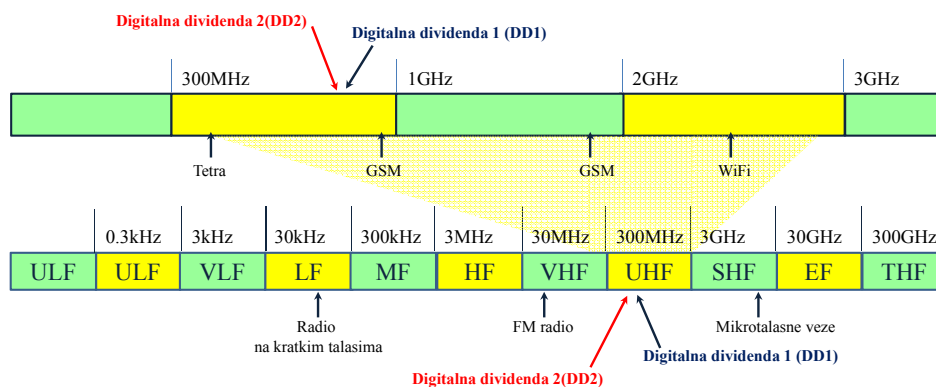
Slika 4. Zone raspodele u UHF području u Republici Srbiji (zone raspodele Sombor i Subotica se iz tehničkih razloga spajaju u jednu).

SFN tip mreže omogućava jednostavan izbor frekvencijskih kanala u kojima će se emitovati digitalni televizijski signal. U ovakvom projektovanju mreža je maksimalni broj zauzetih kanala jednak broju zona raspodele. Predajnici unutar jedne zone raspodele rade na istoj frekvenciji. Sopstvena interferencija koja se javlja upravo u slučaju da predajnici emituju isti sadržaj, jednovremeno na istoj frekvenciji, eliminiše se pogodnim izborom zaštitnog intervala u okviru DVB-T2 (*Digital Video Broadcasting - Terrestrial*) [5]. Ukoliko je zaštitni interval dovoljno veliki da pokriva dimenzije zone raspodele i pretpostavljajući umerene refleksije na datom geografskom području, SFN mreža može da radi bez sopstvene interferencije.

Efikasno iskorišćenje spektra je moguće primenom/korišćenjem:

- Efikasnih tehnologija za prenos signala (pr. DVB-T2, 4G),

- Efikasne kompresije video-audio signala (Preporuke ITU H.264, H.265 neka od pogodnih audio kompresija zavisno od rezolucije videa),
- SFN tipa mreže (u radiodifuziji) imajući u vidu potencijalnu uštedu spektra,
- Pogodne arhitekture mreže koja insertuje programe regionalno (a ne centralizovano), kako bi se brojni lokalni sadržaji distribuirali i emitovali lokalno/regionalno,
- Principa prostornog pristupa (*spectrum reuse*) kada se isti kanal može koristiti u više zona raspodele, što je ilustrovano na slici 4. Neki kanali, saglasno završnim aktima RRC06, se mogu ponoviti više puta, konkretno, kanal 43 se može ponoviti 5 puta, 28-mi kanal 3 puta. U planiranju mreže, neophodno je proceniti sopstvene interferencije koje bi se pojavile u tom slučaju (u okviru jedinstvenog multipleksa). Jedini način za izbegavanje ovakve interferencije, a u slučaju upotrebe kanala sa velikim ponavljanjem na teritoriji jedne države, jeste izbor velikog zaštitnog intervala.
- Principa tehnološke neutralnosti jer on, primenom novih tehnoloških rešenja, nudi više servisa u istom frekvencijskom opsegu. Sami operatori štede opseg i tako čitavu mrežu čine efikasnijom i finansijski povoljnijom, što može smanjiti cenu servisa.
- Postupka konsolidacije spektra, kao što je *refarming* spektra. Poznato je da nefragmentirani spektar jeste efikasniji,
- Primenom hibridnog dupleksa: TDD (*Time Division Duplex*) u kombinaciji sa FDD (*Frequency Division Duplex*),
- Činjenice da je cena spektra verovatno višestruko veća od nove “opreme”.
- Viših IMT opsega (1800MHz, 2100MHz,...) za pokrivanje urbanih, a nižih frekvencijskih opsega (900MHz, 800MHz, 700MHz) za pokrivanje ruralnih sredina. Na opsezima koji odgovaraju digitalnoj dividendi, broj potrebnih baznih stanica je višestruko manji od istog na opsegu 2.1-2.6GHz. Sa druge strane u urbanim sredinama veličina ćelija zbog specifičnosti prostora i zgrada, jeste relativno malih dimenzija.

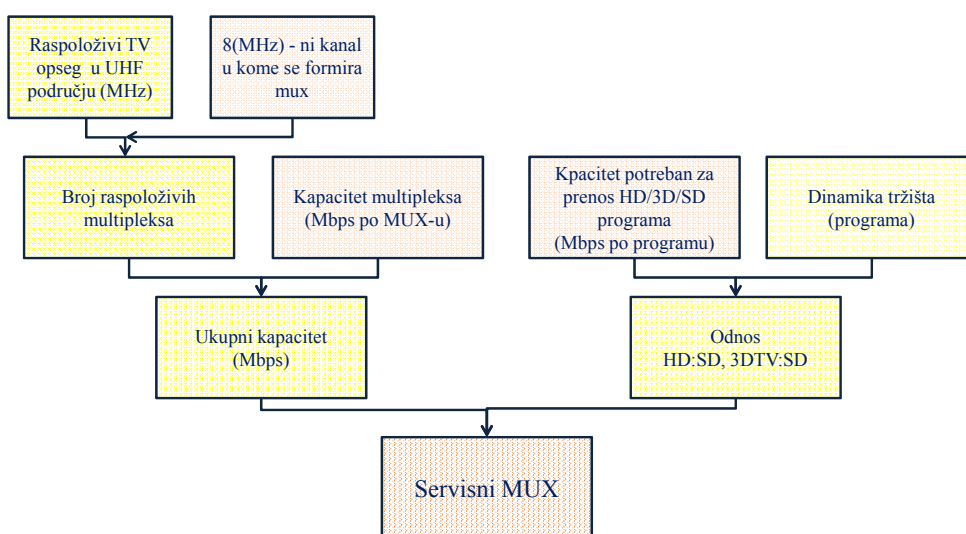


Slika 5. Radio-frekvencijski spektar i raspored digitalne dividende.

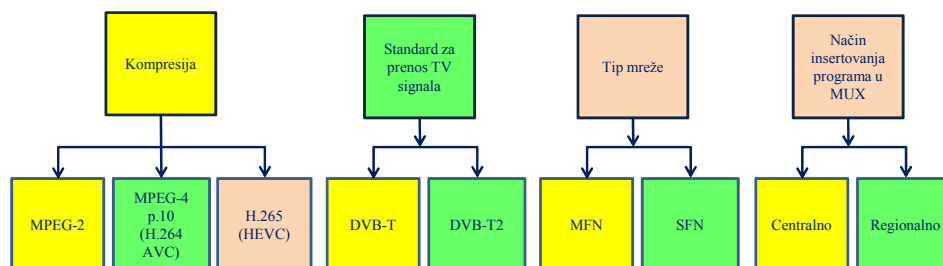
Na slici 5 je prikazana pozicija digitalne dividende u UHF području. Odavde sledi da je veoma bitno da se plan pokrivanja digitalnim terestričkim TV signalom uradi tako da se maksimizira digitalna dividenda. Takođe, odluke koje se donose na nivou regiona moraju se ispoštovati, jer u suprotnom nije moguće obezbediti roming.

Pregovore koji se vode na regionalnom/svetskom nivou, treba prihvatiti ne samo kao obavezu, već i kao način implicitne regulacije tržišta. Nadalje, sve što je u harmonizovanom opsegu je finansijski povoljnije, zbog masovnosti proizvodnje, dok oprema koja se ne koristi na velikoj populaciji "brže zastareva", tj. nema je na tržištu ili pak postaje preskupa.

Pri projektovanju mreže za digitalno televizijsko emitovanje, odnosno pri proceni neophodnih kapaciteta moraju se uzeti u obzir i servisi koji se mogu planirati na medijskom tržištu, slika 6, kao i vrste servisa i rezolucija u kojoj se emituju.



Slika 6. Procena potrebnih i raspoloživih resursa.



Slika 7. Elementi čijim izborom se može obezbediti uvećanje digitalne dividende.

Na slici 7 je simbolički prikazan postupak koji treba primeniti u postupku maksimiziranja digitalne dividende. Postoje četiri važna etape u izboru tehnologija koje obezbeđuju ovaj uslov. To su izbori: standarda za prenos (DVB-T2), standarda za kompresiju, SFN tipa mreže i regionalnog insertovanja programa. Spektar u opsegu 800MHz je moguće dodeliti na tri načina:

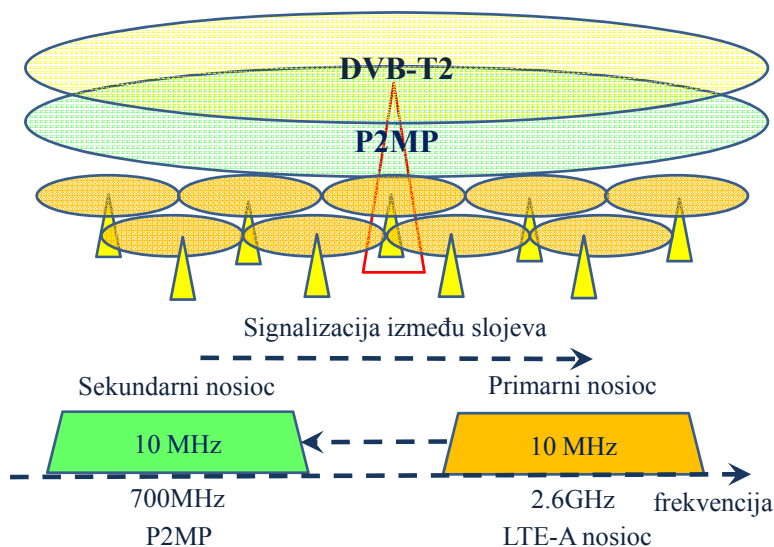
- aukcijom,

- ekonomsko/administrativnom dodelom, uzimajući u obzir dobrobit celog društva, zahteve operatora i raspoloživost spektra,
- postupkom koji podrazumeva takozvani „*licence trading*”.

U većini evropskih zemalja spektar na 800MHz dodeljen je postupkom aukcije. Aukcija je transparentan i jednostavan metod dodele spektra koji se vrši na osnovu tržišnih kriterijuma, istovremeno vodeći računa o koristi koju od toga može imati država.

Prema karakteristikama mobilnih sistema četvrte generacije LTE (*Long Term Evolution*), jasno je da je ona trenutno superiorna u odnosu na ostale. Dodelom opsega 800MHz mobilnim operatorima, u mobilnim sistemima se dobijaju frekvencije koje se mogu iskoristiti za pokrivanje ruralnih područja širokopoljnim servisima uz relativno niske kapitalne troškove (CAPEX). Ulaganja na nižim frekvencijama, kao što su opsezi 800 i 900MHz, su značajno niža nego na višim frekvencijama. Usled propagacionih karakteristika signala, korišćenjem frekvencija iz nižih frekvencijskih opsega dobija se pokrivanje veće teritorije, odnosno povećava se prečnik ćelije. Takođe, broj potrebnih baznih stanica po ćeliji se smanjuje sa smanjenjem frekvencija.

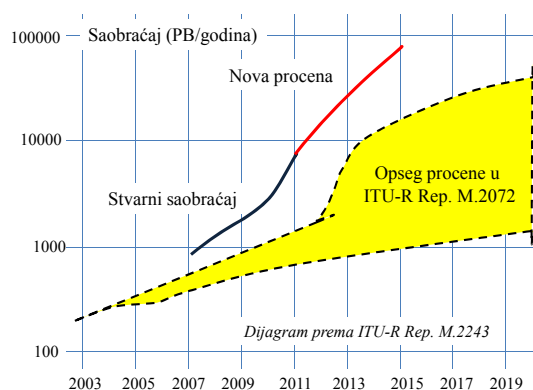
Imajući u vidu da nije moguće jednostavno ostvariti smanjivanje frekvencijskog opsega operatorima terestrijalnog emitovanja televizijskog programa, posebno kada digitalna televizija doživljava izuzetan razvoj, predlažu se rešenja o zajedničkom korišćenju opsega 700MHz. Jedna od mogućnosti koja bi bila prihvatljiva sa stanovišta međusobnog ometanja dveju tehnologija, LTE i DVB-T2, prikazana je na slici 8 [6].



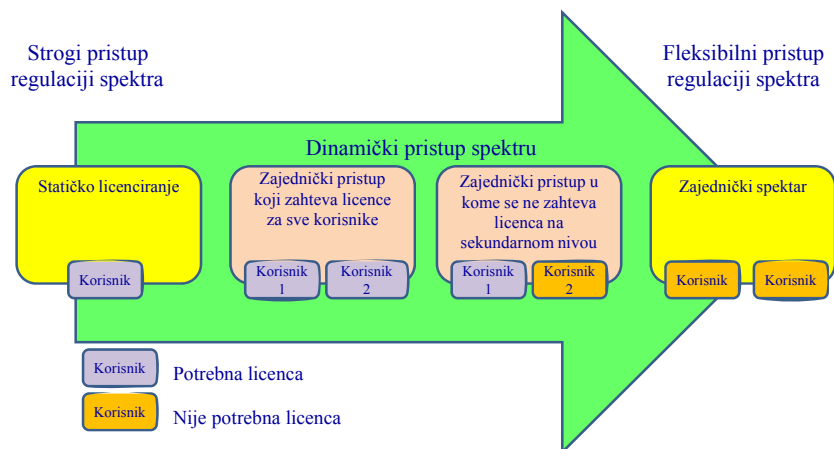
Slika 8. Zajedničko korišćenje opsega 700MHz od strane mobilnih i televizijskih operatora [6].

Predloženo rešenje [6] bi bilo ekonomično sa stanovišta realizacije mreže jer na nižem frekvencijskom opsegu koristi predajnike sa velikim pokrivanjem u *broadcast* modu. U tom slučaju razdvajanje opsega prema servisima bi smanjilo i potencijalnu opasnost od međusobne interferencije.

ITU je 2005. godine, radeći procenu saobraćaja do 2011. godine (Report ITU-R M.2072.), objavila studiju koja predviđa intenzivan razvoj mobilnih sistema, slika 9. Pokazalo se da je stvarni godišnji saobraćaj u mobilnim sistemima elektronskih komunikacija, iskazan u petabajtima po godini, a zaključno sa 2011. godinom, značajno veći. Naznačena oblast predstavlja skup procena koje su pojedine administracije iskazale za svoje područje. Pokazalo se da je ovo bila neočekivano konzervativna procena što je i organizacija ITU naglasila u izveštaju Report ITU-R M.2243 [7].



Slika 9. Procena saobraćaja od strane ITU.



Slika 10. Različiti pristupi regulaciji spektra.

Dakle, novi pristupi upravljanja spektrom zahtevaju poznavanje tehnologije, koja se inače brzo menja, kao i samih finih mehanizama regulacije. Govoreći o evropskim digitalnim televizijskim standardima poslednje generacije i 4G sistemima, treba navesti da se radi o istoj tehnologiji: modulacioni postupci su isti, kao i pristup multipleksu COFDM (*Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex*), isti je tip zaštitnog kodovanja, zasnovanost na IP tehnologiji. Sistemi 4G inače mogu da rade i u broadcast modu, što nije slučaj sa prethodnom generacijom. Stoga, realno je očekivati njihovu konvergenciju u narednom periodu.

Da postoji realna potreba za spektrom od strane mobilnih operatera, potvrđuju i nedavno objavljena istraživanja [8] vezana za 5G sisteme. Eksperimenti su rađeni u frekvenzijskim opsezima 28GHz i 38GHz i pokazala su da je moguće koristiti ih za piko ćelije u velikim i gusto naseljenim gradovima poput Njujorka.

3. Zaključak

Pristupi upravljanja spektrom se mogu sumirati slikom 10, na kojoj se uočava sva složenost ove kontrole. U nekim administracijama (Velika Britanija) se predviđa uvođenje zajedničkog korišćenja u opsegu 600MHz i 700MHz. Za ovako hrabar poduhvat, potrebno je sačekati narednu svetsku konferenciju WRC15, kada će biti prikazani rezultati opsežnih istraživanja vezanih za ometanje dva sistema.

Literatura

- [1] R. Beutler, *Frequency Assignment and Network Planning for Digital Terrestrial Broadcasting Systems*, 2004, Kluwer Academic Publishers, New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow, ISBN: 1-4020-7872-2.
- [2] R. Beutler, *The Digital Dividend of Terrestrial Broadcasting*, Springer Science+Business Media, LLC 2012 ISBN 978-1-4614-1568-8.
- [3] Martin Cave, Chris Doyle and William Webb, *Essentials of Modern Spectrum Management*, Cambridge University Press, 2007.
- [4] Ministarstvo spoljne i unutrašnje trgovine i telekomunikacija, *Mogućnosti iskorišćenja digitalne dividende u RS i digitalna dividenda u Evropi*, biće objavljeno, www.mtt.gov.rs
- [5] W. Ficher, *Digital Video and Audio Technology - A Practical Engineering Guide*, Third edition, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2003, 2007, 2010, ISBN 978-3-642-11611-7.
- [6] Digital Video Broadcasting, *DVB Scene - Delivering the Digital Standard*, 2013.
- [7] ITU, *Assessment of the global mobile broadband deployments and forecasts for International Mobile Telecommunications*, Report ITU-R M.2243, 2011.
- [8] T.S. Rappaport, Shu Sun, R. Mayzus, H. Zhao, Z. Azari, K. Wang, G. Wong, J. Schulyi, M. Samimii, F. Gutierrez, "Millimeter Wave Mobile Communications for 5G Cellular: It Will Work!", *IEEE Access*, May 10, 2013, Digital Object Identifier 10.1109/ACCESS.2013.2260813

Abstract: *The paper presents the methods of modern radiofrequency spectrum management. Having in mind that spectrum is a scarce resource, the new technologies in broadcast network planning, enabling efficient usage of frequencies, are pointed out.*

Keywords: *radiofrequency spectrum, digital broadcasting, digital dividend.*

EFFICIENT USAGE OF RADIOFREQUENCY SPECTRUM - TRENDS OF DIGITAL BROADCASTING DEVELOPMENT

Irini Reljin, Ana Gavrovska